

## ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL NO VETOR NORTE DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

**Sara Gonçalves Barbosa**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Laboratório de Geoprocessamento e Covid,  
Belo Horizonte, MG, Brasil  
[sarabarbosa88@gmail.com](mailto:sarabarbosa88@gmail.com)

**Erika Esteves Lasmar**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Belo Horizonte, MG, Brasil  
[erikalasmar@hotmail.com](mailto:erikalasmar@hotmail.com)

**Gabriela Freitas Avelino**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, Brasil  
[gavelino@gmail.com](mailto:gavelino@gmail.com)

**Ursula Ruchkys de Azevedo**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Laboratório de Geoprocessamento e Covid,  
Belo Horizonte, MG, Brasil  
[tularuchkys@yahoo.com.br](mailto:tularuchkys@yahoo.com.br)

**Danilo Cirino Muniz do Nascimento**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Laboratório de Geoprocessamento e Covid,  
Belo Horizonte, MG, Brasil  
[daniolcmn@yahoo.com.br](mailto:daniolcmn@yahoo.com.br)

**Camila Palhares Teixeira**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Belo Horizonte, MG, Brasil  
[camila.teixeira@uemg.br](mailto:camila.teixeira@uemg.br)

**Vagner Braga Nunes Coelho**

Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, Laboratório de Geoprocessamento e Covid,  
Belo Horizonte, MG, Brasil  
[vagnercoelho@hotmail.com](mailto:vagnercoelho@hotmail.com)

### RESUMO

A partir de 1960, a justiça ambiental passou a integrar as demandas de grupos vulnerabilizados, aderindo ao apoio de instituições locais e globais, incluindo a ONU nas últimas décadas. A participação de diferentes atores sociais contribuiu para ampliar as discussões sobre justiça ambiental, especialmente, ao abordar a vulnerabilidade das populações expostas a condições socioambientais adversas. Este estudo propõe a criação de um Índice de Vulnerabilidade Ambiental aplicado ao Votor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. O objetivo é identificar disparidades socioambientais e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Foram analisados o acesso a serviços básicos, qualidade da educação, condições de saúde e indicadores ambientais. A metodologia combinou o Processo de Hierarquia Analítica (AHP) com álgebra de mapas. Os resultados indicam que municípios com menor cobertura de serviços básicos, como Capim Branco e Santa Luzia, apresentam altos índices de vulnerabilidade ambiental, enquanto Belo Horizonte e São José da Lapa foram os menos vulneráveis. Os ODS, ao se alinharem às especificidades regionais, favorece a tomada de decisões por gestores públicos, visando à justiça ambiental. Para tanto, é fundamental a redução das desigualdades sociais, acesso universal a serviços básicos e à educação, além de uma governança dialógica e participativa.

**Palavras-chave:** Justiça ambiental. Processo de análise hierárquica. Análise multicritério. Objetivos do desenvolvimento sustentável.

## ENVIRONMENTAL VULNERABILITY INDEX IN THE NORTHERN VECTOR OF THE METROPOLITAN REGION OF BELO HORIZONTE, MINAS GERAIS

### ABSTRACT

Since the 1960s, environmental justice has become a central concern for vulnerable groups, supported by local and international institutions, including the United Nations. The involvement of diverse social actors has broadened discussions on environmental justice, particularly regarding the vulnerability of populations exposed to adverse socio-environmental conditions. This study introduces an Environmental Vulnerability Index designed for the Northern Vector of the Belo Horizonte Metropolitan Region. The primary objective was to identify socio-environmental disparities and their alignment with the Sustainable Development Goals (SDGs). Factors such as access to essential services, education quality, health conditions, and environmental indicators were evaluated. The methodology integrated the Analytical Hierarchy Process (AHP) with map algebra techniques. Results revealed that municipalities with lower access to essential services, such as Capim Branco and Santa Luzia, exhibit high levels of environmental vulnerability. In contrast, Belo Horizonte and São José da Lapa were the least vulnerable. By aligning with regional specificities, the SDGs provided a framework for public administrators to make informed decisions, advancing environmental justice. Achieving this goal requires reducing social inequalities, ensuring universal access to fundamental services and education, and fostering participatory and dialogic governance.

**Keywords:** Environmental justice. Analytical Hierarchy Process (AHP). Multicriteria analysis. Sustainable Development Goals (SDGs).

### INTRODUÇÃO

O conceito de justiça ambiental tem origem nos movimentos sociais norte-americanos que, a partir da década de 1960, passaram a pleitear não apenas os direitos civis, mas também a se insurgir contra a exposição a resíduos tóxicos, provenientes das indústrias, especialmente em áreas com maior concentração de populações vulneráveis (Rammé, 2012). Nesse período, emergiram preocupações no campo científico e político, endossando as pautas levantadas por ecologistas (Cunico; Oka-Fiori, 2014). Desde então, essas lutas expandiram-se, para além dos Estados Unidos, resultando na adoção de diferentes métodos de análise e na criação de índices para sua avaliação (Acselrad, 2010).

A relação entre justiça ambiental e os Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) é essencial para compreender e enfrentar as desigualdades sociais e ambientais. Este estudo busca alinhar os princípios de equidade às metas da Agenda 2030, contribuindo para a formulação de políticas públicas mais inclusivas e fundamentadas. A espacialização das vulnerabilidades e os índices apresentados permitem identificar desigualdades regionais, ao mesmo tempo em que oferecem subsídios, para a promoção de metas globais, como a erradicação da pobreza (ODS 1), o acesso universal à água e saneamento, garantia de saúde e bem-estar às populações (ODS 3), bem como o acesso à educação de qualidade (ODS 4), (ODS 6) e à redução das desigualdades (ODS 10) e manutenção das cidades para que sua estrutura ofereça oportunidades de acesso aos serviços básicos (ODS 11).

A justiça ambiental deve considerar as premissas que garantam a equidade, evitando que qualquer comunidade seja prejudicada por impactos ambientais decorrentes de operações econômicas ou políticas (Herculano, 2002). Para se obter uma visão assertiva da justiça ambiental, é crucial examinar a distribuição espacial da população em grupos ambientais. Para fins de definição, grupos ambientais são agrupamentos populacionais caracterizados pela sobreposição de vulnerabilidades sociais e ambientais. A composição desses grupos inclui populações discriminadas, em vulnerabilidade social e ambiental. Desse modo, estas populações ou comunidades, além de sofrerem de alto grau de privação, ainda habitam áreas de risco ou degradação ambiental. Esses grupos são ainda mais expostos a riscos ambientais (Cartier, *et al.*, 2009).

Nesse sentido, uma das formas de avaliar a vulnerabilidade ambiental consiste em verificar se os grupos sociais domiciliados, em condição de vulnerabilidade social, estão expostos em maior grau aos problemas ambientais quando comparados às populações não vulneráveis (Martines *et al.*, 2018). Para tanto, são considerados fatores demográficos, visto que permitem uma avaliação em diferentes escalas espaciais. Isso resulta em um conjunto de dados cujo processamento viabiliza informações abrangentes sobre análise geográfica e aspectos socioeconômicos (Goerl; Kobiyama; Pellerin, 2012). Esse enfoque pode conduzir a uma classificação do direito à equidade ambiental, permitindo, assim, compreender o contexto socioeconômico, a que uma população está submetida, bem como sua condição ambiental e espacialização (Cunico; Oka-Fiori, 2014).

A emerge, por meio da segregação residencial, pobreza e do acesso restrito a informações, entre outros fatores, caracterizando-se por situações em que os efeitos resultantes da ocupação e uso do solo são distribuídos de maneira assimétrica no espaço social (De Souza, *et al.* 2019).

Já a desigualdade ambiental refere-se à exposição diferenciada de determinadas populações e comunidades aos benefícios e aos riscos ambientais (Martines; Morato; Kawakubo, 2022), resultando, por exemplo, em uma distribuição desigual dos recursos ambientais, como qualidade do ar, acesso a áreas verdes e água limpa. Embora os termos desigualdade e justiça ambiental abordem temas semelhantes, o conceito desse último é mais abrangente, pois não se limita apenas a identificar os resultados das desigualdades ambientais (Harvey, 1993), mas também a reconhecê-las como injustas (Bullard, 1993).

