


---

## Análise Exploratória Espacial da Arborização de Vias em Áreas Urbanizadas: estudo no Brasil Subtropical


*Spatial Exploratory Analysis of Florestation Ways in Urbanized Areas: study in Subtropical Brazil*

*Análisis Espacial Exploratorio de Florestación Vial en Areas Urbanizadas: estudio en Brasil Subtropical*


Claire Morrone Parfitt<sup>1</sup>

 <https://orcid.org/0000-0002-6890-2129>

Henrique Noguez da Cunha<sup>2</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-7306-7853>

Nádia Campos Pereira Bruhn<sup>3</sup>

 <https://orcid.org/0000-0001-8607-7081>

---

**RESUMO:** Esta pesquisa objetiva investigar o padrão da distribuição espacial da arborização viária em áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil, sua relação com a temperatura média local e com as tipologias climáticas do estado. Foram utilizados dados do IBGE sobre arborização de vias em áreas urbanizadas; as estimativas de temperatura média dos municípios foram coletadas no site Ipeadata e os dados de tipologia climática em Rossato (2011). A análise espacial foi realizada através do Índice Global Moran e local (LISA) bivariado para os 497 municípios do estado. O Mapa LISA evidenciou hotspots ou cluster espacial tipo *High-High* e *Low-High* a noroeste, na fronteira com a Argentina; tipo *Low-Low* e tipo *High-Low* a nordeste e sul do estado. Identifica-se a urgência de medidas de planejamento, incentivo a arborização de vias em áreas urbanizadas nas Regiões Funcionais Três e Cinco do estado.

**PALAVRAS CHAVE:** Arborização de vias urbanas. Estatística especial. Rio Grande do Sul - Brasil.

**ABSTRACT:** *This research aims to investigate the pattern of spatial distribution of ways afforestation in urbanized areas of the municipalities of Rio Grande do Sul, Brazil, its relationship with the local*

---

<sup>1</sup> Doutora em Planejamento Urbano e Regional pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Professora Associada da Universidade de Pelotas - UFPEL. E-mail: [clairem.parfitt@gmail.com](mailto:clairem.parfitt@gmail.com).

<sup>2</sup> Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. E-mail: [henriquencunha@gmail.com](mailto:henriquencunha@gmail.com).

<sup>3</sup> Doutorado em Administração pela Universidade Federal de Lavras - UFLA. Docente do curso de Gestão Ambiental da Universidade Federal de Pelotas - UFPEL. E-mail: [nadiacbruhn@gmail.com](mailto:nadiacbruhn@gmail.com).

*average temperature and with the climatic typologies of the state. Data from the IBGE on afforestation of ways in urbanized areas were used; the average temperature estimates of the municipalities were collected on the Ipeadata website and the climate typology data on Rossato (2011). Spatial analysis was performed using the bivariate Global Moran and Local Index (LISA) for the 497 municipalities in the state. The LISA Map showed hotspots or spatial clusters High-High and Low-High in the northwest, on the border with Argentina; Low-Low type, and High-Low type in the northeast and south of the state. The urgency of planning measures is identified, encouraging the afforestation of ways in urbanized areas in Functional Regions Three and Five of the state.*

**KEYWORDS:** *Forestation of urban ways. Spatial statistics. Rio Grande do Sul - Brazil.*

**RESUMEN:** *Esta investigación tiene como objetivo investigar el patrón de distribución espacial de la forestación vial en áreas urbanizadas de los municipios de Rio Grande do Sul, Brasil, su relación con la temperatura media local y con las tipologías climáticas del estado. Se utilizaron datos del IBGE sobre forestación de caminos en áreas urbanizadas; las estimaciones de temperatura media de los municipios se recopilaron en el sitio web de Ipeadata y los datos de tipología climática en Rossato (2011). El análisis espacial se realizó utilizando el índice bivariado Global Moran and Local (LISA) para los 497 municipios del estado. El Mapa LISA mostró hotspots o clusters espaciales Alto-Alto y Bajo-Alto en el noroeste, en la frontera con Argentina; tipo Bajo-Bajo y tipo Alto-Bajo en el noreste y sur del estado. Se identifica la urgencia de medidas de planificación, incentivando la forestación de calles en áreas urbanizadas en las Regiones Funcionales Tercera y Quinta del estado.*

**PALABRAS CLAVE:** *Arborización de vías urbanas. Estadística espacial. Rio Grande do Sul - Brasil.*

---

## INTRODUÇÃO

Da mesma forma que inexistem estudos relacionados à arborização urbana no Rio Grande do Sul, que contemplam todo o seu território, ainda não há uma profunda compreensão sobre os fatores responsáveis pela diferença entre os percentuais de arborização no entorno dos domicílios e sua relação com a temperatura média local.

Atualmente, o Rio Grande do Sul apresenta 497 municípios. O censo do IBGE mostra que mais de 85% da sua população vive em áreas urbanas (IBGE, 2010a). Grande parte dessas áreas têm sérios problemas, como poluição da água, do ar e sonora, enchentes, desmoraamentos etc e também pouca cobertura vegetal.

Vários autores como, por exemplo, Lima (2014), Minaki (2012), Lima e Amorim (2006), Nucci (1998) e Rodrigues (1997) abordaram esses problemas relacionando-os com a qualidade ambiental urbana.

Na busca de melhores condições de vida para os seus habitantes, o conhecimento e a análise das cidades através das óticas econômica, social e ambiental são pré-requisitos básicos para o planejamento e gestão das áreas urbanas. Nesse contexto, a arborização urbana assume importância particular.

De acordo com Donovan (2017), Moreira *et al.* (2020) e Wolf *et al.* (2020), a arborização, ao mesmo tempo em que caracteriza e identifica as vias das cidades, aumenta

a interação da comunidade e o valor das propriedades, desempenhando um papel fundamental no apoio às comunidades urbanas saudáveis e à qualidade ambiental urbana.

Ela contribui para a biodiversidade fornecendo alimentos, habitat e conectividade de paisagem para a fauna urbana, aumentando a habitabilidade das cidades, reduzindo o escoamento das águas pluviais, melhorando a qualidade do ar, armazenando carbono, proporcionando sombra e melhorando o efeito urbano das ilhas de calor (BURDEN, 2006; WOOD e ESAIAN, 2020; BERTHON, THOMAZ e BEKESSY 2021).

Conforme Tallis *et al.* (2011), Zardo *et al.* (2017) e Préndez *et al.* (2019), as árvores são particularmente eficazes para diminuir o ruído e captar poluentes atmosféricos, incluindo ozônio, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) podendo reduzir as temperaturas diurnas entre 5°C e 20°C, tornando as atividades cotidianas mais prazerosas e mais saudáveis.

