



Revista Latino-americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade

Latin American Journal of the Built Environment & Sustainability

Revista Latinoamericana de Ambiente Construido y Sostenibilidad

ISSN 2675-7524 - v. 6, n. 25, 2025

Previsão de crescimento de formas urbanas e vetores de expansão: estudo de caso em Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha

Izabele Colusso

Professora do Mestrado em Design Estratégico, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil
icolusso@unisinos.br

Ana Júlia da Silva

Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo na UNISINOS, Brasil
anajulias@edu.unisinos.br

Júlia Rizzi Onzi

Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo na UNISINOS, Brasil
JOnzi@edu.unisinos.br

Samantha Carvalho

Acadêmica de Arquitetura e Urbanismo na UNISINOS, Brasil
csamantha@edu.unisinos.br

**Previsão de crescimento de formas urbanas e vetores de expansão:
estudo de caso em Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha****RESUMO**

Objetivo - O trabalho tem como objetivo analisar os condicionantes físicos e estruturais que interferem na dinâmica de crescimento urbano nos municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha, situados na Região Metropolitana da Serra Gaúcha, com ênfase na compreensão das deformações geométricas e vetores de expansão urbana.

Metodologia - A pesquisa fundamenta-se em uma abordagem de morfologia urbana, complementada por técnicas de análise espacial. Foram mensuradas a área urbanizada e as deformações geométricas dos assentamentos, considerando fatores topográficos, hidrográficos e infraestruturais, que orientam ou restringem a expansão em diferentes direções.

Originalidade/relevância - O estudo insere-se no gap teórico que relaciona a morfologia urbana e os processos de crescimento em cidades médias inseridas em contextos regionais específicos. A originalidade está em propor um modelo de análise preditiva de expansão que considera a interação entre fatores físicos e estruturais, aplicado a municípios de relevo acidentado e forte dinâmica econômica.

Resultados - Os resultados indicaram que determinados vetores de crescimento apresentam maior viabilidade em função da topografia e da rede rodoviária, enquanto outros sofrem restrições significativas, como as áreas próximas ao Rio Taquari e regiões de declividade acentuada. A aplicação de fatores de impedância possibilitou redistribuir de forma proporcional os percentuais de crescimento, ajustando o modelo de projeção às condições reais do território.

Contribuições teóricas/metodológicas - A pesquisa contribui ao consolidar uma metodologia de análise urbana que combina medidas de área urbanizada e deformações geométricas, permitindo maior precisão na modelagem preditiva de crescimento urbano e no entendimento da relação entre morfologia e condicionantes territoriais.

Contribuições sociais e ambientais - O estudo oferece subsídios para o planejamento territorial sustentável, destacando a necessidade de direcionar a urbanização para áreas mais adequadas do ponto de vista ambiental e infraestrutural. Além disso, aponta caminhos para mitigar impactos negativos em áreas sensíveis, contribuindo para políticas públicas mais eficazes na gestão do crescimento urbano regional.

PALAVRAS-CHAVE: Crescimento Urbano. Morfologia Urbana. Planejamento Territorial.

**Forecasting Urban Form Growth and Expansion Vectors:
A Case Study in Caxias do Sul, Farroupilha, and Flores da Cunha****ABSTRACT**

Objective – This study aims to analyze the physical and structural factors that influence the dynamics of urban growth in the municipalities of Caxias do Sul, Farroupilha, and Flores da Cunha, located in the Metropolitan Region of Serra Gaúcha, with an emphasis on understanding geometric deformations and vectors of urban expansion.

Methodology – The research is based on an urban morphology approach, complemented by spatial analysis techniques. The urbanized area and geometric deformations of the settlements were measured, considering topographic, hydrographic, and infrastructural factors that guide or restrict expansion in different directions.

Originality/Relevance – The study addresses a theoretical gap linking urban morphology and growth processes in medium-sized cities within specific regional contexts. Its originality lies in proposing a predictive analysis model of urban expansion that considers the interaction between physical and structural factors, applied to municipalities with rugged topography and strong economic dynamics.

Results – The results indicated that certain growth vectors present higher viability due to topography and the road network, while others face significant restrictions, such as areas near the Taquari River and regions with steep slopes. The application of impedance factors enabled a proportional redistribution of growth percentages, adjusting the projection model to the actual territorial conditions.

Theoretical/Methodological Contributions – The research contributes by consolidating an urban analysis methodology that combines measurements of urbanized area and geometric deformations, allowing for more precise predictive modeling of urban growth and a better understanding of the relationship between morphology and territorial constraints.



Social and Environmental Contributions – The study provides subsidies for sustainable territorial planning, highlighting the need to direct urbanization toward environmentally and infrastructurally suitable areas. Additionally, it indicates ways to mitigate negative impacts in sensitive regions, contributing to more effective public policies for managing regional urban growth.

KEYWORDS: Urban Growth. Urban Morphology. Territorial Planning.

Predicción del Crecimiento de Formas Urbanas y Vectores de Expansión: Estudio de Caso en Caxias do Sul, Farroupilha y Flores da Cunha

RESUMEN

Objetivo – Este estudio tiene como objetivo analizar los factores físicos y estructurales que influyen en la dinámica del crecimiento urbano en los municipios de Caxias do Sul, Farroupilha y Flores da Cunha, situados en la Región Metropolitana de Serra Gaúcha, con énfasis en la comprensión de las deformaciones geométricas y los vectores de expansión urbana.

Metodología – La investigación se basa en un enfoque de morfología urbana, complementado con técnicas de análisis espacial. Se midieron el área urbanizada y las deformaciones geométricas de los asentamientos, considerando factores topográficos, hidrográficos e infraestructurales que orientan o restringen la expansión en diferentes direcciones.

