

v.6



A **Engenharia Urbana em Debate** é um periódico online de caráter acadêmico e científico, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar e tem como objetivo publicar, de forma gratuita, pesquisas voltadas ao conhecimento e práticas sobre a gestão e atuação técnico-profissional no território.

O Volume 6, referente ao ano de 2025, é um periódico online de caráter acadêmico e científico, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana (PPGEU) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Seu objetivo é publicar, de forma aberta, pesquisas voltadas ao conhecimento e às práticas relacionadas à gestão e à atuação técnico-profissional no território.

A Revista Engenharia Urbana em Debate é uma iniciativa do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar.

Revisores deste número: Beatriz Campos Fialho; Claudio Robert Pierini; Denise Raseria; Elza Luli Miyasaka; Erico Masiero; Felipe Facci Inguaggiato; Luiz Fernando Kowalski; Marcelo Monari; Marieli Azoia Lukiantchuki; Rochele Amorim.

Foto da capa da edição: Paraty, 2024
Autoria: João Saheki Skulski©.



Dados internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Engenharia Urbana em Debate / Universidade Federal de São Carlos.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana - PPGEU. v.6,
n.1 (2025). São Carlos: 2025.

v.6, n.1 Fluxo contínuo
Sumários em Português
ISSN: 2675-830X digital

1. 1. Saneamento. 2. Urbanismo. 3. Geotécnica e Geoprocessamento.
4. Transportes. Universidade Federal de São Carlos II. Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

CDD – 628

Periodicidade:
Fluxo Contínuo

Suporte: Eletrônico

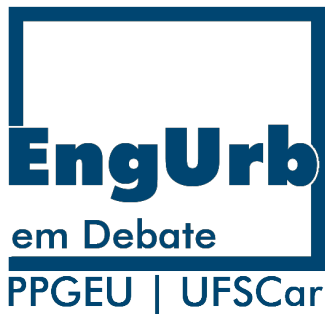


A Engenharia Urbana em
Debate é registrada no
Creative Commons

O conteúdo dos artigos é
de inteira responsabilidade
dos autores.

PPGEU - Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Urbana
Universidade Federal de São Carlos
Rodovia Washington Luis, km 235
São Carlos - SP - BR
CEP: 13565-905
Telefone: (16) 3351-8295

Engenharia Urbana em Debate
engurbdebate@gmail.com



EDITORAS RESPONSÁVEIS

Profa. Dra. Elza Luli Miyasaka
Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes

EDITORES ASSOCIADOS

Prof^a. Dr^a. Katia Sakihama Ventura
Prof^a. Dr^a. Luciana Márcia Gonçalves
Prof^a. Dr^a. Thais de Cassia Martinelli Guerreiro

EQUIPE TÉCNICA

Indexação

Ms. Julia Neves Andrade

Editoração

Tatiane Ferreira Olivatto

Diagramação do número

Filipe Aleixo Moreno

Diagramação

Natasha Nême Gonçalves de Almeida

Comunicação

Gabriella Barreiros da Silva

Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Prof. Dr. Érico Masiero
Profa. Dra. Denise Balestrero Menezes

CONSELHO EDITORIAL

Prof. Dr. Antonio Nelson Rodrigues da Silva | USP
Prof. Dr. Cláudio César de Paiva | UNESP
Prof. Dr. Edmur Azevedo Pugliesi | UNESP
Prof. Dr. Eduardo Augusto Werneck Ribeiro | IFC
Prof. Dr. José Augusto di Lollo | UNESP
Prof. Dr. José Luiz Albuquerque Filho | IPT
Prof. Dr. Licínio da Silva Portugal | UFRJ
Prof. Dr. Marco Musso | UniLaR
Prof. Dr. Maurício Pinto | UnCuyo
Prof. Dr. Paulo Sérgio Scalize | UFG
Prof. Dr. Ricardo de Souza Moretti | UFABC
Prof. Dr. Rodrigo Firmino | PUCPR
Prof. Dr. Rodrigo Melo Porto | USP
Prof. Dr. Rui António Rodrigues Ramos | UMinho
Prof. Dr. Tiago Cunha | UFV
Prof. Dr. Valdir Schalch | USP
Profa. Dra. Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo | USP
Profa. Dra. Gisela Cunha Viana Leonelli | UNICAMP
Profa. Dra. Regina Mambelli Barros | UNIFEI
Profa. Dra. Leticia Peña Barrera | UACJ
Profa. Dra. Magaly Natalia Pazzian Vasconcellos Romão | FATEC

