



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 12, nº 1 (2026)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2026v12n1ID40827>



As condicionantes da expansão urbana em cidades médias do semiárido brasileiro: uma abordagem baseada em inferência causal

The conditions of urban expansion in medium-sized cities in the brazilian semi-arid region: a causal inference approach

Mauro Normando Macêdo Barros Filho¹; Eanes Torres Pereira²; Matheus Batista Simões³; João Victor Gouveia do Nascimento⁴; Lucas Khalil Azevedo Dantas⁵

¹ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, Campina Grande/PB, Brasil.

Email: mbarrosfilho@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9811-8327>

² Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação, Campina Grande/PB, Brasil.

Email: eanes@computacao.ufcg.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9717-794X>

³ Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, Recife/PE, Brasil.

Email: matheus.simoes@ufpe.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4158-3500>

⁴ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação, Campina Grande/PB, Brasil.

Email: joao.victor.gouveia.nascimento@ccc.ufcg.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8008-6922>

⁵ Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Unidade Acadêmica de Sistemas e Computação, Campina Grande/PB, Brasil.

Email: lucaskhalilazevedo20@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0445-8560>

Resumo: Os incentivos ao desenvolvimento regional no semiárido brasileiro, como a interiorização de indústrias, serviços e instituições de ensino, que se deram a partir da década de 1960, ocasionou no crescimento de cidades de médio porte e na inflexão de um padrão de urbanização que concentrava recursos unicamente nas grandes metrópoles litorâneas do Brasil. As cidades médias, como também são chamadas, têm ganhado cada vez mais destaque no semiárido como pólos de influência e receberam nas últimas décadas um incremento populacional e econômico que se refletiu na expansão urbana, impactando as cidades de pequeno porte próximas. O objetivo deste artigo é investigar as condicionantes geográficas que condicionaram a expansão urbana em 6 cidades médias do Semiárido brasileiro: Campina Grande (PB), Caruaru (PE), Arapiraca (AL), Mossoró (RN), Feira de Santana (BA) e Juazeiro do Norte (CE). A metodologia combinou uma análise de correlação e a construção de um modelo causal entre as variáveis que descrevem o padrão do crescimento urbano e a distância da principal centralidade dessas cidades. Os resultados permitiram concluir que, apesar das particularidades espaciais dos municípios, existem indicadores capazes de inferir como o crescimento urbano foi conduzido no contexto das cidades médias do Semiárido brasileiro.

Palavras-chave: expansão urbana; cidades medias; semiárido.

Abstract: The promotion of regional development in the Brazilian semi-arid region, such as the inland expansion of industries, services and educational institutions, which began in the 1960s, led to the growth of medium-sized cities and the reversal of an urbanization pattern that concentrated resources solely in Brazil's large coastal metropolises. The medium-sized cities, as they are also known, have gained increasing prominence in the semi-arid region as poles of influence and have received a population and economic growth in recent decades which has been reflected in urban expansion, impacting on nearby small towns. The objective of this paper is to investigate the geographical factors that have conditioned urban expansion in six medium-sized cities in the Brazilian semi-arid region: Campina Grande (PB), Caruaru (PE), Arapiraca (AL), Mossoró (RN), Feira de Santana (BA) and Juazeiro do Norte (CE). The methodology combined a correlation analysis and the construction of a causal model between the variables that describe the pattern of urban growth and the distance from the main centrality of these cities. The results allowed us to conclude that, despite the spatial particularities of the municipalities, there are indicators capable of inferring how urban growth was conducted in the context of the medium-sized cities of the Brazilian semi-arid region.

Keywords: urban sprawl; medium-sized cities; semi-arid region.

Recebido: 19/07/2025; Aceito: 15/02/2026; Publicado: 25/05/2026.

1. Introdução

As cidades médias estão envoltas em discussões conceituais quanto aos critérios que as caracterizam, estas extrapolam questões demográficas, visto que as funções urbanas, capacidades de influência regional, dinamismo econômico e infraestrutura são levados em consideração (LIMA; SILVEIRA, 2016). Apesar da imprecisão acerca do tema, devido à falta de um acordo consensual que ultrapassa o contexto brasileiro e alcança diferentes regiões e países, é preciso concordar com Lopes (2024) quando afirma que esse debate não é o mais essencial. No entanto, apesar das variações conceituais, é de comum acordo que as cidades médias têm sido importantes núcleos estratégicos na rede urbana.

No caso do Brasil, a relevância das cidades médias cresce a partir da década de 1970. Nesse período, não houve apenas os primeiros passos na direção de estabelecer uma hierarquia citadina, com a criação das primeiras Regiões Metropolitanas, mas houve um maior esforço na construção de políticas voltadas ao Desenvolvimento Regional (BRANCO, 2006; LOPES, 2024). Os polos secundários, como também eram chamadas as cidades médias, estavam no foco dos Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND) do Regime Militar. Esses planos contavam com estratégias voltadas à interiorização¹ e desconcentração espacial de atividades econômicas que, até então, estavam concentradas nas grandes cidades das regiões Sul e Sudeste (MOTTA; MATA, 2008).

Essas novas estratégias políticas foram o primeiro passo e atualmente as cidades médias têm colhido os frutos e conquistado maior proeminência nacional. Esse fato pode ser constatado em pesquisas mais recentes, quando as cidades com mais de 500 mil habitantes, - compreendidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) como cidades grandes, - começaram a crescer em taxa de população, Produto Interno Bruto (PIB) e empregos em um nível inferior àquelas entre 100 e 500 mil habitantes (IBGE, 2000; MOTTA; MATA, 2008). Esses estudos, elaborados entre os anos 2000 e 2010 pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), foram analisados por Motta e Egler (2023), que ressaltam o cenário no período em que “a cada R\$ 1 de acréscimo no PIB brasileiro, R\$ 0,40 tinha sido gerado pelas cidades médias” (MOTTA; EGLER, 2023, p. 174; IPEA, 2010).

O potencial de articulação dessas cidades na rede urbana tem sido enfatizado nos estudos do IBGE chamados de “Região de Influência das Cidades”, realizados desde 1972, que contribuíram ao investigar como essas cidades médias influenciavam e eram influenciadas por cidades de grande e pequeno porte (REGIC, 2018). Em uma tentativa de categorizar a hierarquia urbana, diversas dessas cidades foram classificadas como Capitais Regionais, que, segundo o IBGE (2018, p.11), “são os centros urbanos com alta concentração de atividades de gestão, mas com alcance menor em termos de região de influência em comparação com as Metrôpoles”.