Originalidad/Relevancia – El estudio se inserta en un vacío teórico que vincula la morfología urbana y los procesos de crecimiento en ciudades medianas dentro de contextos regionales específicos. Su originalidad radica en proponer un modelo de análisis predictivo de expansión que considera la interacción entre factores físicos y estructurales, aplicado a municipios con topografía accidentada y fuerte dinámica económica.

Resultados Los resultados indicaron que ciertos vectores de crecimiento presentan mayor viabilidad debido a la topografía y la red vial, mientras que otros enfrentan restricciones significativas, como las áreas próximas al río Taquari y regiones con pendientes pronunciadas. La aplicación de factores de impedancia permitió redistribuir de forma proporcional los porcentajes de crecimiento, ajustando el modelo de proyección a las condiciones reales del territorio.

Contribuciones Teóricas/Metodológicas – La investigación contribuye a consolidar una metodología de análisis urbano que combina mediciones de área urbanizada y deformaciones geométricas, permitiendo una mayor precisión en la modelización predictiva del crecimiento urbano y una mejor comprensión de la relación entre morfología y condicionantes territoriales.

Contribuciones Sociales y Ambientales – El estudio proporciona insumos para la planificación territorial sostenible, destacando la necesidad de orientar la urbanización hacia áreas más adecuadas desde el punto de vista ambiental e infraestructural. Además, indica formas de mitigar impactos negativos en áreas sensibles, contribuyendo a políticas públicas más eficaces en la gestión del crecimiento urbano regional.

PALABRAS CLAVE: Crecimiento Urbano. Morfología Urbana. Planificación Territorial.



1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano é um processo multifacetado, resultado da interação entre fatores naturais, culturais, sociais e econômicos. A forma como as cidades se expandem está diretamente relacionada às condições ambientais e infraestruturais locais, além das diretrizes estabelecidas por políticas públicas e decisões de planejamento territorial. A Região Metropolitana da Serra Gaúcha (RMSG), uma das áreas mais turísticas do estado do Rio Grande do Sul, apresenta um contexto geográfico caracterizado por relevo acidentado, vales e corpos hídricos, como os rios Taquari e das Antas. Essas características conferem ao seu desenvolvimento territorial peculiaridades distintas em relação a outras regiões do estado.

A compreensão das dinâmicas urbanas exige um olhar atento à morfologia urbana, ou seja, às formas que a cidade adquire ao longo do tempo em resposta a fatores naturais, estruturais e sociais. Essa abordagem permite visualizar como os vetores de crescimento se consolidam e de que forma se articulam com o espaço urbano consolidado. Nesse sentido, este estudo ancora-se em referenciais da morfologia urbana e da teoria dos grafos, que, ao analisar as conexões viárias e suas centralidades, auxiliam na leitura da estrutura urbana regional.

Fatores antrópicos, como a malha rodoviária que interliga as cidades e a proximidade com polos industriais e comerciais, funcionam como vetores de crescimento, direcionando a urbanização para áreas mais acessíveis e integradas ao regime urbanístico. Essa lógica resulta em uma espacialidade urbana fragmentada e seletiva, em que determinadas áreas se adensam rapidamente, enquanto outras permanecem marginalizadas ou sob pressões ambientais.

Este estudo tem como objetivo principal identificar e analisar os condicionantes físicos e estruturais que interferem na dinâmica de crescimento da RMSG. Entre os fatores limitantes, destacam-se o relevo acidentado, a presença de rios e os limites territoriais municipais. Em contrapartida, elementos como eixos rodoviários estratégicos e acessibilidade a serviços e áreas economicamente dinâmicas atuam como facilitadores da expansão.

Como recorte empírico, foram adotados os municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha. Essa escolha se justifica pela representatividade das cidades dentro da RMSG e pela viabilidade de análise detalhada de sua evolução urbana, permitindo a aplicação do modelo preditivo proposto, que futuramente poderá ser expandido às demais cidades da região.

A partir desse estudo de caso, busca-se explorar e quantificar os principais fatores que influenciam o crescimento urbano regional, fornecendo subsídios para um planejamento territorial mais eficiente e sustentável, sensível às particularidades locais e às tendências de urbanização identificadas. A integração entre os municípios da região pode ser visualizada na Figura 1, que apresenta a distribuição geográfica dos municípios que compõem a Região Metropolitana da Serra Gaúcha.



Figura 1: Destaque para as cidades de Caxias do Sul, Flores da Cunha e Farroupilha.



Fonte: os autores (2025).

O conceito de morfologia urbana, tradicionalmente utilizado para descrever o desenho físico das cidades, é aqui ampliado para interpretar os modos como as cidades se expandem, formando manchas urbanas que dialogam com o relevo, a rede viária e os usos do solo. Conforme Lamas (1993), a morfologia urbana pode ser interpretada por meio da análise de tecidos urbanos, quadras, lotes e vias, permitindo identificar padrões que se repetem ou se rompem frente a vetores de crescimento.

Adicionalmente, a aplicação da teoria dos grafos auxilia na leitura das conexões espaciais e hierarquias entre as vias, contribuindo para identificação de centralidades locais e regionais. Os estudos de Christaller (1933) e Lösch (1940), ao propor modelos hexagonais e princípios de localização dos centros urbanos, fornecem base para entender a organização espacial das cidades e a lógica de expansão entre núcleos urbanos e suas zonas de influência. Essa fundamentação teórica fortalece a construção do modelo proposto neste artigo, que articula estrutura espacial e simulação de crescimento.

