

URBANIZAÇÃO SUSTENTÁVEL E CONCRETO ARMADO: SOLUÇÕES PARA INFRAESTRUTURAS RESILIENTES E DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

ELKA OJEDA¹; GUILHERME SILVEIRA²; GIANNA SAAVEDRA³; PASCAL SILAS THUE⁴; RAQUEL DA FONSECA HOLZ⁵

¹Universidade Federal de Pelotas – ojedaelka@gmail.com¹

²Universidade Federal de Pelotas – guigagsinott@gmail.com²

³UNEFA-Venezuela – saavedragianna@gmail.com³

⁴Universidade Federal de Pelotas – pascalsilasthue@gmail.com⁴

⁵Universidade Federal de Pelotas – raqfh74@gmail.com.br⁵

1. INTRODUÇÃO

A urbanização, um fenômeno crucial para o desenvolvimento sustentável global, tem sido impulsionada pelo aumento da população urbana e pela expansão das fronteiras construídas (LIU *et al.*, 2023). Nos últimos anos, as cidades que contam com um crescimento acelerado abrigaram estruturas ricas em carbono, mas com uma limitada duração (JIN, 2023). Essa limitação, que está frequentemente associada ao uso de concreto armado, levanta questões sobre a sustentabilidade e longevidade das infraestruturas urbanas, especialmente em regiões com condições climáticas adversas, como Pelotas, RS, onde a umidade média de 80,72% (AGROMETEOROLOGIA UFPEL, 2024) intensifica a corrosão das barras de reforço do concreto.

Diante deste cenário, é imperativo reavaliar repensar os paradigmas de concepção e gestão urbana. A literatura recente enfatiza que as estratégias de crescimento urbano, ao longo da história, têm estimulado o consumo de combustíveis fósseis, resultando em alterações significativas nos sistemas energéticos das cidades (JIN, 2023). De acordo com a Agenda 2030 da ONU e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que buscam promover cidades inclusivas e sustentáveis (ODS 11) e construir infraestruturas resilientes (ODS 9), a gestão eficaz do concreto armado e a adoção de práticas sustentáveis tornam-se essenciais para assegurar um futuro urbano equilibrado e resiliente.

No entanto, a utilização do concreto armado em edifícios é indispensável para atender ao rápido crescimento populacional das cidades contemporâneas, mas enfrenta sérios desafios em termos de durabilidade. Dois fatores principais comprometem a vida útil dessas estruturas: a composição do concreto e a falta de proteção contra a corrosão interna das barras de aço, que é exacerbada pela alta umidade e por um controle estrutural ineficiente. Esses problemas são especialmente evidentes em Pelotas, RS, onde a rápida expansão econômica e a urbanização requerem uma atenção imediata à longevidade das infraestruturas.

A partir da teoria da energia urbana de Odum, este estudo analisa dados macroeconômicos para investigar os padrões de construção em concreto armado durante o censo de 2022, com foco específico em Pelotas, RS. A escolha deste município, assim como de outros para comparação, obedece a uma lógica que será detalhada na metodologia. O objetivo é entender como o crescimento econômico e o uso de concreto armado afetam

o meio ambiente na cidade de Pelotas e em outras cidades com características similares.

2. METODOLOGIA

Este estudo teve como foco a análise das construções de concreto armado em meio ao rápido crescimento urbano nos municípios de Pelotas, Porto Alegre e Santa Cruz do Rio Grande do Sul, Brasil. A pesquisa caracterizou-se como um estudo descritivo e exploratório, para compreender as dinâmicas do planejamento urbano e na adoção de estruturas de concreto.

Os locais da pesquisa foram selecionados com base nas diferentes trajetórias dos planejamentos urbanos. Pelotas representou um município em processo acelerado de urbanização, enquanto Porto Alegre refletiu um histórico de desenvolvimento urbano impulsionado pela indústria. Santa Cruz revelou uma urbanização progressiva associada à sua industrialização desde 1917. Essa diversidade de contextos permitiu uma análise abrangente das influências urbanísticas e econômicas.

