SciELO Preprints

Estado da publicação: O preprint não foi publicado em outro meio.

Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental: Uma Abordagem Quantitativa para Mapeamento de Injustiças Urbanas

Jefferson Pereira Caldas dos Santos, Alexandre San Pedro Siqueira, Leandro Henrique Vouga Pereira, Tamiris Batista Diniz, Maria Juliana Moura Corrêa, Hermano Albuquerque de Castro

https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Submetido em: 2026-11-10
Postado em: 2026-11-12 (versão 1)
(AAAA-MM-DD)

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental: Uma Abordagem Quantitativa para Mapeamento de Injustiças Urbanas

Socioterritorial Environmental Racism Index: A Quantitative Approach to Mapping Urban Injustices

Jefferson Pereira Caldas dos Santos
CIBS/Farmanguinhos/Fiocruz ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9780-9911

Alexandre San Pedro Siqueira
IESC/UFRJ ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0326-6053

Leandro Henrique Vouga Pereira
ENSP/Fiocruz ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8110-7795

Tamiris Batista Diniz
ENSP/Fiocruz ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4701-201X

Maria Juliana Moura Corrêa
Fiocruz ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9406-3955

Hermano Albuquerque de Castro
ENSP/Fiocruz ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1191-5671

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Resumo

Objetivo: Desenvolver e aplicar o Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA) para mensurar a sobreposição espacial entre desigualdades raciais, socioeconômicas, territoriais e ambientais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Métodos: Estudo ecológico de abordagem espacial abrangendo 27.618 setores censitários de 22 municípios. Foram integrados 24 indicadores em cinco dimensões: generorracial, socioeconômica, infraestrutura urbana, territorial e ambiental. Utilizaram-se dados do Censo Demográfico 2022, sensoriamento remoto e modelagem ambiental, com normalização dos indicadores e agregação em um índice sintético georreferenciado. Resultados: Dos setores analisados, 50,5% apresentaram ISRA alto ou muito alto, abrangendo 56,0% da população metropolitana (6.733.808 habitantes). Entre os residentes em setores com mais de 90% da área ocupada por favelas ou comunidades urbanas, 99,0% encontravam-se em territórios classificados com ISRA alto ou muito alto. As maiores vulnerabilidades concentraram-se na Baixada Fluminense, nas Zonas Norte e Oeste da capital e em municípios periféricos, evidenciando a sobreposição de desigualdades raciais, precariedade urbana e exposição a riscos ambientais. Conclusões: O ISRA permitiu quantificar e espacializar desigualdades associadas ao racismo ambiental, constituindo uma ferramenta para identificação de territórios prioritários e apoio à vigilância em saúde, ao planejamento urbano e à formulação de políticas públicas orientadas à justiça socioambiental.

Palavras-chave: Racismo Ambiental; Justiça Ambiental; Vulnerabilidade Social; Análise Espacial; Desigualdades em Saúde; Mudanças Climáticas.

Abstract

Objective: To develop and apply the Socioterritorial Environmental Racism Index (ISRA) to measure the spatial overlap of racial, socioeconomic, territorial, and environmental inequalities in the Metropolitan Region of Rio de Janeiro, Brazil. Methods: An ecological spatial study encompassing 27,618 census tracts across 22 municipalities. Twenty-four indicators were integrated into five dimensions: gender and race, socioeconomic conditions, urban infrastructure, territorial characteristics, and environmental conditions. Census data, remote sensing, and environmental modeling were used to normalize indicators and construct a georeferenced composite index. Results: Of the census tracts analyzed, 50.5% presented high or very high ISRA scores, encompassing 56.0% of the metropolitan population (6,733,808 inhabitants). Among residents of census tracts where more than 90% of the area consisted of favelas or urban communities, 99.0% lived in areas classified as having high or very high ISRA scores. The greatest vulnerabilities were concentrated in Baixada Fluminense, the northern and western zones of Rio de Janeiro city, and peripheral municipalities, revealing overlapping racial inequalities, inadequate urban infrastructure, and environmental hazards. Conclusions: The ISRA enabled the quantification and spatial mapping of inequalities associated with environmental racism, providing a tool to identify priority territories and support public health surveillance, urban planning, and policies promoting socioenvironmental justice.

Keywords: Environmental Racism; Environmental Justice; Social Vulnerability; Spatial Analysis; Health Inequalities; Climate Change.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

INTRODUÇÃO

A crise climática atual vai além de um fenômeno físico e ambiental, pois seus efeitos se distribuem de formal desigual em sociedades estruturadas por desigualdades econômicas, raciais, territoriais e de gênero. As condições de moradia, saneamento, trabalho e acesso a serviços públicos, por sua vez, expressam essas desigualdades nos territórios, condicionando a exposição aos riscos ambientais e as possibilidades de proteção e adaptação das populações. A justiça climática parte do reconhecimento dessa distribuição desigual de danos, relacionando as mudanças climáticas, aos direitos e às condições de vulnerabilidade socioterritorial [1].

No Brasil, as desigualdades ambientais apresentam um caráter racial, resultado do processos históricos de produção do território e implementação das políticas públicas. O acesso desigual à infraestrutura urbana e a exposição diferenciada aos riscos ambientais não decorrem de uma distribuição aleatória, mas estão relacionados ao processo de racismo institucional e ambiental [2]. Nesse sentido, o racismo ambiental gera e perpetua assimetrias socioespaciais, submetendo grupos racializados a maiores perigos ambientais e a menores proteção institucional [3,4].

Diversos estudos buscam mensurar a vulnerabilidade socioambiental por meio de índices compostos que combinam dimensões como exposição, suscetibilidade e capacidade adaptativa [5,6]. Contudo, parte desses instrumentos não incorpora explicitamente a dimensão racial nem a sobreposição espacial das iniquidades. No contexto brasileiro, o desenvolvimento de métricas capazes de evidenciar a intersecção entre raça, classe, infraestrutura e riscos ambientais são fundamentais para deslocar o debate sobre racismo ambiental de um plano exclusivamente conceitual para uma abordagem territorialmente mensurável e aplicável à formulação de políticas públicas orientadas à redução das iniquidades socioambientais [7].

Diante dessa lacuna, propõe-se a elaboração do Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA). O objetivo deste estudo é identificar e mensurar espacialmente a sobreposição entre desigualdades raciais, vulnerabilidade socioeconômica, déficit de infraestrutura urbana, padrões de ocupação territorial e exposição a riscos ambientais na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Busca-se, assim, desenvolver uma ferramenta quantitativa e georreferenciada que contribua para à vigilância em saúde, o planejamento urbano e a identificação de territórios prioritários para políticas públicas de enfrentamento ao racismo ambiental.