2.1 Formas regionais e formas urbanas

A análise da forma urbana e de suas transformações ao longo do tempo envolve múltiplas dimensões, entre elas: a expansão da área urbanizada, a estruturação das centralidades e a deformação geométrica dos assentamentos. A área urbanizada corresponde à parcela do território ocupada por edificações e infraestrutura, conformando uma mancha urbana visível e quantificável, especialmente em imagens de sensoriamento remoto e dados geoespaciais. Trata-se de uma medida importante em escala municipal, pois reflete o grau de ocupação do solo e o avanço da urbanização sobre o território (IBGE, 2019). No entanto, para compreender as dinâmicas internas das cidades e dos sistemas urbanos, é necessário recorrer a escalas mais detalhadas, nas quais se analisam as estruturas internas, como centralidades,



densidades, polarizações e direções de crescimento (Villaça, 2001).

Essa lógica de rede e conexões mínimas tem origem em abordagens da teoria dos grafos aplicadas ao urbanismo e ao planejamento territorial, onde os nós (cidades) e arestas (vias de ligação) representam o suporte físico das trocas e fluxos regionais (Batty, 2013).

Quanto maior a presença de caminhos mínimos passando por um determinado ponto, maior sua centralidade topológica, o que implica maior capacidade de atração de atividades e investimentos. Portanto, a centralidade pode ser medida pela soma dos caminhos mínimos entre os pares de cidades, refletindo o potencial de cada uma para gerar e atrair fluxos, desde que existam conexões estruturadas — como a malha rodoviária — que possibilitem essas interações (Corrêa, 1997; Santos, 2008).

Por sua vez, as deformações geométricas no espaço urbano dizem respeito às alterações no formato dos assentamentos ao longo do tempo, indicativas das direções preferenciais de expansão urbana, frequentemente resultantes de pressões regionais, socioeconômicas e políticas. Como destacam Barros e Sobreira (2002), a forma urbana não é neutra nem aleatória, mas sim o produto de forças estruturantes que operam em múltiplas escalas. As deformações podem ser mensuradas por indicadores geométricos como variação do perímetro urbano, crescimento bruto da área urbanizada, índices de compacidade, elongação e direcionalidade da expansão, que ajudam a compreender padrões de crescimento difuso ou concentrado (Dias, 2005; Angel et al., 2011).

2.1.1 Direção de crescimento

A mensuração da área urbanizada corresponde ao conjunto do território efetivamente ocupado pela mancha urbana, cuja configuração pode ser identificada de maneira contínua e visível no espaço. Trata-se, portanto, de um indicador de escala municipal, utilizado para delimitar a extensão total do tecido urbano consolidado. Em escalas mais detalhadas, contudo, a análise se desloca das medidas de área total para os aspectos de estruturação interna da cidade, considerando diferenciações espaciais relacionadas à evolução das centralidades, ao grau de polarização das atividades e às variações de densidade populacional e construtiva.

As medidas de deformação geométrica têm como objeto a forma geral assumida pelos assentamentos urbanos ao longo do tempo. Sua evolução está associada às tensões impostas pelo sistema urbano-regional, que induzem a expansão em direções específicas, resultando em configurações assimétricas do tecido urbano. Nesse sentido, a deformação pode ser compreendida como um processo seletivo de vetores de crescimento, nos quais determinadas áreas são estendidas em maior intensidade que outras. A quantificação dessas deformações pode ser realizada por meio de diferentes indicadores geométricos, tais como: variação do perímetro urbano, incremento absoluto da área urbanizada, deformação proporcional da forma urbana e deformação orientada por direção. Tais métricas permitem compreender a relação entre dinâmica interna de crescimento e pressões externas do sistema regional, conforme exemplificado na Figura 2.



Figura 2 – Exemplo de medida de deformação geométrica, para a cidade de Bento Gonçalves: em cor mais fraca, área urbanizada em 1970, calculada em direção aos vértices de forma; em cor mais forte, área urbanizada em 2010, igualmente calculada em direção aos vértices de forma.



Fonte: artigo Forças regionais, formas urbanas e estrutura interna da cidade: UM ESTUDO COMPARATIVO. Desenvolvido por: Manuela Letícia Huppes, Raquel Werner de Vargas, Tamires Lenhart e Izabele Colusso.

2 OBJETIVOS

A presente pesquisa tem como propósito central compreender e projetar a dinâmica de crescimento urbano em três municípios selecionados da Região Metropolitana da Serra Gaúcha (RMSG) — Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha. O estudo concentra-se exclusivamente nessas cidades, escolhidas em razão de sua relevância regional, da interdependência territorial e das tensões urbanas que compartilham, não abrangendo a totalidade dos municípios da RMSG. Parte-se do pressuposto de que a forma urbana não resulta de um crescimento homogêneo e isotrópico, mas é fortemente condicionada por barreiras físicas, infraestrutura viária, topografia, recursos hídricos e interações intermunicipais. Tais fatores definem as direções preferenciais de expansão e determinam a viabilidade de ocupação em diferentes escalas, justificando a necessidade de um recorte territorial específico para aprofundar a análise.

2.1 Objetivos gerais

Elaborar e aplicar um modelo de projeção espacial capaz de analisar e redistribuir o crescimento urbano nos municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha, incorporando medidas de área urbanizada, fatores de impedância e métricas de deformação geométrica, de modo a representar com maior precisão as condições reais do território e as tensões regionais que influenciam a configuração da mancha urbana.

2.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, esta pesquisa estabelece como metas específicas:

1. Delimitar e mensurar a área urbanizada atual dos municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha, estabelecendo uma linha de base empírica para a avaliação da expansão.
2. Identificar e caracterizar condicionantes territoriais que atuam como restrições ou facilitadores da expansão urbana (rios, rodovias, relevo, áreas de preservação e limites municipais) nos três municípios analisados.
3. Atribuir fatores de impedância aos vetores de crescimento, ponderando a intensidade das restrições e ajustando a probabilidade de expansão relativa entre as diferentes direções de cada cidade.
4. Aplicar métricas geométricas de deformação urbana, incluindo variação de perímetro,



incremento absoluto de área urbanizada, deformação proporcional e deformação orientada por direção, de modo a analisar a evolução da forma urbana dos municípios selecionados.

