

CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR SOCIOAMBIENTAL E A RELAÇÃO COM O SISTEMA DE DRENAGEM URBANA

CONSTRUCTION OF A SOCIOENVIRONMENTAL INDICATOR
AND THE RELATIONSHIP WITH THE URBAN DRAINAGE SYSTEM

**Layara de Paula
Sousa Santos** 

Mestre em Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal de Goiás (UFG). Doutoranda em Ciências Ambientais, UFG – Goiânia (GO), Brasil.

**Klebber Teodomiro
Martins Formiga** 

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP) – São Carlos (SP). Professor assistente da Escola de Engenharia Civil e Ambiental, UFG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UFG – Goiânia (GO), Brasil.

**Nilson Clementino
Ferreira** 

Engenheiro Cartógrafo, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Doutor em Ciências Ambientais, UFG. Professor associado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, UFG – Goiânia (GO), Brasil.

Endereço para correspondência:

Layara de Paula Sousa Santos –
Universidade Federal de Goiás –
Av. Esperança, s/n – Chácaras de
Recreio Samambaia – CEP: 74690-900
– Goiânia (GO), Brasil –
E-mail: layara0912@hotmail.com

Recebido em: 04/12/2019

Aceito em: 28/03/2020

RESUMO

Os indicadores socioambientais constituem uma base útil à tomada de decisões, porque permitem agregar informações consideradas importantes pelos gestores e pela comunidade. Este trabalho teve como objetivo correlacionar indicadores de vulnerabilidade socioambiental no estado de Goiás com o sistema de drenagem urbana. Os conjuntos de dados disponibilizados para as análises desenvolvidas nesta pesquisa referem-se aos resultados do Censo Demográfico 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Para o desenvolvimento das métricas foi utilizada a técnica de análise fatorial exploratória. Com base nos três índices desenvolvidos – fragilidade ambiental, qualidade infraestrutural e qualidade social –, foi desenvolvido um final, que engloba todas as variáveis. Os resultados mostraram que setores com melhores sistemas de drenagem (maiores proporções de domicílios com bueiro/boca-de-lobo e meio-fio/guia) tendem a apresentar maiores indicadores de qualidade social e infraestrutural e menores valores de fragilidade ambiental.

Palavras-chave: análise fatorial exploratória; vulnerabilidade; estado de Goiás.

ABSTRACT

Social and environmental indicators provide a useful basis for decision-making because they allow the aggregation of information considered important by managers and the community. This study aimed to correlate indicators of social and environmental vulnerability in the state of Goiás with the urban drainage system. The data sets available for the analyses developed in this research refer to the results of the 2010 Demographic Census of the Brazilian Institute of Geography and Statistics. For the development of the metrics the Exploratory Factor Analysis technique was used. From the 3 indices developed: environmental fragility, infrastructural and social quality, an end was developed that encompasses all variables. The results showed that sectors with better drainage systems (larger proportions of households with manhole/lobe mouth and curb/guide) tend to have higher indicators of social and infrastructural quality and lower values of environmental fragility.

Keywords: exploratory factor analysis; vulnerability; Goiás state.

INTRODUÇÃO

As inundações urbanas podem causar perdas econômicas e sociais, o que ocasiona impactos em vários aspectos da cidade, variando desde risco à saúde até perdas públicas e privadas. O desenvolvimento de uma área urbana que impermeabiliza a superfície do solo tem um efeito significativo nesses processos, visto que aumenta a quantidade de escoamento superficial em relação à infiltração (BUTLER; DAVIES, 2011).

No Brasil, observa-se a busca por um sistema de drenagem hidraulicamente eficiente, com foco na visão higienista. Para isso há a necessidade de criar estruturas de micro e macrodrenagem, no entanto nota-se que o resultado dessa abordagem provoca um distanciamento entre planejamento e sustentabilidade dos sistemas de drenagem (SOUZA, 2013).

Em municípios densamente urbanizados, como São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Belo Horizonte (MG), os córregos, rios e riachos desapareceram ou transformaram-se em canais, foram tampados, transpostos por pontes ou canalizados. Há constantes construções de avenidas e marginais em áreas de várzeas, que são espaços úmidos e alagadiços impróprios para construção. Esse aspecto favorece a ocorrência de enchentes (ARRUDA, 2008).

O redesenho da drenagem ocorre principalmente em razão do aumento permanente das vazões produzidas a montante e também em função da degradação da qualidade da água dos rios. Há despejos que são lançados sem tratamento nenhum. Com isso, observa-se a precariedade do saneamento agravada pela poluição ambiental e pela ocupação irregular das margens (GANDARA, 2017).

Alguns autores, como Neves e Tucci (2011), Lee *et al.* (2017), El Hawary e Shaban (2018), apresentaram estudos sobre qualidade da água do sistema de drenagem. As pesquisas demonstraram que a qualidade da água da rede pluvial depende de intensidade da precipitação, distribuição espacial e temporal, período do ano, tipo de uso do solo e limpeza urbana. Dessa forma, fica evidente a relação entre sistema de drenagem e saneamento básico.

A escolha do sistema de drenagem mais adequado pode ser realizada por meio da comparação de alternativas de projeto. Essas análises podem ser feitas com

base em indicadores. De acordo com Mitchell (1996), indicador é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre determinada situação. O indicador pode ser entendido como um parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou combinado com outros para refletir as condições do sistema analisado. De forma simplificada, índice é o valor agregado final de todo o procedimento de cálculo, no qual se utilizam, também, indicadores como variáveis que o compõem (SHIELDS; SOLAR; MARTIN, 2002). No caso desta pesquisa, a necessidade de estabelecer índices e indicadores relaciona-se à importância desses parâmetros como princípios técnicos para ordenamento do território.

O uso indevido do solo pode aumentar a vulnerabilidade dos indivíduos e das comunidades em relação às catástrofes naturais. Nesse âmbito, Bosco, Cardoso e Young (2019) avaliaram a vulnerabilidade socioambiental relativa à ocorrência de eventos geológicos, mais precisamente deslizamentos decorrentes de chuvas. Para isso, utilizaram indicadores construídos com base em variáveis socioeconômicas e ambientais.

Kolsky e Butler (2002) descreveram aspectos conceituais e práticos de indicadores de desempenho de drenagem. A pesquisa considerou abordagens práticas de desempenho, com base em experiências de campo na Índia. Assim, foram obtidas conclusões gerais sobre os indicadores de desempenho de drenagem, com foco no desafio de encontrar indicadores válidos, relativamente fáceis de medir e úteis para o tomador de decisão.