Estudos mais recentes analisaram o intervalo de 2010 a 2022 e constataram que a tendência de crescimento populacional das cidades médias brasileiras continuou; no período, essas cidades cresceram em ritmo mais acelerado que as áreas metropolitanas, bem como ampliaram a sua participação no PIB nacional (MOTTA *et al.* 2024). O mesmo estudo identificou 230 cidades médias a partir de oito vetores de análise². Ao realizar um recorte de 70 cidades desse conjunto, Motta *et al.* (2024) identificaram uma elevada correlação (0,806) entre a população residente e a área urbanizada dessas cidades. Além disso, os autores constataram que as maiores adições de área urbanizada, considerando o período 2015-2019, tem sido na região Nordeste, dinâmica que precisa ser melhor investigada visto que ainda é escassa a quantidade de estudos voltados a essa região do país.

Pereira e Valença (2024) analisaram os motores que levaram ao crescimento das cidades médias do Nordeste brasileiro e destacam: setores comercial e de serviços (influenciados pela globalização); instituições de ensino superior (resultado de políticas nacionais de interiorização desta modalidade); e formas comerciais modernas (*shopping centers*), contribuindo para uma reestruturação espacial dessas cidades. De acordo com Sposito (2010), algumas dessas cidades, por não estarem próximas a Regiões Metropolitanas, acabam por exercer uma centralidade interurbana entre muitas cidades pequenas próximas.

¹ Na região Nordeste, cabe destaque a criação da Sudene (Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste), que estimulou a instalação de indústrias e serviços na região e, mais especificamente nas regiões semiáridas, a atuação da DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) foi fundamental para construção de infraestruturas que permitissem o convívio da população com os impactos das secas (Carvalho, 2016).

² Dinâmica na hierarquia urbana e região de influência, dinamismo demográfico e econômico, fluxos e infraestrutura regional, e centralidade na gestão empresarial, gestão pública, saúde e educação (Motta, 2022).

Considerando as cidades médias brasileiras no contexto do Semiárido, recorte deste artigo, é importante traçar as seguintes considerações: passaram por um processo de urbanização mais atrasado do que as cidades médias do Sul e Sudeste, devido a relações de produção econômica desiguais; se inserem no Semiárido brasileiro, que se constitui como um grande bolsão de pobreza do país; marcadas pelo bioma da Caatinga, caracterizado pelo baixo volume de chuvas. Neste sentido, a região historicamente foi mais beneficiada pelas políticas públicas de universalização dos serviços de saúde e educação, das políticas de transferência de renda, dos créditos voltados para pequenos produtores rurais e das obras governamentais de infraestrutura, que potencializam a resiliência da região e viabilizaram o seu desenvolvimento urbano (CARVALHO *et al.* 2018).

Partindo do recorte das cidades médias no Nordeste brasileiro, bem como dos fatores que guiaram o seu crescimento populacional nas últimas décadas, este artigo tem como objetivo investigar as particularidades, em termos espaciais, que condicionaram a expansão das suas áreas urbanas. Neste sentido, foram selecionadas 6 cidades médias do semiárido brasileiro, principal bioma da região e, ao correlacionar 4 indicadores de natureza espacial, buscou-se responder quais variáveis possuem maior potencial em explicar as formas como o crescimento da mancha urbana foi experienciada por cada uma das cidades selecionadas, compreendendo assim as particularidades de sua mancha urbanizada.

2. Metodologia

A metodologia deste artigo é composta pelas seguintes etapas: escolha dos objetos de estudo; escolha da centralidade e variáveis do estudo; definição de quadrantes e anéis hierárquicos; análise de correlação e inferência causal.

Escolha dos objetos de estudo

A primeira etapa metodológica consistiu no processo de escolha dos objetos de estudo. Buscou-se selecionar cidades médias entre 100 mil a 750 mil habitantes, com as populações mais similares entre si, que estivessem inseridas no Semiárido brasileiro e que compartilhassem semelhanças em relação a sua hierarquia urbana, isto é, na relação que as mesmas mantêm com cidades menores (IBGE, 2018). Buscou-se também cidades isoladas que não estivessem contidas na Região Metropolitana da capital do estado e que não estivessem conurbadas, mas que exercessem o papel de centros regionais, seja do ponto de vista econômico, social, cultural ou político.

Neste processo, chegou-se ao quantitativo de seis cidades, cujas características sociais, espaciais e econômicas encontram-se sintetizadas na Tabela 1. Apesar das similaridades entre essas cidades, Pereira *et al.* (2022) questionaram essas semelhanças ao analisarem essas mesmas cidades, considerando diversos padrões socioespaciais através de imagens de satélite, e constataram que as mesmas apresentam particularidades morfológicas que tornam inviáveis metodologias que pressupunham uma generalização.

Tabela 1 – Indicadores socioespaciais de cidades médias do semiárido brasileiro.

Cidades	População (2022)	Extensão Territorial (km²)	Densidade Demográfica (hab/km²)	Hierarquia Urbana (2018)	PIB per Capita (2021) (US\$)³
Campina Grande (PB)	419.379	591	708,8	Capital Regional C	4.641
Caruaru (PE)	378.048	919	409,5	Capital Regional B	4.343
Arapiraca (AL)	234.696	345	678,9	Capital Regional C	4.675
Mossoró (RN)	264.577	2.099	126	Capital Regional C	4.920
Feira de Santana (BA)	616.272	1.304	472	Capital Regional B	5.127
Juazeiro do Norte (CE)	286.120	258	1.105	Capital Regional B	3.403

Fonte: Autores (2025).

Definição do centro e variáveis do estudo

³ Os valores foram convertidos considerando um valor em reais médio (5,40/venda) da moeda americana em 2021, de acordo com o IBGE.

A segunda etapa metodológica consistiu na definição de um centro⁴ com características em comum para as 6 cidades. Considerando que as mesmas já apresentam múltiplas centralidades, definiu-se que esse centro seria o “Núcleo Primaz”, onde se começou a ocupação da cidade. Neste sentido, foi definido um ponto de referência nesse Núcleo Primaz: a catedral, marco presente no centro das cidades latino-americanas até o século XX e que permanece até a atualidade (SOARES, 2014). Após a definição desse centro, definiram-se os indicadores a serem utilizados para investigar os padrões de ocupação da mancha urbana dessas cidades, descritos no Quadro 1.

Quadro 1 – Variáveis utilizadas.