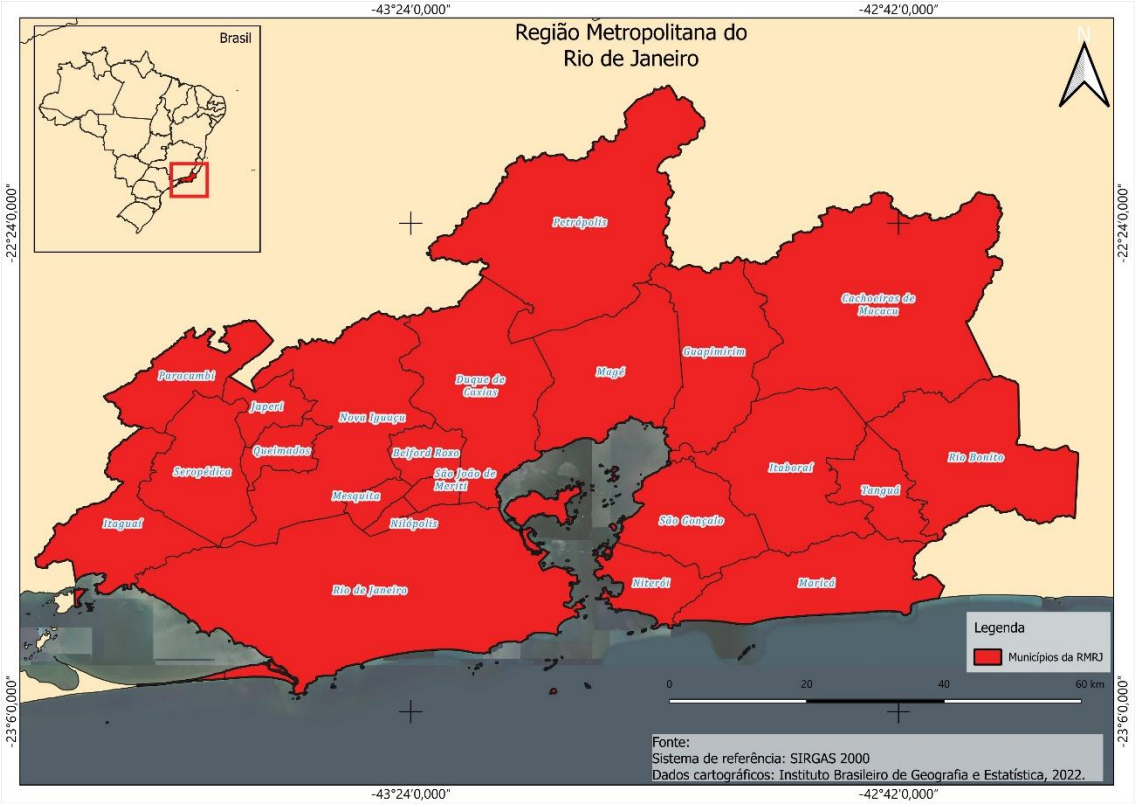
SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

MÉTODOS

Desenho de estudo e unidade de análise

Estudo ecológico de abordagem espacial cujas unidades de análise foram os setores censitários da RMRJ, composta por 22 municípios (Figura 1) e com população aproximada de 11.874.000 habitantes [8,9]. A RMRJ consiste em um recorte territorial formado por um agrupamento de municípios limítrofes, integrados por aspectos socioeconômicos, urbanísticos e por funções públicas de interesse comum, cuja organização, planejamento e a execução demanda articulação interfederativa.

Figura 1 – Região Metropolitana do estado do Rio de Janeiro segunda municípios



Fonte: Elaborado pelos autores, 2026.

Composição do Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA)

Para a elaboração do ISRA, como medida sintéticas das desigualdades socioterritoriais e ambientais observadas no território foi proposto, com base na literatura científica, na experiência dos autores e na disponibilidade de dados de acesso público, um conjunto de 24 indicadores distribuídos em cinco dimensões (Quadro 1):

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Quadro 1: Dimensões e indicadores selecionados para compor o Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA)

Dimensões	Variáveis	Cálculo	Fonte
Gênero/Raça	Mulheres pretas ou pardas	Percentual de mulheres autodeclaradas pretas ou pardas.	IBGE - Censo 2022
	Pessoas negras acima de 60 anos responsáveis por domicílios	Percentual de população autodeclarada preta e parda acima de 60 anos chefes de domicílio.	
	População negra	Percentual de população autodeclarada preta ou parda.	
	População indígena	Percentual de população autodeclarada indígena.	
	Mulheres negras responsáveis por domicílio	Percentual de mulheres autodeclaradas pretas ou pardas responsáveis por domicílios.	
Socioeconômica	Aglomeração intradomiciliar	Percentual de domicílios particulares permanentes com mais de seis moradores.	IBGE - Censo 2022
	Renda do(a) responsável pelo domicílio	Rendimento médio mensal do(a) responsável por domicílios segundo salários-mínimos.	
	Letramento população negra maior de 15 anos	Percentual de população acima de 15 anos autodeclarada preta ou parda que não sabe ler e escrever.	
	Desigualdade de distribuição de renda	Coeficiente de variação da renda (desvio-padrão/média dos rendimentos).	
	Domicílios improvisados	Percentual de domicílios improvisados dentre o total de domicílios particulares permanentes.	
Infraestrutura urbana	Esgotamento sanitário inadequado	Percentual de domicílios com esgotamento sanitário via fossa filtro não ligada a rede, fossa rudimentar ou buraco, vala, rio, lago, córrego, mar, e sem sanitário	IBGE - Censo 2022
	Destino de lixo domiciliar inadequado	Percentual de domicílios com lixo domiciliar queimado, enterrado, descartado em terreno baldio.	
	Abastecimento de água inadequada	Percentual de domicílios com abastecimento de água via poço raso, fonte, nascente, carro pipa, chuva armazenada e rio, lago ou córrego.	
Territorial	Densidade demográfica por área antropizada	População segundo área geográfica com ocupação humana.	MapBiomas/IBGE-Censo 2022
	Áreas favelizadas	Percentual de área favelizadas por setores censitários.	IBGE 2019
	Crescimento urbano 1985 - 2005	Diferença entre área urbanizada por setor censitário de 1985 e 2005.	MapBiomas 2024
	Crescimento urbano 2005 - 2024	Diferença entre área urbanizada por setor censitário de 2005 e 2024.	MapBiomas 2024
	Cobertura Vegetal	Percentual do setor censitário que continha áreas classificadas como formação florestal, formação savânica, mangue, floresta alagável e restinga arbórea.	MapBiomas
Ambiental	Temperatura de superfície	Média anual de temperatura de superfície de 2019 a 2024.	Landsat 8 e 9
	Persistência de calor	Coeficiente de variação da média anual de temperatura de superfície de 2019 a 2024.	
	Precipitação	Média anual de precipitação (2020-2025).	Satélite Chirps
	Área inundáveis	Índice composto por declividade, altitude, uso do solo, distância de corpos hídricos e pedologia.	FABDEM / HydroSHEDS/ MapBiomas /IBGE
	Áreas de deslizamento	Índice composto por declividade, uso do solo e precipitação.	Satélite Chirps/MapBiomas/ FABDEM
	Dióxido de nitrogênio	Densidade da coluna troposférica de nitrogênio.	Satélite Sentinel

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Dimensão Gêneroracial: Composta por indicadores destinados a caracterizar a composição sociodemográfica segundo gênero e a etnia/raça da população, com ênfase em aspectos de autodeclaração de raça/cor, sexo e perfil etário.