COMISSÃO EDITORIAL

Prof^a Dr^a Anaí Floriano Vasconcelos
Prof. Dr. Bernardo Arantes do Nascimento Teixeira
Prof^a Dr^a Cali Laguna Achon
Prof^a Dr^a Carolina Maria Pozzi de Castro
Prof^a Dr^a Cristiane Bueno
Prof^a Dr^a Denise Balestrero Menezes
Prof. Dr. Diego de Oliveira Martins
Prof. Dr. Edson Augusto Melanda
Prof. Dr. Eduardo Meireles
Prof^a Dra Elza Luli Miyasaka
Prof. Dr. Érico Masiero
Prof. Dr. Fábio Noel Stanganini
Prof. Dr. José Augusto Di Lollo
Prof^a Dr^a Katia Sakihama Ventura
Prof^a Dr^a Luciana Márcia Gonçalves
Prof. Dr. Marcelo Monari
Prof^a Dr^a Maria Clara Fava
Prof^a Dr^a Rochele Amorim Ribeiro
Prof^a Dr^a Thais de Cassia Martinelli Guerreiro

As cidades

As cidades

As cidades

As cidades

As cidades

As cidades

e as águas

e as águas

e as águas

e as águas

e as águas

e as águas

AS CIDADES E AS ÁGUAS

As populações humanas, desde seus primórdios, se organizam em função de recursos disponíveis para a sua sobrevivência, sendo a água o principal deles. Guerras e disputas de território em muitos casos foram relacionadas ao domínio das fontes de água.

Com o passar dos tempos e o crescimento das cidades, as águas de beber passaram a receber os efluentes e com isso veio a fase de ocultar os rios urbanos. As áreas de fundo de vale foram recobertas por construções, viários e toda espécie de usos do solo.

Atualmente nos deparamos em muitas cidades brasileiras com dois períodos anuais de discussão sobre as águas urbanas: as secas e a falta de disponibilidade hídrica; as chuvas e as inundações.

Compreender que as águas que nos faltam poderiam ser aquelas que foram escoadas no período de chuvas é necessário e urgente para a sobrevivência das cidades e da humanidade, que passa também pela sobrevivência da flora e fauna de onde nos inserimos. Manutenção de áreas de topo e meia encosta com solos permeáveis faz com que a água da chuva se infiltre, recarregue aquíferos freáticos, exfiltrem mantendo o fluxo de base de córregos e rios. Rios saudáveis tornam as cidades saudáveis. Aquíferos recarregados são fontes de água para os períodos de seca.

Mudanças de paradigma a respeito de como lidar com as águas devem ocorrer e a Engenharia Urbana lida com elas em suas diferentes áreas (Urbanismo, Saneamento, Transportes, Geotecnia e Geoprocessamento) que, integradas, podem e devem contribuir com inovação, revisão de conceitos, soluções que visem saúde ambiental.

A implantação das soluções depende da integração das pesquisas com o poder público e esse é o desafio para alcançarmos os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da ONU, que é voltada para a sobrevivência da população humana digna, em ambiente saudável em um planeta viável.

Desafio lançado!

São Carlos, 05 de março de 2025

Denise Balestrero Menezes
Docente da UFSCar

07
12

AS CIDADES E AS ÁGUAS
Denise Balestrero Menezes

BREVES ASPECTOS SOBRE MITIGAÇÃO DE DESASTRES URBANOS
Lazaro Valentin Zuquette

36

**COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM PROPRIEDADES ELÉTRICAS
(CCPE) APLICADOS À INFRAESTRUTURA URBANA: UMA BREVE
REVISÃO**

João Batista Lamari Palma e Silva
Camila Tiemi Ozaki e Silva
Stephanie Cucolo Marçula
Rosa Cristina Cecche Lintz
Luísa Andréia Gachet

60

**ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR:
INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO, ISOLAMENTO TÉRMICO E
ROTINA DE OCUPAÇÃO**

Fabiano Cassol
Adriano Roberto da Silva Carotenuto

80

**DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE AÇÕES VOLTADAS À REDUÇÃO DE
SINISTROS ENVOLVENDO CICLISTAS EM SÃO CARLOS-SP, BRASIL**

Gustavo Augusto Debeus de Sousa
Marcelo Monari

RESUMOS

106

**OS MUNICÍPIOS PAULISTAS VISTOS COMO CIDADES INTELIGENTES:
VERIFICAÇÃO DO SERVIÇO GRATUITO DE INTERNET COMO
FERRAMENTA DE INFORMAÇÃO**

Stanley Cabral Cramolichi
Elza Luli Miyasaka
Beatriz Campos Fialho

UTILIZAÇÃO DAS AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA PÓS-OCUPAÇÃO DE USO DO SOLO: O ESTUDO DE CASO DO SHOPPING PASSEIO, SÃO CARLOS (SP) E SEU ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA

Felipe Facci Inguaggiato
Edson Augusto Melanda
Fabio Noel Stanganini

108

URBANIDADE E VITALIDADE NOS ESPAÇOS PÚBLICOS EM NOVAS ÁREAS RESIDENCIAIS VERTICALIZADAS. ESTUDO DE CASOS EM LONDRINA - PR E RIBEIRÃO PRETO - SP