5. Desenvolver um sistema de ponderação percentual, redistribuindo o potencial de crescimento urbano em conformidade com as restrições identificadas, com o intuito de gerar projeções mais realistas da expansão municipal.
6. Validar o modelo proposto por meio da análise comparativa entre os resultados obtidos e os padrões de crescimento observados historicamente nos três municípios.
7. Contribuir metodologicamente para os estudos urbanos e regionais, demonstrando a aplicabilidade de técnicas de ponderação e deformação geométrica em contextos metropolitanos de média escala.

3 PREVISÃO DE CRESCIMENTO DE FORMAS URBANAS

A pesquisa adotou uma abordagem quantitativa e espacial baseada em dados georreferenciados, combinando análise histórica de expansão urbana com fatores físicos e estruturais. Para delimitar as manchas urbanas, foram utilizadas imagens de satélite e cartas topográficas disponíveis publicamente, complementadas por dados oficiais dos municípios. Reconhece-se que a utilização de dados secundários impõe limitações à precisão altimétrica e temporal; por isso, o modelo aqui proposto deve ser entendido como uma ferramenta inicial, a ser periodicamente recalibrada e atualizada.

A escolha dos vetores de crescimento baseou-se em direções cardeais e radiais que correspondem às principais vias estruturantes e condicionantes geográficos do território (topografia, cursos d'água, áreas de preservação). A análise também considerou fatores de impedância, como áreas de risco geotécnico e limitações ambientais, permitindo a construção de cenários mais realistas de expansão. Não foram consideradas variáveis socioeconômicas e dados climáticos.

O ponto de partida da pesquisa foi o estabelecimento de um centroide para a mancha urbana de cada município analisado. Esse centro geométrico foi definido a partir da área urbanizada consolidada em cada período histórico e serviu como referência para a criação de vetores de análise nas quatro direções cardeais — norte, sul, leste e oeste. Esse procedimento garantiu que as mensurações fossem comparáveis entre diferentes décadas e entre as três cidades analisadas, criando uma base metodológica uniforme para a investigação da dinâmica urbana.

A partir desse centroide, foram delimitadas as manchas urbanas referentes aos anos de 1970, 1990 e 2010, com base em fontes distintas. Para o ano de 1970, foram utilizadas as Cartas Topográficas do Banco de Dados Geográfico do Exército (BDGEx). Já para os anos de 1990 e 2010, recorreu-se a imagens de satélite obtidas no Google Earth. A partir desses registros, foram medidas as extensões da área urbanizada em cada direção cardinal, sempre em linha reta, o que possibilitou identificar não apenas o crescimento em termos absolutos, mas também as direções predominantes de expansão.



Tabela 2: Dados sintetizados do crescimento da cidade de Farroupilha

	1970	1990	2010	70-90	90-10	70-10
UN	1236m	2096m	2675m	69,59%	27,63%	116,45%
US	1011m	1790m	2426m	77,01%	35,52%	139,88%
UL	882m	2043m	3151m	131,60%	54,25%	257,24%
UO	889m	1981m	2767m	122,93%	39,62%	211,26%

Fonte: Elaborado pelos autores

Em seguida foi aplicada a Planilha de Previsão, que gera dados previstos com base no histórico apresentado anteriormente. Essa ferramenta pode ser utilizada para analisar diversos tipos de projeções, e nesta pesquisa foi utilizada para analisar o sentido de crescimento de cada município através das medidas da sua forma urbana já existente. Com isso, temos novas fases de expansão de urbana para os períodos de 2030 e 2050. Na próxima etapa, os dados obtidos foram adicionados a tabela de dados reorganizados, para podermos aplicar o comando novamente e obter a previsão de crescimento para 2070, conforme tabela. Reaplicou-se a Planilha de Previsão, dessa vez incluindo os dados obtidos relativos a 2030 e 2050.

Após a obtenção de todos os dados necessários, estes foram reorganizados em uma nova tabela de Projeções Totais, onde foi possível identificar a diferença de crescimento através da aplicação da fórmula de porcentagem. A última etapa foi a realização da subtração dos dados para poder medir a distância em metros no mapa, para cada direção de crescimento nos intervalos de tempo analisados, podendo por fim gerar uma tabela de previsão, individual para cada município conforme.

Tabela 4: Tabela de projeções totais da cidade de Farroupilha.

	2030	2050	2070	10-30	30-50	50-70
	(m)	(m)	(m)	(%)	(%)	(m)
UN	3432,11	4163,07	4891,07	28,26	21,30	17,50
US	1831,16	2178,18	2528,32	29,92	22,62	18,42
UL	2168,73	2572,19	2976,19	36,22	26,48	20,93
UO	1907,08	2154,09	2402,66	35,37	25,39	20,20

Fonte: Elaborado pelos autores.

As informações obtidas a partir das medidas das manchas urbanas em três recortes temporais distintos possibilitaram a construção de padrões percentuais de crescimento. Com base nesse histórico, foi estruturado um modelo preditivo de expansão, projetando o crescimento urbano futuro para os anos de 2030, 2050 e 2070. Essa projeção, entretanto, não se baseou apenas na repetição linear das tendências passadas, mas também considerou as possibilidades reais de expansão dentro dos limites municipais de cada cidade. Para calcular essa disponibilidade, foram realizadas medições em linha reta entre o vértice da mancha urbana de 2010 e o limite administrativo de cada município, nas direções norte, sul, leste e oeste. Esse procedimento permitiu quantificar a distância máxima que o tecido urbano ainda poderia avançar em cada vetor, revelando quais direções ainda apresentavam potencial de expansão e quais já se encontravam em situação de saturação espacial.