Dimensão Socioeconômica: Representada por indicadores referentes a adensamento intradomiciliar, renda, letramento da população autodeclarada preta ou parda, e precariedade estrutural dos domicílios.

Dimensão de Infraestrutura Urbana: Caracterizada por indicadores que expressam aspectos da precariedade do esgotamento sanitário, da coleta de lixo domiciliar e do acesso à água.

Dimensão Territorial: Sintetizada por indicadores representativos da ocupação do território, considerando aspectos como densidade demográfica, cobertura vegetal, crescimento urbano e áreas de favelas. Essa dimensão busca apreender características da produção e organização desigual do território.

Dimensão Ambiental: Reúne indicadores referente à ocorrência e a distribuição espacial de exposições e eventos ambientais potencialmente relacionados à produção de riscos e agravos à saúde, incluindo temperatura, precipitação, deslizamentos, inundações e poluição atmosférica.

Operacionalização dos indicadores e construção do índice

Os indicadores selecionados foram associados às respectivas unidades espaciais dos setores censitários da RMRJ e organizados segundo as cinco dimensões analíticas previamente definidas. Considerando que os indicadores apresentam diferentes unidades de medida e escalas de variação, seus valores foram padronizados antes da agregação**,** de modo a permitir sua comparação e composição em uma medida sintética.

Para cada indicador, foi previamente estabelecida a direção de associação com a condição de maior vulnerabilidade socioterritorial e ambiental**,** de modo que os valores padronizados apresentassem interpretação consistente na composição do ISRA. Após a padronização, os indicadores foram agregados segundo suas respectivas dimensões e, posteriormente, utilizados na composição do índice sintético.

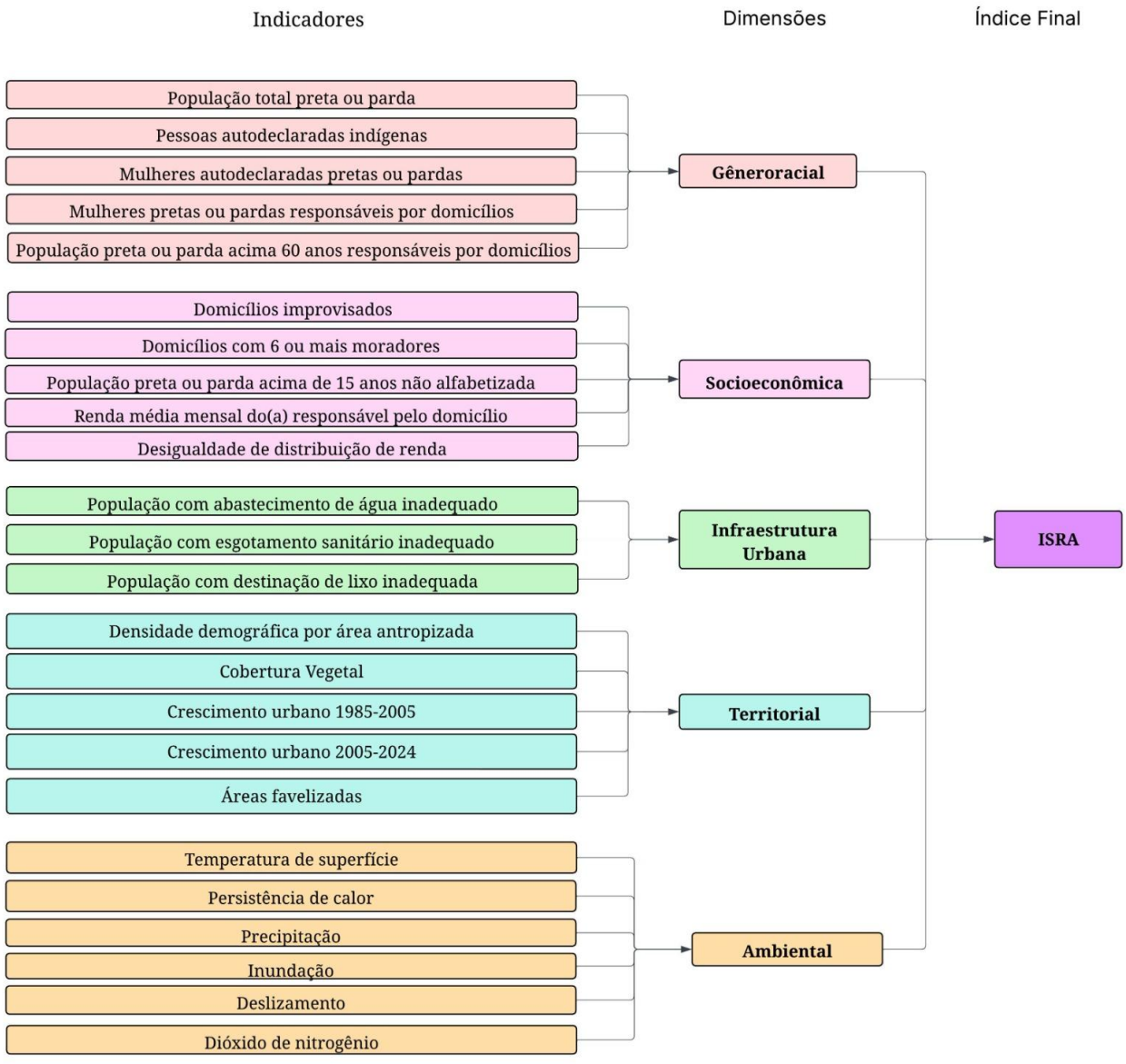
O ISRA foi, portanto, concebido como uma medida territorial composta, destinada a representar a distribuição espacial de condições associadas ao racismo ambiental, não sendo interpretado como medida individual de exposição ou de efeito à saúde.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Cálculo dos indicadores, elaboração das dimensões e construção do ISRA

A elaboração do Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental envolveu uma série de etapas metodológicas: cálculo dos indicadores, estimativas das dimensões socioambientais e territoriais, construção e espacialização do ISRA (Figura 2).

Figura 2: Fluxograma de elaboração das dimensões e construção do Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA)



Para o cálculo dos indicadores das dimensões Gêneroracial, Socioeconômica e Infraestrutura urbana, foram utilizados os dados disponibilizados em nível de setores censitários pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através do Censo Demográfico 2022, na escala 1:25.000.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Cada indicador foi normalização com base nos valores mínimo e máximo da distribuição do conjunto dos setores censitários, segundo a fórmula:

$$\text{Indicador Normalizado} = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

em que: X_i é o valor da variável observada no setor censitário; $X_{\min}$ é o valor mínimo observado na distribuição do indicador; e $X_{\max}$ é o valor máximo.

O valor final das dimensões Gêneroracial, Socioeconômica e Infraestrutura Urbana resultou da média aritmética simples dos indicadores normalizados que compõem cada dimensão.