Berggren (2008) analisou indicadores que podem ser utilizados para descrever e comparar os impactos negativos e auxiliar na escolha de medidas de adaptação dos sistemas de drenagem urbana. Os impactos foram analisados por meio de indicadores que consideraram o comportamento do sistema durante e após um evento. Dessa forma, obtiveram-se a descrição de desempenho, a capacidade excedida e as consequências do excesso de vazão.

Malta, Costa e Magrini (2017) propuseram um índice de vulnerabilidade socioambiental construído por meio de análise multicritério de apoio à decisão. Foi proposto um índice composto de 15 indicadores formulados com base em pesquisas e discussões com especialistas das áreas de sociologia, economia, planejamento urbano, meio ambiente, saúde e segurança.

Observa-se que a avaliação ambiental da qualidade do sistema de drenagem urbana se consolidou como uma etapa importante no processo de planejamento, por conta da possibilidade de favorecer a formulação e a seleção de alternativas. Dessa forma, os indicadores podem ser utilizados, já que permitem o monitoramento das condições de vida de uma população.

O primeiro passo para construir indicadores é definir que tipo se deseja criar. Um dos procedimentos utilizados para transformar conceitos abstratos em indicadores consiste em elaborar índices. Para a construção de indicadores, o modelo utilizado deve ser capaz de estimar em que medida as correlações entre as variáveis observadas podem ser agrupadas em menor número de variáveis latentes. Depois, a fim de validá-lo inicialmente, o indicador criado pode ser ilustrado por meio de dados reais, com a obtenção de resultados satisfatórios (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2013).

Nesse aspecto, o trabalho de Castro, Baptista e Cordeiro Netto (2004) teve como objetivo a proposição de indicadores para a avaliação do sistema de drenagem urbana. Para a validação, os indicadores foram aplicados e verificados por meio de análises multicritério em três estudos de caso, incluindo sistemas clássicos, intermediários e alternativos. Nesse estudo, nem todos os aspectos analisados apresentaram caráter quantitativo. Logo, alguns indicadores foram fundamentados em avaliações subjetivas. Os resultados mostraram-se potencialmente úteis como importante ferramenta de auxílio à tomada de decisão.

Alves (2006) teve como objetivo operacionalizar a categoria vulnerabilidade socioambiental no município de São Paulo. Para isso, foram construídos indicadores para representar suas dimensões: risco ambiental, degradação ambiental e vulnerabilidade social. Para construir o objeto de análise, o pesquisador operacionalizou a referida categoria por meio do mapa de vulnerabilidade social da população do município estudado.

Ojima e Mandarola Júnior (2010) realizaram uma pesquisa bibliográfica sobre construção de indicadores de sustentabilidade para ajudar a avaliar a vulnerabilidade. A finalidade do estudo foi possibilitar a identificação de lugares mais expostos a riscos, com o intuito de potencializar a eficiência e o alcance de políticas públicas.

Benzerra *et al.* (2012) desenvolveram uma metodologia para apoiar a gestão sustentável dos sistemas de

drenagem urbana. Os autores avaliaram o desempenho do sistema por meio do método da média ponderada para agregar indicadores ou critérios ponderados usando o processo de hierarquia analítica. A metodologia foi aplicada a um estudo de caso real na Argélia. Os resultados obtidos forneceram informações úteis para aplicativos operacionais e possibilitaram também identificar os objetivos que requerem melhorias.

Entre os autores que têm se dedicado a estudos de vulnerabilidade socioambiental, construção e validação de indicadores, encontram-se Guimarães *et al.* (2014), que formularam um indicador composto denominado de índice de vulnerabilidade socioambiental em locais propensos à ocorrência de inundações. Para a classificação dos municípios, os autores utilizaram procedimentos de análise multivariada. A validação nesse caso foi verificada por meio do teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), o qual resultou numa avaliação de adequabilidade do método utilizado, considerando-se o conjunto de dados utilizados.

Nesse contexto, no fim da década de 1980 e na década de 1990, surgiu o uso de programas computacionais estatísticos para estudos de vulnerabilidade, com destaque para Cutter (1996), que se dedicou ao estudo da vulnerabilidade por meio da análise fatorial de diferentes variáveis e indicadores, considerando as dimensões sociais, econômicas, políticas e culturais.

A análise fatorial tem como objetivo definir o relacionamento entre as variáveis de modo simples. Para isso, utiliza menor número de variáveis do que o número inicial, de forma a reduzir a dimensionalidade de um conjunto de variáveis por meio de suas intercorrelações (GUIMARÃES *et al.*, 2014). Essa técnica foi utilizada em razão de sua adequação para a construção de índices e sua capacidade de reduzir um grande conjunto de dados. Assim, facilitaram-se a construção e a consolidação dos indicadores.

Esta pesquisa considerou a hipótese de que o desenvolvimento sustentável, aliado ao sistema tradicional de drenagem urbana, deve acompanhar o processo de desenvolvimento da cidade, mantendo a funcionalidade. De acordo com Kemerich *et al.* (2013), o uso de indicadores constitui-se como instrumento relevante para gerenciar adequadamente as questões públicas, principalmente para obter diagnósticos e realizar monitoramentos ambientais.

O objeto de estudo foi o estado de Goiás, caracterizado pela ocorrência de alagamentos em diversas regiões da capital, o que se torna um problema iminente para a população. De acordo com Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014), as regiões com maior volume de chuva no estado compreendem a região central do norte goiano e o município de Piracanjuba, no sudeste do estado. Nos estudos realizados por Machado *et al.* (2017), o recorte temporal da capital do estado de Goiás mostrou o aumento das áreas impermeabilizadas, dos processos

erosivos lineares e o conseqüente aumento das áreas de inundações e alagamentos. Esses problemas urbanos e ambientais são decorrentes principalmente do aumento populacional e da falta de planejamento urbano.

Considerando essa situação, este artigo teve como objetivo geral operacionalizar o conceito de vulnerabilidade socioambiental, por meio da construção e da validação de um indicador, a fim de correlacioná-lo com o sistema de drenagem urbana.

METODOLOGIA

Dados

Os conjuntos de dados disponibilizados para as análises desenvolvidas nesta pesquisa referem-se aos resultados do censo demográfico 2010. Tendo em vista a grande quantidade de informações e bases apresentada, de forma a facilitar o desenvolvimento dos indicadores, as informações foram filtradas e sumariadas em menor número de variáveis mais relevantes para a criação dos indicadores. Além disso, elas foram subdivididas nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura. Com relação aos dados, destaca-se ainda que, dos 9.434 setores censitários, 178 (1,89%) apresentaram alguma informação ausente e foram retirados da análise.