A avaliação da qualidade de vida de uma população demanda uma abordagem integrada que conte com aspectos objetivos e subjetivos, permitindo uma análise holística desse fenômeno. Os aspectos objetivos podem ser exemplificados por indicadores, como renda, emprego, padrões de alimentação, gestão de recursos hídricos, saneamento e manejo de resíduos. Por sua vez, os aspectos subjetivos refletem a percepção da população sobre os fatores materiais que sustentam a qualidade de vida (Santos; Martins; Brito, 2011). A justiça ambiental abrange a busca por equidade e a eliminação das disparidades ambientais, visando garantir que todas as pessoas tenham igualdade de acesso e desfrutem dos benefícios e recursos ambientais de forma justa e equitativa. Por outro lado, a injustiça ambiental configura-se como um mecanismo pelo qual sociedades desiguais impõem uma carga desproporcional dos danos ambientais, resultantes do desenvolvimento sobre as populações de baixa renda, os grupos raciais discriminados e as pessoas marginalizadas e mais vulneráveis (Herculano, 2002). Trata-se, dessa forma, da desigualdade socioespacial ou distribuição assimétrica do ônus causado pelos danos ambientais. Esse padrão de distribuição injusta perpetua a disparidade ambiental, negando o direito igualitário a um ambiente saudável e impondo um peso desproporcional sobre aqueles que já estão em situação de desvantagem (De Souza, *et al.*, 2019). A vulnerabilidade ambiental, por sua vez, pode se configurar um indício de injustiça ambiental. Após a Conferência da Organização das Nações Unidas (ONU) sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em 1972, na Suécia, a discussão sobre justiça ambiental assumiu proporções globais, culminando na introdução do termo “desenvolvimento sustentável”. Nesse contexto, o desenvolvimento econômico foi vinculado à responsabilidade de proteger o meio ambiente e estabelecer uma conexão entre a sustentabilidade com o bem-estar social (Nahas, 2002). A partir do embate entre progresso econômico e bem-estar social, emergiu o conceito de qualidade de vida, influenciado por questões ambientais, desempenhando um papel importante na compreensão da justiça ambiental (Nahas, 2015). Simultaneamente, uma crescente preocupação com a qualidade ambiental surgiu. O modelo de desenvolvimento econômico foi questionado por sua incapacidade de gerar bem-estar social e potencializar a degradação ambiental com avanços tecnológicos e urbanização desordenada. Esse cenário impulsionou o agravamento das desigualdades sociais (Nahas, 2002).

Nos EUA, a percepção de uma distribuição desigual de resíduos químicos e militares entre populações de baixa renda e minorias étnicas desencadeou as reivindicações que originaram o conceito de racismo ambiental. Porém cabe ressaltar que, no Brasil, existem leis específicas para a coleta e destinação adequada de resíduos, definida pela Política Nacional de Resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Esse fenômeno representa uma manifestação do racismo institucional, sendo fortalecido pelas políticas públicas do Estado que, quando não garantem serviços básicos e fundamentais às populações vulnerabilizadas, contribuem para sua perpetuação (Folador, 2020). A distribuição espacial de

depósitos de resíduos químicos perigosos nos EUA, em meados de 1960, não ocorria aleatoriamente, mas seguia a segregação territorial das comunidades de baixa renda (Martines; Morato; Kawakubo, 2022). Essas áreas habitadas por populações vulneráveis foram denominadas de "zonas de sacrifício" (Lerner, 2010), como os exemplos das mulheres quilombolas (Rodin 2021), as populações que habitam o cerrado brasileiro (Rigotto, Santos e Costa; 2022; Pereira et al., 2024), bem como aquelas que vivem em zonas de sacrifício rurais (Heaberlin e Shattuck, 2023). Atualmente, a reivindicação por justiça ambiental está cada vez mais incorporada à avaliação de tomada de decisões governamentais e ao desenvolvimento e implementação de políticas públicas (Nahas, 2002; 2015). A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos define como justiça ambiental um conjunto de princípios em que nenhum grupo étnico, racial ou de classe suporte uma parcela desproporcional das consequências ambientais negativas, decorrentes de atividades econômicas, políticas e programas governamentais, bem como da ausência ou omissão dessas políticas (Martines; Morato; Kawakubo, 2022).

Já no Brasil, essa discussão se inicia com a sistematização do tema, publicada como "Sindicalismo e justiça ambiental" (Ibase, 2000), seguida pela criação da Rede Brasileira de justiça ambiental em 2001 (Martines; Morato; Kawakubo, 2022). Organizações sociais, como o Movimento de Atingidos por Barragens (MAB) e o Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem-Terra (MST), lutam pela justiça ambiental em resposta à estigmatização e discriminação enfrentadas por comunidades vulneráveis, como moradores de favelas dos grandes centros urbanos. Assim, a relação entre vulnerabilidade social e injustiça ambiental torna-se um desafio para o desenvolvimento sustentável, uma vez que a degradação ambiental humana e a natural ocorrem de forma inseparável. Esse problema é agravado pelo sistema econômico que explora recursos de maneira ilimitada, perpetuando desigualdades sociais e implicando em insustentabilidade.

O Manifesto de Lançamento da Rede Brasileira de Justiça Ambiental enfatiza a importância de impedir que grupos sociais suportem desproporcionalmente as consequências ambientais e defende o acesso justo e equitativo aos recursos ambientais, assim como o amplo acesso às informações relevantes sobre seu uso. Além disso, esse documento destaca a necessidade de processos democráticos e participativos na formulação de políticas públicas. Ao incentivar o protagonismo da sociedade civil na construção de modelos alternativos de desenvolvimento, o manifesto democratiza o acesso ao uso e sustentabilidade dos recursos naturais (Martines; Morato; Kawakubo, 2022).

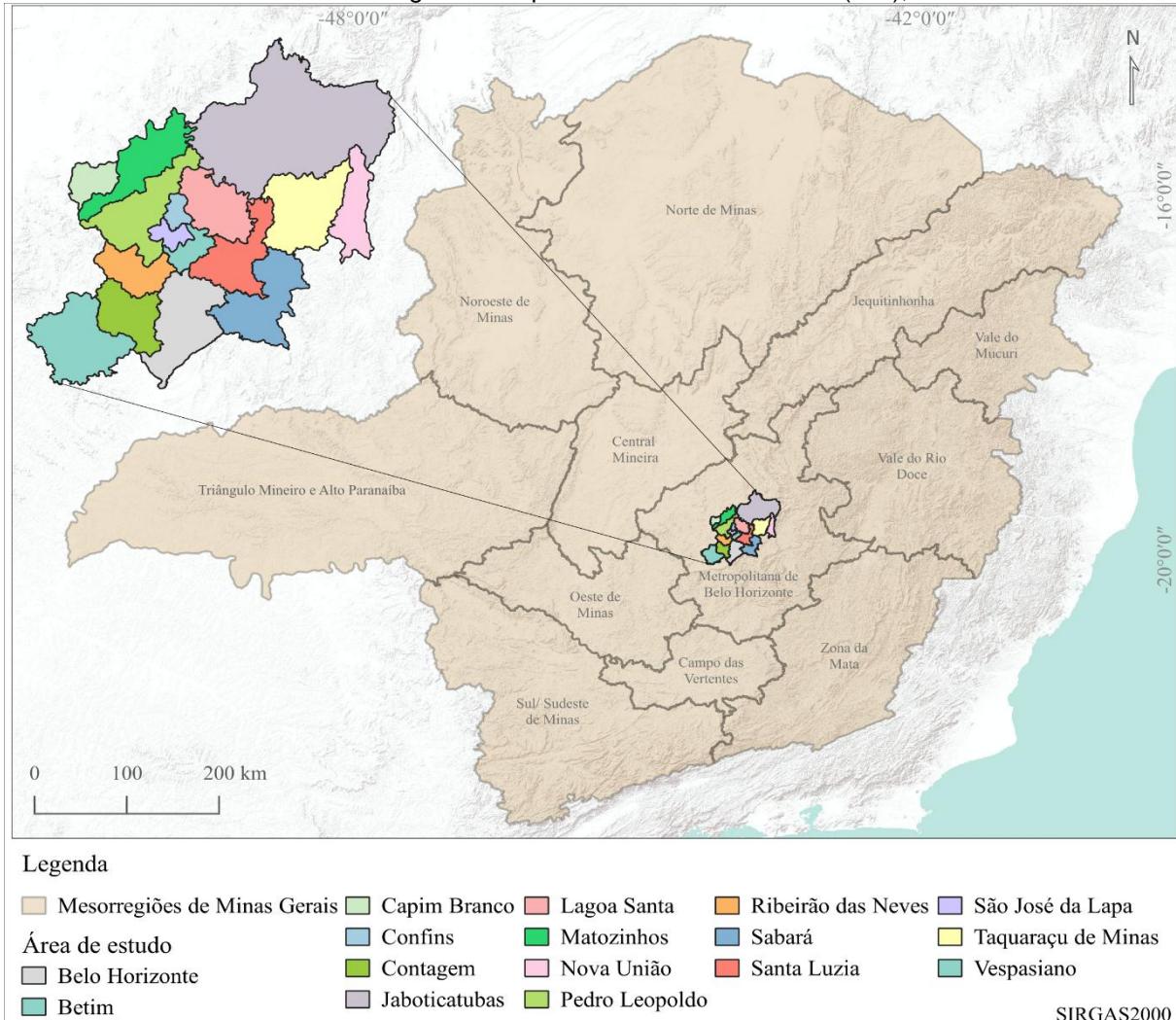
Embora o conceito de justiça ambiental tenha raízes na luta pelos direitos civis estadunidenses no século XX, sendo influenciado pelos movimentos sociais, observa-se também no Brasil. Alguns objetivos, para o desenvolvimento sustentável (ODS), destacam-se por estar alinhados com as reivindicações por justiça ambiental. A título de exemplo, a Agenda 2030 proposta pela ONU aos países signatários estabelece 17 metas para a erradicação da pobreza, planejamento urbano inclusivo, acesso aos bens e serviços, além da redução dos danos ambientais sobre populações vulneráveis e empobrecidas (ONU, 2016).