Para as dimensões territorial e ambiental, as informações variaram conforme a natureza do indicador, sendo utilizado dados disponibilizados pela Plataforma MapBiomas [10], IBGE [9], imagens de satélites Landsat 8 e 9 [11], Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data, Sentinel 5P [12], modelo global de elevação FABDEM/Copernicus [13] e banco de dados de hidrografia HydroSHEDS [14].

Para a dimensão territorial foram elaborados os seguintes planos de informação:

Cobertura Vegetal – A área de cobertura vegetal foi mensurada a partir da análise de cobertura do solo, considerando as classes de Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Floresta Alagável e Restinga Arbórea. Para cada setor censitário, calculou-se o percentual de sua área correspondente ao somatório dessas categorias.

Crescimento Urbano (1985–2005 e 2005–2024) – Para avaliar o padrão espacial de urbanização no tempo, calculou-se a variação percentual da área urbanizada por setor censitário em dois intervalos temporais distintos: de 1985 a 2005 (refletindo o crescimento urbano mais antigo) e de 2005 a 2024 (caracterizando a expansão urbana mais recente).

Percentual de Área Favelizada – Utilizou-se a base de favelas e comunidades urbanas do IBGE para o ano de 2019, calculando-se a proporção da área de cada setor censitário sobreposta por essas delimitações.

Densidade demográfica – A densidade demográfica foi estimada dividindo-se a população do setor censitário por sua área útil. A área útil (antropizada) foi delimitada a partir de análise de uso do solo, mediante a exclusão das superfícies cobertas por florestas, vegetação herbácea/arbustiva e corpos d'água da área total de cada setor.

Para o cálculo final da Dimensão Territorial, os indicadores foram submetidos à normalização pelos valores mínimo e máximo da distribuição e ponderados com os seguintes pesos: Percentual de Área Favelizada (30%), Densidade Demográfica Habitável (30%), Crescimento Urbano de 2005–2024 (20%), Crescimento Urbano de 1985–2005 (10%) e Cobertura Vegetal (10%)

A dimensão ambiental foi elaborada conforme os seguintes planos de informação:

Temperatura de Superfície – Para o cálculo da média anual da temperatura da superfície referente ao período de 2019 a 2024, foram utilizadas as bandas térmicas dos satélites Landsat 8 e 9.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Precipitação – Utilizaram-se os dados de precipitação do satélite Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station Data para o cálculo da média acumulada anual referente ao período de 2020 – 2025.

Movimento de Massa – A modelagem da suscetibilidade a movimentos de massa foi realizada por meio do Processo Analítico Hierárquico. A ponderação dos planos de informação definiu os seguintes pesos: Declividade (60%), uso e cobertura do solo (20%) e precipitação (20%).

Áreas de Risco de Inundação – O mapeamento da suscetibilidade de inundação foi estruturado por meio do Processo Analítico Hierárquico. A ponderação dos planos de informação definiu os seguintes pesos: Declividade (35%), distância dos corpos hídricos (20%), uso e ocupação do solo (20%), altitude (15%) e tipo de solo (10%).

Dióxido de Nitrogênio – Estimou-se a densidade da coluna troposférica de dióxido de nitrogênio a partir de imagens do satélite Sentinel-5P, utilizando a banda espectral da faixa do visível (370–500 nm).

Índice de Persistência do Calor – Calculou-se o indicador a partir da média anual da temperatura da superfície e do seu respectivo coeficiente de variação (CV), para o período de 2019 a 2024, de acordo com a expressão:

$$\mathrm{IPC} = \frac{\mathrm{LSTm}}{1 + (\frac{\mathrm{CV}}{100})}$$

em que:

- IPC é o Índice de Persistência do Calor;
- LST_m representa a média da temperatura da superfície terrestre calculada para o período de 2019 a 2024;
- CV corresponde ao coeficiente de variação da temperatura de superfície na série analisada.

Para o cálculo final da Dimensão Ambiental, realizou-se a normalização dos indicadores com base nos valores mínimo e máximo da distribuição, seguida da aplicação dos seguintes pesos: Dióxido de Nitrogênio (18%), Áreas com Risco de Movimentos de Massa (18%), Precipitação (18%), Áreas com Risco de Inundação (18%), Índice de Persistência do Calor (18%) e Temperatura da Superfície Terrestre (10%).

Concluída a consolidação das cinco dimensões pré-normalizadas, o ISRA foi calculado mediante a média aritmética simples dos seus respectivos escores. A visualização cartográfica dos resultados foi operacionalizada por meio da confecção de mapas coropléticos por setor censitário, adotando-se o método estatístico de Quebras Naturais de Jenks para a definição das classes de racismo socioambiental.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Aspectos éticos

Por utilizar exclusivamente dados secundários, agregados por setores censitários e de acesso público e irrestrito, o presente estudo prescinde de apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa, conforme estabelece as Resoluções nº 510/2016 [15] do Conselho Nacional de Saúde, em consonância com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais [16].

RESULTADOS

A elaboração do ISRA permitiu mapear e analisar, de forma integrada, as assimetrias socioespaciais por meio de suas cinco dimensões constituintes: Generorracial, Socioeconômica, Infraestrutura Urbana, Territorial e Ambiental (Figura 3).

A análise da Dimensão Generorracial revelou um padrão territorial marcadamente desigual na RMRJ. Os setores censitários classificados com escores "Muito Alto" e "Alto" concentram-se, predominantemente, na porção norte e noroeste da região metropolitana, abrangendo de forma contínua os municípios da Baixada Fluminense, São Gonçalo e Rio Bonito, além de periféricos, favelas e comunidades urbanas da capital. Essas localidades caracterizam-se pela elevada proporção de populações autodeclaradas pretas, pardas e indígenas, altos percentuais de domicílios chefiados por mulheres negras e significativa presença de idosos negros como responsáveis pelos domicílios. Em contrapartida, as classes “Muito Baixo” e “Baixo” predominam no município de Petrópolis e na porção sul da RMRJ, incluindo áreas litorâneas dos municípios de Niterói e Rio de Janeiro (Figura 3).

Na Dimensão Socioeconômica, a concentração da vulnerabilidade mostrou-se ainda mais abrangente do que na dimensão generorracial. Os setores censitários classificados como “Muito Alto” ocupam, principalmente, as áreas rurais dos municípios Cachoeiras de Macacu, Itaboraí e Rio Bonito. Já os classificados como “Alto” ocupam grandes porções contínuas do território metropolitano, destacando-se na Baixada Fluminense e na Zona Oeste da capital. As características dessa dimensão nesses territórios refletem a sobreposição de múltiplos condicionantes, como o adensamento domiciliar, baixos níveis de renda média mensal dos responsáveis pelos domicílios, elevados índices de analfabetismo entre a população negra com 15 anos ou mais, além da presença de domicílios improvisados. Em contrapartida, os setores classificados como “Muito Baixo” e “Baixo” concentram-se, sobretudo, nas porções sul e sudeste da região, incluindo bairros de maior renda e maior escolaridade (Figura 3).