No entanto, a simples disponibilidade territorial não seria suficiente para representar a complexidade do processo de urbanização. Por esse motivo, foi realizada uma etapa de mapeamento de fatores de impedância, buscando identificar elementos físicos e estruturais que limitam ou dificultam a expansão urbana. Esse levantamento foi feito de forma empírica, a partir da observação de condicionantes como a topografia acidentada, que dificulta a ocupação e encarece a infraestrutura, a presença de rios ou áreas suscetíveis a inundações, além de barreiras relacionadas à malha rodoviária e à proximidade de outros municípios. A fim de incorporar esses elementos ao modelo, foi desenvolvido um sistema de pesos percentuais variando de 1 a 10. Áreas com baixa viabilidade de urbanização receberam valores próximos a 1, indicando forte restrição ao crescimento, enquanto regiões com condições amplamente favoráveis receberam valores próximos a 10. Essa classificação foi aplicada a cada direção de crescimento, funcionando como uma correção sobre os valores obtidos a partir da análise histórica e territorial. Dessa forma, os percentuais de crescimento projetados para os períodos futuros (2010–2030, 2030–2050 e 2050–2070) foram ajustados com base nos fatores de impedância. Esse procedimento possibilitou redistribuir de forma proporcional o potencial de expansão, resultando em projeções mais realistas e ajustadas às condições específicas de cada território. Assim, o modelo metodológico combinou a análise histórica da expansão urbana, os limites territoriais de cada município e os condicionantes físicos e estruturais, estruturando um processo de cálculo capaz de representar a dinâmica do crescimento urbano de maneira integrada e matemática (Tabela 5).

Tabela 5: cálculo de redistribuição de crescimento da cidade da Farroupilha

Período	U	Total histórico de crescimento até 2010 (m)	Crescimento previsto sem a impedância (m)	2010 – 2030 (%)	Análise para impedância	Fator de impedância	Crescimento 2010 – 2030 (m)	Possibilidade de expansão urbana nos anos seguintes (m)
2010-2030	N	2675,98	756,13	28,26	Topografia acidentada com crescimento possível ainda	5	271,22	106,84
	S	2436,41	725,92	29,92	Topografia acidentada	2	101,74	43,43
	L	3151,48	1141,44	36,22	Topografia muito acidentada	1	72,80	41,34
	O	2767,76	978,82	35,37	Topografia acidentada	2	126,52	69,24
Total possível de crescimento		2030-2050 (%)		Cresc. (m)				
2030-2050	N	1632,24	21,30		84,08			22,75
	S	2732,17	22,62		33,61			9,82
	L	1186,91	26,48		30,39			10,94



O	3871,67	25,39		51,66	17,58
Total possível de crescimento		2050-2070 (%)	Cresc. (m)		
2050-2070	N	347,67	17,50	18,77	3,98
	S	618,01	18,42	8,01	1,80
	L	314,30	20,93	8,65	2,29
	O	983,01	20,20	14,02	3,55

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados apresentados anteriormente foram obtidos a partir da análise e sintetização de dados concretos da extensão territorial dos municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha nos principais eixos. Para dar seguimento à pesquisa, e a fim de aproximar-se de um resultado mais provável e fiel à realidade, foram incorporadas impedâncias ao modelo. Conforme exposto anteriormente, os municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha estão localizados na RMSG, e para cada uma de suas direções de crescimento existe um fator diferente.

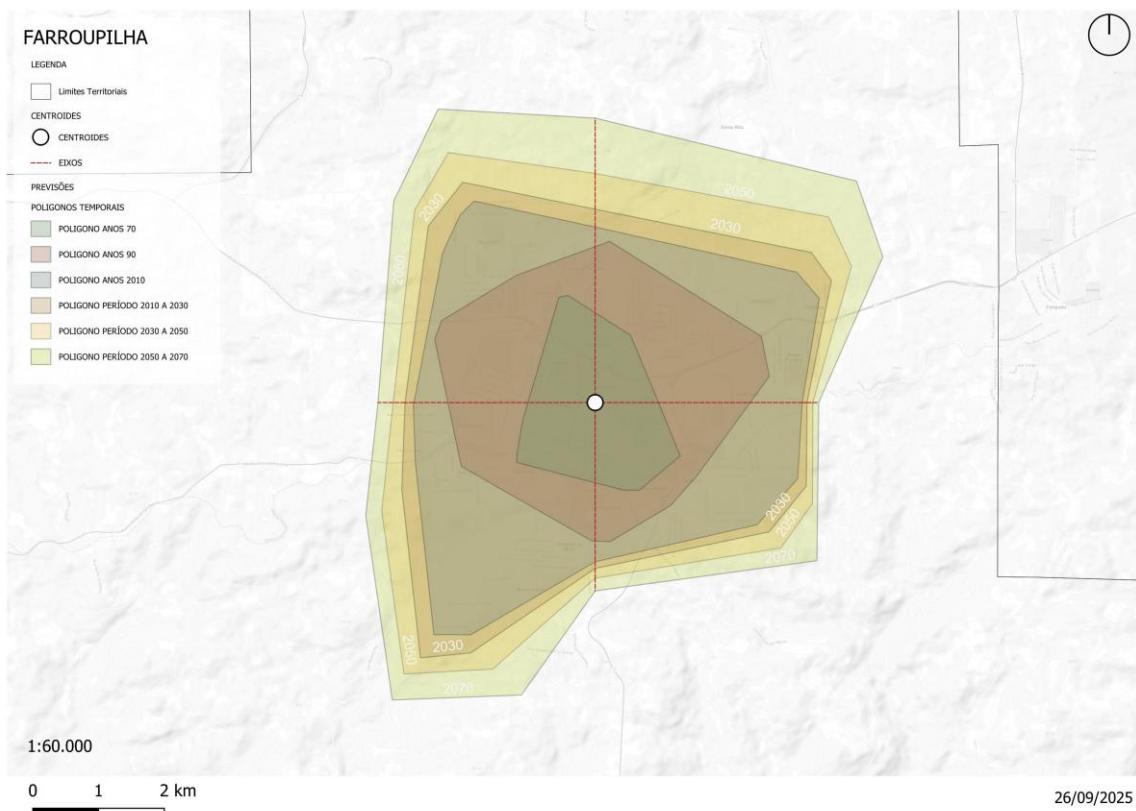
Recomenda-se que, em etapas posteriores, sejam incorporados dados socioeconômicos (densidade populacional, renda, vulnerabilidade social) e levantamentos altimétricos de alta precisão (como LiDAR), a fim de aumentar a confiabilidade dos resultados. Além disso, a integração com sistemas de monitoramento contínuo e plataformas de simulação dinâmica permitirá recalibrar os parâmetros do modelo conforme as mudanças reais ocorram no território.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos a partir do novo modelo de cálculo foram espacializados em mapas desenvolvidos no QGIS, que ilustram a distribuição potencial da urbanização ao longo dos diferentes eixos territoriais. Utilizou-se uma abordagem objetiva e focada na cidade de estudo de caso com base na análise da situação atual e a evolução da sua malha urbana ao longo dos anos de 2030, 2050 e 2070. Essas futuras mudanças espaciais fornecem uma base geométrica para identificar os vetores de crescimento e os fatores impeditivos da área proposta, considerando a expansão territorial em quatro direções – Norte, Sul, Leste e Oeste.