Com este trabalho, propomos apresentar a formulação de um índice de vulnerabilidade ambiental com base na análise multicritério e avaliar a sua distribuição espacial no Votor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), em Minas Gerais. Para isso, o trabalho tem como principal objetivo investigar as variáveis de vulnerabilidade ambiental nos municípios componentes da área de estudo, a fim de se evidenciar a problemática da organização sócio-territorial que desconsidera os aspectos climáticos e ambientais, que, consequentemente, podem contribuir para o aumento da injustiça ambiental.

### Área de estudo

A pesquisa se concentra na região conhecida como Votor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), situada no Estado de Minas Gerais, Brasil. O Votor Norte abrange os municípios de Belo Horizonte, Betim, Capim Branco, Confins, Contagem, Jaboticatubas, Lagoa Santa, Matozinhos, Nova União, Pedro Leopoldo, Ribeirão das Neves, Sabará, Santa Luzia, São José da Lapa, Taquaraçu de Minas, Vespasiano. Além desses, integram o Votor Norte bairros localizados das regionais Venda Nova e Norte de Belo Horizonte.

Figura 1 - Mesorregiões de Minas Gerais, com destaque para os municípios componentes do Vetor Norte da Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte (MG), 2022



Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: Os autores, 2023.

Mapa das Mesorregiões, com destaque para o Vetor Norte, inserido na região Metropolitana de Belo Horizonte, MG. No Vetor Norte de Belo Horizonte, uma série de obras marcantes merece destaque, entre elas a expansão do Aeroporto Internacional Tancredo Neves em Confins (Avelar; Simão, 2019), a criação do Aeroporto-Indústria, a implementação da Linha Verde e a construção da Cidade Administrativa de Minas Gerais (Sampaio, 2014).

Antes dessas intervenções, o Vetor Norte era predominantemente composto por cidades-dormitórios, caracterizadas pela presença de loteamentos populares e pela prática de autoconstrução de habitações, evidenciando a influência de grupos sociais marginalizados na ocupação do espaço. Essa dinâmica desencadeou uma série de desafios, abrangendo questões sociais, urbanísticas, ambientais e econômicas (Avelar; Simão, 2019).

A iniciativa privada uniu-se aos esforços estatais no Vetor Norte, introduzindo uma gama de produtos imobiliários anteriormente inexistentes ou escassos na região. Além disso, a reestruturação do comércio local e regional ficou evidente com a chegada de grandes redes de lojas, hipermercados e

shoppings centers, como o Shopping Estação BH, contribuindo para o aumento da densidade urbana nessa localidade (Cruz, 2013).

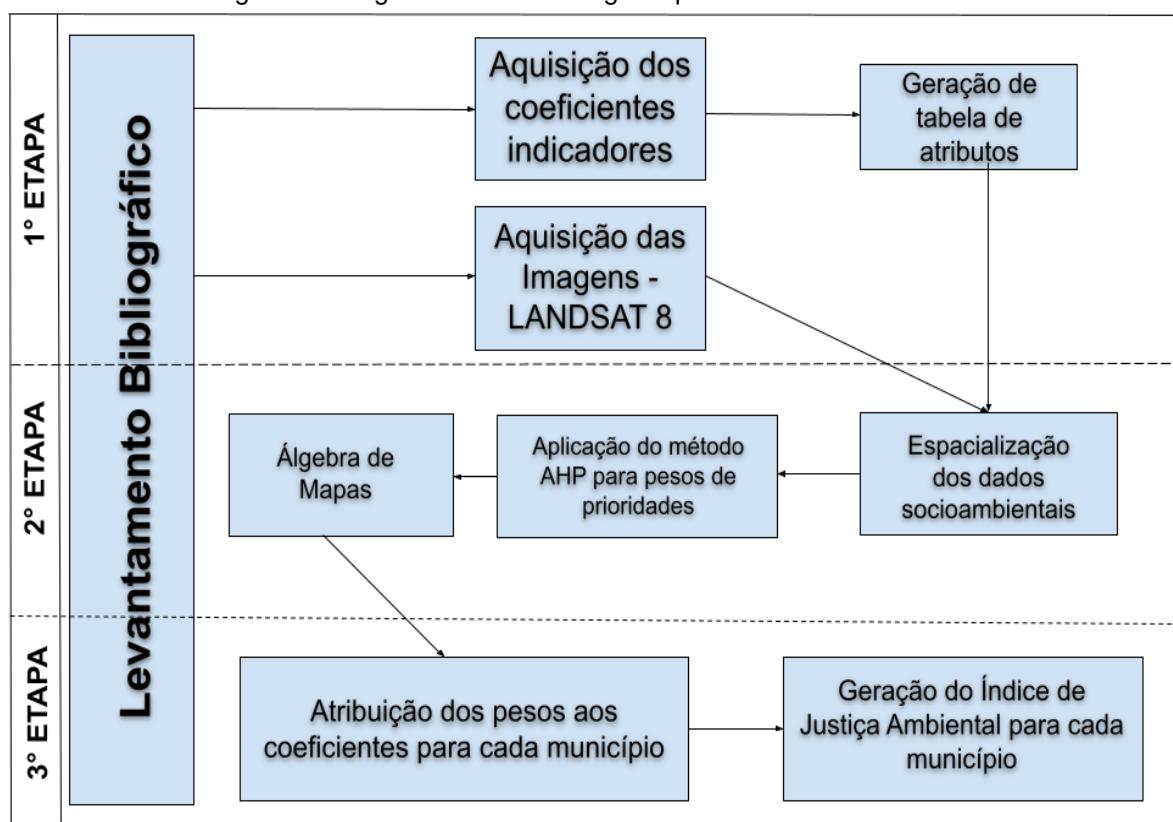
A expansão acarretou um processo de periferização e segregação que remonta ao período anterior à transferência da sede administrativa do Estado de Minas Gerais para a região. A segregação socioespacial encontra suas raízes em diversos fatores, destacando-se o intenso parcelamento e ocupação irregular do solo, resultando em uma urbanização incompleta. A ocupação social foi majoritariamente composta por população com significativas carências financeiras. No contexto atual, o Vetor Norte exerce uma influência preponderante na RMBH, emergindo, no início dos anos 2000, como a área mais densamente povoada (Costa, 2007).

Até o momento, observa-se uma governança fortemente orientada pelos aspectos econômicos, em detrimento das dimensões culturais, sociais e ambientais. Dadas as características socioespaciais distintivas, o Vetor Norte de Belo Horizonte se apresenta como um cenário propício para a aplicação de métodos investigativos e prognósticos voltados à justiça ambiental.

## METODOLOGIA

Apresentamos o diagrama de atividades contendo as etapas metodológicas deste trabalho.

Figura 2 - Diagrama da metodologia implementada neste estudo



Fonte: Os autores, (2023).

Na primeira etapa, o levantamento bibliográfico foi utilizado para embasar a metodologia a ser adotada. Com base na bibliografia e nos dados disponibilizados, optou-se por aplicar o método proposto por Bétard e Peulvast (2019), denominado de Índice de Geodiversidade. Já as classes utilizadas foram

baseadas no trabalho proposto por Martines *et al.* (2018), a partir do qual foram definidos os coeficientes indicadores, para a análise da vulnerabilidade ambiental.

O uso dos municípios, como referência para o mapeamento da vulnerabilidade ambiental, busca considerar o espaço em áreas funcionais, levando em consideração suas características próprias e a realidade dos indicadores. Essa abordagem abrange variáveis socioeconômicas, como o índice de qualidade da educação para o quinto ano do Ensino Fundamental (coef. educ); Proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento básico inadequado (coef. inter); coeficiente de abastecimento de água (coef. água); coeficiente de coleta de esgoto (coef. Esgo); coeficiente de coleta de lixo (coef. lixo); beneficiários pobres ou extremamente pobres do Cadastro Único do Governo Federal (CadÚnico), o qual representa a vulnerabilidade social com as quais tais populações são caracterizadas (coef. vuln); percentual de beneficiários autodeclarados como não alfabetizados CadÚnico (coef. nalf). Diante da indisponibilidade dos dados censitários atualizados, optou-se pela consulta ao Índice Mineiro de Responsabilidade Social (IMRS), elaborado pela Fundação João Pinheiro - FJP - (2022). Os dados do município de Belo Horizonte foram incluídos nessa análise, visto que duas importantes regiões do município fazem parte do Votor Norte e os dados fornecidos pela FJP não estão disponíveis para bairros, somente para municípios.