O *software* utilizado nas análises foi o R (versão 3.6.0), pacote de análise estatística que incorpora testes, modelos e análises estatísticas padrões, além de fornecer uma linguagem abrangente para gerenciar e manipular dados. Inicialmente, os pacotes utilizados para a prepa-

ração dos dados no *software* R, foram: *library(tidyverse)*, *library(data.table)* e *library(readxl)*. Após as manipulações, percebeu-se que os arquivos apresentaram a mesma ordenação com relação aos setores censitários. Posteriormente, foi realizada a agregação de todos os conjuntos de dados gerados em um único arquivo para o desenvolvimento dos indicadores.

Salienta-se que, para facilitar esse desenvolvimento, sobretudo pela metodologia de análise fatorial, as variáveis foram subdivididas manualmente nas categorias sociais, ambientais e de infraestrutura via critério dos pesquisadores. Mesmo com essa categorização ainda foi necessário retirar algumas variáveis da análise para simplificar a elaboração dos indicadores. Os pacotes estatísticos utilizados para a criação dos indicadores por meio da análise fatorial foram: *library(data.table)*, *library(psych)*, *library(Hmisc)*, *library(tidyverse)*, *library(psy)*, *library(nFactors)* e *library(readxl)*.

Análise de dados

Para compreensão do conjunto de variáveis, fez-se a análise descritiva por meio de medidas de posição, tendência central, dispersão e intervalo percentílico *bootstrap* de 95% de confiança para média, sendo o método *bootstrap* muito utilizado para realizar inferências quando não se conhece a distribuição de probabilidade da variável de interesse (EFRON; TIBSHIRANI, 1993).

Para o desenvolvimento dos indicadores, optou-se por utilizar a técnica de análise fatorial exploratória. Em seguida, a técnica foi planejada com base em três etapas:

- verificação da adequabilidade da base de dados;

- determinação da técnica de extração (componentes principais);
- tipo de rotação dos fatores (*Varimax*).

Para a criação de um indicador via análise fatorial, devem-se verificar três questões básicas: dimensionalidade, confiabilidade e validade (HAIR *et al.*, 2009). Essas questões são definidas por:

- Dimensionalidade: uma suposição inerente e exigência essencial para a criação de um indicador, é

que os itens sejam unidimensionais, significando que eles estão fortemente associados um com o outro e representam o mesmo conceito.

- **Confiabilidade:** é a avaliação do grau de consistência entre múltiplas medidas de um índice ou uma variável.
- **Validade:** é o grau em que uma escala ou um conjunto de medidas representa com precisão o conceito de interesse. Uma das formas mais aceitas se dá pela avaliação convergente, que avalia o grau em que duas medidas do mesmo conceito estão correlacionadas.

Para checar a dimensionalidade de cada índice, foi utilizado o critério da análise paralela, elaborado por Horn (1965). Esse critério retorna o número de fatores que devem ser retidos em uma análise fatorial, ou seja, a quantidade de dimensões do construto, indicador. Na impossibilidade de utilizar a análise paralela, quando os fatores são formados somente por duas variáveis, foi usado o critério de Kaiser (1958).

Na avaliação da validade convergente se empregou o critério da variância média extraída (AVE, da sigla em inglês *average variance extracted*), proposto por Fornell e Larcker (1981), que representa o percentual médio de variância compartilhada entre o construto latente e seus itens. Esse critério garante a validade convergente para valores de AVE acima de 50% (HENSELER; RINGLE; SINKOVICS, 2009), ou 40% no caso de pesquisas exploratórias (NUNNALLY; BERNSTEIN, 1994).

Para verificar a confiabilidade, foi utilizada a confiabilidade composta (CC) (CHIN, 1998). De acordo com Tenenhaus *et al.* (2005), a CC deve apresentar valores acima de 0,70 para uma indicação de confiabilidade do construto, ou valores acima de 0,60 no caso de pesquisas exploratórias. A CC tem sido apresentada como um indicador de precisão mais robusto, quando comparado ao coeficiente *alpha* (CRONBACH, 1951), isso porque, no cômputo da CC, as cargas fatoriais dos itens são passíveis de variação, enquanto no coeficiente *alpha* as cargas dos itens são fixadas para serem iguais. Nesse sentido, a CC tende a apresentar indicadores mais robustos de precisão por não estar atrelada a esse pressuposto (VALENTINI; DAMÁSIO, 2016).

Para avaliar se a utilização da análise fatorial é adequada aos dados, usou-se a medida de adequação da amostra KMO, que verifica a proporção da variância dos dados que pode ser considerada comum a todas as variáveis. Os valores dessa medida variam entre 0 e 1, e o uso da análise fatorial é adequado aos dados quando o KMO for maior ou igual 0,50, considerando que, quanto mais próximo de 1, mais apropriada é a amostra à aplicação da análise fatorial.

Para um índice ser validado via análise fatorial, espera-se que os construtos, indicadores, sejam unidimensionais, que as cargas fatoriais sejam maiores que 0,50, em módulo, que a CC seja de pelo menos 0,70, sendo também aceito em pesquisas exploratórias o valor de 0,60, que o KMO seja de pelo menos 0,50 e que a AVE seja maior que 0,40.

Para realizar a extração dos fatores, foi utilizada a técnica de análise de componentes principais (ACP), que converte uma matriz de dados com N observações e p variáveis em um novo conjunto de p variáveis ortogonais, de modo que a primeira delas tenha a máxima variância possível (NAGAR; BASU, 2002). Em síntese, o método da ACP busca explicar a estrutura de variância e covariância de um vetor aleatório, mediante combinações lineares das variáveis originais, sendo essas combinações não correlacionadas entre si e denominadas de componentes principais (MINGOTI, 2005).

Quando se considera somente a primeira componente, embora mais simples, geralmente se tem o problema de explicar apenas uma pequena parte da variabilidade. Já quando se consideram todas, consegue-se explicar 100% das variações. Dessa forma, considerando que, ao utilizar somente a primeira componente iria se perder parte da variabilidade dos dados, os indicadores foram criados sob a metodologia proposta por Nagar e Basu (2002), que calcula os indicadores sobre a média ponderada de todas as componentes principais obtidas na ACP, sendo os pesos as variâncias proporcionais de cada uma delas. Salienta-se ainda que foram selecionadas as variáveis com pesos significativamente diferentes de 0 por meio do intervalo percentílico *bootstrap*, e os indicadores foram padronizados para uma escala de 0 a 1.