Figura 3: Mapa com as previsões de crescimento para a cidade de Farroupilha.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para alcançar esse propósito, foi desenvolvido um mapa onde com a utilização dos eixos gerados a partir de centroides de áreas previamente definidas, demonstrou uma perspectiva clara das expansões previstas na mancha de crescimento urbano ao longo das faixas de transição de tempo selecionadas.

Para além do estudo de caso, a Figura 3 apresenta os vetores de crescimento consolidados das 14 cidades analisadas, a partir da aplicação do mesmo roteiro metodológico e modelo de cálculo adotado para os municípios de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha.

Ao reunir os mapas individuais em uma representação cartográfica única, foi possível observar as áreas centrais de cada cidade por meio da marcação de seus centroides, bem como os perímetros municipais e as manchas de expansão previstas representadas em diferentes tonalidades. Essa síntese espacial proporcionou uma leitura clara da dinâmica regional, evidenciando os padrões de centralidade, os eixos de integração e as direções preferenciais de crescimento ao longo das séries temporais projetadas. Além de reforçar o entendimento sistêmico da urbanização na RMSG, a visualização geral contribui para a análise comparativa entre os municípios, revelando particularidades e tendências comuns nos processos de expansão urbana. A aplicação do modelo com impedâncias tornou a projeção mais próxima da realidade territorial, aumentando a aplicabilidade dos dados no contexto do planejamento urbano regional.

Além disso, os valores obtidos por meio da análise foram inseridos em uma tabela,

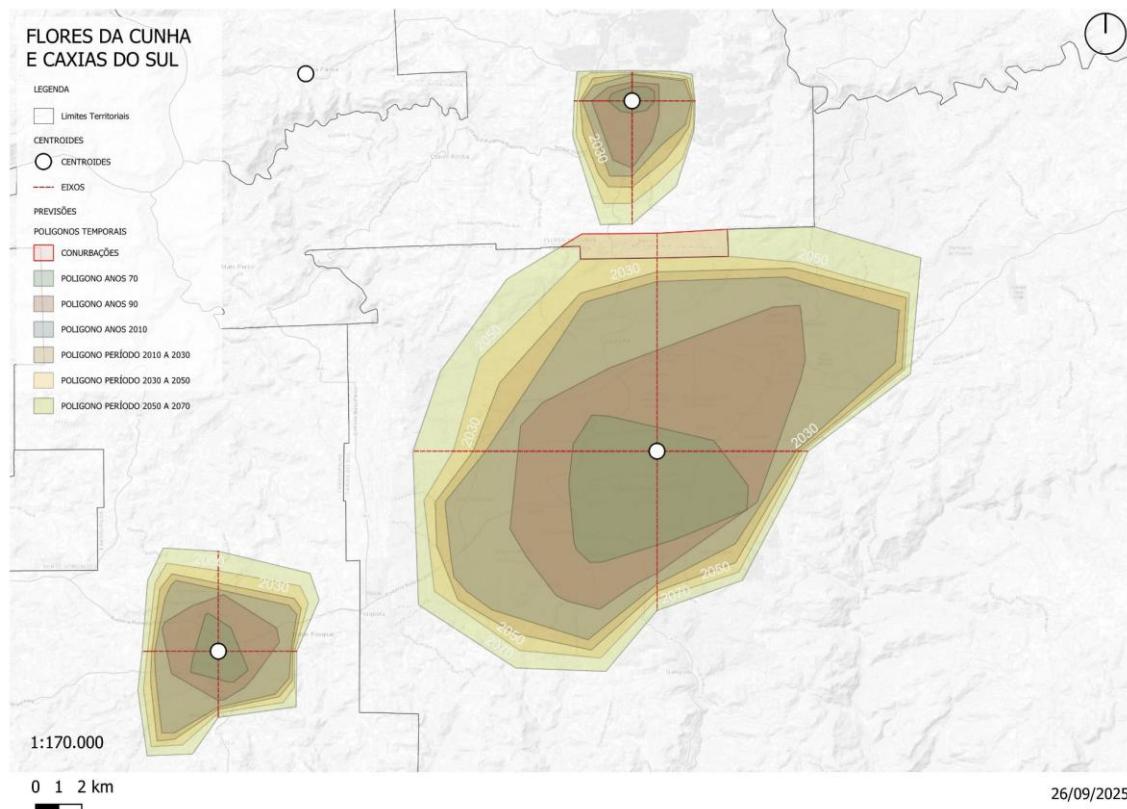


permitindo uma avaliação detalhada do potencial de crescimento urbano em cada direção, considerando os fatores impeditivos que podem influenciar neste desenvolvimento. Com base nesses dados tabelados, foi elaborado um gráfico de tendências de crescimento direcional, que visa representar de forma visual as probabilidades relativas de expansão urbana nas direções Norte, Sul, Leste e Oeste.