A Dimensão de Infraestrutura Urbana apresentou uma espacialização marcada pela fragmentação territorial. Diferentemente dos padrões territoriais mais contínuos observados nas dimensões anteriores, os setores de escores "Muito Alto" e "Alto" distribuem-se de forma dispersa, embora apresentem adensamentos nas Zonas Norte e Oeste da capital, em municípios da Baixada Fluminense, em São Gonçalo, Itaboraí, além de áreas de favela em Petrópolis. Nesses locais, os escores mais elevados decorrem da combinação entre abastecimento de água e esgotamento sanitário inadequados e destinação irregular de resíduos sólidos. Esses cenários coincidem com ocupações informais e favelas marcadas pela omissão do poder público e pela desigualdade nos investimentos urbanos (Figura 3).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

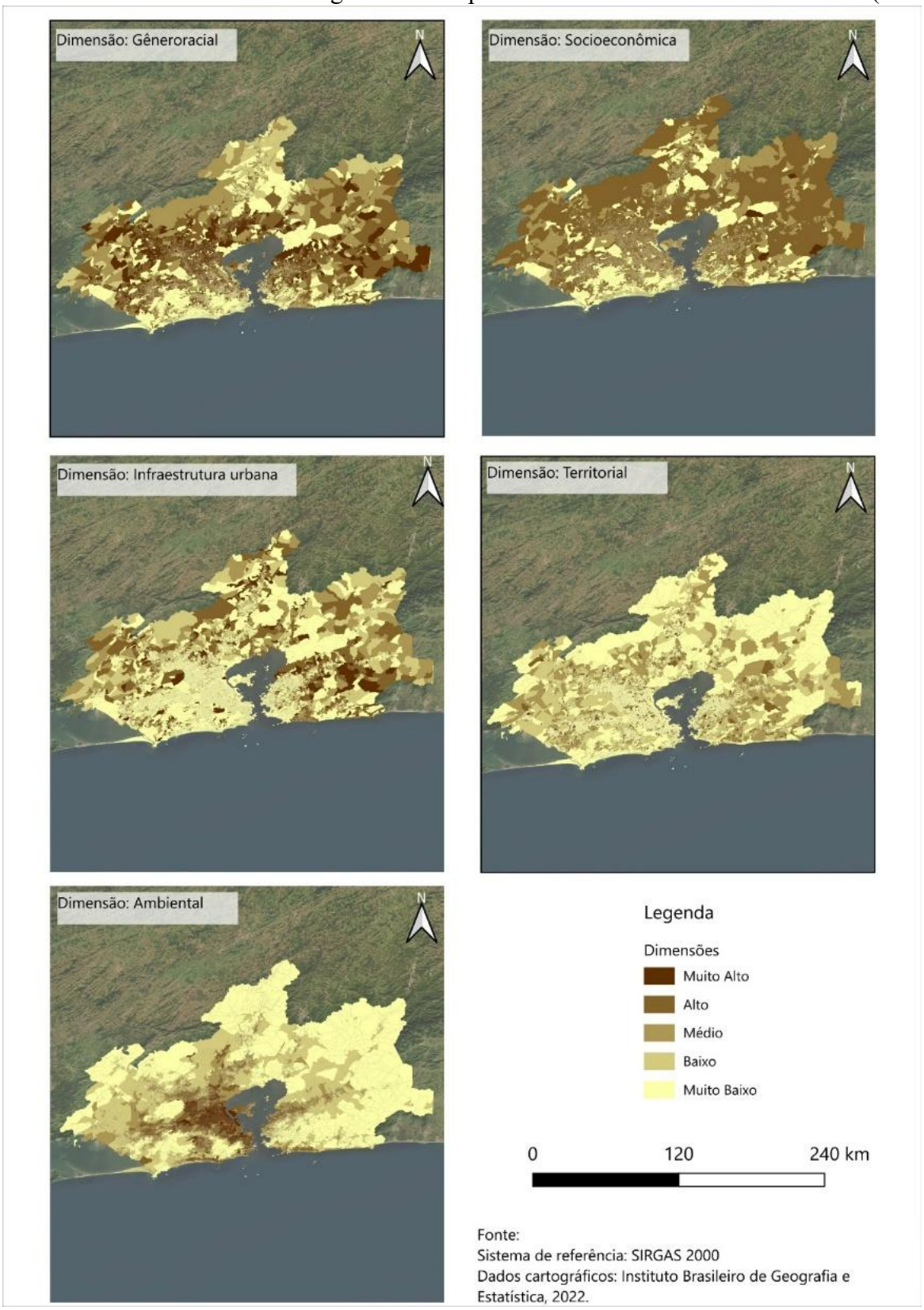
Em contraposição, os setores de escores "Muito Baixo" e "Baixo" englobam áreas consolidadas das Zonas Sul, Central e Sudoeste carioca, a orla de Niterói, áreas de Itaguaí, próximas à Baía de Sepetiba e no entorno da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guapimirim e do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. Tais classes incluem, ainda, setores periféricos e de favelas que, por razões históricas específicas, receberam investimentos em saneamento e coleta de lixo. Esse padrão demonstra que a precariedade infraestrutural não afeta as periferias de modo homogêneo, mas resulta de processos desiguais de urbanização que produzem geografias descontínuas de acesso e exclusão, criando ilhas de precariedade mesmo em regiões com melhores indicadores gerais.

A Dimensão Territorial caracterizou-se por uma distribuição espacial difusa em virtude da natureza dos indicadores que a compõem. Por articular densidade demográfica por área antropizada, variação do crescimento urbano em dois períodos históricos, proporção de áreas favelizadas e cobertura vegetal, os escores "Muito Alto" e "Alto" não se restringiram unicamente às periferias distantes, mas emergiram também em setores densificados e consolidados de favelas inseridas na porção urbana central e litorâneo da Região Metropolitana. Os maiores valores foram registrados nos setores censitários localizados em áreas de ocupação densa e consolidada nas Zonas Norte e Oeste da capital e nos núcleos urbanos dos municípios periféricos. As categorias de menor escore ("Baixo" e "Muito Baixo") distribuíram-se por grandes extensões territoriais caracterizadas por reduzida ocupação humana e pela presença marcante de vegetação, como as áreas de Reserva Biológica do Tinguá e do Parque Estadual dos Três Picos, além de setores urbanos consolidados com dinâmica populacional estabilizada (Figura 3).

Por sua vez, a Dimensão Ambiental contrapôs-se ao padrão distinto da distribuição difusa observada na dimensão territorial, delimitando áreas com expressiva exposição a ameaças socioambientais e estressores térmico-climáticos. Os setores censitários classificados no nível "Muito Alto" de impacto ambiental concentram-se principalmente nas Zonas Norte e Central da capital e na Baixada Fluminense, enquanto os de nível "Alto" se estendem por trechos da Zona Oeste, Maricá e São Gonçalo. Nesses territórios, a conjunção de elevadas temperaturas da superfície terrestre, persistência de ondas de calor, alta suscetibilidade a inundações e movimentos de massa, padrões críticos de precipitação acumulada e elevada concentração troposférica de dióxido de nitrogênio (NO_2) gera cenários de maior vulnerabilidade. As faixas de menor vulnerabilidade ambiental relacionaram-se diretamente às áreas de maior altitude e de densa cobertura florestal vinculadas a Unidades de Conservação. A distribuição espacial dessa dimensão evidencia a sobreposição entre a vulnerabilidade ambiental e as dimensões anteriores, uma vez que as áreas de classificadas como “Muito Alto” coincidem, em grande medida, como aquela que apresentam os maiores escores das dimensões Generorracial, Socioeconômica e de Infraestrutura Urbana (Figura 3).