No que se refere a aspectos econômicos, Brander e Koetse (2011), e Von Döhren e Haase (2019) afirmam que as árvores de rua podem proporcionar incremento de renda nos negócios e aumentar o valor das propriedades urbanas. Assim, os benefícios das árvores de rua fornecem uma base quantificável para a manutenção de programas municipais permitindo que os benefícios sejam facilmente compreendidos pela política e pelos tomadores de decisão. Conforme Seamans (2013), o principal uso das árvores de rua mudou nas últimas décadas, de um papel estético de embelezamento e ornamentação, para um que também inclui a prestação de serviços ambientais. Dessa forma, as árvores influenciam o clima urbano e assim, nos impactos combinados da urbanização e das alterações climáticas, tendo grandes efeitos nas temperaturas urbanas especialmente em países em desenvolvimento (CHAPMAN *et al.*, 2017; DEILAMI, KAMRUZZAMAN e LIU, 2018).

Sobre arborização de vias no Brasil existem o trabalho de Almeida e Rondon Neto (2010) que analisaram a situação da arborização urbana em duas cidades da região Norte do Estado de Mato Grosso, a fim de obter subsídios que pudessem servir de base na discussão e elaboração de leis ; o de Albuquerque e Lopes (2016), que objetivou determinar a influência das áreas verdes urbanas na temperatura da cidade de Teresina-PI, comparando dados climáticos coletados em locais arborizadas, com dados coletados em regiões da cidade com menor índice de vegetação, destacando a importância dessas áreas para a melhoria da qualidade ambiental do espaço urbano, e o de Vignola Junior (2015), cujo foco foi introduzir um processo de leitura e interpretação da distribuição da arborização no sistema viário público urbano. Para tanto foi criado um método, com a utilização de software Sistema de Informação Geográfica (GIS), denominado ArbVias, que possibilita medições de frequência de indivíduos (árvores) e a sua classificação por continuidade de cobertura de suas copas, enquanto a pesquisa de Duarte *et al.*(2017) objetivou traçar um

panorama da arborização urbana no Brasil relacionando-o com a questão socioeconômica e as regiões brasileiras a partir dos dados da presença de árvores no entorno das residências do censo 2010 disponibilizados pelo IBGE (IBGE, 2010b).

Já a literatura internacional aborda principalmente aspectos socioeconômicos e ambientais relacionados com planejamento. Os estudos de Cruz-Sandoval, Ortego e Roca (2020) apresentam o movimento de justiça ambiental com o estudo da infraestrutura verde e seus benefícios em Guadalajara no México; Sousa *et al.* (2018) exploram também o conceito de justiça ambiental na distribuição de espaços verdes urbanos em Tartu, Estônia e Faro, em Portugal. Galenieks (2017) trata de políticas de arborização de vias com o estudo de cidades do sul da Califórnia; enquanto Meerow e Newell (2017) centram no planejamento espacial para estrutura verde multifuncional abordando resiliência no caso de Detroit. Já Salmond *et al.* (2016) apresentam uma revisão bibliográfica relacionada a serviços ecossistêmicos providos pela arborização de vias no ambiente urbano. Também Mullaney, Lucke e Trueman (2015) apresentam uma revisão no caso dos benefícios do aumento da arborização de vias no ambiente urbano. Landry e Chakraborty (2009) investigam as implicações de equidade ambiental das árvores nas ruas – uma importante amenidade financiada publicamente que oferece vários benefícios diretos e indiretos para moradores urbanos. Por fim, Bryant (2007) aborda os resultados de um estudo de planejamento da biodiversidade de um ambiente altamente urbanizado em Washington, DC (EUA) demonstrando o papel crítico de vias verdes e parques ecológicos na conservação de espécies urbanas.

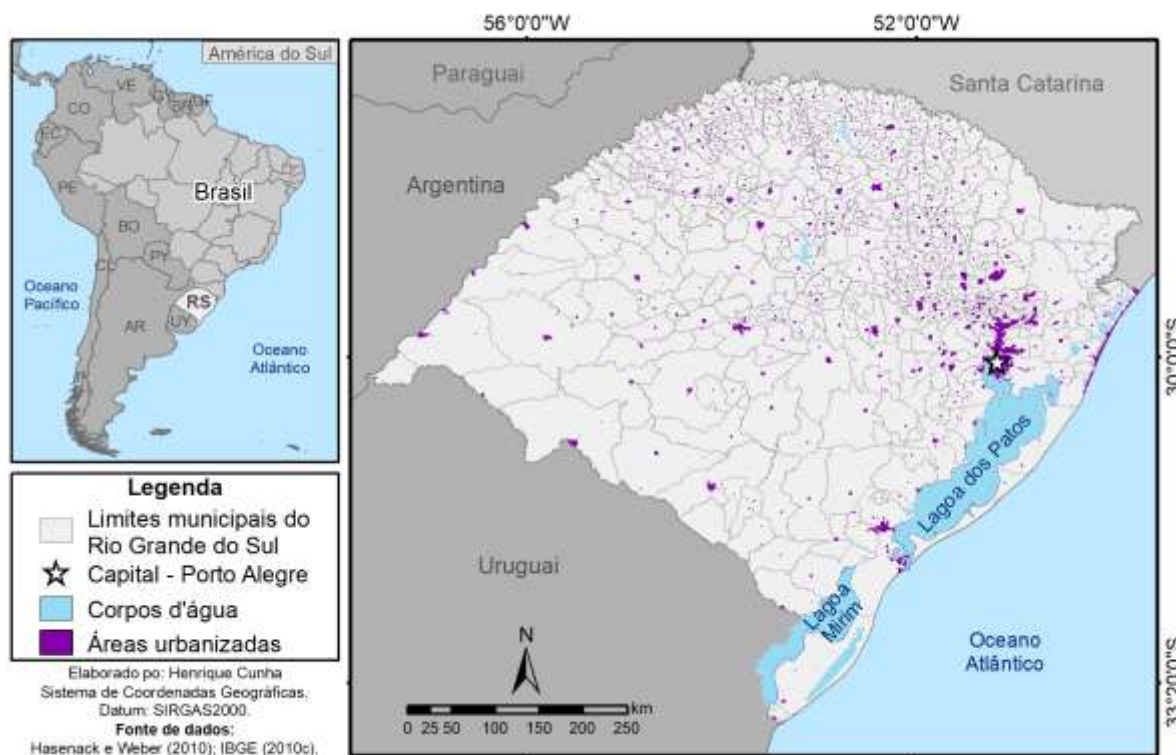
Esta pesquisa tem como objetivo analisar o padrão da distribuição espacial da arborização viária em áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil e sua relação com a temperatura média local e as tipologias climáticas do estado.

Sua importância está em poder vir a servir de base principalmente para planejamento e gestão tanto a nível municipal como estadual e, por fim, melhorar a qualidade de vida e a justiça ambiental no estado do Rio Grande do Sul.

## **CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O Rio Grande do Sul (Figura 1) é uma das 27 unidades federativas do Brasil e está situado na Região Sul do país. Tem por limites o estado de Santa Catarina ao norte, Argentina ao oeste e Uruguai ao sul, além do oceano Atlântico a leste. Está dividido em 497 municípios e sua área total é de 281.707,156 quilômetros quadrados, o que equivale a 3,3% da superfície do Brasil. Sua capital é Porto Alegre (IBGE, 2010a).

