

Ecologia da Paisagem como ferramenta de Planejamento: Estrutura urbana e conectividade em três cidades médias do RS

SESSÃO TEMÁTICA: DIMENSÃO BIOFÍSICA DO PROJETO, DO PLANEJAMENTO E DA GESTÃO DA PAISAGEM

Raquel Weiss
Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
raquel.w@ufrgs.br

Martiele Wilhelm
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
wilhelm.martiele@acad.ufsm.br

Ariel Felipe Geraldo Zaghetto
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
ariel.geraldo@acad.ufsm.br

Amanda Eloísa Kasburger
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
amanda.kasburger@acad.ufsm.br

Luis Guilherme Aita Pippi
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM
luis.g.pippi@ufsm.br

RESUMO

A antropização intensa e as transformações decorrentes da urbanização modificam a organização espacial dos usos e da cobertura da terra, afetando áreas naturais e relações ecossistêmicas. Embora métricas da paisagem sejam amplamente utilizadas em contextos naturais e rurais, pesquisas em áreas urbanas ainda são limitadas, especialmente em cidades de médio porte inseridas em diferentes contextos biogeográficos. Diante disso, o objetivo deste estudo é analisar e comparar métricas de paisagem em três cidades de médio porte do Rio Grande do Sul — Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas — a fim de compreender como se estruturam as relações entre áreas naturais e antrópicas nas áreas urbanas. A metodologia envolveu a fotointerpretação do uso e cobertura da terra, seu processamento e a aplicação de métricas em nível de paisagem e de classe. Os resultados indicam que os processos históricos, a interface urbano-natural e as características da mancha urbana influenciam diretamente a estrutura e a composição da paisagem, mostrando que comparações entre diferentes contextos auxiliam na compreensão de tendências e processos de ocupação.

PALAVRAS-CHAVE: Métricas da paisagem; cidades de médio porte; uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

Intense human intervention and the transformations driven by urbanization alter the spatial organization of land use and land cover, affecting natural areas and ecosystem relationships. Although landscape metrics are widely applied in natural and rural environments, studies focusing on urban areas remain limited. In medium-sized cities embedded in distinct biogeographical contexts, research employing landscape metrics is even less common. This research aims to analyze and compare landscape metrics in three medium-sized cities in the state of Rio Grande do Sul - Novo Hamburgo, Santa Maria, and Pelotas - in order to understand the relationships between natural and anthropogenic areas within urban setting



boundaries. The methodology consists of land-use and land-cover photointerpretation, data processing, and the application of landscape- and class-level metrics. The results indicate that historical processes, urban–rural interface, and spatial characteristics of the urban footprint strongly influence landscape structure and composition. Therefore, comparing distinct contexts contributes to a deeper understanding of local occupation patterns and broader territorial dynamics.

KEYWORDS: Landscape metrics; medium-sized cities; land use and land cover.

1 INTRODUÇÃO

A intervenção humana molda as paisagens contemporâneas em diferentes graus, sendo raras aquelas que permanecem intocadas. Em áreas urbanas, essas transformações se manifestam tanto na forma construída quanto na estrutura dos espaços livres, influenciando diretamente os remanescentes naturais e a conectividade ecológica (Magnoli, 2005). A urbanização crescente e a consequente fragmentação das áreas naturais vegetadas e hídricas configuram um dos principais desafios ambientais atuais, pois reduzem a oferta de serviços ecossistêmicos essenciais à qualidade e à saúde urbana (Pedreira; Cruz, 2023), comprometendo as funções ecológicas, sociais e estéticas, prejudicando o microclima, a infiltração das águas pluviais e a biodiversidade (Wolch; Byrne; Newell, 2014; Rocha; Nucci, 2022).

Nas últimas décadas, as cidades médias têm se destacado como espaços-chave para compreender as dinâmicas da urbanização e seus impactos sobre o meio natural. Diferentemente das metrópoles, apresentam menor densidade populacional, maior interface com áreas de vegetação nativa e abundância de recursos hídricos, o que amplia tanto as possibilidades de integração ecológica quanto os riscos de degradação pelo crescimento urbano não planejado (Melara; Gaspar; Gomes, 2024).

Nesse contexto, a ecologia da paisagem se destaca como uma abordagem capaz de traduzir essas transformações em indicadores quantitativos, revelando padrões de composição e configuração espacial, possibilitando também o estudo do ambiente urbano com sua integração e interfaces com o ambiente natural (Forman, 2008; Botequilha-Leitão; Ribeiro, 2022; Baldissarelli; Lenhard; Weiss, 2023).

Dessa forma, o objetivo do estudo é analisar e comparar as métricas de paisagem e de classes em três cidades de médio porte no Rio Grande do Sul - Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas -, buscando compreender como se configuram as relações entre as áreas naturais e antrópicas nos limites urbanos. O trabalho propõe uma leitura comparativa baseada em indicadores de riqueza, diversidade, uniformidade, área e densidade de manchas, com o intuito de discutir como a estrutura da paisagem urbana reflete diferentes modelos de ocupação e níveis de integração ecológica.

2 CONECTIVIDADE ECOLÓGICA E ESTRUTURA DA

As áreas naturais, consideradas neste estudo correspondem às coberturas florestais e campestres distribuídas nos sistemas de espaços livres, públicos e privados. Estas áreas desempenham papel fundamental na manutenção da conectividade ecológica devido sua



importância em manter e restabelecer a continuidade na paisagem, tanto em contextos urbanos quanto rurais.

A conectividade ecológica diz respeito ao grau em que a paisagem permite o deslocamento, a dispersão e o fluxo de organismos, genes, energia e matéria entre diferentes manchas ou habitats complementares. Assim, ultrapassa a simples presença de áreas naturais, expressando a capacidade funcional da paisagem de sustentar processos ecológicos. Essa conectividade se manifesta em duas dimensões complementares: a conectividade estrutural, relacionada à continuidade física dos elementos da paisagem, e a conectividade funcional, ligada ao modo como diferentes espécies utilizam estruturas semelhantes ou manchas isoladas para se mover e manter fluxos ecológicos, mesmo na ausência de continuidade física direta (Ribeiro, 2021).

A paisagem, por sua vez, é interpretada como um mosaico de usos que se repetem e, dentro do qual ocorrem interações entre os sistemas naturais e construídos, sendo mais ou menos antropizada de acordo com seus agentes modificadores (Forman, 1991; Santos, 1989). Assim, a paisagem é composta por três elementos que se organizam de diferentes formas e quantidades - as manchas, os corredores e a matriz. Esta abordagem permite a análise da estrutura da paisagem, a qual desempenha papel central na manutenção dos serviços ecossistêmicos, uma vez que está diretamente relacionada à configuração e à conectividade, essenciais para a estabilidade e a resiliência desses serviços (Herzog, 2013). Essas interações, que se estabelecem ao longo do mosaico da paisagem, são características à manutenção dos serviços ecossistêmicos (Bennet, 2003; Ahern, 2004; Staccione; Candiago; Mysiak, 2022; Liu et al., 2017; Weiss et.al., 2023).