Com a finalidade de simplificar a estrutura dos dados, empregou-se o método de rotação *Varimax*, que tem o objetivo de minimizar o número de variáveis que apre-

sentam alta carga em cada fator. De acordo com Reis (2001), *Varimax* é um método ortogonal cujo objetivo é maximizar a variação entre os pesos de cada componente principal.

Por fim, para verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, apresentaram-se as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca-de-lobo e a proporção de domicílios

particulares permanentes com meio-fio/guia. Essas informações estavam presentes no arquivo Entorno, porém salienta-se que, como mencionado no arquivo de descrição dos conjuntos de dados, os setores em que não houve coleta das informações do entorno obtiveram valor zero em todas as colunas. Após a retirada desses setores, juntamente com os que apresentaram observações ausentes, obtiveram-se 7.101 setores para a análise do relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Criação de indicadores via análise fatorial

Indicador ambiental

A análise fatorial teve como objetivo verificar a necessidade de exclusão de algum item que não estivesse contribuindo para a formação dos fatores, uma vez que itens com cargas fatoriais menores que 0,50, em módulo, devem ser eliminados dos construtos, pois, ao não contribuir de forma relevante para a sua formação, prejudicam o alcance das suposições básicas para validade e qualidade dos indicadores criados para representar o conceito de interesse.

Com a avaliação de dimensionalidade, cargas fatoriais, validação convergente e confiabilidade, chegou-se ao indicador ambiental definido adiante, formado por três fatores de primeira ordem. Segundo a Tabela 1, todos os fatores que formam o indicador apresentaram carga fatorial superior a 0,50 e pesos positivos, ou seja, quanto maior o valor dos fatores, maior será o indicador.

Na Tabela 2, tem-se a análise fatorial dos fatores que formam o indicador ambiental. Nota-se que todas as cargas fatoriais foram superiores a 0,5 e todos os pesos

foram positivos. Ou seja, quanto maior o valor das variáveis que compõem o fator, maior ele será.

Dado que todas as variáveis e todos os fatores apresentaram pesos positivos, e considerando-se os significados das variáveis na listagem a seguir, pode-se entender esse indicador como de fragilidade ambiental. A descrição das variáveis encontra-se no Apêndice 1.

Na Tabela 3, apresenta-se a importância relativa de cada variável no indicador final de fragilidade ambiental. Pode-se destacar que V26, V61 e V82 foram as variáveis com maior importância relativa.

Por fim, a Tabela 4 apresenta as medidas de validade e qualidade dos fatores que formam o indicador e do próprio indicador final. Pode-se notar que:

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram validação convergente (AVE > 0,4);

Tabela 1 – Análise fatorial: indicador ambiental.

Indicador Ambiental			
Fatores de 1ª ordem	CF	Com.	Peso
Fator 1	0,69	0,48	0,37
Fator 2	0,87	0,76	0,47
Fator 3	0,79	0,62	0,42

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

Tabela 2 – Análise fatorial: fatores formadores do indicador ambiental.

Fator de 1ª ordem	Variáveis	CF	Com.	Peso
Fator 1	V72	0,96	0,92	0,19
	V75	0,98	0,96	0,20
	V78	0,93	0,87	0,19
	V42	0,93	0,87	0,19
	V24	0,81	0,66	0,17
	V43	0,59	0,35	0,12
	V46	0,54	0,30	0,11
Fator 2	V82	0,90	0,81	0,42
	V50	0,85	0,72	0,40
	V74	0,77	0,59	0,36
Fator 3	V61	0,88	0,78	0,57
	V26	0,88	0,78	0,57

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

Tabela 3 – Importância relativa: fragilidade ambiental.

Variáveis	Importância relativa
V72	4,92%
V75	5,02%
V78	4,78%
V42	4,79%
V24	4,18%
V43	3,02%
V46	2,79%
V82	13,25%
V50	12,49%
V74	11,30%
V61	16,73%
V26	16,73%

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram CC acima de 0,60. Ou seja, apresentaram os níveis exigidos de confiabilidade;
- Os ajustes da análise fatorial foram adequados, uma vez que todos os KMOs foram maiores ou iguais a 0,50;
- Todos os construtos foram unidimensionais (dimensionalidade), salientando-se que foi utilizado o critério da análise paralela no indicador ambiental e nos fatores 1 e 2. Já no fator 3 foi verificada a unidi-

mensionalidade via critério de Kaiser, visto que esse fator foi formado somente por dois itens.

Nesta pesquisa, observou-se que os resultados mostraram que os setores censitários com alta vulnerabilidade ambiental possuem condições sociais significativamente piores e maior concentração de crianças e jovens quando comparados a setores com baixa e média vulnerabilidade ambiental. Isso pode acontecer, porque áreas de degradação e risco ambiental são acessíveis à população de baixa renda, em razão da desvalorização no mercado imobiliário.

Indicador de infraestrutura

Com a avaliação de dimensionalidade, cargas fatoriais, validação convergente e confiabilidade, chegou-se ao indicador infraestrutural, definido na Tabela 5, formado por três fatores de primeira ordem. Segundo a Tabela 5, todos os fatores que formam o indicador apresentaram carga fatorial superior a 0,50 e pesos positivos, ou seja, quanto maior o valor dos fatores, maior será o indicador.

Na Tabela 6, tem-se a análise fatorial dos fatores que formam o indicador infraestrutural. Nota-se que todas as cargas fatoriais foram superiores a 0,5 e todos os pe-

sos foram positivos. Ou seja, quanto maior o valor das variáveis que compõem o fator, maior ele será.

Dado que todas as variáveis e todos os fatores apresentaram pesos positivos, e considerando-se os significados das variáveis apresentados no Apêndice 1, podemos entender esse indicador como um indicador de qualidade infraestrutural.

Na Tabela 7, apresenta-se a importância relativa de cada variável no indicador final de qualidade infraes-

Tabela 4 – Validação dos construtos: ambiental.

Construto	Quant. de itens	AVE	CC	KMO	Dim.
Indicador Ambiental	3	0,62	0,75	0,60	1
Fator 1	7	0,70	0,91	0,76	1
Fator 2	3	0,71	0,81	0,65	1
Fator 3	2	0,78	0,80	0,50	1

AVE: variância extraída; CC: confiabilidade composta; KMO: adequação da amostra; Dim.: dimensionalidade.

Tabela 5 – Análise fatorial: indicador de infraestrutura.