**Figura 1 - Localização do Rio Grande do Sul**



**Fonte:** autores.

Sua população é de 11.466.630 habitantes, estimada em IBGE (2021a), cerca de 5,4% da população brasileira. É o estado mais populoso da região Sul e o quinto do Brasil. A população gaúcha é uma das mais diversificadas do país, grande parte formada por descendentes de portugueses, alemães, italianos, africanos, libaneses e indígenas e em pequena parte por espanhóis, poloneses e franceses, dentre outros imigrantes (RIO GRANDE DO SUL, 2022).

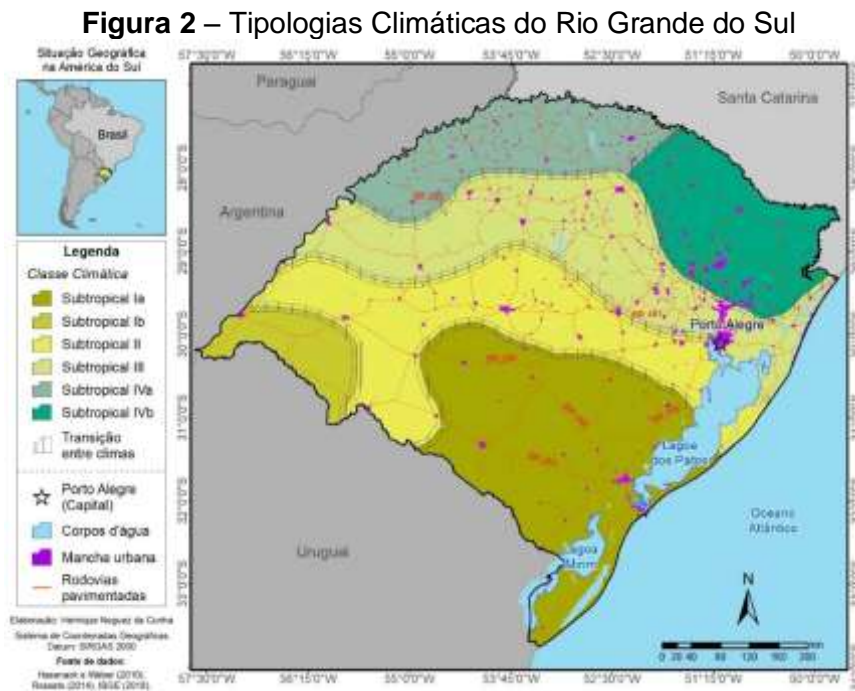
As cidades mais populosas do estado são: Porto Alegre, Caxias do Sul, Canoas, Pelotas, Rio Grande e Santa Maria. O relevo é constituído por uma extensa baixada, dominada ao norte por um planalto. O clima é subtropical e a economia baseia-se na agricultura, principalmente nas culturas de soja, trigo, arroz e milho, na pecuária e indústria de couro e calçados, têxtil alimentícia, madeireira, metalúrgica e química (RIO GRANDE DO SUL, 2022). É o estado mais meridional do Brasil e conta com R\$ 482.464 bilhões de PIB, conforme dados do IBGE para o ano de 2021 (IBGE, 2021b) superado apenas por São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais.

Para fins de planejamento no Rio Grande do Sul, divide-se em 9 regiões agrupadas em Conselhos Regionais de Desenvolvimento - COREDEs. Os Conselhos Regionais de Desenvolvimento, criados oficialmente pela Lei 10.283 de 17 de outubro de 1994; consistem num fórum de discussão para a promoção de políticas e ações que visam o desenvolvimento regional.

## O CLIMA NO RIO GRANDE DO SUL

O presente estudo tem por base Rossato (2011), que constata que no Rio Grande do Sul os sistemas polares são os principais dinamizadores dos climas no estado em interação com os sistemas tropicais. A partir da relação destes fatores geográficos locais e regionais, a autora definiu a variabilidade espacial dos elementos do clima.

Com relação à tipologia climática, o estado do Rio Grande do Sul situa-se em área de clima Subtropical subdividido em quatro tipos principais: Subtropical I - pouco úmido (subtropical Ia pouco úmido com inverno frio e verão fresco e subtropical Ib pouco úmido com inverno frio e verão quente); Subtropical II - medianamente úmido com variação longitudinal das temperaturas médias; Subtropical III - úmido com variação longitudinal das temperaturas médias; e Subtropical IV - muito úmido (subtropical IVa muito úmido com inverno fresco e verão quente e Subtropical IVb muito úmido com inverno frio e verão quente). Dessa forma, o Rio Grande do Sul apresenta regiões climaticamente bem diferenciadas evidenciando certa heterogeneidade, (Figura 2).



Fonte: autores, baseados em Rossato (2011).

O clima do Rio Grande do Sul apresenta uma forte conexão com o fenômeno *El Niño* - Oscilação Sul (ENOS), de acordo com Berlato e Cordeiro (2018) e Cordeiro *et al.* (2016). As fases opostas desta oscilação, *El Niño* (EN) e *La Niña* (LN), alteram, principalmente, o padrão de distribuição da precipitação nesta porção do país.

Segundo Berlato e Fontana (2003) em anos de forte *El Niño* chove bem mais que a média na primavera e começo do verão (outubro, novembro e dezembro) no ano inicial do evento, e no final do outono e começo do inverno (abril, maio e junho) do ano seguinte. Em anos de *La Niña* há uma forte tendência do final de outono, inverno e primavera serem mais frios que o “normal” (especialmente maio, junho, julho, outubro e novembro). Isto ocorre porque as frentes frias passam a se deslocar com maior rapidez, resultando em temperaturas mais baixas que o normal e menores acumulados de precipitação no Rio Grande do Sul.

Com base em modelos climáticos globais e regionais é constatado, pelo Painel Brasileiro sobre Mudanças Climáticas (2014), uma tendência de tropicalização do clima do sul do Brasil para os próximos 90 anos.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo trata de análise espacial que buscou relacionar as taxas de arborização de vias das áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul com a temperatura média local, além de avaliar a correlação de taxas de prevalência da arborização de vias entre os municípios vizinhos. Para realização das análises consideraram-se os casos identificados de arborização de vias no Rio Grande do Sul em 2010 utilizando os dados do último censo demográfico. As estimativas de temperatura média compreenderam 30 anos que se estendem de 1961 a 1990. Essas estimativas foram coletadas no site Ipeadata a partir da base de dados climáticos CRU CL 2.0 10' do *Climate Research Insit.* da *University of East Anglia* (CRU-UEA) na Inglaterra.

Neste estudo, foi utilizado o nível de significância de 95% e 99 permutações, ou seja, serão áreas com autocorrelação espacial estatisticamente significativa aquelas cujo valor -p for menor ou igual a 0,05. Ao final, foram elaborados mapas temáticos para melhor visualização e compreensão dos dados por meio do software QGIS 2.8.3.

Para o desenvolvimento da modelagem estatística espacial, utilizou-se do índice de Moran Global (I) e local (Lisa) bivariado - com o objetivo de estimar o nível de autocorrelação espacial entre as áreas (municípios), bem como observar padrões espaciais das variáveis em análise neste estudo. Para a análise da autocorrelação espacial foi calculado o índice de Moran Global (I). Para analisar o padrão da distribuição espacial e a intensidade dos aglomerados (se dispersos, concentrados ou pontuais) segundo os municípios, foi utilizado o índice de Moran Local (bivariado). Foi considerado o nível de significância de  $p < 0,05$ .