Dessa forma, compreender a organização espacial desses elementos e as interações entre eles fornece a base necessária para estudos que investigam a relação entre componentes naturais e antrópicos na paisagem. Neste estudo, privilegia-se justamente essa interface, com foco nos componentes naturais, dada sua relevância para a conectividade e sua maior vulnerabilidade à urbanização.

A abordagem paisagística abre um campo de investigação sobre como a heterogeneidade espacial molda dinâmicas ecológicas, elucidando a formação de padrões morfológicos e os processos ecológicos (Forman, 2008; Flores et al., 2023). A partir da teoria dos mosaicos de Forman, este estudo elege as formações florestais e campestres como elementos naturais centrais. As três cidades médias foram selecionadas por serem áreas de tensão entre o natural e o antrópico, nas quais esses elementos são particularmente sensíveis às transformações urbanas. E a ecologia da paisagem, permite investigar de forma aprofundada como a estrutura urbana influencia a conectividade ecológica.

3 ESTRATÉGIAS METODOLÓGICAS

Considerando o papel crucial das áreas naturais nas áreas urbanas e o contexto em que essas áreas são fortemente pressionadas pela ocupação antrópica, a metodologia foi estruturada em três etapas principais:

1. Seleção de três cidades médias para análise comparativa;
2. Coleta e classificação dos usos e coberturas da terra nas áreas urbanas em cinco classes;
3. Aplicação de métricas de ecologia da paisagem em níveis de paisagem e classe para as formações florestais e campestres.

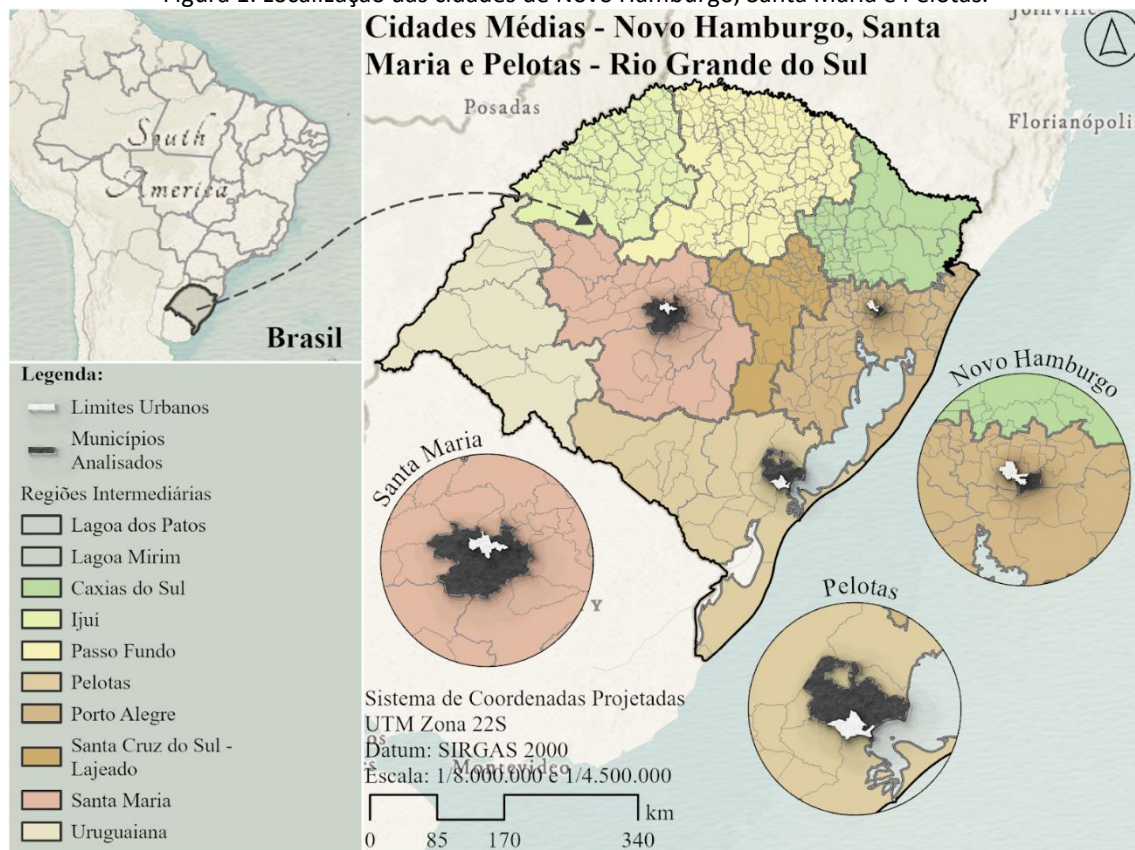
3.1 Escolha e caracterização das cidades

As cidades selecionadas - Santa Maria, Pelotas e Novo Hamburgo - são classificadas como cidades de médio porte do RS (Figura 1) e representam diferentes regiões intermediárias do estado, o que permite comparar distintas realidades urbanas e dinâmicas de crescimento. Santa Maria e Pelotas atuam como polos regionais, enquanto Novo Hamburgo integra a região intermediária de Porto Alegre, refletindo forte influência metropolitana.

Do ponto de vista ecológico, as três cidades ocupam contextos ambientais contrastantes. Santa Maria está situada em uma zona de transição entre Mata Atlântica e Pampa, Pelotas insere-se integralmente no Pampa, e Novo Hamburgo localiza-se na Mata Atlântica. Essa variação biogeográfica contribui para analisar como modelos urbanos distintos afetam a fragmentação da paisagem e os serviços ecossistêmicos.

As dinâmicas urbanas também apresentam características próprias. Santa Maria exhibe crescimento mais disperso e acelerado e com incompatibilidade com os estoques remanescentes de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de conservação dos recursos vegetais e hídricos (Weiss et al., 2022); Pelotas possui urbanização consolidada e forte relação com a Lagoa dos Patos; e Novo Hamburgo se destaca pela densidade urbana e elevada pressão sobre as áreas naturais, vinculadas ao histórico industrial e à proximidade com Porto Alegre. Assim sendo, o conjunto formado por essas três cidades oferece uma base comparativa consistente para analisar os efeitos da urbanização sobre as áreas naturais em diferentes contextos ecológicos e socioespaciais.

Figura 1: Localização das cidades de Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas.



Fonte: elaborado pelos autores, 2025.