A coleta de dados foi feita com dados secundários, disponíveis em fontes oficiais, como institutos de estatística e relatórios econômicos. Os dados incluíram a taxa de crescimento do PIB e o volume da formação bruta de capital fixo em volume habitacional, utilizados como indicadores do consumo. As informações foram tiradas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e de relatórios de desenvolvimento urbano.

A análise macroeconômica dos municípios foi conduzida com um foco específico na relação entre a taxa de crescimento do PIB e a formação bruta de capital fixo. A teoria de Odum (2007) foi usada como base para interpretar os dados e antecipar padrões futuros no sistema energético urbano, permitindo compreender as interações entre crescimento urbano e consumo energético.

É importante ressaltar que o estudo enfrentou algumas limitações. A principal limitação foi a dependência de dados secundários, que podem não refletir todas as variáveis locais e contextuais, além da possibilidade de lacunas ou imprecisões nas informações disponíveis. Além disso, a análise se concentrou em período específico, o que pode limitar a generalização dos resultados para períodos mais longos ou diferentes contextos urbanos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados os resultados da pesquisa e a discussão desses resultados.

Os resultados evidenciam, conforme representado nas Figuras 3, 4 e 5, o impacto da pandemia em Porto Alegre, refletindo uma queda acentuada no PIB, com recuperação apenas em 2021. Em contraste, os municípios de Pelotas e Santa Cruz apresentaram uma diferença notável em seus parques industriais, mantendo uma maior estabilidade no PIB. Entretanto, esse indicador não se correlacionou diretamente com a velocidade de crescimento da população urbana (TABELA 1).

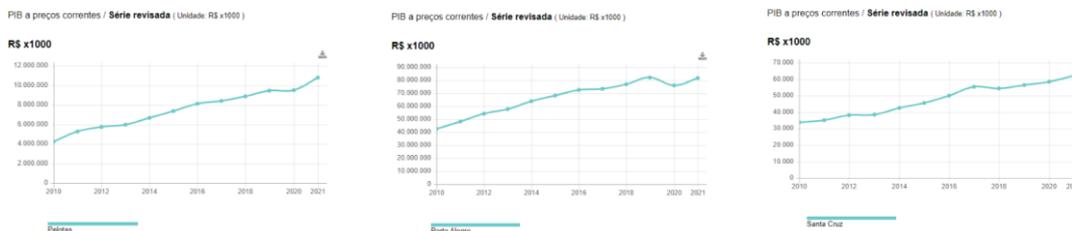


Figura 3, 4 e 5. Histórico do PIB.
Fonte: IBGE, (2022).

Tabela 1. Expansão sociedade durante o último censo de 2022.

	Período de rápida população urbana	Velocidade do aumento da população urbana	Pico de aumento de PIB
Pelotas	2010 - 2022	rápida	2021
Porto Alegre	2010 - 2022	rápida	2019
Santa Cruz	2010 - 2022	lento	2021

Fonte: IBGE, 2022.

Ao comparar os censos das últimas duas décadas, nota-se que todos os municípios avaliados experimentaram um aumento populacional superior a 10%, o que resultou na expansão da construção na diminuição das áreas verdes e no aumento da utilização de concreto armado. Este cenário induziu um acréscimo no consumo energético e na percepção térmica corporal, em concordância com as conclusões de (JIN, K. 2023).

Dada a análise dos dados fornecidos pelo IBGE, a análise dos ativos habitacionais em relação à taxa de crescimento econômico revela uma notável semelhança com a dinâmica subjacente ao ciclo de consumo e produção descrito na teoria energética de Odum (TABELAS 2).

Tabela 2. Taxa de crescimento econômico.