Os indicadores adotados, para a análise da vulnerabilidade ambiental, em cada um dos municípios componentes do Votor Norte da RMBH, foram coeficiente de abastecimento de água, coeficiente de coleta de esgoto, coeficiente de coleta de lixo, beneficiários pobres ou extremamente pobres do CadÚnico, percentual de beneficiários pobres ou extremamente pobres autodeclarados não alfabetizados do CadÚnico, proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado, índice de qualidade da educação básica com base no 5º ano do ensino fundamental, temperatura e cobertura vegetal. Cabe ressaltar que, embora a metodologia proposta por Martines *et al.* (2018) tenha utilizado o número de crianças por município, aqui adaptamos o método e utilizamos a proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado. Esse dado pode revelar o nível de vulnerabilidade infantil quanto à má gestão dos recursos hídricos.

Cada variável utilizada no índice de vulnerabilidade ambiental foi selecionada e hierarquizada com base em sua conexão com as metas dos ODS. O coeficiente de abastecimento de água e o de coleta de esgoto, por exemplo, estão associados às metas 6.1 e 6.2 (ODS 6), que promovem o acesso universal e equitativo à água potável e saneamento adequado. O percentual de beneficiários do CadÚnico reflete a meta 1.2 (ODS 1), que busca reduzir significativamente a pobreza extrema (ONU, 2016). Essa análise permite estabelecer não apenas uma visão técnica, mas também um alinhamento estratégico com os desafios globais do desenvolvimento sustentável.

Os coeficientes de abastecimento de água, coleta de esgoto, tratamento de lixo, beneficiários pobres ou extremamente pobres do CadÚnico e o percentual de autodeclarados não alfabetizados, foram obtidos a partir do IMRS, para o ano de 2022, disponível no Portal da FJP. Já os dados referentes à proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado foram obtidos a partir de consulta ao DataSUS (BRASIL, 2023). Os dados referentes à qualidade da educação básica, para o 5º ano do ensino fundamental, foram obtidos a partir de SIMAVE (2023). Além disso, foram utilizadas as variáveis ambientais: densidade da vegetação, com base no Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI - (Seong *et al.*, 2020) e temperatura (temp.) da superfície terrestre (LANDSAT 8) (Schroeder *et al.*, 2016). O procedimento realizado foi a captura da imagem do satélite Landsat 8, capturados do site EarthExplorer (USGS, 2022).

Após a aquisição dos coeficientes para cada município e das imagens, o software ArcMap versão 10.3 (ESRI, 2014) foi utilizado para o processamento das imagens e espacialização dos indicadores para cada município. Com o processamento dessa imagem, foi possível calcular a temperatura da superfície da terra em graus celsius a partir das bandas 10 e 11 (Coelho; Correa, 2013). Com as bandas 4 e 5 da mesma imagem, calculou-se o NDVI (Seong *et al.*, 2020). Esse último permite caracterizar e quantificar parâmetros biofísicos em áreas vegetadas, pois consiste em um modelo resultante da combinação do nível de reflectância em imagens de satélites nas bandas do vermelho (RED - banda 4) e do infravermelho próximo denominado Near Infra Red (NIR - banda 5) (Silva, *et al.*, 2014). Posto isso, o

NDVI foi calculado pela diferença entre as bandas 4 e 5 com a ferramenta álgebra de mapas, cuja fórmula é demonstrada na equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

Após a seleção dos dados e variáveis, que representam a vulnerabilidade ambiental, os dados cartográficos foram reprojetados para o sistema de coordenadas geodésicas - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000. Para cada município, foi construída uma tabela de atributos relacionando os indicadores de vulnerabilidade ambiental. Em seguida, foi executada a contagem de ocorrência de cada classe considerando os municípios. A partir da relação numérica, as ocorrências foram agrupadas em faixas. O objetivo do agrupamento foi identificar os municípios com maior ou menor vulnerabilidade ambiental.

Com base na metodologia proposta por Saaty (2008), a partir da análise hierárquica para decisão, foram atribuídos pesos a cada um dos indicadores de vulnerabilidade Ambiental. A partir da aplicação do método AHP, foram definidos os pesos de prioridades, ou seja, quais indicadores exercem maior influência sobre a vulnerabilidade ambiental. Assim, foram atribuídos pesos a cada uma das classes componentes em cada um dos municípios.

Para a sobreposição dos mapas, utilizou-se uma abordagem de álgebra de mapas com atribuição ponderada para os indicadores selecionados. A alocação de pesos para esses indicadores foi realizada empregando o método Analytic Hierarchy Process (AHP), conforme proposto por Saaty (2008). O AHP é uma metodologia decisória e analítica que oferece suporte na resolução de problemas complexos por meio da organização hierárquica e da comparação sistemática de múltiplos critérios. Esse processo envolve a criação de uma estrutura hierárquica, a determinação de pesos e a realização de comparações par a par entre os elementos da hierarquia, culminando em uma avaliação fundamentada e abrangente (Saaty, 2008).

A avaliação quantitativa dos indicadores de vulnerabilidade ambiental nos municípios do Votorante baseou-se em métodos previamente empregados, para a geração de índice de biodiversidade, conforme trabalho de Bétard, Peulvast (2019). Esse procedimento foi adaptado e incluiu a contagem dos indicadores de vulnerabilidade ambiental para cada município. Dessa maneira, foram gerados mapas intermediários, cada um correspondendo a um dos coeficientes. Em seguida, os mapas resultantes foram sobrepostos por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Com o intuito de padronizar as variáveis, foi realizada a normalização dos índices. Essa abordagem se torna necessária, quando uma variável possui um valor muito baixo e outra variável um valor muito alto, evitando que as disparidades interfiram nos resultados. Dessa forma, como o número de informações em cada categoria eram de diferentes magnitudes, os dados foram normalizados de acordo com a Equação 2:

$$y_i = \frac{x_i - x_{\minimo}}{x_{\maximo} - x_{\minimo}} \quad (2)$$

Em que:

$y_i$  é o valor normalizado;

$x_i$  é o valor original da  $i$ -ésima variável;

$x_{\maximo}$  e  $x_{\minimo}$  são os valores mínimo e máximo de cada variável, respectivamente.

Após a normalização, os valores passaram a variar entre 0 e 1 (Patro; Sahu, 2015). O cálculo da vulnerabilidade ambiental foi baseado na álgebra de mapas (Tomlin, 1990) que associa valores numéricos a informações espaciais, possibilitando a realização de operações matemáticas. Foram usados os arquivos vetoriais contendo os valores dos indicadores de vulnerabilidade ambiental por município. Para fazer a sobreposição dos mapas, foi necessário converter os arquivos em formato vetorial para o formato matricial. Após a conversão de todos os arquivos vetoriais em matriciais, procedeu-se à reclassificação desses últimos com os dados normalizados.

Após a normalização dos valores, percebeu-se que a variação entre os índices finais era baixa. Diante disso, foi estabelecida uma divisão em cinco classes, de acordo com os indicadores de vulnerabilidade ambiental nos municípios. Essas classes foram concebidas para abranger desde avaliações muito baixa, baixa, média, alta e muito alta para a vulnerabilidade ambiental.

Com base na atribuição dos pesos, para cada uma das classes (indicadores) de vulnerabilidade ambiental, foi gerado um índice de vulnerabilidade ambiental para cada um dos municípios.

Foram atribuídos pesos positivos às variáveis beneficiários pobres ou extremamente pobres, autodeclarados analfabetos do CadÚnico e proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado. Essa opção foi feita, visto que a progressão dessas variáveis contribui positivamente para a vulnerabilidade ambiental. Com isso, foi atribuído peso negativo para as demais variáveis. Considerando o conforto térmico, a temperatura ideal foi definida como 22°C e verificamos a variação positiva ou negativa em torno deste valor.

Já para as variáveis qualidade da educação, abastecimento de água, coletas de esgoto e lixo, número de alfabetizados no CadÚnico, NDVI, foi atribuído peso negativo, visto que elas desempenham um papel que reduz a vulnerabilidade ambiental.

Posteriormente, foram definidos os valores de prioridade de pesos das variáveis, os quais foram multiplicados pelo valor do coeficiente em cada município. Desse modo, foi estabelecido um valor único atribuído como peso para cada coeficiente; este valor foi espacializado em cada um dos municípios Equação 3:

$$IJS = \frac{1}{(1-X)} \quad (3)$$

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (4)$$

Em que X representa o coeficiente calculado de justiça ambiental advindo do somatório dos valores multiplicados de cada um dos coeficientes pelo peso atribuído a esse coeficiente. Para cada município, é feita a soma dos resultados da multiplicação. Com isso, compõe-se o valor do Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA) para o município em análise. O resultado da expressão é um conjunto de valores variando de 0 a 1 que foram agrupadas em cinco classes distintas.

## RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os dados correspondem aos coeficientes de acesso aos bens de serviços básicos em cada um dos municípios componentes do Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Os coeficientes de abastecimento de água, tratamento de esgoto, coleta de lixo, bem como os dados de beneficiários pobres, extremamente pobres e autodeclarados não alfabetizados são apresentados em valor percentual. Esse percentual varia de 0 a 1, visto que os valores mais próximos de 0 são aqueles em que a cobertura dos serviços de saneamento básico é mais baixos. Já os municípios, que apresentam valores próximos de 1, são aqueles em que a cobertura da assistência ao acesso aos serviços básicos é maior. Isso vale para os índices de cobertura vegetal (NDVI). Já a temperatura é apresentada em valores brutos. Para fins deste trabalho, foi considerado o valor de 22°C como a temperatura ideal para garantia de conforto térmico e analisadas as variações em torno desse valor.

Tabela 1 - Municípios do Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG). Coeficientes sociais e ambientais

Municípios	Coef. Educ.	coef. Inter.	Coef. Água	Coef. Esg.	Coef. Lixo	Coef. vuln.	Coef. n.alf.	NDVI	Temp
------------	----------------	-----------------	---------------	---------------	---------------	----------------	-----------------	------	------

Capim Branco	0,480	0,480	0,970	0,144	0,985	0,1530	0,092	0,221	29,1394
Confins	0,470	0,000	0,980	0,692	1,000	0,1240	0,081	0,197	29,1134
Jaboticatubas	0,430	0,560	0,940	0,630	0,880	0,2000	0,128	0,212	28,5654
Lagoa Santa	0,520	0,260	0,940	0,492	0,981	0,1150	0,082	0,217	28,4893
Pedro Leopoldo	0,500	0,170	1,000	0,717	0,922	0,1170	0,081	0,227	28,1472
Ribeirão das Neves	0,420	0,190	0,840	0,694	1,000	0,1720	0,073	0,202	27,6513
Santa Luzia	0,470	0,210	0,800	0,677	0,690	0,2220	0,058	0,234	27,0001
São José da Lapa	0,470	0,220	0,980	0,947	1,000	0,2230	0,085	0,198	28,3919
Vespasiano	0,460	0,260	0,870	0,781	0,980	0,1640	0,084	0,177	29,6624
Belo Horizonte	0,500	0,310	0,950	0,942	0,960	0,0850	0,069	0,129	28,0274
Matozinhos	0,470	0,270	0,900	0,643	0,957	0,1960	0,081	0,214	29,6652
Betim	0,490	0,220	0,900	0,764	1,000	0,2040	0,074	0,201	27,6045
Contagem	0,480	0,240	0,880	0,819	1,000	0,1320	0,077	0,164	27,6106
Sabará	0,460	0,370	0,840	0,672	0,998	0,1550	0,080	0,253	25,0538
Nova União	0,530	0,680	1,000	1,000	1,000	0,2710	0,100	0,259	25,6815
Taquaraçu de Minas	0,520	0,000	1,000	0,466	0,957	0,3320	0,102	0,253	26,8873

Fonte: Fundação João Pinheiro (2022). IMRS. Organização: os autores (2023).

Os coeficientes expressos, na Tabela 1, demonstram os valores, em percentual, do acesso a serviços básicos, como abastecimento de água, coleta de esgoto e lixo, beneficiários pobres e extremamente pobres do Cadastro Único do Governo Federal, bem como o percentual de autodeclarados como não alfabetizados pelo mesmo cadastro. Além desses, foram incluídos os índices de qualidade da educação básica e a proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado. Esses coeficientes oferecem uma visão abrangente da porcentagem da população assistida pelos serviços públicos, tanto em saúde quanto em educação, saneamento básico e programas de redução da pobreza. Ressalte-se que os coeficientes variam entre 0 e 1, dado que quanto maior o valor do coeficiente, maior é a cobertura de acesso da população aos municípios analisados. Desse modo, valores próximos de zero representam os municípios que apresentam menor cobertura dos serviços públicos. É importante salientar que, nos casos em que os municípios alcançaram cobertura total, para quaisquer dos coeficientes, foi inserido o valor 1,0000 representando 100% de acesso da população a esses bens e serviços. Para aqueles municípios, em que os dados não foram declarados, foram

inseridos valores de 0,00, a fim de se reduzir o viés para aquele coeficiente para o município em questão.

A Tabela 2 apresenta os pesos de prioridades atribuídos a cada um dos coeficientes, em cada um dos municípios. Os pesos de prioridades foram utilizados, para elencar hierarquicamente, a partir da aplicação do método AHP, quais os coeficientes desempenham maior influência sobre a justiça ambiental. O resultado da multiplicação de cada peso de prioridade pelo coeficiente resultou no índice de justiça ambiental para cada um dos municípios.

Tabela 2 - Pesos de prioridade definidos para cada coeficiente social e ambiental

Variáveis socioambientais	Peso de prioridade
Coeficiente de abastecimento de água	0,312
Coeficiente de coleta de esgoto	0,222
Beneficiários pobres ou extremamente pobres CadÚnico	0,170
Coeficiente de coleta de lixo	0,103
% não alfabetizados CadÚnico	0,055
Temperatura	0,044
Vegetação	0,037
Qualidade da educação	0,036
Proporção de internações	0,020

Fonte: Os autores, 2023.

Na Tabela 2, estão elencados os pesos atribuídos a cada um dos coeficientes indicadores de justiça ambiental. Cada um dos pesos foi atribuído ao coeficiente apresentado em cada um dos municípios. Cabe lembrar que os pesos de prioridades resultaram da análise multicritério, a partir do processo hierárquico analítico (Saaty, 2008).

Desse modo, o abastecimento de água apresentou o maior peso, o que significa dizer que esse serviço desempenha maior influência sobre a justiça ambiental. Já a proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado apresentou o menor peso, de modo que ele desempenha uma menor influência sobre a justiça ambiental.

A Tabela 3 demonstra os índices de vulnerabilidade ambiental estabelecidos para cada um dos municípios componentes deste estudo.

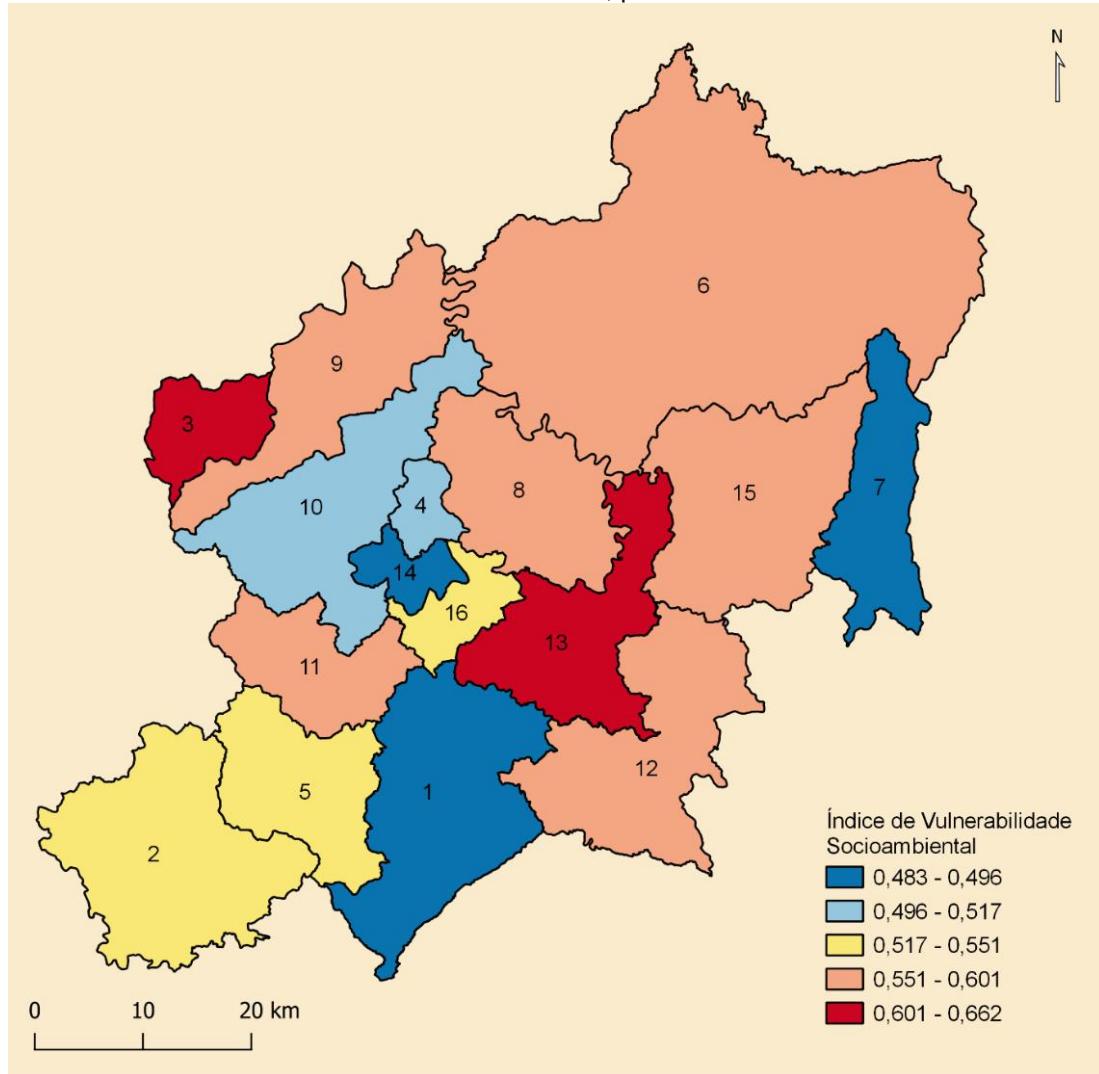
Tabela 3 - Índice de Vulnerabilidade Ambiental (IVA), para cada município do Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte, com base em dados referentes à 2022

Município	IVA
Belo Horizonte	0,483
São José da Lapa	0,485
Nova União	0,496
Confins	0,516
Pedro Leopoldo	0,517
Contagem	0,533
Vespasiano	0,546
Betim	0,551
Matozinhos	0,574
Ribeirão das Neves	0,578
Lagoa Santa	0,582
Jaboticatubas	0,586
Sabará	0,594
Taquaraçu de Minas	0,601
Santa Luzia	0,638
Capim Branco	0,662

Fonte: Os autores, 2023.