3.2 Levantamento de dados

Para a coleta de dados, foram geradas imagens de satélite do Google Earth por meio do QGIS e do plugin QuickMapServices, referentes ao ano de 2024, exportadas na escala 1:85.000 e resolução de 3.000 dpi. A fotointerpretação foi realizada em escala fixa, definida a partir da menor mancha de uso identificada (2 m), resultando na adoção da escala 1:10.000, considerando o erro de graficismo admissível de 0,2 mm (NBR 13133, 1994). Em seguida, foi realizada a classificação do uso da terra em cinco categorias: formação florestal, formação campestre, áreas urbanas, áreas agricultáveis e corpos d'água.

Após a classificação, as camadas vetoriais foram convertidas para o formato raster com resolução de 2 metros. Esta resolução se deve, também, pela menor mancha nas paisagens, logo cada pixel é equivalente a 2 metros. Em seguida, essas camadas foram analisadas no software Fragstats para a aplicação das métricas da paisagem.

Para o município de Santa Maria, foram utilizados dados disponibilizados pelo Instituto de Planejamento de Santa Maria (Iplan), vinculado à prefeitura municipal. O Iplan já possuía um levantamento prévio sobre o uso e ocupação da terra, o qual foi atualizado e ajustado para atender às necessidades do presente estudo.

3.3 Seleção e aplicação de Métricas da Paisagem

A seleção das métricas teve como objetivo quantificar a composição e a configuração da paisagem, caracterizando a estrutura espacial de cada limite urbano e identificando a matriz predominante. As métricas escolhidas são consolidadas no campo da ecologia da paisagem por sua capacidade de sintetizar padrões espaciais, diversidade, fragmentação e distribuição das classes. Foram utilizadas: área (soma das manchas por classe e pela paisagem), porcentagem na paisagem (PLAND), número de fragmentos (NP), densidade de manchas (*Patch Density* – PD), índice de diversidade de Shannon (SHDI) e índice de uniformidade de Shannon (SHEI).

As métricas de área e PLAND permitem avaliar a dominância e a representatividade de cada classe de uso e cobertura, sendo fundamentais para identificar a matriz da paisagem. Para representar a fragmentação, foram empregados o número de fragmentos (NP), que expressa a quantidade absoluta de manchas por classe, e a densidade de manchas (PD), que normaliza esse valor pela área total da paisagem, permitindo comparações proporcionais entre cidades com extensões territoriais distintas. Assim, o PD constitui uma medida mais precisa do grau de fragmentação e da dispersão espacial das manchas.

Para avaliar a heterogeneidade da paisagem, foram aplicados índices baseados na Teoria da Informação (Shannon, 1948). O Índice de Diversidade de Shannon (SHDI) integra riqueza de classes e distribuição proporcional, indicando baixa diversidade quando seus valores são reduzidos - condição associada à dominância de uma classe — e alta diversidade quando seus valores são elevados. De forma complementar, o Índice de Uniformidade de Shannon (SHEI) mensura o grau de equabilidade entre classes, variando de 0, para distribuições desiguais, a 1, para distribuição perfeitamente uniforme.

A aplicação das métricas foi realizada sobre o *raster* com as cinco categorias de uso e cobertura da terra, permitindo uma leitura geral da paisagem urbana e periurbana. Na sequência, foram gerados *rasters* específicos para as formações florestais e campestres, com o objetivo de aprofundar a análise dos elementos naturais mais relevantes para a conectividade ecológica. Essa etapa adicional possibilitou empregar um procedimento complementar: a análise de



densidade de pontos, utilizada para identificar zonas de maior concentração de manchas naturais e potenciais corredores ecológicos dentro dos limites urbanos.

Essas análises integradas fortalecem a compreensão das relações entre os padrões estruturais da paisagem (métricas) e indicadores funcionais (densidade e disponibilidade relativa), ampliando a capacidade de interpretar como a urbanização afeta a configuração e a persistência dos remanescentes naturais.

4 RESULTADOS DAS PAISAGENS URBANAS E MÉTRICAS APLICADAS

Os resultados do Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022) evidenciam a centralidade crescente das cidades médias (100 mil a 499 mil habitantes) no processo recente de urbanização brasileira. Entre 2010 e 2022, essas cidades absorveram 8,3 milhões dos 12 milhões de novos habitantes do país, representando mais de dois terços do crescimento nacional. Paralelamente, sua participação relativa no total da população brasileira passou de 25,4% para 27,96%, indicando que esse estrato urbano se consolidou como principal receptor de fluxos populacionais na última década.

Na análise dos municípios de Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas, observa-se que cada um expressa de maneira distinta as dinâmicas urbanas. Apesar de possuírem portes populacionais semelhantes, suas características territoriais, densidades demográficas e comportamentos populacionais ao longo do período revelam trajetórias urbanas contrastantes (Tabela 1).

Santa Maria apresenta a maior área territorial entre os três municípios, ultrapassando 1.780 km², embora seu limite urbano represente apenas 7,6% desse total. Em contraste, Novo Hamburgo possui a menor área municipal (225,53 km²), mas com uma proporção expressiva de urbanização, seu perímetro urbano representa aproximadamente 45% de seu território, evidenciando um processo intenso de consolidação urbana. Pelotas, por sua vez, possui o maior limite urbano absoluto (195,47 km²), representando 12,15% de sua área total, o que indica uma mancha urbana extensa e dispersa em termos proporcionais.

No que se refere à dinâmica populacional, Pelotas permanece como o município mais populoso, tanto em 2010 quanto em 2022. Entretanto, é Novo Hamburgo que expressa o padrão urbano mais denso, alcançando 1.022,96 hab/km² em 2022 — um valor cinco vezes superior ao de Santa Maria e Pelotas. Essa densidade elevada é coerente com sua área urbana compacta e limitada, refletindo um processo histórico de urbanização mais intensivo e de menor disponibilidade territorial para expansão.

Apesar da tendência nacional de crescimento em cidades de médio porte, Novo Hamburgo e Pelotas apresentaram retração populacional entre 2010 e 2022, possivelmente relacionada à estagnação econômica regional, à reestruturação industrial e à redistribuição populacional dentro do estado. Em contraste, Santa Maria foi o único município a registrar aumento demográfico - cerca de 10 mil habitantes - alinhando-se ao padrão nacional e reforçando seu papel como polo regional universitário, militar e de serviços, fatores que contribuem para sua maior capacidade de atração e retenção populacional.

Da mesma forma, a análise das métricas de composição da paisagem revela contrastes relevantes na estrutura dos perímetros urbanos dos três municípios, demonstrando como processos históricos, padrões de ocupação e expansão urbana moldam a distribuição espacial das classes analisadas. Embora a riqueza de classes seja idêntica (5 classes em todos os municípios), as diferenças nos índices de diversidade (SHDI) e uniformidade (SHEI) evidenciam que apenas a presença das classes não traduz a complexidade da paisagem — sendo necessário

compreender sua proporção e o equilíbrio (Tabela 2).