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Figura 3: Dimensões que compõem o Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA) por setores censitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ).

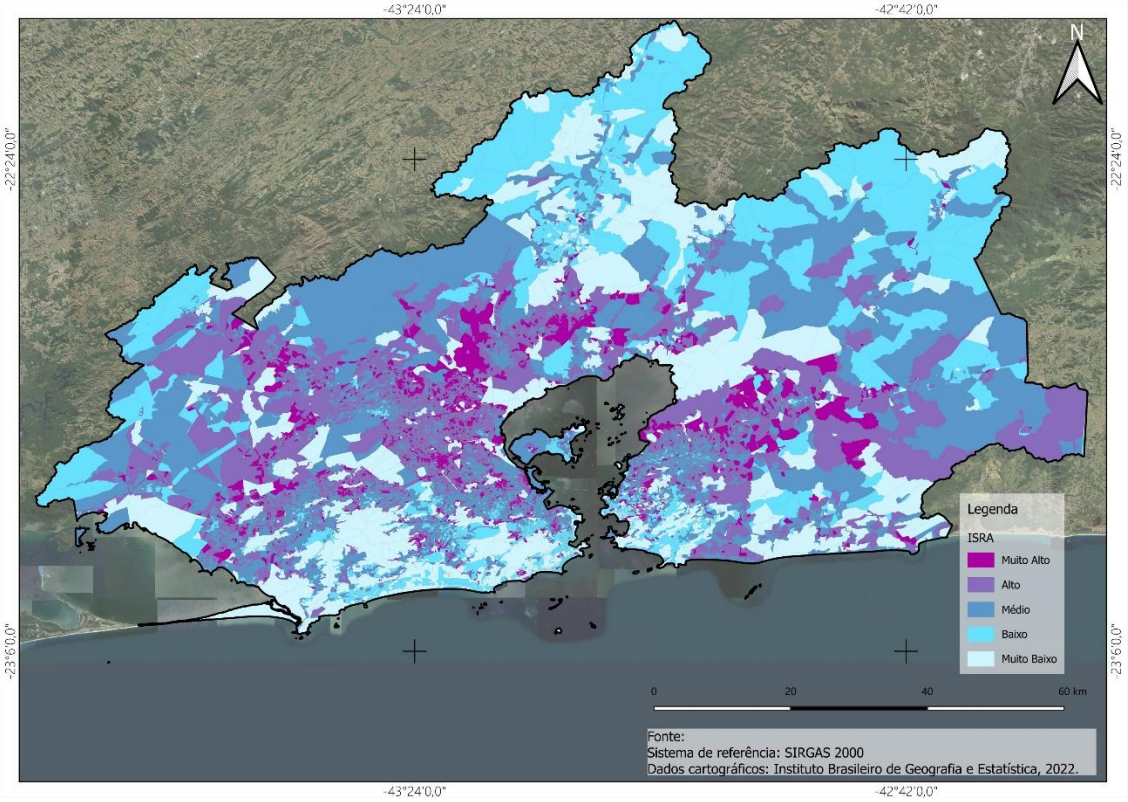


SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

A síntese integradora das cinco dimensões no ISRA revelou a expressão do fenómeno na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Do total de 27.618 setores censitários analisados, mais de metade (50,5%; 13.948) foi classificada nas faixas de elevado racismo ambiental, divididos em 35,1% (9.709) na classe "Alto" e 15,3% (4.239) na classe "Muito Alto" (Figura 4).

Em termos demográficos, esse padrão territorial abrange 56,0% da população total da metrópole, o que corresponde a 6.733.808 habitantes vivendo em condições de elevada vulnerabilidade socioterritorial e ambiental. Deste total, 4.693.770 de pessoas residem em setores classificados na faixa de risco "Alto" e 2.040.038 em setores classificados na faixa de risco "Muito Alto". A magnitude do racismo ambiental torna-se ainda mais evidente quando se consideram os setores censitários em que mais de 90% da área é caracterizada como favelas ou comunidade urbana. Dos 1.755.460 residentes nestes territórios, 99,0% encontram-se inseridos em áreas classificadas com ISRA "Alto" ou "Muito Alto". Os setores com baixos escores de ISRA ("Baixo" e "Muito Baixo") concentram-se nos eixos de maior renda e melhor infraestrutura, situados principalmente no sul, sudeste e nordeste da RMRJ (Figura 4).

Figura 4: Distribuição espacial do Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA) por setores censitários na Região Metropolitana do Rio de Janeiro.



DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na elaboração do ISRA evidenciam que a exposição aos riscos climáticos e ambientais na RMRJ não é um evento aleatoriamente distribuído, mas o reflexo de um padrão estrutural de segregação socioespacial que incide predominantemente sobre grupos racializados. O achado de que 56,0% da população metropolitana, e 99,0% dos moradores de favelas

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

e comunidades urbanas residem em áreas marcadas por elevados níveis de racismo ambiental demonstra a magnitude com que as desigualdades raciais, econômicas, ambientais e de infraestrutura se entrecruzam nos grandes centros urbanos.

A configuração territorial evidenciada pelo ISRA corrobora a literatura sobre o racismo ambiental, demonstrando que o acesso desigual aos recursos ambientais, à infraestrutura básica e à proteção institucional não pode ser dissociado dos processos históricos de formação da sociedade e da produção do espaço urbano. Como destacado por Jesus [2] e Porto [4], o racismo institucional e ambiental opera através do desinvestimento estatal seletivo, submetendo grupos radicalizados às piores condições habitacionais e à maior exposição a perigos ambientais.

À luz das teorias do Direito à cidade formuladas por Lefebvre [17] e Harvey [18], e articuladas à perspectiva racializada por Rezende e Andrade [19], a abordagem dos determinantes sociais da saúde desenvolvida por Marmot [20], podem ser compreendidas a distribuição desigual do espaço urbano, que é produzido e apropriado de forma profundamente assimétrica. A produção socioespacial da RMRJ direcionou os investimentos em saneamento, drenagem, áreas verdes e equipamentos públicos para as áreas predominantemente ocupadas por populações majoritariamente de maior renda, enquanto relegou populações majoritariamente negras a localidades suscetíveis a deslizamentos, baixadas sujeitas a inundações e áreas desprovidas de cobertura vegetal e saneamento básico. O ISRA quantificou e mapeou esse fenómeno, demonstrando que a periferização e a favelização não são meras categorias econômicas, mas expressões da espacialização do racismo estrutural e ambiental.