Indicador infraestrutura			
Fatores de 1ª ordem	CF	Com.	Peso
Fator 1	0,85	0,72	0,51
Fator 2	0,64	0,41	0,39
Fator 3	0,72	0,51	0,44

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

trutural. Pode-se destacar que V63, V28, V47 e V48 foram as variáveis com maior importância relativa, possuindo conjuntamente 61,64%.

Por fim, a Tabela 8 apresenta as medidas de validade e qualidade dos fatores que formam o indicador e do próprio indicador final. Pode-se destacar que:

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram validação convergente ($AVE > 0,4$);

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram CC acima de 0,60. Ou seja, apresentaram os níveis exigidos de confiabilidade;
- Os ajustes da análise fatorial foram adequados, uma vez que todos os KMOs foram maiores ou iguais a 0,50;
- Todos os construtos foram unidimensionais (dimensionalidade), salientando que foi utilizado o critério

Tabela 6 – Análise fatorial: fatores formadores do indicador de infraestrutura.

Fator de 1ª ordem	Variáveis	CF	Com.	Peso
Fator 1	V39	0,98	0,95	0,18
	V62	0,98	0,95	0,18
	V40	0,92	0,85	0,17
	V70	0,97	0,94	0,18
	V58	0,93	0,86	0,17
	V23	0,91	0,83	0,17
Fator 2	V48	0,98	0,97	0,51
	V47	0,98	0,97	0,51
Fator 3	V28	1,00	1,00	0,50
	V63	1,00	1,00	0,50

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

Tabela 7 – Importância relativa: qualidade infraestrutural.

Variáveis	Importância relativa (%)
V39	6,59
V62	6,59
V40	6,23
V70	6,55
V58	6,25
V23	6,14
V48	14,59
V47	14,59
V28	16,23
V63	16,23

da análise paralela no indicador de qualidade infraestrutural e no fator 1. Já nos demais fatores foi verifi-

cada a unidimensionalidade via critério de Kaiser, visto que estes foram formados somente por dois itens.

Indicador social

Seguindo a mesma metodologia de avaliação de dimensionalidade, cargas fatoriais, validação convergente e confiabilidade, chegou-se ao indicador social definido a seguir, formado por três fatores de primeira ordem. Segundo a Tabela 9, todos os fatores que formam o indicador apresentaram carga fatorial, em módulo, superior a 0,50. Nota-se que o fator 3 apresentou peso negativo, ou seja, quanto maior for este, menor tende a ser o indicador social.

Na Tabela 10, tem-se a análise fatorial dos fatores que formam o indicador social. Nota-se que todas as cargas fatoriais, em módulo, foram superiores a 0,5. Além disso, com exceção de V129 e V148, todas as demais variáveis apresentaram pesos positivos.

Dados os pesos das variáveis e dos fatores, bem como os significados das variáveis apresentados no Apêndice 1, podemos considerar esse indicador um indicador de qualidade social.

Na Tabela 11, encontra-se a importância relativa de cada variável no indicador final de qualidade social.

Pode-se destacar que V147, V128, V27 e V35 foram as variáveis com maior importância relativa, possuindo conjuntamente 65,15%.

Por fim, a Tabela 12 apresenta as medidas de validade e qualidade dos fatores que formam o indicador e do próprio indicador final. Pode-se destacar que:

- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram validação convergente ($AVE > 0,4$);
- Tanto o indicador final como os fatores que formam o indicador apresentaram CC acima de 0,60. Ou seja, apresentaram os níveis exigidos de confiabilidade;
- Os ajustes da análise fatorial foram adequados, uma vez que todos os KMOs foram maiores ou iguais a 0,50;
- Todos os construtos foram unidimensionais (dimensionalidade), salientando que foi utilizado o critério

Tabela 8 – Validação dos construtos: infraestrutura.

Construto	Quant. de itens	AVE	CC	KMO	Dim.
Indicador Infraestrutura	3	0,55	0,70	0,55	1
Fator 1	6	0,90	0,97	0,86	1
Fator 2	2	0,97	0,97	0,50	1
Fator 3	2	1,00	1,00	0,50	1

AVE: variância extraída; CC: confiabilidade composta; KMO: adequação da amostra; Dim.: dimensionalidade.

Tabela 9 – Análise fatorial: indicador social.

Indicador social			
Fatores de 1ª ordem	CF	Com.	Peso
Fator 1	0,78	0,62	0,46
Fator 2	0,68	0,47	0,40
Fator 3	-0,78	0,62	-0,46

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

Tabela 10 – Análise fatorial: fatores formadores do indicador social.

Fator de 1ª ordem	Variáveis	CF	Com.	Peso
Fator 1	V151	0,89	0,79	0,15
	V130	0,90	0,81	0,16
	V134	0,87	0,76	0,15
	V133	0,81	0,66	0,14
	V149	0,79	0,62	0,14
	V19	0,65	0,42	0,11
	V129	-0,85	0,73	-0,15
	V148	-0,74	0,55	-0,13
	V132	0,65	0,43	0,11
Fator 2	V35	0,92	0,84	0,54
	V27	0,92	0,84	0,54
Fator 3	V128	0,92	0,839	0,55
	V147	0,92	0,839	0,55

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

Tabela 11 – Importância relativa: qualidade social.

Variáveis	Importância relativa (%)
V151	4,32
V130	4,38
V134	4,24
V133	3,95
V149	3,84
V19	3,17
V129	4,16
V148	3,61
V132	3,18
V35	15,15
V27	15,15
V128	17,42
V147	17,42

da análise paralela no indicador de qualidade social e no fator 1. Já nos demais fatores foi verificada a unidimensionalidade via critério de Kaiser, visto que estes foram formados somente por dois itens;

Indicador final

Dados os três indicadores desenvolvidos via análise fatorial, fragilidade ambiental, qualidade infraestrutural e qualidade social, passa-se ao desenvolvimento de um indicador único que agrega esses três.

Observa-se que os valores utilizados para a elaboração dos indicadores referem-se a 2000, mas possivelmente ocorreram mudanças na distribuição percentual da população entre os grupos de vulnerabilidade ambiental.

Na Tabela 13, tem-se as cargas fatoriais, as comunalidades, os pesos e a importância relativa dos indicadores que formam o indicador final. Nota-se que todos apresentaram cargas fatoriais, em módulo, superiores a 0,5.

- Destaca-se que as medidas de validação e qualidade no indicador social e no fator 1 foram calculadas invertendo-se as cargas que apresentaram valores negativos.