Tabela 1: Dados informativos das cidades de Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas.

Legenda	Novo Hamburgo	Santa Maria	Pelotas
Área territorial	225,53 km ²	1.780,19 km ²	1.608,78 km ²
Limite urbano	100,94 km ²	135,37 km ²	195,47 km ²
Ano de fundação	1927	1857	1758
Região Intermediária	Porto Alegre	Santa Maria	Pelotas
Bioma	Mata Atlântica	Mata Atlântica e Pampa	Pampa
Pop. Total / Urbana (2010)	238.940 / 234.798	261.031/ 248.347	328.275 / 306.193
Pop. Total / Urbana (2022)	227.646 / 222.122	271.735 / 255.522	325.685 / 305.653
Dens. Demográfica (2022)	1.022,96 hab/km ²	152,64 hab/km ²	202,44 hab/km ²

Fonte: Elaborado pelos autores com dados do IBGE, (2025).

Tabela 2: Dados das cidades de Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas com relação à riqueza, diversidade e uniformidade.

Métricas	Novo Hamburgo	Santa Maria	Pelotas
Riqueza	5	5	5
Diversidade (<i>SHDI</i>)	1.0547	1.2567	1.4319
Uniformidade (<i>SHEI</i>)	0.6553	0.7808	0.8897

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

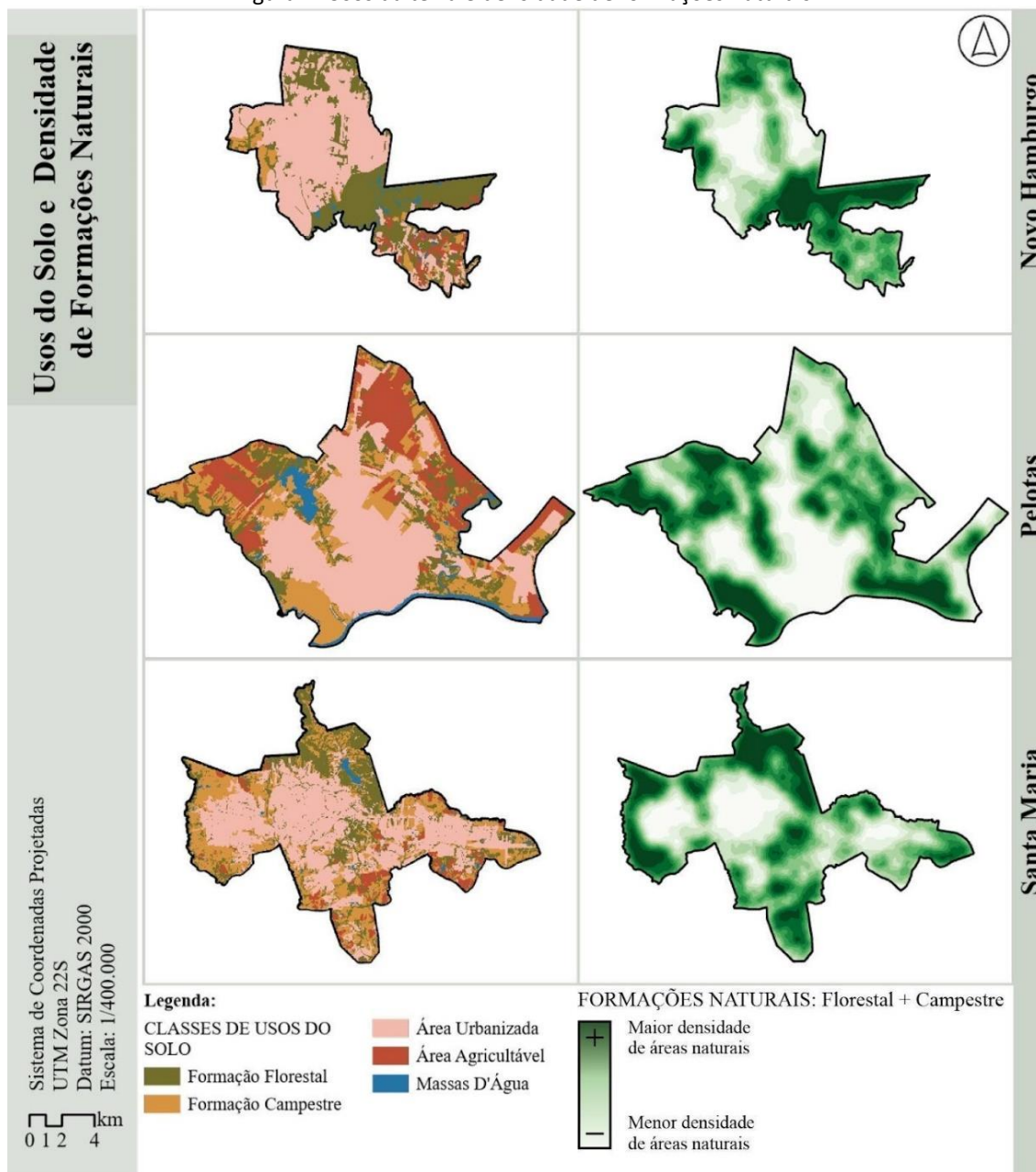
A distribuição dos usos da terra (Tabela 3; Figura 2) reforça esses padrões, evidenciando como as proporções das classes influenciam diretamente a heterogeneidade das paisagens urbanas. Em todos os municípios, a classe de Áreas Urbanizadas é predominante, embora sua participação relativa varie significativamente.

Tabela 3: Dados quantitativos sobre a área e porcentagem da paisagem urbana nos três municípios.

	Novo Hamburgo	Santa Maria	Pelotas
Área das classes (km²)	100,94 km ²	135,37 km ²	195,47 km ²
Formação florestal	36,87 (36,54%)	29,70 (21,94%)	28,87 (14,78%)
Formação campestre	4,84 (4,81%)	36,33 (26,83%)	44,89 (22,98%)
Áreas urbanizadas	53,16 (52,68%)	60,56 (44,73%)	76,10 (38,94%)
Áreas agricultáveis	4,38 (4,34%)	6,89 (5,09%)	37,85 (19,37%)
Massas d'água	1,65 (1,63%)	1,87 (1,38%)	7,68 (3,93%)

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Figura 2: Usos da terra e densidade de formações naturais.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Em Novo Hamburgo, observa-se a maior proporção de áreas urbanizadas (52,68%), o que se reflete diretamente nos menores índices de diversidade e uniformidade entre os três municípios (SHDI = 1.0547; SHEI = 0.6553). Embora a formação florestal represente parcela expressiva do território (36,54%), a combinação entre alta urbanização e concentração de classes reduz a heterogeneidade geral da paisagem.