Indicadores	Descreve à	Obtenção	Relevância
Densidade de endereços	Densidade habitacional	Obtido através do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE) do IBGE (2022).	Apresenta flexibilidade para o cálculo de densidade por número de endereços em recortes territoriais diversos (IBGE, 2024).
Declividade	Topografia	Obtido através do Modelo Digital de Elevação (DEM) Copernicus 30	Obstáculo geográfico que impede o crescimento urbano (PANERAI, 2006).
Lacunaridade	Distribuição de espaços livres	Obtido através de protótipo de software LACUNAE desenvolvido pela equipe desta pesquisa.	A lacunaridade é eficaz na distinção de padrões de textura urbana, distinguindo áreas com diferentes densidades (BARROS FILHO, 2006).
NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)	Distribuição de áreas verdes	Obtido através de cálculo executado no Google Earth Engine (GEE), utilizando imagens de 2024 obtidas pelo sensor Planet NICFI.	Já foi associado a dados de textura para distinguir diferentes padrões de ocupação urbana (KIT et al. 2013). Também pode se configurar como um obstáculo geográfico ao crescimento (PANERAI, 2006).

Fonte: Autores (2025).

Definição de quadrantes e níveis de vizinhança

A terceira etapa metodológica consistiu na definição de quadrantes e anéis em torno do Núcleo Primaz, estabelecido na etapa anterior. Os quadrantes servem para analisar a direção na qual se deu o crescimento urbano de cada cidade. Os anéis servem para analisar quais indicadores melhor explicam as diferenças morfológicas à medida que se afasta do Núcleo Primaz. Partiu-se do pressuposto de que existem mudanças significativas de ocupação conforme se afasta da zona urbana e se aproxima da zona rural (FARR, 2013). A representação dos anéis e dos quadrantes pode ser visualizada na Figura 1. Cada anel se distancia em 500 metros do Núcleo Primaz estabelecido, em um total de 12 anéis para cada cidade, valores que levam em consideração a extensão das áreas urbanas e que, neste sentido, são relativos aos objetos estudados.

⁴ É importante ressaltar a diferença entre Centro e Centralidade, Sposito (2013) afirma que o Centro refere-se a áreas concretas nas quais se concentram comércios e serviços e que representam uma centralidade. Já a centralidade não é propriamente concreta, mas consiste em uma expressão que faz parte do imaginário social da cidade.

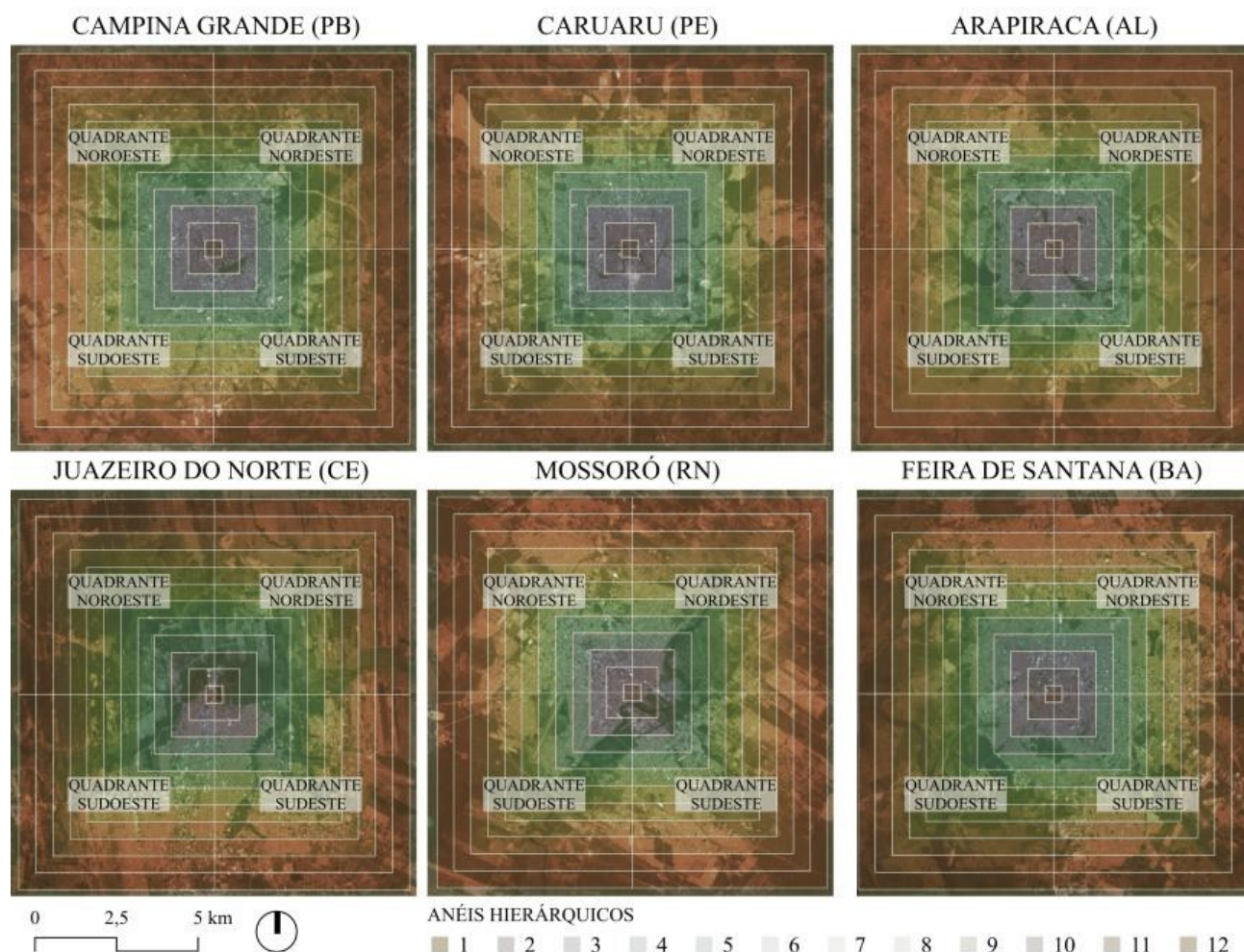


Figura 1 - Divisão dos anéis e quadrantes para as 6 cidades. Fonte: Autores (2025).

Por fim, ferramentas de geoprocessamento foram utilizadas para associar os indicadores para cada anel. Para todos os indicadores, considerou-se a média como métrica principal. No entanto, para os pontos de endereço, que correspondem a densidade habitacional, foi necessário considerar a densidade (quantidade de pontos pela área), visto que os anéis mais externos apresentam maior área, influenciando consequentemente na quantidade de pontos.