A Tabela 3 apresenta a progressão da vulnerabilidade ambiental no Vetor Norte da RMBH. Conforme demonstrado, a vulnerabilidade ambiental variou entre 0,483 em Belo Horizonte e 0,662 em Capim Branco, com uma concentração maior de municípios na classe de muito alta vulnerabilidade ambiental. Os índices apresentados por essa classe podem estar relacionados com a baixa qualidade da educação básica, bem como o percentual de internações por doenças relacionadas ao saneamento básico.

Figura 3 - Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG). Espacialização dos índices de vulnerabilidade Ambiental, para o ano de 2022



#### Área de Estudo

1 Belo Horizonte	5 Contagem	9 Nova União	13 Santa Luzia
2 Betim	6 Jabuticatubas	10 Pedro Leopoldo	14 São José da Lapa
3 Capim Branco	7 Lagoa Santa	11 Ribeirão das Neves	15 Taquaraçu de Minas
4 Confins	8 Matozinhos	12 Sabará	16 Vespasiano

Fonte: IBGE, 2022. Elaboração: Os autores, 2023

Na Figura 1, é apresentado o mapa de vulnerabilidade ambiental para o Vetor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Esse mapa foi gerado utilizando uma paleta de cores que definiu cinco classes distintas. A classe em vermelho (0,601 – 0,662) representa os municípios que apresentaram maior vulnerabilidade. Já os municípios que apresentam menor vulnerabilidade estão representados

pela cor azul (0,483 – 0,496). Cabe ressaltar que, pela disponibilidade de dados de beneficiários do Cadastro Único e de beneficiários extremamente pobres do CadÚnico, foi possível compreender a espacialização da vulnerabilidade social entre os municípios.

Na (Figura 3), é apresentado o mapa de vulnerabilidade ambiental dos municípios componentes do vetor Norte da região metropolitana de Belo Horizonte, MG-Brasil. As cores do mapa variam, em função da vulnerabilidade ambiental, sendo as cores mais próximas do vermelho representando os municípios com maior vulnerabilidade ambiental. As cores mais próximas do azul representam os municípios com os maiores índices de vulnerabilidade ambiental.

Após a normalização, os resultados dos índices de vulnerabilidade ambiental foram agrupados em cinco classes por quebras naturais. Os índices variaram de faixas entre 0,483 e 0,496, muito baixa, 0,496 e 0,517 baixa, 0,517 e 0,551 média, 0,551 e 0,601 alta e 0,601 e 0,662 muito alta. Cabe ressaltar que este estudo se trata de uma comparação entre os municípios.

Os coeficientes que apresentaram os maiores pesos, pela análise multicritério, foram, respectivamente: o coeficiente de abastecimento de água (peso de 0,312), o coeficiente de coleta de esgoto (peso de 0,222) e os beneficiários pobres ou extremamente pobres do Cadastro Único (com peso de 0,170). Portanto os municípios que apresentaram elevados coeficientes de abastecimento de água e esgoto e baixos coeficientes, para beneficiários pobres ou extremamente pobres do CadÚnico, tendem a apresentar os maiores índices de justiça ambiental. Santa Luzia apresenta o pior coeficiente de abastecimento de água (0,80) e está entre os piores coeficientes de coleta de lixo e com maior número de beneficiários pobres ou extremamente pobres do CadÚnico. Já Capim Branco apresenta o pior coeficiente de tratamento de esgoto (0,144) e está entre os maiores coeficientes de internação por doenças relacionadas ao saneamento inadequado (0,48). Esses municípios apresentaram índice muito alto de vulnerabilidade ambiental. Em contrapartida, os municípios que apresentaram os menores índices de vulnerabilidade ambiental foram Belo Horizonte (0,483), São José da Lapa (0,485). Esses índices podem ter sido impulsionados pelos coeficientes de abastecimento de água e tratamento de esgoto. O resultado dessas variáveis apresentou os coeficientes mais altos, além de terem tido atribuído um maior peso pela análise multicritério. Belo Horizonte apresentou baixo coeficiente de beneficiários pobres ou extremamente pobres do CadÚnico, apresenta, também baixo coeficiente de coleta de lixo. Por sua vez, os municípios de Lagoa Santa e São José da Lapa apresentaram índices mais altos de beneficiários pobres ou extremamente pobres, porém apresentaram um coeficiente mais alto de coleta de lixo.

Somente os municípios de Confins (0,516) e Pedro Leopoldo (0,517) apresentaram índices de muito baixa vulnerabilidade ambiental. Já os municípios de Betim (0,551), Contagem (0,533) e Vespasiano (0,546) apresentaram os índices intermediários de vulnerabilidade ambiental. Um aspecto comum aos três municípios é o processo de industrialização pelo qual passaram no século passado. Os municípios de Jaboticatubas (0,586), Matozinhos (0,574), Nova União (0,496), Ribeirão das Neves (0,578), Sabará (0,594) e Taquaraçu de Minas (0,601) apresentaram índices muito altos de vulnerabilidade ambiental. A comparação entre os municípios mostra indícios dos resultados da implementação de políticas públicas nos municípios e podem orientar para um processo de tomada de decisão que privilegie seu aprimoramento e/ou efetivação.

## DISCUSSÃO

Os resultados mostram como as condições socioambientais no Vetor Norte da RMBH expõem desafios específicos em relação às metas globais da Agenda 2030 (ONU, 2016). Municípios com melhores indicadores de acesso a serviços básicos, como água potável e saneamento, apresentaram índices mais baixos de vulnerabilidade ambiental, alinhando-se às metas do ODS 6. Por outro lado, municípios com maior proporção de beneficiários do CadÚnico e mais internações relacionadas ao saneamento inadequado apontam desigualdades persistentes que dificultam o cumprimento de metas de erradicação da pobreza (ODS 1) e promoção da saúde e bem-estar (ODS 3). Esses dados reforçam a necessidade de políticas públicas integradas, que combinem investimentos estruturais e sociais com o planejamento sustentável. O percentual de beneficiários do CadÚnico alfabetizados, bem como a qualidade da educação indicam uma relação com o ODS 4. Segundo a agenda 2030, é fundamental

garantir acesso à educação gratuita e de qualidade, para todas as faixas etárias, de forma inclusiva e segura. Além disso, é necessário que essa educação desenvolva competências para o desenvolvimento sustentável em suas mais variadas dimensões.

Ao se reconhecer que a vulnerabilidade é um constructo histórico-social que reflete o grau de exposição de grupos específicos aos riscos e perigos ambientais, investigou-se a espacialização da justiça ambiental para os diferentes grupos em vulnerabilidade no Votor Norte da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Com isso, foi possível identificar e compreender os fatores responsáveis pelas disparidades entre os municípios. No que tange às variáveis de cobertura vegetal (NDVI), optou-se por atribuir um valor mais baixo de peso de prioridade, visto que, embora o acesso às áreas verdes deva ser considerado como elemento fundamental à justiça ambiental (Silva *et al.*, 2018), apenas o fato de elas existirem não é suficiente para garantir o acesso de populações a essas áreas. Ainda sobre as áreas verdes, verificou-se que, embora não se tenha abordado a influência da distância às áreas protegidas, percebeu-se que elas não desempenharam grande influência sobre os municípios analisados.

Quanto à temperatura, optou-se por um baixo valor de peso, visto que, embora o conforto térmico seja um fator crucial para o bem-estar ambiental e a qualidade de vida, apresenta sazonalidade e sua variação não depende somente de alterações na gestão municipal.

As variáveis relacionadas ao acesso a tratamento adequado de água, esgotamento e combate à pobreza destacam-se como fundamentais nesta pesquisa. Observou-se que os municípios que apresentaram os melhores valores para essas variáveis foram aqueles que evidenciaram os melhores Índices de Justiça Ambiental. Esta pesquisa alinha-se aos ODS, os quais preconizam ações em prol do respeito à dignidade da vida. Desse modo, compreende-se que algumas políticas públicas, sejam elas de instância municipal, estadual ou federal, podem servir de referência para municípios que apresentem características ou objetivos similares.