Em Santa Maria, a composição do território apresenta maior equilíbrio entre as principais classes de uso — áreas urbanizadas (44,73%), formações campestres (26,83%) e formações florestais (21,94%). Essa distribuição mais proporcional resulta em valores intermediários de diversidade (SHDI = 1.2567) e uniformidade (SHEI = 0.7808), indicando uma paisagem moderadamente

heterogênea, sem predominância extrema de uma única classe.

Pelotas apresenta a menor proporção de áreas urbanizadas (38,94%) e a maior variedade de usos naturais e antrópicos, incluindo formações campestres (22,98%), áreas agricultáveis (19,37%) e massas d'água (3,93%). Essa composição diversificada resulta nos maiores índices de diversidade (SHDI = 1.4319) e uniformidade (SHEI = 0.8897), evidenciando uma paisagem mais equilibrada e com maior distribuição entre as classes.

A análise dos mapas de uso e densidade de formações naturais evidencia contrastes marcantes entre características naturais e antrópicas nos três municípios. Em Novo Hamburgo, uma extensa mancha florestal contínua no eixo oeste–leste estrutura a vegetação urbana, enquanto os mapas de densidade revelam dois possíveis corredores no setor norte, porém fragmentados e com baixa continuidade. Em Pelotas, os remanescentes concentram-se nas bordas sul, sudeste e oeste, resultando em conectividade moderada nas áreas periféricas, mas com pouca integração com a área urbana interna. Em Santa Maria, os remanescentes periféricos e a densidade de usos naturais indicam um potencial corredor central norte–sul, conectando formações florestais e campestres, embora ainda marcado por lacunas e descontinuidades.

Quanto ao número de manchas naturais, Santa Maria se destaca como o mais fragmentado, com o total de 5.739 manchas - 13 vezes a mais do que observado em Pelotas e 41,5 vezes do que o registrado em Novo Hamburgo (Tabela 4). Santa Maria apresenta grandes números de manchas de formação campestre e formação florestal, com 3.148 e 2.591 manchas, respectivamente. Juntas, essas duas classes representam quase 83% de todas as manchas da paisagem urbana do município, evidenciando um padrão de fragmentação intensa e amplamente distribuído.

Em Pelotas, a fragmentação se concentra principalmente na formação florestal que totaliza 206 manchas — correspondendo a 49,44% das manchas registradas no município. Esse resultado sugere um padrão de fragmentação associado tanto a remanescentes vegetais quanto ao mosaico agrícola periurbano.

Tabela 4: Dados quantitativos sobre número e densidade de manchas na paisagem urbana nos três municípios.

	Novo Hamburgo	Santa Maria	Pelotas
Número de Manchas	349	6.929	716
Formação florestal	93	2.591	354
Formação campestre	45	3.148	87
Áreas urbanizadas	70	579	32
Áreas agricultáveis	49	177	206
Massas d'água	92	434	37
Densidade de Manchas (km²)	3,45	51,18	3,66
Formação florestal	2,52	87,23	12,26
Formação campestre	9,29	86,65	1,93
Áreas urbanizadas	1,31	9,56	0,42

Áreas agricultáveis	11,18	25,68	5,44
Massas d'água	55,75	232,08	4,81

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

Em Novo Hamburgo, a classe natural mais fragmentada também é a formação florestal com 93 manchas, totalizando 26,64% do conjunto de manchas da paisagem. Esse padrão reflete uma configuração espacial marcada por remanescentes florestais menores e dispersos, além de canais e corpos hídricos segmentados pela urbanização densa.

A métrica de densidade de manchas, que relaciona o número de manchas à área total do estudo, segue tendência semelhante ao número absoluto de manchas. Santa Maria apresenta as maiores densidades para todas as classes, com densidade total 13 vezes maior que a de Pelotas e 14 vezes superior à de Novo Hamburgo (Tabela 4). Com densidade de 87,23 manchas/km² para formações florestais e 86,65 manchas/km² para formação campestre, reforçando o padrão de alta fragmentação estrutural observado no município.

Em Pelotas, a maior densidade é registrada na formação florestal (12,26 manchas/km²), indicando uma fragmentação menos intensa que em Santa Maria, mas ainda marcada pela dispersão dos remanescentes vegetais e das áreas de uso agrícola.

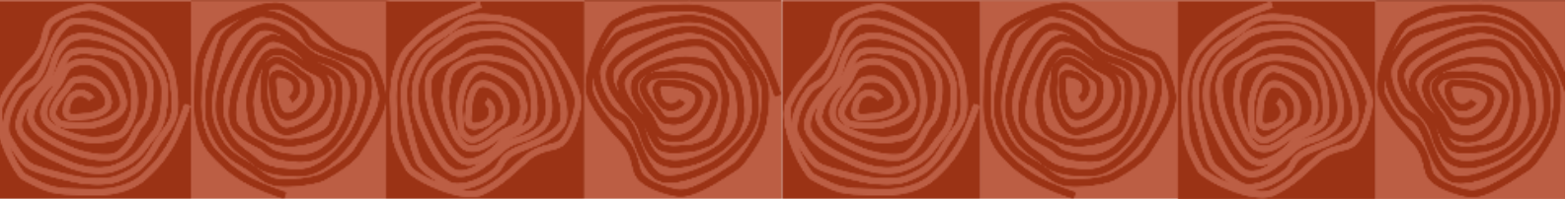
Em Novo Hamburgo, a densidade de manchas é baixa — 2,52 manchas/km² para formações florestais e 9,29 manchas/km² para formações campestres. Nesta paisagem grande parte da fragmentação não está associada a formação florestal ou campestre, mas decorre da compartimentação hídrica e da existência de pequenas áreas agrícolas inseridas em uma matriz urbana densa e consolidada.

Esses padrões sintetizam três configurações paisagísticas distintas, que se refletem diretamente na distribuição, no tamanho e na coesão dos fragmentos — elementos essenciais para compreender os potenciais conectivos e os desafios ecológicos dessas paisagens.

5 DISCUSSÕES

Novo Hamburgo apresentou a paisagem menos heterogênea, com forte predominância da matriz urbana e remanescentes naturais concentrados ao sul. Santa Maria mostrou-se a mais fragmentada, com milhares de pequenas manchas naturais inseridas na matriz urbana e sujeitas a elevados efeitos de borda - entretanto, entende-se que essa leitura pode ocorrer devido a combinação de vários levantamentos em múltiplas escalas. Pelotas, por sua vez, apresentou maior diversidade e uniformidade entre classes, mas com vegetação relevante distribuída sobretudo em zona periférica, indicando baixa integração ecológica no interior do tecido urbano.