Análise de correlação e grafo causal

A última etapa metodológica consistiu em calcular a correlação de cada indicador com os anéis hierárquicos, isto é, como cada indicador se comporta conforme se afasta do centro da cidade. Existem dois principais coeficientes de correlação: Pearson e Spearman. Esses consistem em índices que variam de -1 a 1 e mensuram a dependência estatística entre a classificação de duas variáveis. A correlação de Pearson é aplicada quando os dados apresentam uma distribuição normal, enquanto a de Spearman é aplicada a distribuição não-normal de dados. A distribuição normal ocorre quando existe uma distribuição simétrica dos dados em torno da média e a maioria dos dados estão concentrados próximos a esse valor, gerando uma curva em forma de sino. A distribuição não-normal é caracterizada pela distribuição não-simétrica, o distanciamento de dados em relação a média ocasiona não apenas curvas variadas, mas também valores distintos de média, mediana e moda.

Testes de normalidade costumam ser realizados antes da análise de correlação, a exemplo do Shapiro-Wilk, sendo aplicado o método adequado para cada tipo de distribuição. Diversos experimentos apontaram a eficácia desses métodos

(WINTER *et al.* 2016). Nesta pesquisa, partiu-se de premissas causais acerca de como os dados se comportam conforme se afasta do núcleo primaz nas 6 cidades analisadas, nisso, priorizou-se o coeficiente de Pearson. Basear a escolha do coeficiente unicamente a partir de p-valores oriundos de testes de significância pode representar um viés dissociado dos pressupostos traçados. Cabe também ressaltar que constatar uma correlação (positiva ou negativa) não significa reduzir os indicadores a uma relação causa-efeito.

É devido a esta deficiência do método de correlação que este método aplicou a abordagem de inferência causal para analisar as relações de causalidade entre o crescimento urbano e os cinco indicadores analisados. Foi empregada a teoria de inferência causal (Pearl, 2009), o Do-Calculus. Nessa teoria, para representar um modelo causal se utiliza: um grafo acíclico dirigido; as probabilidades associadas aos eventos; e um conjunto de regras para trocas, remoções e inserções de informações observacionais e de intervenção. A Tabela 2 apresenta as correlações obtidas entre as variáveis utilizadas para gerar o grafo de causalidade. Embora a correlação não implique em causalidade, a importância de analisar a correlação (Pearson) é investigar a existência de possíveis associações entre variáveis, a exemplo da colinearidade, isto é, quando existe uma correlação muito alta entre as variáveis, além de permitir identificar variáveis irrelevantes e testar suposições causais. Avaliar estes valores possibilita a execução de ajustes no modelo, evitando vieses no resultado.

Tabela 2. Correlação de Pearson entre as variáveis.

	Distância ao centro	Quadrantes	Espaços Livres	Áreas verdes	Densidade Habitacional	Topografia
Distância ao Centro	1.00	8.49e-17	0.38	0.66	0.70	0.17
Quadrantes	8.49e-17	1.00e+00	-0.08	0.02	-0.00	-0.15
Espaços Livres	3.88e-01	-8.73e-02	1.00	0.38	-0.33	0.30
Áreas verdes	6.68e-01	2.33e-02	0.38	1.00	-0.79	0.33
Densidade Habitacional	-7.07e-01	-3.33e-03	-0.33	-0.79	1.00	-0.13
Topografia	1.74e-01	-1.56e-01	0.30	0.33	-0.13	1.00

Fonte: Autores (2025).

O conjunto de regras utilizadas para realizar as inferências é chamado de Do-Calculus. O grafo causal foi obtido da análise por parte dos especialistas se as arestas e direções causais estavam de acordo com o entendimento presente no estado da arte. O Quadro 2 apresenta as perguntas causais que serviram de base para as respostas probabilísticas obtidas.

Quadro 2 – Perguntas causais formuladas com base nas variáveis utilizadas no modelo probabilístico.

Pergunta 1	Qual é o efeito causal da declividade topográfica na densidade habitacional?
Pergunta 2	Qual é o efeito causal de densidade habitacional na distância ao centro?
Pergunta 3	Qual é o efeito causal da densidade habitacional nos quadrantes?
Pergunta 4	Qual é o efeito causal da densidade habitacional na distribuição de espaços livres?
Pergunta 5	Qual é o efeito causal dos espaços livres na distribuição de áreas verdes?

Fonte: Autores (2025).

3. Resultados e discussão

Os 4 indicadores encontram-se representados na Figura 2 para as 6 cidades estudadas. Analisando a densidade habitacional, percebe-se a diversidade na mancha urbana das 6 cidades, e que o centro estabelecido não necessariamente coincide com o centro de massa da ocupação. Um exemplo é Juazeiro do Norte (CE), que se expandiu majoritariamente ao sul (SOARES, 2014). Já Feira de Santana (BA) apresenta um padrão majoritariamente na direção nordeste em relação ao centro estabelecido. Mossoró (RN), por sua vez, apresenta uma mancha dividida entre os quadrantes noroeste e sudeste. Campina Grande (PB) apresentou maior ocupação na direção sudoeste e Caruaru (PE) nas direções nordeste e noroeste. Arapiraca (AL) foi a única cidade na qual o centro encontra-se mais próximo ao centro de massa, provavelmente devido a fatores geomorfológicos, no entanto apresentou um padrão descontínuo de crescimento. Essas observações tornam-se

perceptíveis de modo direto a partir dos dados de densidade habitacional (mensurada pela densidade de endereços) e de lacunaridade, pois são capazes de descrever a própria ocupação a partir da distribuição de espaços livres (Figura 2).