Além disso, o indicador de fragilidade ambiental apresenta peso negativo, ou seja, quanto maior ele for, menor tende a ser o indicador final. Os indicadores de qualidade infraestrutural e social apresentaram pesos positivos.

Por fim, a Tabela 14 apresenta as medidas de validade e qualidade do indicador final. Pode-se destacar que:

- O indicador de qualidade geral apresentou validação convergente ($AVE > 0,4$) e CC acima de 0,6, ou seja, atingiu os níveis exigidos de confiabilidade;
- O ajuste da análise fatorial foi adequado, uma vez que o KMO foi maior que 0,50;

Tabela 12 – Validação dos construtos: social.

Construto	Quantidade de itens	AVE	CC	KMO	Dim.
Indicador social	3	0,57	0,71	0,63	1
Fator 1	9	0,64	0,91	0,76	1
Fator 2	2	0,84	0,85	0,50	1
Fator 3	2	0,84	0,85	0,50	1

AVE: variância extraída; CC: confiabilidade composta; KMO: adequação da amostra; Dim.: dimensionalidade.

Tabela 13 – Análise fatorial: indicador final.

Indicador	CF	Com.	Peso	Importância relativa (%)
<i>Environmental fragility</i>	-0,90	0,81	-0,38	33,81
<i>Infrastructural quality</i>	0,94	0,88	0,40	35,21
Qualidade social	0,82	0,68	0,35	30,98

CF: carga fatorial; Com.: comunalidade.

Tabela 14 – Validação do indicador de qualidade geral.

Quantidade de itens	AVE	CC	KMO	Dim.
3	0,79	0,86	0,67	1

AVE: variância extraída; CC: confiabilidade composta; KMO: adequação da amostra; Dim.: dimensionalidade.

- O indicador final foi unidimensional, via critério da análise paralela;
- Destaca-se que as medidas de validação e qualidade foram calculadas invertendo-se a carga de fragilidade ambiental, visto que esta foi negativa.

Segundo Gall (2007), vários estudos na área de vulnerabilidade socioambiental foram feitos no Brasil, mas não existe um consenso sobre quais variáveis devem ser utilizadas.

Licco (2013) destacou a necessidade de considerar fatores humanos em estudos de vulnerabilidade social e de

desastres naturais, já que influenciam na severidade do desastre. Entre os fatores abordados pelo autor, são considerados: riqueza, educação, governança, tecnologia, idade e gênero. De acordo com Licco (2013), a riqueza é importante pois pobres são menos capazes de pagar por moradias em locais com boa infraestrutura. A educação deve ser considerada porque indivíduos com maior nível educacional tendem a evitar ou reduzir impactos em comparação a indivíduos com níveis educacionais menores. A governança pode contribuir para a promoção de políticas que reduzam vulnerabilidades. A tecnologia pode contribuir para a melhoria da capacidade de previsão de eventos. Por fim, idade e gênero devem ser considerados porque crianças, idosos e mulheres tendem a ser mais vulneráveis por possuírem menos força física.

Relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores

Apresentam-se nesta seção as correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca-de-lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio-fio/guia. Destaca-se que, após a retirada dos setores cuja informação do entorno não foi coletada, juntamente com os que apresentaram observações ausentes, se obtiveram 7.101 setores para a análise do relacionamento do sistema de drenagem e dos indicadores.

Inicia-se com a Tabela 15, que apresenta a análise descritiva das variáveis que caracterizam o sistema de drenagem. Nota-se, por exemplo, que a média com relação

à proporção de domicílios particulares permanentes com meio-fio/guia foi maior que aquela relacionada à proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca-de-lobo.

Na Tabela 16, tem-se as correlações de Pearson entre as variáveis do sistema de drenagem e os indicadores obtidos via análise fatorial. Nota-se que os indicadores de qualidade apresentaram correlações positivas com as variáveis de drenagem. Já o indicador de fragilidade apresentou correlações negativas. Esse fato é coerente com o significado dos indicadores e das variáveis do sistema de drenagem.

Tabela 15 – Análise descritiva do sistema de drenagem.

Variável	N	Média	DP	Mín.	1ºQ	2ºQ	3ºQ	Máx.
% de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca-de-lobo	7101	0,23	0,31	0,00	0,00	0,06	0,41	1,00
% de domicílios particulares permanentes com meio-fio/guia	7101	0,82	0,31	0,00	0,80	0,99	1,00	1,00

DP: desvio padrão; Mín: mínimo; Máx.: máximo.

Tabela 16 – Correlações entre os indicadores de análise fatorial e a presença de bueiro/boca-de-lobo e meio-fio/guia

-	Bueiro/ boca-de-lobo	Meio-fio/guia	Frag. ambiental (AF)	Qual. infraest. (AF)	Qual. social (AF)
Bueiro/boca-de-lobo	1,00	0,37	-0,18	0,46	0,44
Meio-fio/guia	0,37	1,00	-0,42	0,50	0,44

Frag. ambiental: fragilidade ambiental; Qual. infraest.: qualidade infraestrutural; Qual. social: qualidade social; AF: análise fatorial.

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados nesta pesquisa mostraram que o método de análise fatorial exploratória é adequado para a criação de um indicador socioambiental. Possibilitaram a compreensão de que as condições ambientais podem ser analisadas como fragilidades, já que apresentaram peso negativo. Por outro lado, os indicadores social e de infraestrutura obtiveram pesos de 0,35 e 0,40, respectivamente. Isso mostra que quanto maior, melhor, por isso foram identificados como indicadores de qualidade geral.

Para verificar se o sistema de drenagem se relaciona com as características ambientais, sociais e de infraestrutura dos setores censitários, foram realizadas correlações entre os indicadores desenvolvidos e a proporção de domicílios particulares permanentes com bueiro/boca-de-lobo e a proporção de domicílios particulares permanentes com meio-fio/guia. Conclui-se que setores com melhores sistemas de drenagem (maiores proporções de domicílios com bueiro/boca-de-lobo e meio-fio/guia) tendem a apresentar maiores indicadores de qualidade social e infraestrutural e menores valores de fragilidade ambiental. Destaca-se ainda que as variáveis do sistema de drenagem apresentaram correlação positiva de 0,37 e todas as correlações foram significativas.

De modo geral, a construção e a validação desse indicador contribuíram para a compreensão da relação existente en-

tre os aspectos socioambientais e o sistema de drenagem urbana. Demonstraram que aspectos básicos relacionados ao manejo de águas pluviais precisam ser melhorados, já que, em média, apenas 23% dos domicílios particulares permanentes possuem boca-de-lobo, cujos dados de eficiência, cabe ressaltar, ainda não estão disponíveis.