Esses resultados se alinham às discussões contemporâneas sobre fragmentação e funcionamento ecológico. Segundo Fahrig (2017), a fragmentação per se — isto é, o efeito independente da simples divisão do habitat, desconsiderando a quantidade total — tende a gerar paisagens ecologicamente empobrecidas quando a perda de conectividade supera os benefícios potenciais da heterogeneidade estrutural. A literatura reforça que manchas menores sofrem mais intensamente os efeitos de borda, concentração de espécies generalistas e redução da qualidade do habitat (Harper et al., 2005; Haddad et al., 2015). Em Santa Maria, esse comportamento foi evidente: muitas manchas, mas baixa funcionalidade ecológica em escala de paisagem.



Além disso, o estudo de Gonçalves-Souza et al. (2025), demonstra que o aumento da diversidade β (*turnover* entre fragmentos) não compensa a redução da diversidade γ (diversidade total da paisagem) em contextos altamente fragmentados. Assim, paisagens compostas por numerosos fragmentos pequenos — como observado em Santa Maria e, em menor medida, em Pelotas — podem apresentar heterogeneidade local, mas ainda assim acumulam perda líquida de biodiversidade quando analisadas em escala integrada. Esses resultados reforçam a importância de preservar áreas de maior continuidade estrutural, uma vez que grandes manchas tendem a manter processos ecológicos de longo prazo, reduzindo efeitos de borda e favorecendo espécies sensíveis. Essa perspectiva está presente em sínteses sobre o debate SLOSS (*Single Large or Several Small*/Uma Grande ou Várias Pequenas), especialmente na análise de longo prazo dos fragmentos amazônicos realizada por Laurance et al. (2011), e também nas revisões sobre quantidade de habitat e efeitos duradouros da fragmentação nos ecossistemas da Terra (Haddad et al., 2015).

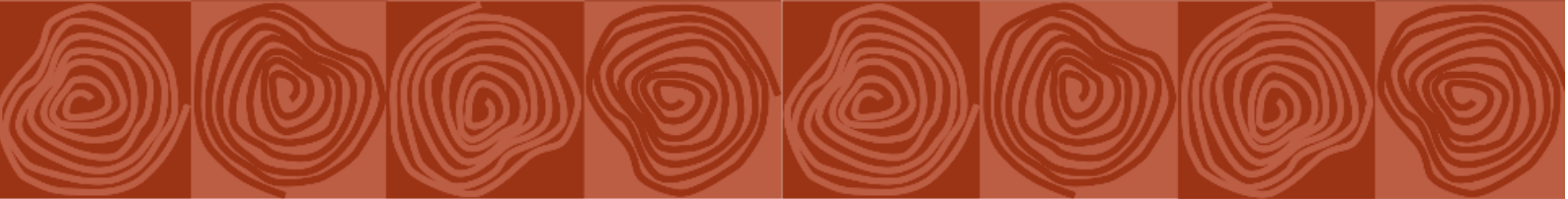
A análise espacial mostrou que cada cidade manifesta potenciais conectivos próprios, influenciados pela disposição e pelo formato das áreas naturais. A interpolação de pontos — representada pelos tons de verde na Figura 3 — permitiu visualizar gradientes de intensidade que expressam a própria lógica da conectividade: quanto mais escuro o tom, maior a proximidade e a concentração de fragmentos, indicando trechos com maior capacidade de sustentar fluxos ecológicos. Já as áreas mais claras revelam descontinuidades ou baixa permeabilidade (Wilhelm; Weiss, 2024). Integrados às métricas de paisagem, esses padrões permitem compreender como a conectividade pode ser reforçada em diferentes contextos urbanos.

Em Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas, a concentração de áreas naturais periféricas favorece corredores urbanos multifuncionais, capazes de atender simultaneamente demandas ecossistêmicas e sociais (Ahern, 1995; Pippi, 2013). Em Novo Hamburgo, dois possíveis eixos atravessam a mancha urbana, conectando maciços naturais ao norte e ao sul, apoiados por pequenas manchas que funcionam como trampolins ecológicos, favorecendo deslocamentos mesmo em áreas mais densificadas. Santa Maria apresenta remanescentes mais expressivos ao norte, associados a morros que se interpõem à área urbana e podem atuar como elementos de ligação entre os extremos da cidade — uma condição favorável diante do alto grau de fragmentação. Em Pelotas, a carência de áreas naturais internas e a presença de fragmentos no entorno reforçam a necessidade de corredores ecológicos que atravessem a mancha urbana. Os potenciais conectivos se destacam especialmente ao longo dos corpos d'água — como o Canal São Gonçalo e a Barragem Santa Bárbara — e em formações naturais a leste, favorecendo tanto a criação de uma rede de corredores quanto o planejamento de um cinturão verde.

De modo geral, as três cidades convergem para estratégias que envolvem proteger remanescentes contínuos, restaurar áreas fragmentadas e estruturar conexões baseadas em corpos d'água e maciços periféricos — soluções amplamente reconhecidas por fortalecer habitats, elevar a qualidade ambiental e ampliar a resiliência climática (Bennet, 2003; Bentrup, 2008; Hellmund; Smith, 2006).

A síntese entre padrões espaciais e métricas de paisagem evidencia prioridades específicas: em Novo Hamburgo, evitar novas rupturas por meio da conservação e ampliação de maciços; em Santa Maria, recompor conectividade funcional onde a fragmentação é mais intensa; e, em Pelotas, consolidar estratégias de macroconectividade baseadas nos corpos d'água com corredores e em um cinturão verde no limite urbano, garantindo suporte ecológico em escala ampliada.

Apesar das diferenças marcantes na configuração da vegetação, as três cidades apresentam uma



oferta de áreas naturais superior aos 16 m² por habitante recomendados pela OMS. Ainda assim, essa disponibilidade não se traduz automaticamente em funcionalidade ecológica — uma condição que demanda planejamento cuidadoso para viabilizar essas conexões (Weiss et al., 2025). Como apontam Betts et al. (2019) e Fletcher et al. (2018), é a estrutura espacial — tamanho, forma, posição, conectividade e continuidade — que determina a manutenção dos processos ecológicos ao longo do tempo. Assim, políticas urbanas que protejam maciços contínuos, ampliem a conectividade funcional e evitem a expansão sobre remanescentes estratégicos tendem a gerar ganhos ambientais significativos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo de urbanização, quando associado a políticas urbanas sensíveis à questão ambiental, pode regular e favorecer a existência e valorização de áreas verdes e hídricas em meio antropizado e construído, proporcionando uma relação equilibrada entre o desenvolvimento urbano e as áreas naturais, tão essenciais para a provisão dos serviços ecossistêmicos. Entende-se que a metodologia adotada oferece uma análise satisfatória da paisagem através dos usos e cobertura do solo, podendo servir como base para o estudo e planejamento urbano em diferentes escalas e cidades.