Diante do agravamento da crise climática global, as populações residentes em territórios com ISRA “Alto” e ”Muito Alto” encontram-se em posição de extrema vulnerabilidade. Conforme apontado por Deivanayagam [21], grupos historicamente vulnerabilizados que menos contribuíram para as emissões de gases de efeito estufa e para a degradação ambiental, são os que sofrem os impactos mais severos dos eventos climáticos extremos e dispõem de menor capacidade adaptativa.

A sobreposição entre as dimensões do ISRA indica que a vulnerabilidade socioterritorial não decorre de um único fator, mas da combinação de condições raciais, socioeconômicas, infraestruturais e ambientais que se reforçam mutuamente. Nesse sentido, o racismo ambiental constitui um importante componente do modelo da determinação social da saúde, cujos efeitos podem manifestar-se tanto diretamente, por meio da mortalidade associada a desastres, da ocorrência de doenças transmissíveis e de agravos cardiorrespiratórios desencadeados pela poluição do ar e pelo estresse térmico, quanto indiretamente, pelo comprometimento da saúde mental, da segurança alimentar e da coesão comunitária [22 -24].

A elaboração do ISRA representa um avanço no campo da vigilância em saúde ao oferecer uma ferramenta replicável e georreferenciada para a mensuração da vulnerabilidade socioterritorial. O índice responde à necessidade, ressaltada por diversos autores internacionais, de incorporar métricas explícitas de equidade racial e espacial aos índices de vulnerabilidade climática [6,5,25]. Todavia, em consonância com as ponderações de Muñoz-Requene [26], cabe sublinhar que a quantificação e a construção de índices não substituem o diagnóstico qualitativo nem os saberes acumulados pelas populações locais e pelos movimentos sociais. Pelo contrário, o ISRA deve atuar como um instrumento de visibilização cartográfica, capaz de respaldar as reivindicações dos movimentos por justiça ambiental e orientar a tomada de decisão no âmbito das políticas públicas.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

No âmbito dos serviços e da gestão do Sistema Único de Saúde (SUS), a identificação dos setores censitários com escores elevados do ISRA fornece subsídios práticos para o planejamento territorial. Essa identificação permite orientar o reforço de equipes da Estratégia Saúde da Família e da Vigilância nas áreas de maior vulnerabilidade, planejar a infraestrutura dos serviços de saúde para responder a emergências climáticas e priorizar intervenções intersetoriais de saneamento em territórios de maior risco.

Do ponto de vista epidemiológico, o ISRA contribui para a identificação de padrões territoriais de concentração de vulnerabilidades que podem permanecer ocultos quando os indicadores sociais, raciais e ambientais são analisados separadamente. Ao integrar diferentes dimensões em uma medida espacialmente explícita, o índice permite reconhecer áreas prioritárias para investigação, monitoramento e intervenção, contribuindo para o planejamento de ações de vigilância em saúde orientadas pelas desigualdades. Sua aplicação em escala de setores censitários também favorece a identificação de heterogeneidades intramunicipais, evitando que indicadores agregados para municípios inteiros ocultem áreas com condições particularmente desfavoráveis. Nesse sentido, o ISRA pode apoiar a formulação de hipóteses epidemiológicas e a seleção de territórios prioritários para estudos e ações subsequentes, sem substituir a investigação das exposições, dos desfechos de saúde e dos processos sociais envolvidos.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores Jefferson Pereira Caldas dos Santos, Alexandre San Pedro Siqueira, Leandro Henrique Vouga Pereira, Tamiris Batista Diniz, Maria Juliana Moura Corrêa e Hermano Albuquerque de Castro declaram não possuir conflitos de interesses de natureza financeira, comercial, institucional, profissional ou pessoal que possam ter influenciado o desenvolvimento, a análise dos resultados, a interpretação dos dados ou a elaboração do presente manuscrito.

Declaram, ainda, que o trabalho foi desenvolvido com independência científica e que não existem interesses concorrentes que possam comprometer a imparcialidade dos resultados apresentados.

Declaração para publicação: Os autores declaram não haver conflitos de interesses relacionados ao presente estudo.

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Jefferson Pereira Caldas dos Santos: Conceitualização; metodologia; investigação; curadoria de dados; análise formal; visualização; interpretação dos resultados; redação do manuscrito original; revisão e edição.

Alexandre San Pedro Siqueira: Conceitualização; metodologia; investigação; curadoria de dados; análise formal; interpretação dos resultados; redação do manuscrito original; revisão e edição.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

Leandro Henrique Vouga Pereira: Metodologia; investigação; curadoria de dados; análise formal; geoprocessamento e análise espacial; visualização; revisão e edição.

Tamiris Batista Diniz: Investigação; curadoria de dados; análise formal; interpretação dos resultados; redação do manuscrito original; revisão e edição.

Maria Juliana Moura Corrêa: Conceitualização; revisão e edição.

Hermano Albuquerque de Castro: Conceitualização; revisão crítica do conteúdo intelectual; revisão e edição.

Todos os autores participaram da elaboração e/ou revisão crítica do manuscrito, aprovaram sua versão final e concordam em assumir responsabilidade por suas respectivas contribuições científicas.

DECLARAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DOS DADOS DE PESQUISA

Os dados utilizados no desenvolvimento do estudo “Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental: Uma Abordagem Quantitativa para Mapeamento de Injustiças Urbanas” foram obtidos de fontes secundárias de acesso público, incluindo bases de dados censitários, ambientais e geoespaciais.

Os conjuntos de dados processados, os indicadores construídos e os resultados das análises espaciais que fundamentam o Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental (ISRA) poderão ser disponibilizados pelos autores, mediante solicitação fundamentada ao autor correspondente, para fins de verificação científica, reprodutibilidade metodológica e desenvolvimento de pesquisas relacionadas, respeitadas as condições de uso das bases originais.

DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Os autores declaram que não foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa na concepção da pesquisa, na elaboração da metodologia, no processamento e análise dos dados, na interpretação dos resultados ou na redação do manuscrito intitulado “Índice Socioterritorial de Racismo Ambiental: Uma Abordagem Quantitativa para Mapeamento de Injustiças Urbanas”.

Todas as etapas da pesquisa foram conduzidas pelos autores, que assumem integral responsabilidade pelo conteúdo científico, pela originalidade e pela integridade das informações apresentadas.

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

REFERÊNCIAS

1- MENEZES, L. C.; CUNHA, L. G. Desvendando a justiça climática: uma revisão bibliográfica sobre o conceito e seus significados. *Revista Direito e Práxis*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 3, e95810, 2026. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8966/2026/95810.

2- JESUS, V. Racializando o olhar (sociológico) sobre a saúde ambiental em saneamento da população negra: um continuum colonial chamado racismo ambiental. *Saúde e Sociedade*, São Paulo, v. 29, n. 2, e180519, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/S0104-12902020180519.

3- VAN HORNE, Y. O.; ALCALA, C. S.; PELTIER, R. E. et al. An applied environmental justice framework for exposure science. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, v. 33, n. 1, p. 1-11, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41370-022-00422-z.