Ocorreram limitações para a operacionalização empírica da categoria vulnerabilidade socioambiental, que se devem ao fato de que a informação utilizada para medi-la está agregada por setor censitário. Essa agregação impede que a análise da vulnerabilidade seja feita na escala das famílias e dos domicílios. É necessário enfatizar que não foi medida a vulnerabilidade do território, mas sim a da população residente naquele território.

O método de construção de indicadores proposto pode ser aplicado por meio de censos atuais e antigos, além de fazer uso de diferentes escalas de análise. Para aplicação em outras regiões, sugere-se a inclusão ou substituição de indicadores de acordo com a realidade da região a ser analisada.

Para trabalhos futuros, recomenda-se apresentar por meio de mapas os indicadores obtidos, de forma a visualizar como estes se distribuem entre os setores censitários, auxiliando consequentemente na identificação de zonas críticas.

REFERÊNCIAS

ALVES, H. P. F. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais, *Revista Brasileira de Estudos de População*, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-30982006000100004>

ARRUDA, G. *A natureza dos rios: história, memória e territórios*. Curitiba: Editora UFPR, 2008.

BENZERRA, A.; CHERRARED, M.; CHOCAT, B.; CHERQUI, F.; ZEKIOUK, T. Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria. *Journal of Environmental Management*, v. 101, p. 46-53, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.01.027>

BERGGREN, K. Indicators for urban drainage system-assessment of climate change impacts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN DRAINAGE, Edimburgo, 2008. *Anais [...]*. 2008.

BOSCO, R. B.; CARDOSO, A. O.; YOUNG, A. F. Aplicação de análise multivariada para a construção de indicadores ambientais na relação entre precipitação e deslizamentos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 52, p. 44-61, jun. 2019. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820190471>

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. *Urban Drainage*. 3. ed. \New York: Spon Press, 2011.

- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação Climática de Koppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. *ACTA Geográfica*, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 40-55, jan./mar. 2014. <http://dx.doi.org/10.5654/acta.v8i16.1384>
- CASTRO, L. M. A.; BAPTISTA, M. B.; CORDEIRO NETTO, O. M. Análise Multicritério para a Avaliação de Sistemas de Drenagem Urbana Proposição de Indicadores e de Sistemática de Estudo. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 9, n. 4, 2004. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v9n4.p5-19>
- CHIN, W. W. The partial least squares approach to structural equation modeling. In: MARCOULIDES, G. A. (org.). *Methodology for business and management: modern methods for business research*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1998. p. 295-336.
- CRONBACH, L. J. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, v. 16, p. 297-334, 1951. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- CUTTER, S. L. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, v. 20, n. 4, p. 529-539, 1996. <https://doi.org/10.1177%2F030913259602000407>
- EFRON, B.; TIBSHIRANI, R. J. *Introduction to the Bootstrap*. Boca Raton, Londres, Nova York, Washington, D.C.: Chapman & Hall, 1993.
- EL HAWARY, A.; SHABAN, M. Improving drainage water quality: Constructed wetlands-performance assessment using multivariate and cost analysis. *Water Science*, v. 32, n. 2, p. 301-317, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wsj.2018.07.001>
- FIGUEIREDO FILHO, D. B.; PARANHOS, R.; ROCHA, E. C.; SILVA JÚNIOR, J. A.; MAIA, R. G. Análise de componentes principais para construção de indicadores sociais. *Revista Brasileira de Biometria*, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 61-78, 2013.
- FORNELL, C., & LARCKER, D. F. Evaluating Structural Equation Models with Unobservable Variables and Measurement Error. *Journal of Marketing Research*, v. 18, n. 1, p. 39-50, 1981. <https://doi.org/10.2307/3151312>
- GALL, M. *Indices of Social Vulnerability to Natural Hazards: A Comparative Evaluation*. Los Angeles: University of South California, 2007.
- GANDARA, G. S. Rios: território das águas às margens das cidades: o caso dos rios de Uruaçu-GO. *Revista Franco-Brasileira de Geografia*, n. 31, 2017. <https://doi.org/10.4000/confins.12066>
- GUIMARÃES, R. M.; MAZOTO, M. L.; MARTINS, R. N.; CARMO, C. N.; ASMUS, C. I. F. Construção e validação de um índice de vulnerabilidade socioambiental para a vigilância e gestão de desastres naturais no Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 10, p. 4157-4165, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.08282014>
- HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. *Análise Multivariada de Dados*. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HENSELER, J.; RINGLE, C. M.; SINKOVICS, R. R. The use of partial least squares path modeling in international marketing. *Advances in International Marketing*, v. 20, p. 277-319, 2009. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014)
- HORN, J. L. A rationale for the number of factors in factor analysis. *Psychometrika*, v. 30, p. 179-185, 1965. <https://doi.org/10.1007/BF02289447>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Base de informações do censo demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário*. Rio de Janeiro, 2011.
- KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, p. 187-200, 1958. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