O objetivo deste estudo foi analisar e comparar as métricas de paisagem em três cidades médias do Rio Grande do Sul — Novo Hamburgo, Santa Maria e Pelotas — para compreender como a configuração espacial das áreas naturais e antrópicas expressa diferentes modelos de ocupação e níveis de integração ecológica. Os resultados obtidos evidenciam que, embora semelhantes em porte, as três cidades estruturam suas paisagens de maneiras muito distintas, com implicações diretas para conectividade ecológica, resiliência e conservação da biodiversidade.

O uso de métricas clássicas da ecologia da paisagem, mostrou-se eficaz para revelar padrões estruturais que diagnósticos convencionais não detectam. Indicadores como diversidade, uniformidade e densidade de manchas permitiu compreender não apenas a composição, mas o modo como a paisagem se organiza, oferecendo subsídios sólidos para o planejamento urbano-ambiental das três cidades.

Conclui-se que promover cidades mais resilientes, ambientalmente equilibradas e ecologicamente conectadas exige integrar diagnóstico espacial, teoria ecológica e instrumentos de gestão territorial. As estratégias indicadas — proteção de manchas contínuas, restauração de conexões críticas, manejo de bordas, cinturões verdes e infraestrutura ecológica — formam um conjunto de ações coerentes com a literatura científica recente e com os resultados encontrados neste estudo.

Por fim, destaca-se a necessidade de ampliar o uso de métricas que qualifiquem com maior precisão a estrutura ecológica urbana. Indicadores como distância entre fragmentos, índice de forma, compacidade e área núcleo podem aprofundar a compreensão sobre isolamento, pressão de borda e estabilidade dos remanescentes. Além disso, o aprimoramento do levantamento, incorporando a vegetação intralote e pequenos elementos verdes dispersos, contribuiria para definir corredores que integrem áreas públicas e privadas, bem como para fortalecer e restaurar APP's. O avanço desses refinamentos metodológicos tende a melhorar a identificação de trajetos conectivos e a orientar estratégias mais eficazes de planejamento urbano e ambiental.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

REFERÊNCIAS

AHERN, Jack. Greenways in the USA: theory, trends and prospects. In: JONGMAN, R.; PUNGETTI, G. (Eds). *Ecological networks and greenways: concept, design, implementation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346645719_Greenways_in_the_USA_theory_trends_and_prospects. Acesso em: jun. 2025.

BETTS, M. G. et al. Extinction filters mediate the global effects of habitat fragmentation on animals. *Science*, v. 366, n. 6470, p. 1236-1239, 2019. DOI: 10.1126/science.aax9387. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aax9387>. Acesso em: nov. 2025

BERTÊ, A. A. M. de. Problemas ambientais no Rio Grande do Sul: uma tentativa de aproximação. In: VERDUM, M; BASSO, L. A; SUERTEGARAY, D. M. (Org). *Rio Grande do Sul: paisagens e territórios em transformação*. Porto Alegre: UFRS, 2004. Disponível em: <https://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/assets/pdf/060428023.pdf>. Acesso em: out. 2025.

BENNETT, A. F. *Linkages in the landscape: the role of corridors and connectivity in wildlife conservation*. Cambridge: IUCN Publications Services Unit, 2003.

BENTRUP, G. *Conservation Buffers: design guidelines for buffers, corridors and greenways*. Asheville, NC: Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 2008.

BOTEQUILHA-LEITÃO, André; RIBEIRO, Sônia C. Análise de Padrões. In: RIBEIRO, S. M. C.; BOSCOLO, D.; CIOCHETTI, G.; FIRMINO, A.; GUIOMAR, N. [org.]. *Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro: volume 1*, Curitiba: Appris, 2021. p.222-263.

BRASIL. Lei nº 5.502, de 11 de setembro de 2008. Institui o Plano Diretor Municipal e estabelece as diretrizes e proposições de ordenamento e desenvolvimento territorial no Município de Pelotas, e dá outras providências. Disponível em: <https://www.pelotas.rs.gov.br/servicos/gestao-da-cidade/plano-diretor-mapas>. Acesso em: ago. de 2024.

FAHRIG, L. Ecological responses to habitat fragmentation per se. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 48, 2017. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022612>. Acesso em: nov. 2025.

FLETCHER JR., R. J. et al. Is habitat fragmentation good for biodiversity?. *Biological Conservation*, v. 226, p. 9-15, 2018. DOI: 10.1016/j.biocon.2018.07.022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320718305779>. Acesso em: nov. 2025.

FLORES, Gabriela Martins; ZAGHETTI, Ariel Felipe Geraldo; RODRIGUES, Ariane Brum; MARTINS, Marília Fogaça; ANTON, Bruna Bulsing; WEISS, Raquel; PIPPI, Luís Guilherme Aita. SISTEMA DE ESPAÇOS LIVRES RURAIS: Análise dos padrões e gradientes espaciais do entorno imediato do Rio Jacuí - Cachoeira do Sul. In: Colóquio Quapá-SEL, 17., 2023, Erechim. *Anais do XVII Colóquio Quapá-SEL: Os espaços livres e as águas no Brasil*. Disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1nVUXq577XILJWU1kBXlicaXgHL1Kw6GS/view>. Acesso em: nov 2025.

FRANCO, Maria De Assunção Ribeiro. *Desenho Ambiental: Uma introdução à arquitetura da paisagem com o paradigma ecológico*. São Paulo, Anna Blume / FAPESP, 1997.

FORMAN, Richard T.T. *Urban Regions: Ecology and planning Beyond the City*. New York: Cambridge University Press, 2008.

GONÇALVES-SOUZA, T. et al. Species turnover does not rescue biodiversity in fragmented landscapes. *Nature*, v. 640, p. 702–706, 2025. DOI: 10.1038/s41586-025-08688-7. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-025-08688-7>. Acesso em: nov. 2025.

HADDAD, N. M. et al. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*, v. 1, n. 2, 2015. DOI: 10.1126/sciadv.1500052. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500052>. Acesso em: nov. 2025.

HARPER, K. A. et al. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 768-782, 2005. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1523-1739.2005.00045.x>. Acesso em: nov. 2025.

HELLMUND, P. C.; SMITH, D. S. *Designing Greenways: Sustainable Landscape for Nature and People*. Washington: Island Press, 2006.

HERZOG, Cecilia Polacow. *Cidade para todos: (re)aprendendo a conviver com a Natureza*. 1. ed. Rio de Janeiro: Mauad, 2013.

LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian Forest fragments: a 32-year investigation. *Biological Conservation*, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.09.021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320710004209>. Acesso em: nov. 2025.