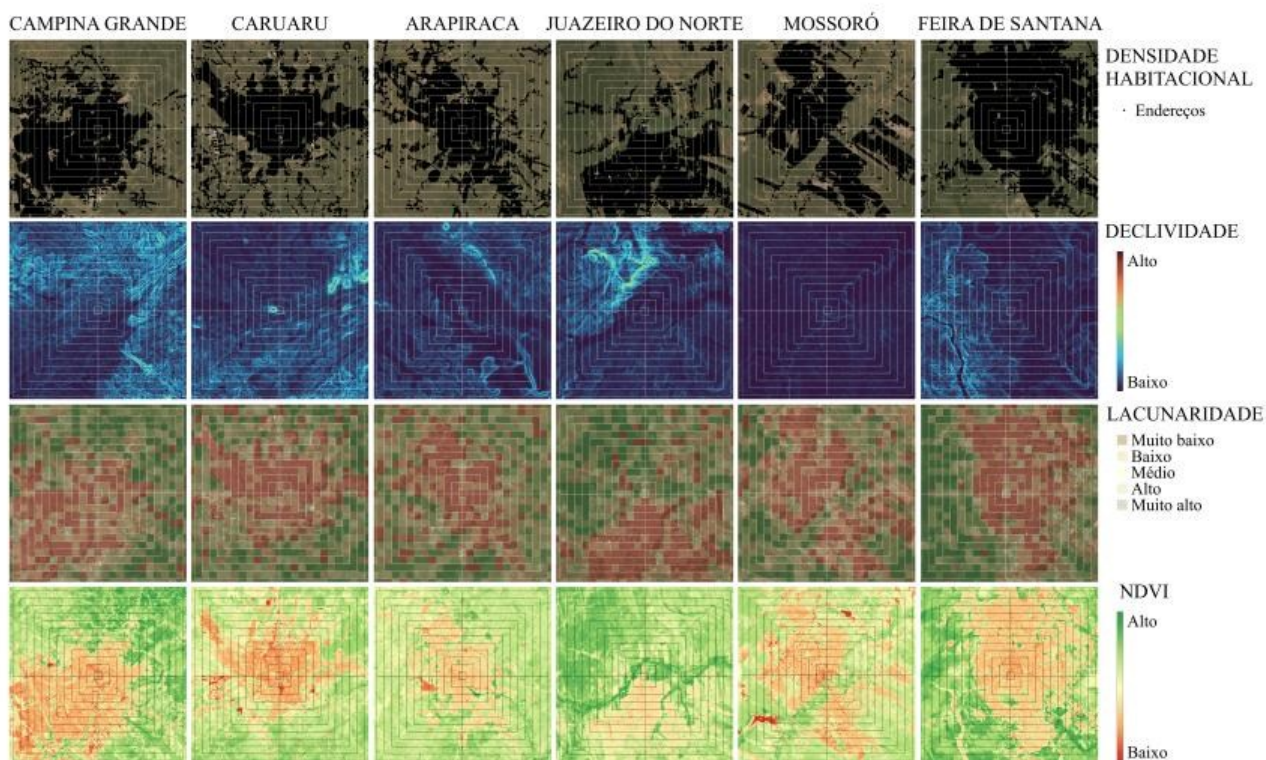


Figura 2 - Resultados dos indicadores utilizados para cidade. Fonte: Autores (2025).

Os demais indicadores (declividade, NDVI) trazem outras respostas quanto às possíveis causas que resultaram, ao longo do crescimento urbano, no atual padrão da área ocupada por esses municípios. No geral, as áreas não ocupadas coincidem com piores condições topográficas para construção, fato este que também pode ser constatado nos valores de correlação à distância do centro, descritos na Tabela 3. Analisar a intensidade das correlações dos indicadores por quadrante, conforme se afasta do Núcleo Primaz (Tabela 3), é um recurso útil para identificar aqueles que mais justificam a configuração da mancha urbana das cidades. Por exemplo, no caso de Campina Grande (PB), os quadrantes Nordeste (NO) e Noroeste (NE) apresentaram correlação positiva, ou seja, a declividade aumenta conforme se afasta do centro, justificando a escolha, ao longo dos anos, em não expandir a cidade para estas localidades.

Observações dessa natureza, traçadas no parágrafo anterior, podem ser inferidas a partir da correlação. As áreas verdes consistem em um relevante indicador nesta análise. Contudo, diferente da declividade, a vegetação pode ser eliminada quando não existe uma política séria voltada à preservação de florestas. A topografia pode condicionar a forma urbana, e as edificações e os arruamentos serem moldados pelas curvas de nível. A vegetação densa, por sua vez, só pode existir em espaços livres de edificação. No geral, a quantidade de áreas verdes tende a aumentar conforme se afasta do centro, no entanto, isso não implica que a população diminua no mesmo ritmo. Como exemplo, tem-se o caso de Juazeiro do Norte (CE), os quadrantes de maior densidade habitacional são o nordeste (NE) e sudeste (SE), onde a ocupação decresceu com menor intensidade. Apesar dessa baixa diminuição, estes mesmos quadrantes apresentaram aumento mais expressivo na quantidade de áreas verdes, devido à existência de núcleos urbano-rurais espalhados até mesmo nos anéis mais distantes desses quadrantes. Esses núcleos apresentam menor densidade e coexistem com grandes áreas verdes. Isto nos permite entender que a densidade populacional, conforme se afasta do centro, pode apresentar diferentes ritmos de diminuição, com quedas abruptas conforme termina a principal mancha urbanizada, seguidos de valores mais baixos e constantes, que representam a distribuição de outros tipos de ocupações, com características urbano-rurais.

Somadas a Mossoró (RN), essas duas cidades apresentaram quadrantes com diferenças mais significativas na correlação de distribuição de áreas verdes, apontando a existência de outras centralidades urbanas descontínuas à mancha urbana

principal. A Tabela 3 contém os coeficientes de correlação para os indicadores analisados, cujos valores resultantes do cruzamento das cidades com os indicadores estão organizados espacialmente, conforme os 4 quadrantes (NO, NE, SO, SE). Posteriormente, a Figura 3 ilustra o grafo com as relações de causalidade entre os indicadores. A justificativa para essa estrutura de relações causais, geradas a partir das matrizes de covariância descritas na Tabela 2, estão contidas em cinco premissas, representadas pelas letras a, b, c, d e f na Figura 3.

De uma análise geral dos dados apresentados na Tabela 3 é possível afirmar que há, para a maioria das cidades investigadas, uma diminuição da densidade habitacional conforme o anel analisado está mais distante do centro primaz. De modo similar, para a maioria das cidades investigadas, há um aumento da Distribuição de Áreas Verdes conforme o anel analisado está mais afastado do centro primaz, exceto para a cidade de Juazeiro do Norte (CE). Observa-se também que a Distribuição de Espaços Livres representada pela Lacunaridade aumenta com o distanciamento do centro primaz. A lacunaridade apresenta uma correlação positiva com as áreas verdes (Tabela 2), visto que para haver vegetação, é necessário que o espaço seja livre de edificações, no entanto, nem todo espaço livre de edificações apresenta vegetação, motivo pelo qual a correlação apresentou valor moderado (0.38). A única exceção também é o caso da cidade de Juazeiro do Norte (CE), o comportamento diferente dos dados desta cidade pode ser justificado devido ao núcleo primaz no extremo norte da cidade. Neste sentido, até os anéis mais distantes dos quadrantes sudoeste e sudeste apresentam densa ocupação urbana. A variável que apresenta menos tendência de aumento ou diminuição de correlação com o distanciamento do centro é a Topografia, pois as correlações variam mais de cidade para cidade.