- KEMERICH, P. D. da C.; MARTINS, S. R.; KOBAYAMA, M.; BURIOL, G. A.; BORBA, W. F.; RITTER, L. G. Avaliação da Sustentabilidade Ambiental em bacias hidrográficas mediante a aplicação do modelo P-E-R. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 10, n. 10, 2013. <http://dx.doi.org/10.5902/223611707658>
- KOLSKY, P.; BUTLER, D. Performance indicators for urban storm drainage in developing countries. *Urban Water*, v. 4, n. 2, p. 137-144, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(02\)00011-0](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(02)00011-0)
- LEE, M.; KIM, M.; KIM, Y.; HAN, M. Consideration of rainwater quality parameters for drinking purposes: A case study in rural Vietnam. *Journal of Environmental Management*, v. 200, p. 400-406, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.072>
- LICCO, E. A. Vulnerabilidade social e desastres naturais: uma análise preliminar sobre Petrópolis, Rio de Janeiro. *Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*, v. 8, n. 1, p. 25-41, 2013.
- MACHADO, A. S.; PAULA, H. J. M.; RODRIGUES, H. S. M. C.; FARIA, K. M. S. Avaliação dos efeitos da impermeabilização do solo urbano na alta bacia do Córrego Cascavel – Goiânia/GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18., 2017. *Anais [...]*. Instituto de Geociências, 2017.
- MALTA, F. S.; COSTA, E. M.; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 12, p. 3933-3944, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-812320172212.25032017>
- MINGOTI, S. A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.
- MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. *Sustainable Development*, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.
- NAGAR, A. L.; BASU, S. R. Weighting socio-economic indicator of human development: a latent variable approach. In: ULLAH, A.; WAN, A. T. K.; CHATURVEDI, A. (orgs.). *Handbook of Applied Econometrics and Statistical Inference*. New York: Marcel Dekker, 2002.
- NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, n. 4, p. 331-336, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522011000400003>
- NUNNALLY, J.; BERNSTEIN, I. *Psychometric Theory*. Nova York: McGraw-Hill, 1994.
- OJIMA, R.; MANDAROLA JÚNIOR, E. Indicadores e políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas: vulnerabilidade, população e urbanização. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 18, dez. 2010.
- REIS, E. *Estatística multivariada aplicada*. 2. ed. Lisboa: Silabo, 2001.
- SHIELDS, D.; SOLAR, S. V.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. *Ecological Indicator*, v. 2, n. 1, p. 149-160, 2002. [https://doi.org/10.1016/S1470-160X\(02\)00042-0](https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00042-0)
- SOUZA, V. C. B. Gestão da drenagem urbana no Brasil: Desafios para a sustentabilidade. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologia*, v. 1, n. 1, p. 57-72, 2013. <http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i1.7105>
- TENENHAUS, M.; VINZI, V. E.; CHATELIN, Y. M.; LAURO, C. PLS path modeling. *Computational Statistics and Data Analysis*, v. 48, n. 1, p. 159-205, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.csda.2004.03.005>
- VALENTINI, F.; DAMÁSIO, B. F. Variância Média Extraída e Confiabilidade Composta: Indicadores de Precisão. *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, v. 32, n. 2, p. 1-7, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-3772e322225>

Apêndice 1 – Apresentação das variáveis ambientais, variáveis de infraestrutura e variáveis sociais

Código	Descrição da variável
Apresentação das variáveis ambientais	
V24	% de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V25	% de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da chuva armazenada em cisterna em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V26	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de abastecimento de água em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V29	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V30	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V31	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V32	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V33	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V42	% de domicílios particulares permanentes com lixo queimado na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V43	% de domicílios particulares permanentes com lixo enterrado na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V44	% de domicílios particulares permanentes com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V45	% de domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V46	% de domicílios particulares permanentes com outro destino do lixo em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V50	% de domicílios particulares permanentes sem energia elétrica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V59	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V60	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e abastecimento de água de chuva armazenada em cisterna em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V61	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e outra forma de abastecimento de água em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

Continua...

Apêndice 1 – Continuação

Código	Descrição da variável
V64	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa séptica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V65	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V66	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V67	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V68	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V69	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitário em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V71	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e abastecimento de água da rede geral em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V72	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e abastecimento de água de poço ou nascente na propriedade em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V73	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e abastecimento de água de chuva armazenada em cisterna em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V74	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e outra forma de abastecimento de água em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V75	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e banheiro ou sanitário em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V76	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V77	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitários e esgotamento sanitário via fossa séptica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V78	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via fossa rudimentar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V79	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via vala em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

Continua...

Apêndice 1 – Continuação

Código	Descrição da variável
V80	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V81	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via outro escoadouro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V82	% de domicílios particulares permanentes com outra forma de destino do lixo e sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitários em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
Apresentação das variáveis de infraestrutura	
V23	% de domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V28	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitários e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V39	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V40	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado por serviço de limpeza em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V41	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado em caçamba de serviço de limpeza em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V47	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V48	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V49	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de outras fontes em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V51	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição e com medidor de uso exclusivo em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V52	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição e com medidor comum a mais de um domicílio em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V53	% de domicílios particulares permanentes com energia elétrica de companhia de distribuição e sem medidor em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V58	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e abastecimento de água da rede geral em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V62	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes

Continua...

Apêndice 1 – Continuação

Código	Descrição da variável
V63	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado, banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V70	% de domicílios particulares permanentes com lixo coletado e banheiro em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
Apresentação das variáveis sociais	
V3	Média do número de moradores em domicílios particulares permanentes
V9	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento)
V10	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com e sem rendimento)
V11	Valor do rendimento nominal médio mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
V12	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas de 10 anos ou mais de idade (com rendimento)
V17	% de domicílios particulares permanentes próprios e quitados em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V18	% de domicílios particulares permanentes próprios em aquisição em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V19	% de domicílios particulares permanentes alugados em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V20	% de domicílios particulares permanentes cedidos por empregador em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V21	% de domicílios particulares permanentes cedidos de outra forma em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V22	% de domicílios particulares permanentes em outra condição de ocupação (não são próprios, alugados e nem cedidos) em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V27	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitários em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V34	% de domicílios particulares permanentes sem banheiro de uso exclusivo dos moradores e nem sanitários em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V35	% de domicílios particulares permanentes com banheiro de uso exclusivo dos moradores em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V38	% de domicílios particulares permanentes sem banheiro de uso exclusivo dos moradores em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V84	% de domicílios particulares permanentes com 5 moradores ou mais em relação à quantidade de domicílios particulares permanentes
V128	% de domicílios particulares sem rendimento nominal mensal domiciliar per capita em relação à quantidade de domicílios particulares

Continua...

Apêndice 1 – Continuação

Código	Descrição da variável
V129	% de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de até 1 salário mínimo em relação à quantidade de domicílios particulares
V130	% de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita entre 1 e 5 salários mínimos em relação à quantidade de domicílios particulares
V131	% de domicílios particulares com rendimento nominal mensal domiciliar per capita de mais de 5 salários mínimos em relação à quantidade de domicílios particulares
V132	% de pessoas alfabetizadas com no máximo 34 anos de idade
V133	% de pessoas alfabetizadas com idade entre 35 e 49 anos de idade
V134	% de pessoas alfabetizadas com no mínimo 50 anos
V140	% de pessoas de até 10 anos de idade que tinham registro de nascimento
V141	% de pessoas de até 10 anos de idade que não tinham registro de nascimento
V142	% de pessoas de até 10 anos de idade que não sabiam se tinham registro de nascimento (inclusive sem declaração)
V143	% de pessoas de até 18 anos
V146	% de pessoas de no mínimo 50 anos
V147	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade sem rendimento nominal mensal
V148	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de até 1 salário mínimo
V149	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal entre 1 e 5 salários mínimos
V150	% de pessoas de 10 anos ou mais de idade com rendimento nominal mensal de no mínimo 5 salários mínimos
V151	% de pessoas responsáveis que são alfabetizadas