Os índices de Moran Global (I) e Lisa identificam a autocorrelação espacial que mede a relação entre observações com proximidade espacial, considerando que observações

próximas espacialmente possuem valores parecidos. Os indicadores globais de autocorrelação espacial (Moran I) fornecem uma única medida para o conjunto de todos os municípios, caracterizando toda a região de estudo. Para esse cálculo, é realizada uma autocorrelação espacial a partir do produto dos desvios em relação à média.

Esse índice mede a semelhança das áreas observados quanto ao indicador estudado do que se espera ao acaso. Segundo Druck *et al.* (2004), o índice global de Moran representa a autocorrelação considerando apenas o primeiro vizinho. Este índice calcula a autocorrelação espacial global de cada variável, permitindo analisar se os dados são autocorrelacionados espacialmente. De acordo com Câmara e Monteiro (2004) e Anselin, Sridharan e Gholston o índice de Moran pode ser assim representado:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n z_i z_j w_{ij}}{S_0 \sum_{i=1}^n z_i^2}$$

Onde n representa o número de populações (n polígonos);  $z_i (x_i - \bar{x})$ , e  $z_j (x_j - \bar{x})$  para  $i \neq j = 1, n$  representam valores observados das populações i e j centradas na média da variável x em estudo; enquanto  $w_{ij}$  é o elemento da matriz de proximidade W, n x n, a qual expressa a relação espacial entre as n populações, e  $S_0$  é definida pela eq. (2):

$$S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}$$

A estatística I de Moran tem valor esperado  $E(I) = -[1/(n-1)]$  sob a hipótese de não existência de autocorrelação ( $H_0$ ). Assim, os valores de I que excedem  $-[1/(n-1)]$  indicam autocorrelação espacial positiva e, conseqüentemente, valores de I abaixo do valor esperado indicam autocorrelação negativa (DRUCK *et al.*, 2004; ARAUJO, URIBE-OPAZO e JOHANN, 2014).

Os padrões de distribuição dos indicadores foram examinados em menor escala por meio dos Lisa, produzindo um valor específico para cada município e permitindo a visualização de agrupamentos de municípios com valores similares para os indicadores selecionados. A autocorrelação local foi calculada por meio do Indicador Local de Associação Espacial (LISA) a qual deve satisfazer aos seguintes critérios: (i) deve possuir, para cada município, uma indicação de agrupamentos espaciais significantes de valores



similares em torno do município; (ii) o somatório dos LISAs para todos os municípios é proporcional ao I de Moran Global (ANSELIN, 1995; ARAÚJO, URIBE-OPAZO e JOHANN, 2014). De acordo com Celebioglu e Dall’erba (2009), o indicado LISA, ou índice I de Moran local, pode ser assim especificado:

$$I_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma_0^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \mu), \quad i = 1, \dots, n$$

Em que  $\sigma_0^2$  representa a variância populacional da variável em estudo dos n municípios;  $x_i$  - observação de uma variável de interesse no município i para  $i = 1, \dots, n$ , e  $\mu$  representa a média dos n municípios.

Então, a estatística pode ser interpretada da seguinte forma: o resultado de I varia de -1 a +1, em que valores positivos (entre 0 e +1) indicam autocorrelação positiva, ou seja, o objeto tende a ser semelhante aos valores dos seus vizinhos, enquanto valores negativos (entre 0 e -1) correspondem a uma correlação inversamente proporcional, ou seja, o valor do atributo em uma região não é dependente dos valores dessa mesma variável em áreas diferentes.

Correlações do tipo *High-High* mostram municípios com altas proporções do indicador, cercados de outros municípios também com altas proporções do outro indicador; as do tipo *Low-Low* indicam municípios com baixa proporção, cercados por municípios com baixa proporção do outro indicador; as do tipo *High-Low* denotam municípios com alta proporção, cercados por municípios com baixa proporção do outro indicador; e as do tipo *Low-High* descrevem municípios com baixa proporção, cercados de municípios com alta proporção do outro indicador.

O índice de Moran bivariado, denotado como  $I_{xy}$ , é um índice de correlação espacial entre duas variáveis (X e Y). Assim, a autocorrelação espacial pode ser feita também de forma bivariada, a fim de identificar se a variável observada em uma região tende a estar rodeada por determinada concentração de valores de outra variável, em regiões vizinhas.

Os dados foram apresentados segundo o diagrama de espalhamento de Moran. Esse diagrama é um gráfico de dispersão entre os valores padronizados dos atributos (variáveis) z e a média dos vizinhos (também padronizados) wz, que é dividido em quadrantes.

Segundo Druck *et al.* (2004), esses quadrantes podem ser assim interpretados: Q1 (valores e médias positivas) e Q2 (valores e médias negativas) apontam áreas de autocorrelação espacial positiva, indicando similaridade entre os valores do atributo e da

localização especial do atributo, enquanto Q3 (valores positivos, médias negativas) e Q4 (valores negativos, médias positivas) apontam áreas de associação espacial negativa, indicando dissimilaridade entre os valores do atributo e da localização especial do atributo. As análises neste estudo foram feitas utilizando o software GeoDa versão 1.4.1 e por fim confrontados com as tipologias climáticas do Rio Grande do Sul a partir de Rossato (2011).

## **ARBORIZAÇÃO EM ÁREAS URBANIZADAS NO RIO GRANDE DO SUL**

O conjunto de dados apresentados a seguir, acompanhados de uma breve descrição, tem como objetivo embasar a análise espacial da arborização viária das áreas urbanizadas dos municípios pertencentes a ao estado do Rio Grande do Sul, Brasil, sua relação com a temperatura média local e as tipologias climáticas do estado.

Os dados sobre a arborização no entorno do domicílio no censo IBGE (2010b) se mostram importantes no sentido em que permitem o entendimento da realidade da arborização urbana no estado do Rio Grande do Sul.

A Figura 3 mostra a distribuição do percentual de domicílios urbanos em vias públicas com arborização dos municípios do Rio Grande do Sul. A análise do mapa indica que os municípios que apresentam maior valor do indicador estão localizados a noroeste, centro a sudoeste do estado, bem como na margem oeste da Lagoa dos Patos. Já os que apresentam menores valores para esse indicador localizam-se a nordeste, norte e sul, bem como alguns pontos esparsos no território estadual.