Tabela 3 – Correlação dos indicadores⁵ conforme se afastam do centro dos 6 municípios. As cores azul representam valores positivos e as cores vermelhas os valores negativos.

Quadrantes		Indicadores							
NO	NE	Densidade Habitacional (CNEFE)	Topografia (Declividade)		Distribuição de Espaços Livres (Lacunaridade)	Distribuição de áreas verdes (NDVI)			
SO	SE								
Campina Grande (PB)		-0.93	-0.89	0.85	0.88	0.81	0.89	0.96	0.95
Caruaru (PE)		-0.83	-0.90	-0.81	0.86	0.58	0.76	0.84	0.97
Arapiraca (AL)		-0.99	-0.95	-0.88	0.83	0.75	0.84	0.88	0.99
		-0.91	-0.89	0.04	0.61	0.92	0.86	0.98	0.95
Juazeiro do Norte (CE)		-0.93	-0.87	0.08	0.73	0.81	0.60	0.97	0.92
		-0.93	-0.98	0.62	0.31	0.99	0.95	0.97	0.97
Mossoró (RN)		-0.67	-0.10	0.20	0.71	0.79	0.54	0.66	-0.47
		-0.90	-0.53	0.80	0.59	0.44	-0.13	0.85	-0.02
Feira de Santana (BA)		-0.79	-0.99	-0.53	-0.46	0.66	0.95	0.97	0.83
		-0.96	-0.69	-0.96	-0.76	0.88	0.69	0.91	0.42
Santana (BA)		-0.85	-0.29	0.56	0.37	0.62	0.75	0.97	0.97
		-0.92	-0.96	0.84	0.37	0.71	0.89	0.93	0.99

Fonte: Autores (2025).

⁵ 0 a 0.19 - correlação muito fraca; 0.2 a 0.39 - correlação fraca; 0.4 a 0.69 - correlação moderada; 0.7 a 0.89 - correlação forte; 0.9 a 1.00 - correlação muito forte (NEWBOLD, 1995).

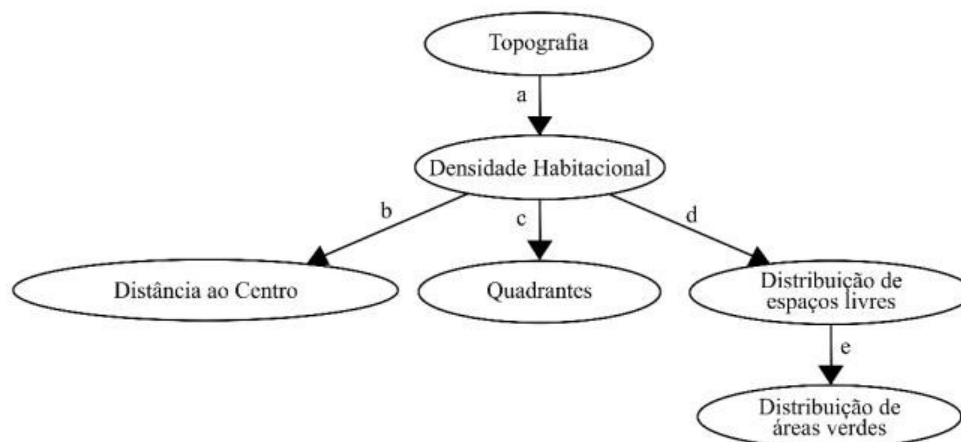


Figura 3 - Grafo causal pensado a partir de conhecimento especializado. Fonte: Autores (2025).

A Figura 4 apresenta os box-plots do resultado das análises de efeitos causais nas variáveis de interesse de acordo com o grafo da Figura 3 e com as perguntas do Quadro 2. Para obter os box-plots da Figura 3, foram computados os efeitos causais de 28 pares de variações para cada uma das variáveis de interesse. A análise dos dados de efeitos causais nos permite responder às perguntas do Quadro 2 da seguinte forma:

- Resposta 1. Em média, se o valor da Topografia aumentar de 100 mil unidades, o valor da Densidade Habitacional diminuiria numa proporção de 40,54%;
- Resposta 2. Em média, se o valor da Densidade Habitacional aumentar de uma unidade, o valor da Distância ao Centro diminuiria na proporção de 4,24%;
- Resposta 3. Em média, se o valor da Densidade Habitacional aumentar de uma unidade, o valor dos quadrantes diminuiria na proporção de 4,24%;
- Resposta 4. Em média, se a Densidade Habitacional aumentar de 1 unidade, a Distribuição de Espaços Livres aumentaria na proporção de 3,94%;
- Resposta 5. Em média, se a Densidade Habitacional aumentar de 1 unidade, a Distribuição de áreas verdes aumentaria na proporção de 0,16%.

Observando os resultados apresentados no boxplot da Figura 4, percebe-se que, nos dados avaliados, não houve nenhuma ocorrência de efeito causal positivo para a relação entre Topografia e densidade Habitacional. Diante disso e do fato de que o efeito causal médio entre Topografia e Densidade Habitacional foi de $-0,4054$, temos evidências para afirmar que há um efeito causal considerável da topografia na forma como as regiões das cidades avaliadas são habitadas. Os resultados apresentados no boxplot revelam que, nos dados avaliados, não há efeito causal considerável entre Densidade Habitacional e Áreas Verdes. Isso é explicitado tanto pelo valor médio da causalidade calculada (0,16%), quanto pela faixa estreita (variando de $-0,02$ a $0,02$) de variação dos valores individuais apresentados no boxplot referente à Pergunta 5. Isso nos leva a concluir que, embora pelo modelo proposto exista uma relação causal indireta, passando por Distribuição de Espaços Livres, entre Distribuição Habitacional e Áreas Verdes, a força da relação causal pode estar mais inerente a espaços livres e áreas verdes. Os resultados obtidos para as Perguntas 2 e 3, chamam a atenção por suas médias e medianas estarem próximas de zero, embora os valores dos avaliados estejam com uma faixa de variação considerável; sendo, para a Pergunta 2, aproximadamente entre $0,25$ e $-0,55$ e para a Pergunta 3, a faixa de variação está próxima de $0,45$ e $-0,50$. Ocorreu apenas um *outlier* nos dados, para o caso da Pergunta 4. Esse outlier ocorreu quando a densidade variou de 24 para 25 unidades, existe uma possibilidade de valores muito elevados de lacunaridade em áreas com elevada densidade habitacional, quando existe a presença singular de grandes cobertas de construções (grandes equipamentos públicos ou privados) ou reservas ambientais preservadas e rodeados por áreas ocupadas, que impactam o padrão de textura, a depender do recorte de análise e da escala utilizada.