Cada vetor direcional foi identificado por cores distintas, conforme a legenda apresentada, facilitando a compreensão da intensidade e da distribuição espacial da tendência de crescimento.

Essa visualização gráfica, como fica evidente na Figura 4, permite uma leitura imediata das direções com maior e menor propensão à expansão, evidenciando os vetores com maior atratividade territorial e aqueles condicionados por fatores limitantes. Assim, o gráfico complementa a análise quantitativa, proporcionando uma interpretação integrada e espacializada do potencial de crescimento urbano do município.

Figura 4: Previsão de crescimento ao longo dos anos para as cidades de Farroupilha, Flores da Cunha e Caxias do Sul



Fonte: Elaborado pelos autores.

A incorporação dos conceitos de morfologia urbana e das teorias de centralidade permitiu uma interpretação mais qualificada das direções de crescimento projetadas para Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha. Ao tratar a cidade como um organismo em constante transformação, estruturado por redes e condicionantes espaciais, foi possível desenvolver um



modelo preditivo que não apenas projeta ocupações futuras, mas também oferece subsídios teóricos e técnicos para o planejamento urbano. A replicabilidade do método em outros municípios da RMSG poderá ampliar as contribuições desta pesquisa para além do estudo de caso.

Os resultados obtidos revelam padrões diferenciados de crescimento urbano em Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha, refletindo tanto condicionantes físicos (topografia, cursos d'água, áreas de preservação) quanto fatores estruturais (infraestrutura viária, zonas industriais, centralidades existentes). O modelo aplicado mostra potencial para antecipar pressões sobre o uso do solo, orientar investimentos públicos e subsidiar revisões de planos diretores e zoneamentos.

No entanto, a ausência de variáveis socioeconômicas e climáticas ainda limita a capacidade preditiva do modelo. Para torná-lo mais robusto, recomenda-se a integração com dados de vulnerabilidade social, indicadores ambientais e cenários de mudanças climáticas, possibilitando avaliar riscos associados a enchentes, deslizamentos e pressões sobre áreas ambientalmente sensíveis.

Outra dimensão relevante é a articulação regional. As cidades analisadas integram uma rede funcional na Serra Gaúcha, e seus processos de expansão não ocorrem de forma isolada. Assim, o modelo poderia ser expandido para incorporar fluxos intermunicipais (mobilitade, migração, logística), bem como políticas regionais e instrumentos nacionais (Estatuto da Cidade, PNDU, Planos Setoriais).

Em Caxias do Sul, por exemplo, observa-se que a expansão urbana tende a ocorrer de forma contínua em direção a norte, conurbando-se progressivamente com o município de Flores da Cunha. Essa direção de crescimento, embora favorecida pela conectividade viária e pela disponibilidade de áreas periféricas, tem gerado a formação de novos bairros de caráter periférico e, muitas vezes, com infraestrutura parcial. Essas zonas configuram espaços de vulnerabilidade socioespacial, onde o adensamento não é acompanhado pelo mesmo ritmo de investimento público em transporte, saneamento e equipamentos urbanos. Tal cenário evidencia a necessidade de articular o modelo preditivo proposto com instrumentos de planejamento urbano e políticas habitacionais que enfrentem as desigualdades na produção do espaço. A compreensão dessas dinâmicas reforça que a expansão urbana não deve ser tratada apenas como fenômeno geométrico, mas como processo social e político, dependente de decisões institucionais e da capacidade de gestão integrada entre municípios conurbados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada sobre a expansão territorial das cidades localizadas na Região Metropolitana da Serra Gaúcha (RMSG), permitiu a construção de um modelo preditivo fundamentado em dados históricos e geográficos, a partir do método posto em prática nas cidades de Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha. A partir da análise da evolução da mancha urbana nas décadas de 1970, 1990 e 2010, e por meio da aplicação de técnicas de projeção em planilhas e espacialização via software QGIS, foi possível prever os vetores de



crescimento urbano para os anos de 2030, 2050 e 2070. O gráfico de tendências de crescimento direcional, desenvolvido com base nos métodos de pesquisa, sintetiza visualmente as probabilidades relativas de expansão nas quatro direções das cidades na Serra Gaúcha, contribuindo.

Assim, a pesquisa conclui que a incorporação de fatores geográficos ao modelo de projeção é essencial para a elaboração de cenários futuros mais coerentes com a realidade territorial. A metodologia adotada pode servir de base para a formulação de estratégias de planejamento urbano mais sustentáveis e eficientes, tanto para Caxias do Sul, Farroupilha, Flores da Cunha e a Serra Gaúcha, quanto para outros municípios com características similares. A análise integrada e espacializada dos dados representa um instrumento fundamental para orientar políticas públicas e decisões técnicas voltadas à gestão do crescimento urbano.