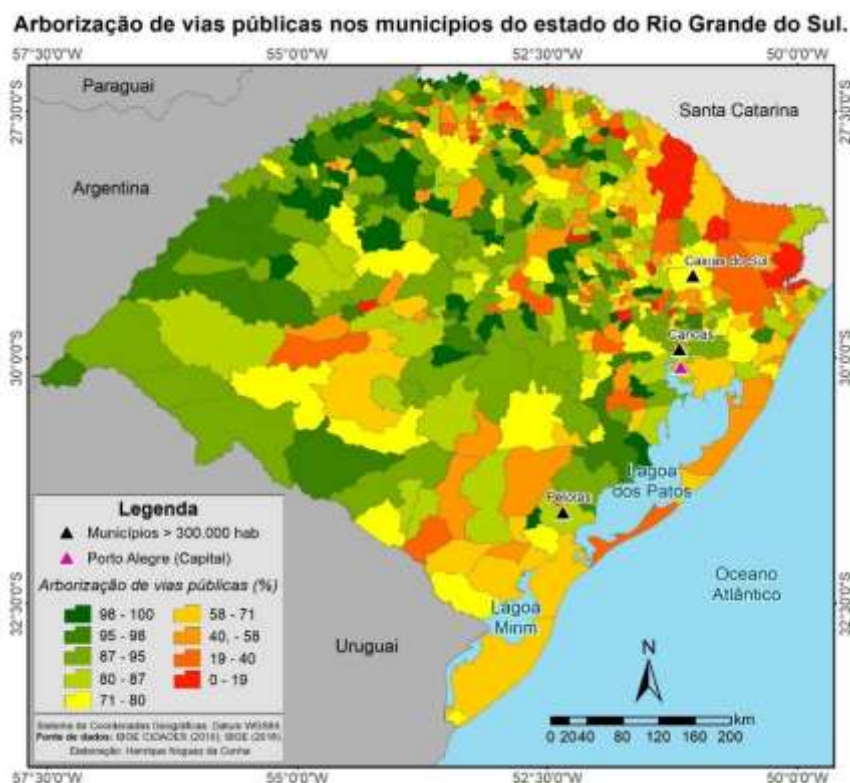
A média de arborização de vias em áreas urbanizadas no Rio Grande do Sul é de 75,7%. Com relação à população urbana, verificou-se que as cidades pequenas, com população até 50.000 habitantes, obtiveram o valor máximo de arborização de vias urbanas igual a 100% em 11 municípios (Figura 4) e o valor mínimo, 0,4%, em Cambará do Sul. A análise dos dados indica que as cidades com maior arborização de vias urbanas são pequenas cidades e localizam-se na metade norte do estado (Figura 4), enquanto as que possuem menor arborização também são pequenas cidades estando localizadas a nordeste do estado, com exceção de Toropi, São Pedro da Serra e Tupandi que se localizam na parte central (Figura 5).

A Tabela 1 apresenta o percentual de arborização de vias urbanas em cidades médias gaúchas, cujo maior valor encontra-se na cidade de Uruguaiana - 92,5%, menor valor em Rio Grande - 65% e a média é de 80,4%, o que pode ser identificado também na capital Porto Alegre, com 82,7% de vias arborizadas.

Esses dados, elencados acima, correspondentes a arborização, tanto em pequenas cidades quanto em médias e na metrópole Porto Alegre, desempenham um papel

fundamental no apoio a comunidades saudáveis (WOLF *et al.*, 2020) e com menos poluição do ar (PRÉNDEZ *et al.* 2019). Proporcionam aumento da biodiversidade na medida em que fornecem alimento e habitat para a fauna urbana (BERTHON; THOMAS e BEKESSY, 2021). Nesse sentido a arborização pode proporcionar renda nos negócios e aumento no valor nas propriedades nessas cidades.

**Figura 3** - Percentual de domicílios urbanos em vias públicas com arborização dos municípios do Rio Grande do Sul

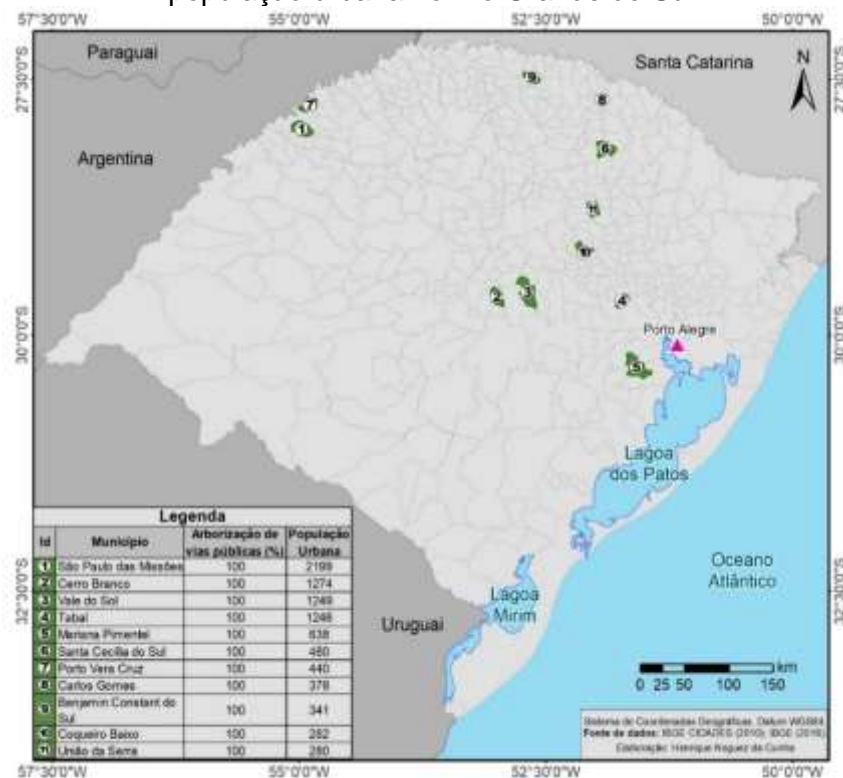


Fonte: autores (2022).

A Figura 6 mostra o Lisa Cluster Map bivariado para arborização de vias urbanas e temperatura média para o estado do Rio Grande do Sul. A cor vermelha representa o quadrante *High-High*, que indica o agrupamento de casos de áreas urbanizadas com maiores médias das variáveis encontradas no estado. Todas as áreas em vermelho indicam os municípios e regiões adjacentes que apresentam forte correlação espacial entre si, compreendendo 58 municípios. Pode-se notar que a maior proporção desses municípios (com forte correlação entre si) está concentrada a noroeste do estado, na fronteira com a Argentina.

A cor azul representa o quadrante *Low-Low*, no qual as áreas que possuem os atributos e os vizinhos encontram-se abaixo da média global. Essa área está localizada a nordeste e sul do estado e soma 24 municípios.