	População no último censo 2022 (pessoas)	População no último censo 2010 (pessoas)	Área da unidade territorial (km ²)	Área urbanizada (km ²)	PIB per capita (R\$)	Salário médio mensal dos trabalhadores formais (x salário min)
Pelotas	325.685	306.193	1.608,780	79.39	31.347,60	2.8
Porto Alegre	1.332.845	1.409.351	495,390	214.91	54.647,38	4.1
Santa Cruz	132.816	119.756	217,677	1.47	9.441,21	1.8

Fonte: IBGE (2010 - 2022).

4. CONCLUSÕES

Este estudo avaliou os efeitos das construções de concreto armado em áreas urbanas, focando nas cidades de Pelotas, Porto Alegre e Santa Cruz do Rio Grande do Sul, Brasil. A partir da teoria energética de Odum, foram identificados padrões de consumo e produção em um cenário de ciclos pulsantes de energia.

Os resultados mostraram que Porto Alegre teve uma queda significativa no PIB devido à pandemia, com uma recuperação apenas em

2021, enquanto Pelotas e Santa Cruz apresentaram uma maior estabilidade industrial. O crescimento populacional superior a 10%, aliado à expansão da construção e à redução de áreas verdes, levou a um aumento notável no consumo de energia. Segundo Jin (2023), o concreto armado representa cerca de 60% da indústria da construção, aumentando o uso de recursos energéticos.

Embora os achados contribuam para a compreensão das interações entre urbanização e consumo energético, limitações metodológicas, como o foco em um número restrito de cidades, podem influenciar a generalização dos resultados.

Futuras pesquisas devem incluir uma análise mais ampla, abordando a percepção comunitária sobre sustentabilidade e a qualidade de vida, proporcionando diretrizes práticas para um desenvolvimento urbano sustentável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGROMETEOROLOGIA. Universidade Federal de Pelotas. Estação agroclimática de Pelotas. 2024. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/agrometeorologia/informacoes/clima-de-pelotas/>. Acesso em: 31/12/2023.
2. BRITO, Fausto; HORTA, Cláudia, AMARAL, Ernesto. A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. 2001. Revista: **Open Science Framework Preprints**; DOI: <https://doi.org/10.31219/osf.io/84b92>.
3. CAVALCANTI, L; OLIVEIRA, T.; LEMOS SILVA, Sarah. **Dados Consolidados da Imigração no Brasil 2023**. Série Migrações. Observatório das Migrações Internacionais; Ministério da Justiça e Segurança Pública/ Conselho Nacional de Imigração e Coordenação Geral de Imigração Laboral. Brasília, DF: OBMigra, 2023.
4. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022.
5. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades 2022.
6. JIN, Keojin. Thermodynamic Effect of High-Rise Reinforced Concrete Typology on Asian Cities: Effect of Socioeconomic Obsolescence Factors on Thermodynamic Complexity. Revista **Sustainability**, v. , n. 15, p. 11483, jul. 2023. Doi: <https://doi.org/10.3390/su151511483>.
7. LIU, Shuangshuang; LIAO, Qipeng; LIANG, Yuan; LI, Zhifei. Spatio - Temporal heterogeneity of urban expansion and population Growth in China. Revista: **International of environmental research and public health**. Doi: 10.3390/ijerph182413031.
8. ODUM, H; MARROM, M; WHITEFIELD, L; WOITHER, R; DOHERTY, S. Organização Zonal de Cidades e Meio Ambiente: Um Estudo da Base do Sistema Energético para a Sociedade Urbana, um **Relatório para a Fundação Chiang Ching-Kuo para Intercâmbio Acadêmico Internacional**; Centro de Política Ambiental, Universidade da Flórida: Gainesville, FL, EUA, 1995.
9. Odum, H. Avanços nos Estudos Energéticos: Fluxos de energia na ecologia e na economia, **Ciências da Engenharia Ambiental Universidade da Flórida**, Gainesville, 1998.
10. Odum, H. **Environment, Power, and Society for the Twenty-First Century: The Hierarchy of Energy**; Columbia University Press: New York, NY, USA, 2007.