MAGNOLI, Miranda. M. Espaço livre - objeto de trabalho. *Paisagem E Ambiente*, 21, 175-197, 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i21p175-197>. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/paam/article/view/40249>. Acesso em: Ago. 2024.

MELARA, Eliane; GASPAR, Ana Clara Pinto; GOMES, Marcos Antônio Silvestre. A Reestruturação Urbana em Volta Redonda-RJ: Uma Cidade Média Policêntrica e Fragmentada. *Espaço Aberto*, Rio de Janeiro, Brasil, v. 14, p. 217–236, 2024. DOI: <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2024.62323>. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/62323>. Acesso em: Ago. 2024.

PEDREIRA, João Pedro das Neves Cardoso; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. Análise das Diferenças de Identificação e Delimitação de Áreas Verdes Intraurbanas do Rio de Janeiro pela Perspectiva em Mesoescala do MapBiomas. *Espaço Aberto*, Rio de Janeiro, Brasil, v. 13, n. 1, p. 43–58, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36403/espacoaberto.2023.55791>. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/55791>. Acesso em: Ago. 2024.

PIPPI, Luis Guilherme Aita. *Social Network Interaction and Behaviors on Recreational Greenways and Their Role in Enhancing Greenway Potential*. 2013. Tese (Doctor of Philosophy) – North Carolina State University, 2013. Disponível em: <https://repository.lib.ncsu.edu/items/2d7d3e47-1dc8-473e-b0d0-80f5769d1596>. Acesso em: mar. 2025.

ROCHA, Mariane F.; NUCCI, João C. Índices de vegetação e competitividade entre cidades. GEOUSP - Espaço e Tempo, v. 22, n. 3, p. 641–655, 2018. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2018.133554>. Disponível em: <https://revistas.usp.br/geousp/article/view/133554>. Acesso em: Set. 2024.

SANTOS, Rosely Ferreira dos. Planejamento Ambiental: Teoria e prática. São Paulo, Oficina de Textos, 2009.

SHANNON, C. E. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal, v.27, (3), p. 379-423, 1948. DOI: <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>.

STABACK, Daiane F.; LIMA, Jandir F. Cidades médias brasileiras e sua convergência de crescimento e desenvolvimento socioeconômico. urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 15, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.015.e20220054>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/87RdjHm7qXFWdv5rPVDjy3f/?lang=pt#>. Acesso em: Ago. 2024.

STACCIONE, Andrea; CANDIAGO, Sebastian; MYSLAK, Jaroslav. Mapping a Green Infrastructure Network: a framework for spatial connectivity applied in Northern Italy. Environmental Science and Policy, v. 131, p. 57 - 67, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.017>

LIU, Shiliang; YIN, Yijie; LIU, Xuehua; CHENG, Fangyan; YANG, Jueijie; LI, Junran; DONG, Shikui; ZHU, Annah. Ecosystem Services and landscape change associated with plantation expansion in a tropical rainforest region of Southwest China. Ecological Modelling, v. 353, p. 129 - 138, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380016300680>. Acesso em: nov 2025.

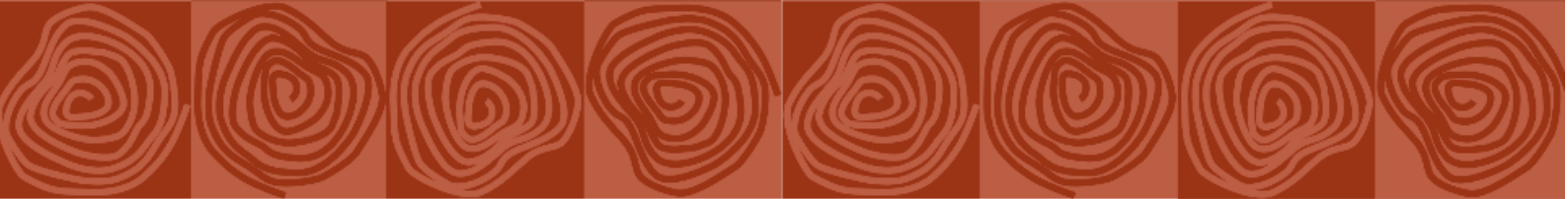
WEISS, Raquel; PIPPI, Luis Guilherme Aita; GABRIEL, Letícia de Castro; LAUTERT, Alice Rodrigues; COCCO, Renata Michelin; KLEBERS, Luan da Silva; BALDISSARELLI, Maiara. A conectividade e multifuncionalidade da paisagem de Santa Maria – RS/ Brasil: perspectivas ecológicas. In: Sistemas de Espaços Livres em Cidades Médias Brasileiras. Glauco de Paula Coccoza e Lucimara Albieri (Organizadores). 1. ed. — Uberlândia Sibiripuna, 2022. Dados eletrônicos (pdf).

WEISS, Raquel; ZAGHETTI, Ariel Felipe Geraldo; WILHELM, Martiele; ZIANI, Patricia; SEEFELDT, Tainara Bueno. Entre biomas e padrões de relevo: diversidade e dinâmica da paisagem da região imediata de Cachoeira do Sul, Rio Grande do Sul. Paisagem e Ambiente, v. 34, n. 52, 2023. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.paam.2023.223675>. Disponível em: <https://revistas.usp.br/paam/article/view/223675>. Acesso em: dez 2025.

WEISS, Raquel; PIPPI, Luis Guilherme Aita; GABRIEL, Letícia de Castro; LAUTERT, Alice Rodrigues; COCCO, Renata Michelin; KLEBERS, Luan da Silva. The Ecological Sensitivity of Cities: Defining a System of Green Corridors. In: Ecology of Tropical Cities, Volume I. Natural and Social Sciences Applied to the Conservation of Urban Biodiversity. Fabio Angeoletto • Piotr Tryjanowski; Mark D. E. Fellowes Editors. Springer, 2025.

WILHELM, Martiele; WEISS, Raquel. PAISAGEM E SENSIBILIDADE ECOLÓGICA NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA BACIA DO GUAÍBA/RS: UMA ANÁLISE DAS DINÂMICAS PRESENTES NAS BACIAS DO ALTO JACUÍ, BAIXO JACUÍ, PARDO E VACACAÍ-VACACAÍ MIRIM. Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul, n.44, 2024. Disponível em: <https://revistas.planejamento.rs.gov.br/index.php/boletim-geografico-rs/article/view/4572>. Acesso em: abril 2025.

WOLCH, Jennifer; BYRNE, Jason; NEWELL, Joshua. Urban green space, public health, and environmental justice: The challenge of making cities ‘just green enough’. Landscape and Urban Planning, v. 125, p. 234-244, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.017>.



Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169204614000310>.
Acesso em: Ago. 2024.