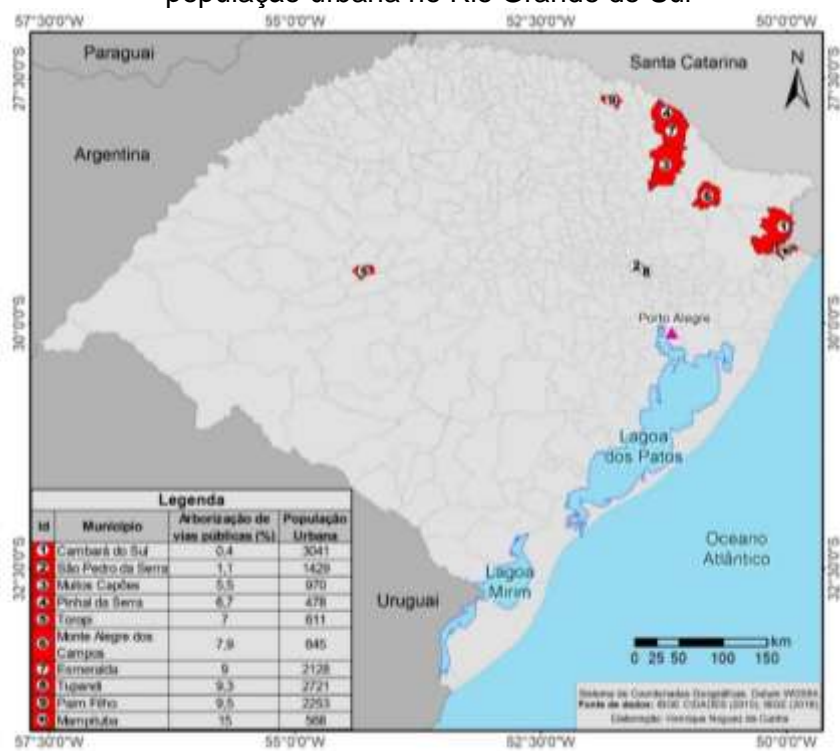
**Figura 4** - Municípios com maior percentual de arborização viária em áreas urbanizadas e população urbana no Rio Grande do Sul



Fonte: autores (2022).

O quadrante alto-baixo *High-Low* representa os municípios com maior a densidade da arborização de vias urbanas com vizinhos que apresentam valor baixo para o atributo temperatura média e estão localizados a nordeste e no sul do estado (correspondem a 16 municípios). Já o quadrante baixo alto, *Low-High*, de modo oposto, apresenta os municípios com indicador de arborização de vias abaixo da média e cujos vizinhos apresentam temperatura média acima da média global, estão localizados a noroeste do estado (total de 10 municípios).

**Figura 5** - Municípios com menor percentual de arborização viária em áreas urbanizadas e população urbana no Rio Grande do Sul



Fonte: autores (2022).

**Tabela 1** - Percentual de arborização de vias urbanas e população urbana em cidades médias do Rio Grande do Sul

Cidades	Percentual de arborização de vias urbanas	População urbana
Uruguaiana	92,5	117475
Santa Cruz do Sul	86,3	105190
Pelotas	84,6	306196
Santa Maria	83,3	248347
Porto Alegre	82,7	1409351
Caxias do Sul	79,7	419406
Passo Fundo	71,7	180120
Rio Grande	65,0	189429

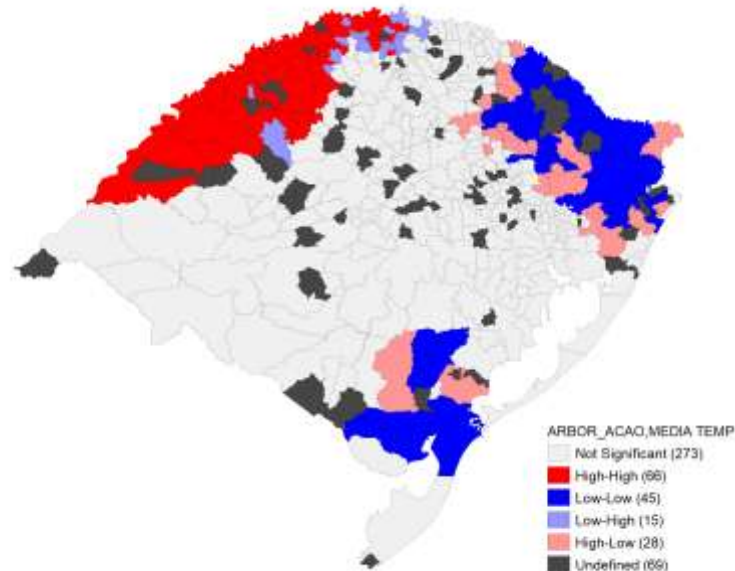
Fonte: autores (2022).

A Figura 7 apresenta o Mapa de Significância LISA para arborização de área urbanizadas do Rio Grande do Sul, já a Figura 8 o Mapa de Dispersão e Moran Global. Esses dados podem ser confrontados com a tipologia clima do Rio Grande do Sul (ROSSATO, 2011 e 2014) (Quadro 1). Observa-se que os dados *Low-Low* e *High-Low* encontram-se a nordeste e a sul do estado na área Subtropical IVb, muito úmido, com inverno frio e verão fresco e Subtropical Ia pouco úmido com inverno frio e verão fresco. É a região com o conjunto de temperaturas mais baixo do RS.

Já as regiões *High-High* e *Low-High* localizam-se na área subtropical IVa (muito úmido com inverno fresco e verão quente). Regiões *High-High* e *Low-High* também se encontram

na região Subtropical III, úmido com variação longitudinal das temperaturas médias. Essa é a área com menor influência dos sistemas polares. Esses dados estão descritos no Quadro 1 que apresenta gênese, características e tipos de clima do Rio Grande do Sul.

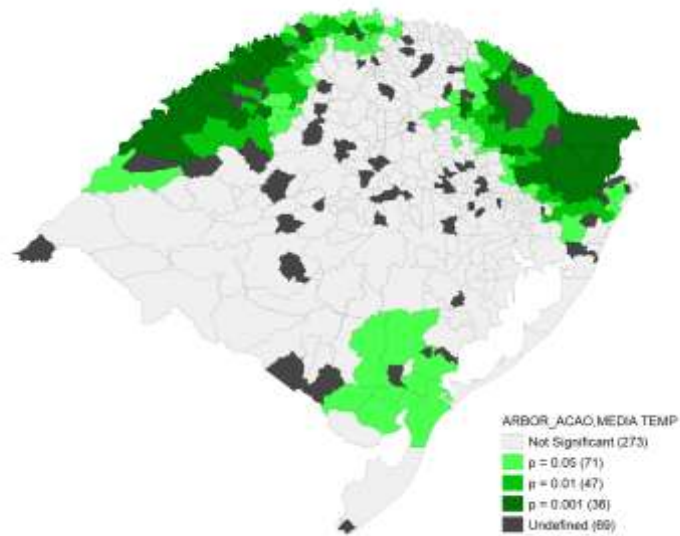
**Figura 6** - Local Indicators of Spatial Association (Lisa) bivariado entre arborização de áreas urbanizadas e estimativas de temperaturas medias dos municípios do Rio Grande do Sul



**Fonte:** autores (2022).

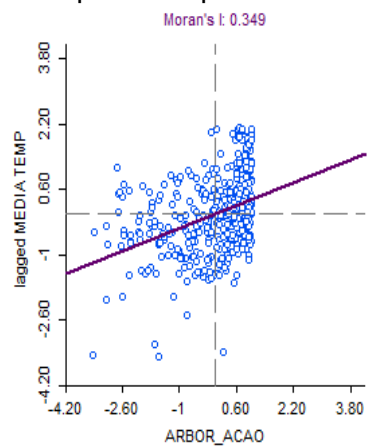
Para concluir, o Mapa LISA evidenciou a presença de *hotspots* ou cluster espacial (tipo *High-High*) localizado a noroeste, na fronteira com a Argentina, e *Low-High* a norte do estado. Já os tipos *Low-Low* e *High-Low* localizam-se a nordeste e sul do Rio Grande do Sul. O conhecimento dessas regiões apresenta-se de fundamental importância, no sentido em que pode embasar o planejamento regional, a justiça ambiental e a qualidade de vida do estado do Rio Grande do Sul.