4- PORTO, M. F. Saúde do trabalhador e o desafio ambiental: contribuições do enfoque ecossocial, da ecologia política e do movimento pela justiça ambiental. *Ciência & Saúde Coletiva*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 4, p. 829-839, 2005. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-81232005000400008.

5- FOX, S.; AGYEMANG, F.; HAWKER, L.; NEAL, J. Integrating social vulnerability into high-resolution global flood risk mapping. *Nature Communications*, v. 15, art. 3155, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-024-47394-2.

6- Amoako Johnson F, Jayson-Quashigah PN, Hornby D, Hill C, Abu M, Appeaning Addo K, et al. Mapping socio-environmentally vulnerable hotspots in the Volta Delta of Ghana. PLoS One. 2025;20(5):e0322453. doi:10.1371/journal.pone.0322453.

7- BEARD, S.; FREEMAN, K.; VELASCO, M. L. et al. Racism as a public health issue in environmental health disparities and environmental justice: working toward solutions. *Environmental Health*, v. 23, n. 1, art. 8, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s12940-024-01052-8.

8- Rio de Janeiro. Lei Complementar nº 184, de 27 de dezembro de 2018. Dispõe sobre a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, sua composição, organização e gestão, define as funções públicas e serviços de interesse comum, cria a autoridade executiva da Região Metropolitana do Rio de Janeiro e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro. 2018.

9- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo Demográfico 2022: Resultados de Universo. Rio de Janeiro: IBGE; 2023. Disponível em: ibge.gov.br

10- Projeto MapBiomas. Plataforma MapBiomas Brasil [Internet]. [citado em 2026 out 28]. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/plataforma/

11- United States Geological Survey. Landsat Missions. Reston: USGS. Disponível em: https://www.usgs.gov/landsat-missions

12- University of California, Santa Barbara. Climate Hazards Center. CHIRPS: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station Data. Santa Barbara: University of California; Disponível em: https://www.chc.ucsb.edu/data

13- Neal J, Hawker LP, Uhe P, Paulo L, Sosa J, Savage J, et al. FABDEM V1-2. Bristol: University of Bristol; 2023. Disponível em: https://doi.org/10.5523/bris.s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn

14- HydroSHEDS. HydroSHEDS: hydrographic data and maps [Internet]. [citado em 2026 out 28]. Disponível em: https://www.hydrosheds.org/

15- Brasil. Conselho Nacional de Saúde. Resolução nº 510, de 7 de abril de 2016. Dispõe sobre as normas aplicáveis a pesquisas em Ciências Humanas e Sociais [Internet]. Brasília: Conselho Nacional de Saúde; 2016 [citado em 2026 out 28]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2016/res0510_07_04_2016.html

SciELO Preprints - Este documento é um preprint e sua situação atual está disponível em: https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.18733

16- Brasil. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD) [Internet]. Brasília: Presidência da República; 2018 [citado em 2026 out 28]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm
17- LEFEBVRE, H. *O direito à cidade*. Centauro Editora. São Paulo: Centauro, 2011. Disponível em: https://monoskop.org/images/f/fc/Lefebvre_Henri_O_direito_a_cidade.pdf
18- HARVEY, D. O direito à cidade. *Lutas Sociais*, São Paulo, n. 29, p. 73-89, 2012. DOI: https://doi.org/10.23925/ls.v0i29.18497.
19- REZENDE, A. F.; ANDRADE, L. F. S. Direito do Negro à Cidade: de uma formação socioespacial racista à utopia lefebvriana. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, v. 14, e20210438, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-3369.014.e20210438.
20- Marmot M. Social determinants of health inequalities. Lancet. 2005 Mar 19-25;365(9464):1099-104. doi: 10.1016/S0140-6736(05)71146-6. PMID: 15781105.
21- DEIVANAYAGAM, T. A.; ENGLISH, S.; HICKEL, J. et al. Envisioning environmental equity: climate change, health, and racial justice. *The Lancet*, v. 402, n. 10395, p. 64-78, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)00919-4.
22- ARAÚJO, I. L. F.; GODOI, A. C. R. S.; RIBEIRO, L. P. Racismo ambiental, mineração e saúde mental da população negra. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 40, n. 6, e00045324, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311XPT045324.
23- BEARD, S.; FREEMAN, K.; VELASCO, M. L. et al. Racism as a public health issue in environmental health disparities and environmental justice: working toward solutions. *Environmental Health*, v. 23, n. 1, art. 8, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s12940-024-01052-8
24- OLIVEIRA, F. A.; TEJADAS, S. S. Crise climática no capitalismo brasileiro: perspectivas para atuação do Serviço Social no Estado. *Serviço Social & Sociedade*, São Paulo, v. 148, n. 2, e-6628485, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/0101-6628.485.
25- WANG, P.; O'BRIEN, F.; SON, J.-Y. et al. An updated modeling framework and sensitivity analysis of methodology for the climate health vulnerability index. *Nature Communications*, v. 17, art. 1417, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-025-68162-w.
26- MUÑOZ-REQUENE, L.; SÁNCHEZ-ZAMORA, P.; GALLARDO-COBOS, R. Vulnerability assessment to tropical cyclones in the North Caribbean Coast of Nicaragua (1988–2022). *PLoS ONE*, v. 21, n. 6, e0352206, 2026. DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0352206.

Este preprint foi submetido sob as seguintes condições:

- Os autores declaram que os necessários Termos de Consentimento Livre e Esclarecido de participantes ou pacientes na pesquisa foram obtidos e estão descritos no manuscrito, quando aplicável.
- Os autores declaram que a elaboração do manuscrito seguiu as normas éticas de comunicação científica.
- Os autores declaram que estão cientes que são os únicos responsáveis pelo conteúdo do preprint e que o depósito no SciELO Preprints não significa nenhum compromisso de parte do SciELO, exceto sua preservação e disseminação.
- Os autores declaram que os dados, aplicativos e outros conteúdos subjacentes ao manuscrito estão referenciados.
- O manuscrito depositado está no formato PDF.
- Os autores declaram que a pesquisa que deu origem ao manuscrito seguiu as boas práticas éticas e que as necessárias aprovações de comitês de ética de pesquisa, quando aplicável, estão descritas no manuscrito.
- Os autores declaram que uma vez que um manuscrito é postado no servidor SciELO Preprints, o mesmo só poderá ser retirado mediante pedido à Secretaria Editorial do SciELO Preprints, que afixará um aviso de retratação no seu lugar.
- Os autores concordam que o manuscrito aprovado será disponibilizado sob licença Creative Commons CC-BY.
- O autor submissor declara que as contribuições de todos os autores e declaração de conflito de interesses estão incluídas de maneira explícita e em seções específicas do manuscrito.
- Os autores declaram que o manuscrito não foi depositado e/ou disponibilizado previamente em outro servidor de preprints ou publicado em um periódico.
- Caso o manuscrito esteja em processo de avaliação ou sendo preparado para publicação mas ainda não publicado por um periódico, os autores declaram que receberam autorização do periódico para realizar este depósito.
- O autor submissor declara que todos os autores do manuscrito concordam com a submissão ao SciELO Preprints.