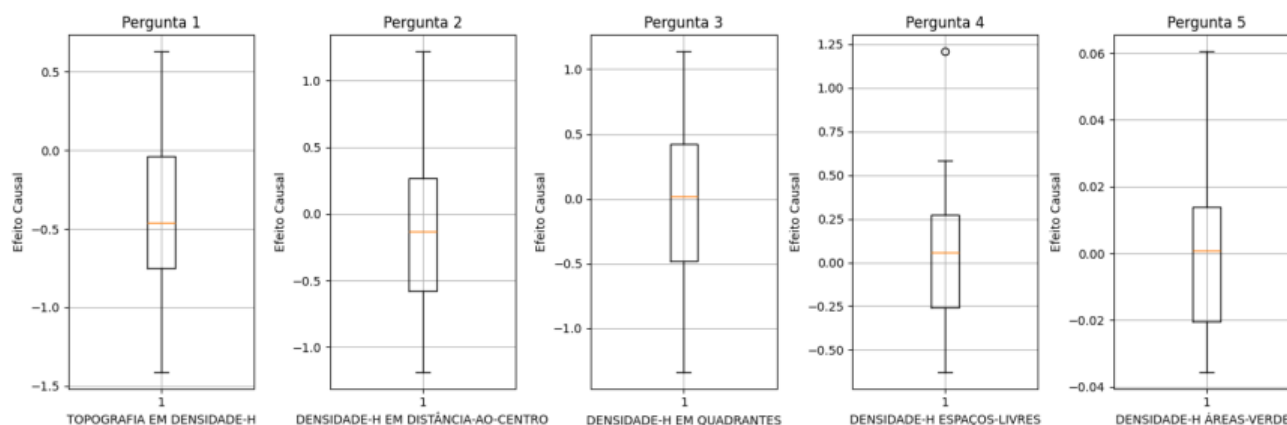


Figura 4. Box-plot dos efeitos causais da mudança das variáveis causas nas variáveis efeitos de interesse de acordo com o grafo da Figura 3. Fonte: Autores (2025)

A premissa “a” é que a densidade habitacional é um efeito causal da declividade topográfica, pois, no geral, buscam-se áreas mais planas por serem mais favoráveis para a construção e, por conseguinte, a densificação populacional. A premissa “b” é que a distância ao centro é um efeito causal da densidade habitacional, visto que a centralidade primaz de uma cidade funciona como atrator de fluxos e permanências, devido à concentração de serviços e infraestrutura. Logo, mudanças que interferem no padrão de densidade habitacional ao longo da mancha urbana podem apontar para um maior distanciamento do centro de massa habitacional com relação à centralidade primaz. A premissa “c” é que os quadrantes são um efeito causal da densidade habitacional. Considerando que as cidades se expandem em determinadas direções a partir do seu núcleo primaz, devido a condicionantes de diversas ordens (sendo a topografia um condicionante geográfico já analisado), são essas condicionantes que definirão as densidades habitacionais e o padrão de ocupação dos quadrantes e não o contrário. Logo, o padrão espacial desses quadrantes são a consequência desses processos e não a causa que gera os padrões espaciais, situação similar a relação anteriormente analisada.

A premissa “d” é que a distribuição de espaços livres é um efeito causal da densidade habitacional, na medida em que a mancha urbana edificada passa a ocupar determinada área, tem-se necessariamente uma modificação na distribuição de espaços livres, tendendo para uma redução. Essa redução não é possível dissociada da presença do homem na paisagem, tendo em vista que os espaços livres são conceituados como livres com relação à edificação (MAGNOLI, 1982).

Por fim, a premissa “e” é que a distribuição de espaços verdes é um efeito causal da distribuição de espaços livres. Essa relação causal pode ser estabelecida pois, para se existir espaços verdes é necessário que o espaço esteja livre de edificações. Neste sentido, diferentes padrões de distribuição de espaços livres geram diferentes padrões de distribuição de espaços verdes. Nem todo o espaço livre é verde, mas quanto maior a disponibilidade de espaços livres, maior é a probabilidade de que esses espaços contenham vegetação. O tópico seguinte traça as conclusões desses resultados e futuros desdobramentos para estudos dessa natureza.

4. Considerações finais

Este artigo traz contribuições metodológicas úteis para compreender fatores que condicionaram o crescimento urbano de 6 cidades médias do Semiárido brasileiro. Os experimentos permitiram confirmar pressupostos teóricos da morfologia urbana, de que as condições geográficas do sítio determinam o padrão do crescimento urbano, fato percebido após analisar as relações causais da densidade habitacional, que descreve a ocupação humana, com os demais indicadores, bem como o comportamento destes conforme se afastam do núcleo primaz dessas cidades.

Apesar da grande quantidade de dados disponíveis atualmente para realizar este tipo de análise, percebeu-se que essa quantidade se reduz na escala regional, quando se busca aplicar o método para mais de um município. Existe uma discrepância na capacidade institucional das prefeituras em fornecer dados espaciais, e depender de dados disponibilizados para toda a região reduziu as possibilidades de encontrar variáveis para as 6 cidades, sendo necessário utilizar dados oficiais em escala nacional, como aqueles disponibilizados pelo IBGE, e dados extraídos de imagens de sensoriamento remoto, como foi o caso da lacunaridade, NDVI e declividade. No entanto, ainda foi possível correlacionar o crescimento com

elementos geográficos e com indicadores referentes à ação humana no espaço, relação fundamental para compreender as condicionantes que explicam o padrão da ocupação urbana desses 6 municípios.

Existem uma infinidade de fatores que podem explicar o crescimento da ocupação dessas cidades, como aspectos históricos (idade das estruturas urbanas), áreas comerciais e equipamentos atratores como *shoppings*, áreas industriais, concentrações de áreas de alta e baixa renda, dentre outros. Os indicadores escolhidos exploram apenas algumas facetas e essa metodologia pode ser adaptada de modo a incluir outros de natureza espacial.