**Figura 7** - Mapa de Significância LISA para arborização de áreas urbanizadas Rio Grande do Sul



Fonte: autores (2022).

**Figura 8** - Mapa de Dispersão e Moran Global



Fonte: autores (2022).

**Quadro 1:** Tipos de clima, Gênese e Características do clima do Rio Grande do Sul

<b>Tipo de clima</b>	<b>Gênese</b>	<b>Características</b>
<b>Subtropical IVb</b> <b>Muito úmido com inverno frio e verão fresco</b>	Área com menor influência dos sistemas polares, porém com maior atuação dos sistemas tropicais marítimos conjugados com o efeito do relevo-altitude (planalto basáltico) - os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações	Chove 1700 a 1800 milímetros ao ano em 100 a 120 dias de chuva. A temperatura média anual varia de 14°-17°. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 8° - 14° e a temperatura média do mês mais quente varia de 17°- 23°. É a região com o conjunto de temperaturas mais baixo do RS.
<b>Subtropical Ia</b> <b>Pouco úmido com inverno frio e verão fresco</b>	Área com maior influência dos sistemas polares e com menor participação dos sistemas tropicais conjugados com a influência do relevo (Escudo Riograndense e Planície Costeira) e da corrente fria das Malvinas (Falklands) - os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações	Chove 1200 a 1500 milímetros anuais distribuídos entre 80-100 dias de chuva. A temperatura média anual varia de 17°-20°. A temperatura do mês mais frio oscila entre 11°-14° e a temperatura do mês mais quente varia entre 20°-26°.
<b>Subtropical IV a</b> <b>Muito úmido com inverno fresco e verão quente</b>	Área com menor influência dos sistemas polares e com maior atuação dos sistemas tropicais marítimos e continentais na primavera e verão em associação com o efeito do relevo (Planalto Basáltico e Vale do Rio Uruguai) e da continentalidade. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações	Chove 1700-1900 milímetros ano em 110-140 dias de chuva. A temperatura média anual varia de 20°-23°, a temperatura do mês mais frio oscila entre 14° a 17° e a temperatura média do mês mais quente varia de 23° a 29°. É a região com o conjunto de médias de temperatura mais alto do estado.
<b>Subtropical III</b> <b>Úmido com variação longitudinal das temperaturas médias</b>	Área com a menor influência dos sistemas polares e maior interferência dos sistemas tropicais conjugados com o efeito relevo (Escarpa e vales da borda do Planalto Basáltico), da continentalidade, da maritimidade e das áreas urbanizadas. Os sistemas frontais são responsáveis pela maior parte das precipitações	A temperatura média anual varia de 17°-20°. A temperatura média do mês mais frio oscila entre 11°-14° e a temperatura do mês mais quente varia entre 23° a 26°. Chove 1700 a 1800 milímetros por ano em 100 a 120 dias.

Fonte: adaptado de Rossato (2011).

## CONCLUSÕES

Esta pesquisa buscou investigar o padrão da distribuição espacial da arborização viária em áreas urbanizadas dos municípios do Rio Grande do Sul, Brasil, sua relação com a temperatura média local e as tipologias climáticas.

O padrão espacial da arborização viária mostra áreas de concentração de casos de alta arborização de vias em áreas urbanizadas e alta temperatura média de municípios



localizados a noroeste, enquanto que na região nordeste e sul do estado há a concentração de municípios com baixa arborização de vias e baixa temperatura média. Isso indica a espacialização dos dados e sua relação com tipologias climáticas específicas e a urgência de medidas quanto ao planejamento da arborização de vias em áreas urbanizadas na região funcional três de planejamento do estado do Rio Grande do Sul (nos COREDES Campos de Cima da Serra, Serra e Hortênsias e Sul) e região funcional cinco (COREDE Sul).

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, Marcos; LOPES, Wilza. Influência da vegetação em variáveis climáticas: Um estudo em bairros da cidade de Teresina, Piauí. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 36, p. 38-68, 2016.
- ALMEIDA, Danielucia de; RONDON NETO, Rubens. Análise da arborização urbana de duas cidades da região norte do estado de Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.34, n.5, p.899-906, 2010.
- ANSELIN, Luc. Local indicators of spatial association - LISA. **Geographical Analysis**, Columbus, v.27, n. 2, p. 93-115, 1995.
- ANSELIN Luc; SRIDHARAN, Sanjeev; GHOLSTON, Susan. Using exploratory spatial data analysis to leverage social indicator databases: the discovery of interesting patterns. **Social Indicators Research**, [s. l.], v. 82, n. 2, p.287-309, 2007.
- ARAUJO, Everton C. de; URIBE-OPAZO, Miguel A.; JOHANN, Jerry Adriani. Modelo de regressão espacial para estimativa da produtividade da soja associada a variáveis agrometeorológicas na região oeste do estado do Paraná. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 34, n. 2, p. 286-299, Apr. 2014. Disponível em: <[http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162014000200010&lng=en&nrm=iso](http://old.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162014000200010&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 08 abr. 2022.
- BERLATO, Moacir Antonio; FONTANA, Denise Cybis. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.
- BERLATO, Moacir Antônio; CORDEIRO, Ana Paula. Sinais de mudanças climáticas globais e regionais, projeções para o século XXI e as tendências observadas no Rio Grande do Sul: uma revisão. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p.273-302, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v25i2.25884>, Acesso em: 05 de mai 2022.
- BERTHON, Katherine; THOMAS, Freya; BEKESSY, Sarah. The role of nativeness in urban greening to support animal biodiversity. **Landscape and Urban Planning**, 205, 1-11, 2021.
- BRYANT, Margaret. Urban landscape conservation and the role of ecological greenways at local and metropolitan scales. **Landsc Urban Plan.** 76(1-4):23-44, 2007.
- BRANDER, Luke; KOETSE, Mark. The value of urban open space: Meta-analyses of contingent valuation and hedonic pricing results. **Journal of Environmental Management**, 92, pp. 2763-2773, 2011.
- BURDEN, Dan. **22 benefits of urban street trees**. Disponível em: [www.michigan.gov/documents/dnr/22\\_benefits\\_208084\\_7.pdf](http://www.michigan.gov/documents/dnr/22_benefits_208084_7.pdf), 2006. Acesso em: 10 maio 2022.
- CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Conceitos básicos em ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2004.