Com base nos resultados apresentados pelo município de Capim Branco, constatou-se uma relação direta entre um baixo coeficiente de tratamento de esgoto e maior proporção de internações por doenças relacionadas ao saneamento inadequado. Nesse caso, verifica-se um efeito em cascata, acometendo de forma mais pronunciada as crianças dessas localidades. Embora não faça parte do escopo desta pesquisa, uma análise mais minuciosa poderia revelar se a distância aos córregos e esgotos a céu aberto aumenta a probabilidade de internação por doenças correlatas, visando a um melhor planejamento urbano que garanta a saúde de sua população.

O conceito de justiça ambiental confluí com os ODS da ONU (2016), uma vez que ambas preconizam a proteção à dignidade humana. Diversos aspectos climáticos e ambientais são observados a fim de verificar uma determinada região com relação à justiça ambiental. Entre esses aspectos, estão o acesso à água potável, saneamento básico e tratamento de resíduos sólidos. Um exemplo de convergência entre os ODS e a justiça ambiental é a meta 1.4 do ODS 1, que assume compromisso com a erradicação da pobreza. Segundo ela, até 2030 os países signatários devem garantir que as populações, especialmente as vulneráveis, tenham direito equânime ao acesso aos serviços básicos (ONU, 2016), entre os quais estão o abastecimento de água e a destinação adequada de efluentes e resíduos.

O mapa de conflitos relacionados à injustiça ambiental e saúde no Brasil (Fiocruz, 2010), tal como o Índice Mineiro de Vulnerabilidade Ambiental - IMVA (Minas Gerais, 2014), são iniciativas que contribuem para o mapeamento e análise das injustiças socioambientais no País.

A justiça ambiental se dá quando pessoas vulneráveis não são afetadas por uma carga maior de problemas ambientais (Martines *et al.*, 2018). Esse conceito concorda com a meta 1.5 do ODS 1 que propõe a construção da resiliência dos povos empobrecidos ou socialmente vulneráveis a fim de reduzir sua exposição a desastres ambientais, econômicos e sociais (ONU, 2016). Dessa maneira, embora a construção desses conceitos tenha se dado de maneira independente, ocorre a confluência baseada na compreensão da dignidade humana e do direito de viver em segurança em seu mais amplo significado. Além dessas, cita-se também o ODS 11, que preconiza o compromisso com cidades e comunidades sustentáveis, propondo garantir o acesso de todos a uma habitação segura,

financeiramente acessível e adequada. Propõe, também, a urbanização de comunidades favelizadas, garantindo o acesso aos serviços básicos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por apresentar essa aplicabilidade universal e que respeita as peculiaridades de cada região e/ou território, comprehende-se que, para o alcance da justiça ambiental, diversos ODS devem ser preconizados na tomada de decisão por parte dos órgãos e gestores públicos. As políticas públicas devem ser concebidas prioritariamente para garantir o bem-estar social e ambiental da população. Nesse sentido, enfrentar as mudanças climáticas, bem como equalizar as relações socioespaciais, combater as desigualdades sociais, a pobreza e a extrema pobreza, democratização do acesso ao ensino, especialmente pelas populações de baixa renda, urgem em compor os planos de ação em curto, médio e longo prazo. Percebe-se que o Brasil e Minas Gerais vêm desenvolvendo ferramentas de investigação e diagnóstico de justiça ambiental. O desafio atual é a geração de prognósticos nos diferentes níveis e instâncias governamentais, visando atuar preventivamente aos danos e efeitos que geram injustiça ambiental. Uma abordagem holística sobre o ambiente requer a adoção de medidas que vão desde a manutenção e atualização dos bancos de dados, investimentos em ciência, integração dos bancos de dados, evitando, com isso, discrepâncias entre as diferentes plataformas públicas e/ou privadas.

Aliado ao índice avaliativo, apresentado neste trabalho, estão os objetivos para o desenvolvimento sustentável que se apresentam como bons suportes aos indicadores para uma gestão que se precaseja aos efeitos das mudanças climáticas, as quais tendem a se intensificar já neste século. Visto que a população não participa da tomada de decisões que afeta diretamente o território, no qual estão inseridas, propõe-se aqui uma governança dialógica (Freire, 1980) e participativa de modo a contemplar os interesses de todos os atores sociais envolvidos.

O alinhamento com as metas dos ODS reafirma o papel do índice apresentado como uma ferramenta prática e estratégica para orientar políticas públicas voltadas à justiça socioambiental. Ao integrar variáveis diretamente relacionadas às metas da Agenda 2030, como o acesso a serviços básicos (ODS 6), 'a redução da pobreza (ODS 1) e um planejamento urbano que reflita a meta de construção de cidades sustentáveis (ODS 11). Este estudo oferece subsídios para decisões governamentais que priorizem a equidade e a sustentabilidade. O avanço nessa direção exige que gestores públicos considerem tanto as desigualdades identificadas quanto as especificidades locais, fortalecendo a conexão entre as dimensões ambiental, social e econômica.

## AGRADECIMENTOS

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de pesquisa científica de doutorado. À Fundação João Pinheiro pela disponibilização do Índice Mineiro de Responsabilidade Social.

## REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. Ambientalização das lutas sociais - o caso do movimento por justiça ambiental. *Revista Brasileira de Política Internacional*, Brasília, v. 53, n. 1, p. 1-18, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100010>.
- AVELAR, I. M.; SIMÃO, K. M. C. A produção do espaço urbano do Vetor Norte da RMBH. In: **Congresso Interdisciplinar de pesquisa, iniciação científica e extensão universitário Centro universitário metodista Izabela Hendrix**, 4., 2019, Belo Horizonte. Ciência, Tecnologia e Educação: o papel da universidade no desenvolvimento socioeconômico. Belo Horizonte: Izabela Hendrix, 2019. p. 1-16. Disponível em: <http://izabelahendrix.edu.br/pesquisa/anais/arquivos2019/arquitetura-e-urbanismo/a-producao-do-espaco-urbano-do-vetor-norte-da-rmbh-p-1-16.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022. ISSN: 2448-4229

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 20 nov. 2024.

BÉTARD, F., P., JP. Geodiversity Hotspots: Concept, Method and Cartographic Application for Geoconservation Purposes at a Regional Scale. **Environmental Management** 63, 822-834 (2019). <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01168-5>.

BULLARD, R. Enfrentando o racismo ambiental: vozes das bases. Boston: South End Press, 1993.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W.S.C. Temperatura de Superfície Celsius do Sensor TIRS/Landsat-8: metodologia e aplicações. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013. DOI: <https://doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i1.2996>.

COSTA, H. S. M. Dinâmica imobiliária e regulação ambiental: uma discussão a partir do eixo-sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-30982007000200009>.

CRUZ, R. C. O oculto e o revelado da descentralização urbana no início do século XXI em Belo Horizonte. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Rio de Janeiro: UFRJ. 2013. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/16/teses/805784.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2022.

CUNICO, C.; OKA-FIORI, C. O estado da normalidade e o estado da exceção: breve análise conceitual das categorias de vulnerabilidade, risco e resiliência. **Caminhos da Geografia**. 2014. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG155224840>.

DE SOUZA, A. R. DUPAS, A. F.; DRUMMOND I. N.; COSTA C. W.. "Zoneamentos da vulnerabilidade ambiental e expectativa de perda de solo: É possível usar a USLE na determinação de vulnerabilidade ambiental?" **Geociências** 38.4 (2019): 1105-1119. DOI: <https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i4.14083>

ESRI. (2014). ArcMap (Version 10.3) [Software]. Environmental Systems Research Institute, Inc. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-desktop>.

FIOCRUZ (2010) - Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil. Disponível em: <https://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/breves-consideracoes-conceituais-e-metodologicas-sobre-o-mapado-conflitos-e-injustica-ambiental-em-saude-no-brasil/>. Acesso em: 10 jun. 2023.

FOLADOR, A. P. I. Mapeamento da justiça e racismo ambiental em São Sebastião - SP. 2020. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: [https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/5d4ae4e8-7359-4a27-8345-128fd1876564/2020\\_AnaPaulaLchiiFolador\\_TGI.pdf](https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/5d4ae4e8-7359-4a27-8345-128fd1876564/2020_AnaPaulaLchiiFolador_TGI.pdf). Acesso em 30 jul. 2023

FREIRE, P. Conscientização: teoria e prática da libertação: uma introdução ao pensamento de Paulo Freire. São Paulo: **Cortez & Moraes**, 1979. 53 p. DOI: <https://doi.org/10.18675/1981-8106.v33.n.66.s17187>.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Índice Mineiro de Responsabilidade Social. Disponível em: <https://imrs.fjp.mg.gov.br/>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; PELLERIN, J. R. G. M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho - SC. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 133-148, 2012. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v30i1.13519>.