Destaca-se que as tabelas e mapas elaborados ao longo do estudo representam uma base sólida de apoio à gestão urbana municipal, permitindo não apenas compreender as direções prováveis de crescimento, mas também antecipar conflitos territoriais, como ocupação de áreas frágeis ou de difícil infraestrutura. O mapa consolidado com os vetores de crescimento das 14 cidades da RMSG permite uma leitura integrada da dinâmica regional, evidenciando a centralidade de eixos logísticos e a influência das condições topográficas na distribuição urbana. Essa visualização fornece insumos relevantes para políticas públicas em escala intermunicipal e pode ser articulada a planos diretores e estratégias metropolitanas.

Do ponto de vista metodológico, a incorporação de fatores de impedância e a redistribuição proporcional dos vetores de crescimento com base em pesos territoriais demonstram um avanço significativo em relação a modelos preditivos tradicionais, pois consideram aspectos qualitativos do território e não apenas a projeção linear de dados históricos. A combinação de análises espaciais com ferramentas de geoprocessamento (como o QGIS) e planilhas de projeção cria uma metodologia replicável e adaptável para outras regiões com características semelhantes.

Como desdobramento das análises realizadas, a pesquisa se desdobra, nos próximos passos, em frentes complementares. A primeira envolve a incorporação de variáveis socioeconômicas — como densidade populacional, renda média, acesso à infraestrutura e níveis de vulnerabilidade social — com o intuito de refinar os vetores de crescimento e qualificar as projeções espaciais e urbanas. A segunda frente consiste no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação, ou a integração com plataformas de inteligência artificial geoespacial, possibilitando a construção de cenários mais interativos e aplicáveis à gestão urbana preditiva.

Essas direções indicam caminhos promissores para consolidar uma abordagem mais integrada, sistêmica e sensível ao contexto local, fortalecendo o papel do planejamento urbano estratégico na construção de cidades mais resilientes, inclusivas e sustentáveis.

Este estudo consolidou um modelo preditivo de expansão urbana que combina análise histórica, fatores físicos e estruturais e métricas geométricas aplicadas a Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha. Ao integrar conceitos de morfologia urbana e centralidade com técnicas de geoprocessamento, foi possível construir cenários futuros mais realistas, capazes de apoiar decisões estratégicas no planejamento territorial.



Reconhece-se que o uso de dados secundários (cartas topográficas e imagens de satélite) e a ausência de variáveis socioeconômicas limitam a precisão das projeções. Por isso, recomenda-se a atualização constante dos dados, a inclusão de levantamentos altimétricos e socioambientais de maior resolução e a implementação de sistemas contínuos de monitoramento urbano, o que permitirá recalibrar periodicamente o modelo proposto.

O método apresentado não deve ser interpretado apenas como um exercício técnico, mas como uma ferramenta estratégica para orientar políticas públicas e fortalecer planos diretores, zoneamentos e planos setoriais. A incorporação de variáveis de vulnerabilidade social e climática, assim como o uso de plataformas de simulação dinâmica ou inteligência artificial geoespacial, representa um passo adiante para construir cenários mais interativos e participativos.

Ao final, o artigo demonstra que compreender e projetar a expansão urbana não é apenas uma questão de medir áreas ou vetores de crescimento, mas de articular ciência, planejamento e participação social para construir cidades mais resilientes, inclusivas e sustentáveis — um desafio central para as regiões metropolitanas brasileiras nas próximas décadas.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGEL, S. et al. The dimensions of urban expansion: estimates and projections for all countries, 2000–2050. **Progress in Planning**, v. 75, n. 2, p. 53-107, 2011.
- BARROS, J. S.; SOBREIRA, F. **Formas urbanas: análise, avaliação e desenho**. São Paulo: EdUSP, 2002.
- BATTY, M. **The new science of cities**. Cambridge: MIT Press, 2013.
- CHRISTALLER, W. Central places in Southern Germany. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1933.
- CORRÊA, R. L. **Trajetórias geográficas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.
- DIAS, E. Formas urbanas e expansão urbana nas cidades brasileiras: o caso de Curitiba. **Anais do Encontro Nacional da ANPUR**, Salvador, 2005.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades e Estados: Antônio Prado. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 jul. 2025.
- LÖSCH, A. **The economics of location**. New Haven: Yale University Press, 1940.
- SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4. ed. São Paulo: EdUSP, 2008.
- VILLAÇA, F. **Espaço intraurbano no Brasil**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.



CONTRIBUIÇÃO DE CADA AUTOR

Ao descrever a participação de cada autor no manuscrito, utilize os seguintes critérios:

- **Concepção e Design do Estudo:** Izabele Colusso.
- **Curadoria de Dados:** Ana Júlia da Silva.
- **Análise Formal:** Ana Júlia da Silva e Samantha Carvalho.
- **Aquisição de Financiamento:** Izabele Colusso.
- **Investigação:** Samantha Carvalho.
- **Metodologia:** Ana Júlia da Silva.
- **Redação - Rascunho Inicial:** Júlia Rizzi Onzi.
- **Redação - Revisão Crítica:** Ana Júlia da Silva e Samantha Carvalho.
- **Revisão e Edição Final:** Ana Júlia da Silva, Izabele Colusso, Júlia Rizzi Onzi e Samantha Carvalho.
- **Supervisão:** Izabele Colusso.

DECLARAÇÃO DE CONFLITOS DE INTERESSE

Eu/Nós, Ana Júlia da Silva, Izabele Colusso, Júlia Rizzi Onzi e Samantha Carvalho, declaro(amos) que o manuscrito intitulado "**Previsão de crescimento de formas urbanas e vetores de expansão: estudo de caso em Caxias do Sul, Farroupilha e Flores da Cunha**":

1. **Vínculos Financeiros:** Este trabalho foi financiado por Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS.
2. **Relações Profissionais:** Não possui/possui relações profissionais que possam impactar na análise, interpretação ou apresentação dos resultados.
3. **Conflitos Pessoais:** Não possui/possui conflitos de interesse pessoais relacionados ao conteúdo do manuscrito.