- CELEBIOGLU, Fatih; DALL'ERBA, Sandy. Spatial Disparities across the regions of Turkey: an exploratory spatial data analysis, **The Annals of Regional Sciences**, v.45, n.2, p.379-400, 2009.
- CHAPMAN, Sarah; WATSON, James; SALAZAR, Alvaro; THATCHER, Marcus; MCALPINE, Clive. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: A systematic review, **Landscape Ecology**,32(10),p.1921-1935,2017.
- CORDEIRO, Ana Paula A.; BERLATO, Moacir Antonio; FONTANA, Denise; ALVES, Rita. Tendências climáticas das temperaturas do ar no estado do Rio Grande do Sul, Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v. 9, n.3, p. 868-880, 2016.
- CRUZ-SANDOVAL, Marco; ORTEGO, Maria Isabel; ROCA, Elisabet. Tree ecosystem services, for everyone? A compositional analysis approach to assess the distribution of urban trees as an indicator of environmental justice. **Sustainability**, 12, 12-15, 2020.
- DEILAMI, Kaveh; KAMRUZZAMAN, Md; Liu, Yan. Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods and mitigation measures. *Int. J. Appl. Earth Obs.* **Geoinf.** 67, 30–42, 2018.
- DONOVAN, Geoffrey. Including public-health benefits of trees in urban-forestry decision making. **Urban Forestry and Urban Greening**,22, p.120–123, 2017.
- DRUCK, Susana; CARVALHO, Marília Sá; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira. **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.
- DUARTE, Taise; ANGEOLETTO, Fabio; RICHARD, Enrique; VACCIANO, Marcelo; DE LEON Leandro de; BOHRER, João Fernando; LEITE, Leandro; SANTOS, Jeater Waldemar. Arborização urbana no Brasil: um reflexo de injustiça ambiental. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.11, n.2, p. 291-303, jul./dez. 2017.
- GALENIEKS Andrejs. Importance of urban street tree policies: a comparison of neighbouring Southern California cities. **Urban For Urban Green**. 22:105-110, 2017.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE CIDADES**. 2010a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 05 abr. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico**. 2010b. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em: 27 dez. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativa Populacional**. 2021a. Disponível em: *FTP IBGE*. [ibge.gov.br](https://ibge.gov.br). Acesso em: 27 out. 2021.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto PIB Brasil**. 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>. Acesso em: 6 maio 2022.
- LANDRY, Shawn; CHAKRABORTY, Jayajit. Street trees and equity: Evaluating the spatial distribution of an urban amenity. **Environment and Planning A**, 41(11), p.2651–2670,2009.
- LIMA, Valéria. Análise da qualidade ambiental urbana: o exemplo de Osvaldo Cruz/SP. **Geografia em Questão**, v. 7, n. 2, p.29-46, 2014.
- LIMA, Valéria; AMORIM, Margarete Cristiane da Costa Trindade. A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades. **Formação (Online)**, v. 1, n. 13, p.139-165, 2006.
- MEEROW, Sara; NEWELL, Joshua. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. **Landscape and Urban Planning**, 159, p.62–75, 2017.
- MINAKI, Cíntia; AMORIM, Margarete Cristiane de Costa Trindade. Análise da qualidade ambiental urbana. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 11, n. 24, p. 229-251, 2012.
- MOREIRA, Tiana; POLIZEL, Jefferson; SANTOS, Itamar; SILVA FILHO, Demóstenes;

MOREIRA, Tatiana; POLIZEL, Jefferson; SANTOS, Itamar de Sousa; SILVA FILHO, Demóstenes; BENSENOR, Isabela; LOTUFO, Paulo; MAUAD, Thais. Green Spaces, Land Cover, Street Trees and Hypertension in the Megacity of São Paulo. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 725, p. 123-143, 2020.

MULLANEY, Jennifer; LUCKE, Terry; TRUEMAN, Stephen J. A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments. *Landscape and Urban Planning*, 134, p.157–166, 2015.

NUCCI, João Carlos. Metodologia para determinação da qualidade ambiental urbana. *Revista do departamento de geografia*, v. 12, p. 209-224, 1998.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Base científica das mudanças climáticas**. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1\\_completo\\_vol1.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf). Acesso em: 10 jan. 2021.

PRÉNDEZ, Margarita; ARAYA, Marcos; CRIOLLO, Carla; EGAS, Claudia; FARIÁS, Iván; FUENTEALBA, Raul; GONZALEZ, Edgardo. Urban trees and its relationships with air pollution by particulate matter and ozone in Santiago de Chile. In: HENRIQUEZ, Cristián; ROMERO, Hugo (eds). **Urban Climate in Latin-American Cities**. Switzerland: Springer Nature, 2019. pp 167-206.

RIO GRANDE DO SUL. SECRETARIA DA COORDENAÇÃO E PLANEJAMENTO (SCP). Atlas Socioeconômico do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2021.

RODRIGUES, Cleide. Qualidade ambiental urbana: como avaliar? *Revista do Departamento de Geografia*, v. 11, p. 152-162, 1997.

ROSSATO, Máira. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. Tese - Doutorado em Geografia - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2011.

ROSSATO, Máira. Os Climas do Rio Grande do Sul: tendências e tipologia. In: Francisco Mendonça. (Org.). **Os Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais**. Jundiaí: Paco Editorial, 2014. p. 217-271.

SALMOND, Jennifer; TADAKI, Mark; VARDOULAKIS, Sotiris; ARBUTHNOTT, Katherine; COUTTS, Andrew; DEMUZERE, Mattias; DIRKS, Kim; HEAVISIDE, Clare; LIM, Sharon; MACINTYRE, Helen; MCLNNE, Rachel; WEELER, Benedict. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment. *Environ Health* 15(suppl 1): p.36-56, 2016.

SEAMANS, Georgia. Mainstreaming the environmental benefits of street trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(1), p. 20–21, 2013.

SOUSA, Catarina; VIEGAS, Inês; PANAGOPOULOS, Thomas; BELL, Simon. Environmental Justice in Accessibility to Green infrastructure in two european cities. *Land*, 7, 1–23, 2018.

TALLIS, Matthew; TAYLOR, Gail; SINNETT, Danielle; FREER-SMITH, Peter. Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103, p.129–138, 2011.

VIGNOLA JUNIOR, Roberto. ArbVias – Método de avaliação da arborização no sistema viário urbano. *Paisagem e Ambiente*. v.1, n. 35 pp.89-117, São Paulo, 2015.

VON DÖHREN, Peer; HAASE, Dagmar. Risk assessment concerning urban ecosystem disservices: The example of street trees in Berlin. Germany. *Ecosyst. Serv.* 40, 101031, p.103-122, 2019.

WOLF, Kathleen; LAM, Sharon; MCKEEN, Jennifer; RICHARDSON, Gregory; VAN DEN BOSCH, Matilda; BARDEKJIAN, Adriana. Urban trees and human health: A scoping review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 17, 4371, p.75-93, 2020.

WOOD, Eric; ESAIAN, Sevan. **The importance of street trees to urban avifauna. *Ecological Applications***. 30:e 02149, p. 89-101 2020.

ZARDO, Luc; GENELETTI, Douglas; PÉREZ-SOBA, Martin; VAN EUPEN, Mary. Estimating the cooling capacity of green infrastructures to support urban planning. ***Ecosyst. Serv.***, 26, pp.225–235, 2017.

**Recebido:** janeiro de 2022.

**Aceito:** maio de 2022.