HARVEY, D. (1993). The Nature of Environment: the Dialectics of Social and Environmental Change. In: Socialist Register 1993: Real problems, false solutions ed. by **Miliband R.**, Panitch L. Vol. 29. London: Merlin Press. P. 1-51. Disponível em: <https://socialistregister.com/index.php/srv/issue/view/427>. Acesso em 10 jun. 2024.

HEABERLIN, B.; SHATTUCK, A.. Farm stress and the production of rural sacrifice zones, **Journal of Rural Studies**, Volume 97, 2023, Pages 70-80, ISSN 0743-0167, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jurstud.2022.11.007>.

- HERCULANO, S. Riscos e desigualdade social: a temática da Justiça Ambiental e sua construção no Brasil. Disponível em: [https://www.professores.uff.br/seleneherculano/wp-content/uploads/sites/149/2017/09/Riscos\\_v4\\_e\\_desigualdade\\_social.pdf](https://www.professores.uff.br/seleneherculano/wp-content/uploads/sites/149/2017/09/Riscos_v4_e_desigualdade_social.pdf). Acesso em: 15 jun. 2023.
- IBASE; CUT-RJ & IPPUR/UFRJ. Sindicalismo e Justiça Ambiental. Rio de Janeiro: Ibase, 2000. 3 v
- LERNER, S.. Sacrifice zones: the front lines of toxic chemical exposure in the United States. Cambridge: **Mit Press**, p. 368, 2010. ISBN 02622887459780262288743. DOI: <https://doi.org/10.7551/mitpress/8157.003.0022>.
- MARTINES, M. R.; MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S. Métodos e técnicas no estudo da dinâmica da paisagem física nos países da CPLP - Comunidade dos Países de Expressão Portuguesa. In: **OLIVEIRA**. Disponível em: <https://www.eumed.net/uploads/libros/a897792b8dcea0f25ad9f57bc006eb50.pdf> . Acesso em 10 jun. 2024
- MARTINES, M. R.; MORATO, R. G.; KAWAKUBO, F. S.; TOPPA, R. H.; FERREIRA, R. V. Integração de variáveis ambientais para a elaboração de um índice de justiça ambiental. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, MG, v. 3, n. 2, p. 91-104, jul./dez. 2018. ISSN 2359-474891. Disponível em: <https://seer.ufmt.edu.br/revistaelectronica/index.php/rbcti/article/view/3020/3352>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Índice Mineiro de Vulnerabilidade Climática. 2014. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/gestao-ambiental/-indice-mineiro-de-vulnerabilidade-climatica>. Acesso em: 5 set. 2023.
- Ministério da Saúde. (2023). DataSUS - Sistema de Informações sobre Mortalidade (SIM). Disponível em: <https://datasus.saude.gov.br>. Acesso em: 27 ago. 2023
- NAHAS, M.I.P. Bases teóricas, metodologia de elaboração e aplicabilidade de indicadores intra-urbanos na gestão municipal da qualidade de vida urbana em grandes cidades: o caso de Belo Horizonte. **Tese de Doutorado**. Programa de Ecologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar / Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2002. p. 373. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1607/1753.pdf?sequence=1>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- NAHAS, M. I. P. (Org). Qualidade de vida urbana: abordagens, indicadores e experiências internacionais. p. 183, 2015. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-942720>. Acesso em: 15 ago. 2022.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Transformando nosso mundo: A agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável. 2016. 59 p. Disponível em: [https://sdgs.un.org/#goal\\_section](https://sdgs.un.org/#goal_section). Acesso em: 15 ago 2022.
- PATRO, S. G. K.; SAHU, K. K.. Normalization: A preprocessing stage. arXiv preprint arXiv:1503.06462, 2015. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1503.06462>.
- PEREIRA, C. C.; FERNANDES, S.. KENEDY-SIQUEIRA, W.; NEGREIROS, D.; FERNANDES, G. W.; FEARNSIDE, P. M.. Brazil's Cerrado cannot be a sacrifice zone for the Amazon: financial assistance and stricter laws are needed, **BioScience**, Volume 74, Issue 9, September 2024, Pages 584-585, DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biae063>.
- RAMMÊ, R. S.. A política da justiça climática: conjugando riscos, vulnerabilidades e injustiças decorrentes das mudanças climáticas. **Revista de Direito Ambiental**, v. 65, p. 367, 2012. ISBN:11225569842222. Disponível em: <https://institutopiracema.com.br/wp-content/uploads/2021/05/A-POLITICA-DA-JUSTICA-CLIMATICA-Rogerio-RDA-2012.pdf> . Acesso em 10 jun. 2024
- RIGOTTO, R. M.; SANTOS, V. P.; COSTA A. M.. Traditional life territories and the agribusiness sacrifice zone in the Cerrado. **Saúde em Debate**, v. 46, n. 135, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-11042022E201>.

RODIN, P.. Intersectionality in a sacrifice zone of capital: the experience of black women, quilombolas and gleaners, on Ilha de Maré, in Todos os Santos Bay, Salvador, Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 24, e202309, 2021. DOI: <https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202133en>.

SAATY, TL (2008) Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Services Sciences**, 1, 83. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.

SAMPAIO, D. M. Modelagem da cobertura do solo urbano no Vetor Norte da RMBH e projeções de cenários futuros considerando as novas infraestruturas viárias previstas. **Dissertação** (Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte (2014), p. 103. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/IGCM-9QBMA8>. Acesso em: 15 ago. 2022.

SANTOS, L. D.; MARTINS, I.; BRITO, P. O conceito de qualidade de vida urbana na perspectiva dos residentes na cidade do Porto. 2011. p. 16. DOI: <https://doi.org/10.59072/rper.vi9.197>.

SCHROEDER, W.; OLIVA, P.; GIGLIO, L.; QUAYLE, B.; LORENZ, E.; MORELLI, F. Active fire detection using Landsat-8/OLI data. **Remote sensing of environment**, v. 185, p. 210-220, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.032>.

SEONG, N. JUNG, D. KIM, J., HAN, K.. Evaluation of NDVI Estimation Considering Atmospheric and BRDF Correction through Himawari-8/AHI. **Asia-Pacific J Atmos Sci** 56, 265-274 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1007/s13143-019-00167-0>.

SILVA, C. S.; VIEGAS, I.; PANAGOULOUS, T.; BELL, S. Environmental Justice in Accessibility to Green Infrastructure in Two European Cities. **Land**, v. 7, p. 134, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/land7040134>.

SILVA, A. L. C.; AZEVEDO, J. R. G. de; KOCH, H.; HATTERMANN, F. F. Análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na Bacia do Rio Pajeú, PE. In: I **Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**: Integrando conhecimentos científicos em defesa do Velho Chico. Disponível em: <https://cdn.agenciapeixevedo.org.br/media/2019/06/An%C3%A1lise-do-%C3%ADndice-de-vegeta%C3%A7%C3%A3o-por-diferen%C3%A7a-normalizada-na-Bacia-do-Rio-Pajeu.pdf>. [Acesso em: 15 ago. 2022].

SIMAVE (Sistema Mineiro de Avaliação da Educação Pública). (2023). Resultados da Avaliação e Monitoramento. CAEd Digital. Disponível em: [https://avaliacaoemonitoramento.simave.caedigital.net/#/pagina/VIEW\\_RES\\_SOM\\_M2301\\_PUB?DADOS.VL\\_FILTRO\\_AVALIACAO=3&DADOS.VL\\_FILTRO\\_ETAPA=ENSINO%20FUNDAMENTAL%20DE%209%20ANOS%20-%205%20ANO&DADOS.VL\\_FILTRO\\_DISCIPLINA=LP&DADOS.VL\\_FILTRO\\_REDE=ESTADUAL&DADOS.DC\\_FAIXA\\_PERCENTUAL\\_HABILIDADE=Alto-M%C3%A9dio%20Alto-M%C3%A9dio%20Baixo-Baixo](https://avaliacaoemonitoramento.simave.caedigital.net/#/pagina/VIEW_RES_SOM_M2301_PUB?DADOS.VL_FILTRO_AVALIACAO=3&DADOS.VL_FILTRO_ETAPA=ENSINO%20FUNDAMENTAL%20DE%209%20ANOS%20-%205%20ANO&DADOS.VL_FILTRO_DISCIPLINA=LP&DADOS.VL_FILTRO_REDE=ESTADUAL&DADOS.DC_FAIXA_PERCENTUAL_HABILIDADE=Alto-M%C3%A9dio%20Alto-M%C3%A9dio%20Baixo-Baixo). Acesso em: 19 ago. 2023.

TOMLIN, D. Geographic information systems and Cartographic Modeling. **Prentice Hall**, New York, 1990. Disponível em: [https://books.google.com.br/books/about/Geographic\\_Information\\_Systems\\_and\\_Carto.html?id=shiAA\\_AAAQ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Geographic_Information_Systems_and_Carto.html?id=shiAA_AAAQ&redir_esc=y). Acesso em: 10 ago. 2022

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). (2022). EarthExplorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 15 ago. 2022

---

Recebido em: 05/09/2024  
Aceito para publicação em: 09/12/2024