Além de considerar a correlação dos indicadores conforme se afasta do centro, é possível compreender a relação entre eles, a fim de desvendar qual indicador mais condicionou o crescimento para cada uma das cidades. Contudo, a principal conclusão que pode ser traçada a partir do experimento realizado é que não existe um consenso acerca do padrão de ocupação de cidades médias do Nordeste, resultantes de diferentes processos de crescimento, condicionados a partir de localizações geográficas com características singulares. Além disso, inicialmente, quando estabeleceram-se os anéis hierárquicos em torno do Núcleo Primaz das cidades e os quadrantes, esperou-se que os indicadores iriam ter um comportamento linear conforme se afastasse do centro. No entanto, o gráfico resultante apontou que as decisões metodológicas em torno da definição do núcleo primaz, anéis hierárquicos e quadrantes auxiliaram na compreensão de que não existe um padrão de crescimento urbano contínuo e uniforme à medida que se afasta do centro das cidades analisadas, ainda que existam valores elevados de correlação entre o indicador de densidade habitacional.

Referências

- BARROS FILHO, M. N. M. *As múltiplas escalas da diversidade intra-urbana: uma análise de padrões socioespaciais no Recife*. 2006. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Urbano). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2006.
- BRANCO, M. L.C. Cidades Médias no Brasil. In: SPOSITO, E. S., SPOSITO, M. E. B., SOBARZO, O. (org.). *Cidades Médias: produção do espaço urbano e regional*. São Paulo: Expressão Popular. 2006.
- CARVALHO, C. P. de O. O Novo padrão de crescimento no Nordeste semiárido. *Revista Contexto Geográfico*. Maceió, v.45, n.3, 2016. doi: 10.61673/ren.2014.125
- CARVALHO, C. C. A.; SILVA, M. M. N. da.; ALVES, L. da. S. F.; SOUSA JÚNIOR, A. M. de. As problemáticas urbanas pertinentes às cidades médias do semiárido. In: SILVA, J. B.; ALVES, L. da. S. F.; SILVA, M. M. N. da. *Sustentabilidade, Políticas Públicas e Interdisciplinaridade no Semiárido*. (org.). Natal: CCHLA. 2018.
- FARR, D. *Urbanismo Sustentável: Desenho Urbano com a Natureza*. Porto Alegre: Bookman. 2013.
- IBGE. *Regiões de Influência das Cidades: 2018*. Rio de Janeiro: IBGE. 2020.
- _____. *Arranjos populacionais e concentrações urbanas do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE. 2015.
- _____. *Censo Demográfico de 2022*. Rio de Janeiro: IBGE. 2022.
- _____. *Censo Demográfico 2022: Coordenadas Geográficas dos Endereços*. Nota Metodológica n. 01. Rio de Janeiro: IBGE. 2024.
- IPEA. Dinamismo das cidades médias do Brasil. In: IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ed.). *Estrutura produtiva avançada e regionalmente integrada: diagnóstico e políticas de redução das desigualdades regionais*. Brasília: Ipea. 2010.
- KIT, O.; LUDEKE, M. Automated detection of slum area change in Hyderabad, India using multitemporal satellite imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. v. 83, p. 130-137, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2013.06.009>
- LIMA, J. G.; SILVEIRA, R. L. L. da. Cidades Médias Brasileiras a Partir de um Novo Olhar Denominal e Conceitual: Cidades de Comando Regional. *Desenvolvimento em Questão*. Ijuí. v.16, n.42, 2017. <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2018.42.8-41>

- LOPES, B. de A. Cidades Médias: apontamentos sobre a discussão conceitual. *Geografia (Londrina)*, v. 33, n.1, pp.73-86, 2024. doi: 10.5433/2447-1747.2024v33n1p73.
- MAGNOLI, M. *Espaços livres e urbanização: uma introdução a aspectos da paisagem metropolitana*. 1982. 116 p. Tese (Livre Docência em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1982.
- MENZORI, I. D.; GONÇALVES, L. M. Compacidade-espraiamento e padrões de crescimento urbano: abordagem por métricas espaciais. *Ambiente Construído*, v. 24, p. e133737, jan. 2024. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212024000100757>
- MOTTA, D. M. da.; EGLER, C. Rede urbana e cidades médias do Brasil. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, n. 30, p. 171-179, 2023.
- MOTTA, D. M. da.; MATA, D. da. Crescimento das Cidades Médias. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, n.1, p. 33-43. 2008.
- MOTTA, D. M. da.; EGLER, C. A. G.; NASCIMENTO, E.; SOBRINHO, F. L. A.; RIBEIRO, M. B.; ARRUDA, R. A. de. Centralidade, competitividade e governança das cidades médias do Brasil. *Boletim Campineiro De Geografia*. v.14, n.2, 2024. <https://doi.org/10.54446/bcg.v14i2.3714>
- NEWBOLD, P. *Statistics for Business & Economics*. 5. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.
- PANERAI, P. *Análise Urbana*. Brasília: Editora Universidade de Brasília. 2006.
- PEARL, J. *Causalidade: Modelos, Raciocínio e Inferência: Modelos, Raciocínio e Interferência*. 2a ed. Cambridge University Press. 2009.
- PEREIRA, C. S. S., VALENÇA, M. R. Cidades médias do Nordeste brasileiro no contexto da globalização: uma análise a partir do comércio e serviços. *Ikara. Revista de Geografias Iberoamericanas*. n. 4, 2024. <https://doi.org/10.18239/Ikara.3436>
- PEREIRA, E. T.; BARROS FILHO, M. N. M.; SIMÕES, M. B.; BEZERRA NETO, J. A. Automatic detection of deprived urban areas using Google Earth™ images of cities from the Brazilian semi-arid region. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v.14, e20210209. 2022. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.014.e20210209>
- SOARES, C. S. De povoado à cidade: a produção do espaço urbano de Juazeiro do Norte/CE (1870-1930). In: XIII SHCU, *Anais (...)*, Brasília. 2014.
- SPOSITO, M. E. B. Novas redes urbanas: Cidades médias e pequenas no processo de globalização. *GEOGRAFIA*, Rio Claro, v.35, n.1, pp. 51-62, 2010.
- _____. Segregação socioespacial e centralidade urbana. In: VASCONCELOS, P. A.; CORRÊA, R. L.; PINTAUDI, S. M. (Org.). *A cidade contemporânea. Segregação espacial*. São Paulo: Contexto. 2013.
- WINTER, J.; GOSLING, S.; POTTER, J. Comparing the Pearson and Spearman Correlation Coefficients Across Distributions and Sample Sizes: A Tutorial Using Simulations and Empirical Data. *Psychological Methods*, v. 21, n.3, 2016.