Juliana Cardoso Esteves
Carolina Maria Pozzi de Castro

110

DINÂMICAS TERRITORIAIS E MÉTRICAS ESPACIAIS: AVALIAÇÃO DE EXPANSÃO URBANA EM CIDADE DE PORTE MÉDIO

Ivan Damasco Menzori
Luciana Marcia Gonçalves

112

SUMÁRIO
SUMÁRIO
SUMÁRIO
SUMÁRIO

n.1

v.6

BREVES ASPECTOS SOBRE MITIGAÇÃO DE DESASTRES URBANOS

Brief Points on Urban Disaster Mitigation

Breves Aspectos de la Mitigación de Desastres Urbanos

ZUQUETTE, L.V.¹

Resumo

Os eventos perigosos naturais têm ocorrido nas mais diferentes regiões da Terra gerando perdas humanas, sociais, econômicas e ambientais de diferentes magnitudes. Com o aumento e a concentração populacional em áreas urbanizadas estas perdas têm sofrido um aumento da frequência e da magnitude, caracterizando-se como desastres. No sentido de minimizar estas perdas ações de prevenção e de mitigação têm sido propostas, mas nem sempre adotadas, principalmente, devido à falta de conhecimento sobre os eventos perigosos e as consequências. Neste texto apresentam-se, de maneira breve, aspectos envolvidos na escolha de ações de prevenção e medidas de mitigação de eventos perigosos naturais e potenciais riscos, assim como os principais conceitos, relações entre as diferentes etapas de estimativas de riscos e de tomadas de decisão.

Palavras-chave: Eventos perigosos naturais, prevenção, riscos.

¹ ZUQUETTE, L. V. - Lázaro Valentin Zuquette. Professor e Doutor em Geotecnia da Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4053-1976>, lazarus1@sc.usp.br

Artigo base da palestra
do evento 2º Cidades +
Resilientes: Transformações
Urbanas frente às Questões
Humanas

Data da Publicação:
10 de março de 2025

COMO CITAR:

ZUQUETTE, L. V. . BREVES ASPECTOS SOBRE MITIGAÇÃO DE DESASTRES URBANOS. Engenharia Urbana Em Debate. Engenharia Urbana Em Debate, 6(1). <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v6i1.153>



Abstract

Natural events have occurred in many different regions of the Earth, generating human, social, economic and environmental losses of varying magnitudes. With population growth and concentration in urbanized areas, these losses have increased in frequency and magnitude, characterizing them as disasters. In order to minimize these losses, prevention and mitigation actions have been proposed, but not always adopted, mainly due to a lack of knowledge about hazards and their consequences. This text briefly presents the aspects involved in choosing prevention actions and mitigation measures for natural hazards and potential risks, as well as the main concepts and relationships between the different stages of risk estimation and decision-making.

Keywords: Natural hazards, Prevention, Risk.

Resumen

En muchas regiones de la Tierra se han producido amenazas naturales que han generado pérdidas humanas, sociales, económicas y medioambientales de diversa magnitud. Con el crecimiento demográfico y la concentración en zonas urbanizadas, estas pérdidas han aumentado en frecuencia y magnitud, lo que las caracteriza como desastres. Con el fin de minimizar estas pérdidas, se han propuesto acciones de prevención y mitigación, pero no siempre se han adoptado, principalmente debido a la falta de conocimiento sobre los eventos peligrosos y sus consecuencias. Este texto presenta brevemente los aspectos que intervienen en la elección de acciones de prevención y medidas de mitigación de los fenómenos naturales peligrosos y los riesgos potenciales, así como los principales conceptos, las relaciones entre las distintas etapas de la estimación del riesgo y la toma de decisiones.

Palabras-clave: Amenazas naturales, Prevención, Riesgos.

1. Introdução

Atualmente, as pessoas nos mais diferentes locais da Terra estão enfrentando condições adversas como as guerras, conflitos, variações econômicas, variabilidade climática, segurança quanto a emprego e, associado a todos estes aspectos os desastres decorrentes de eventos perigosos naturais (hazards) que impõem perdas de diferentes magnitudes, incertezas e inseguranças que afetam a vida das pessoas, em nível individual e coletivo, da sociedade, cidades, regiões e países. Estas situações impõem as estas entidades tomadas de decisão de diferentes dimensões e magnitudes envolvendo as formas de gerenciamento de riscos e de enfrentamento dos diferentes níveis de riscos com vistas a minimizar os efeitos do evento perigoso (hazard).

Quanto aos eventos naturais, às estimativas quanto ao potencial de ocorrer o evento e os níveis de risco associados caracterizam-se como informações fundamentais para as tomadas de decisão, sejam, pelos indivíduos, sociedades e instituições públicas

municipais, estaduais e federais. As estimativas de riscos permitem que sejam adotadas medidas de redução de riscos, como parte do gerenciamento de riscos, porém estes documentos devem ter em seu bojo conteúdo que expressem as variabilidades locais em termos espaciais e temporais.

Neste sentido é fundamental que o poder público, de qualquer nível, tenha como princípio a elaboração destes estudos com o devido rigor técnico - científico e conceitual por equipes constituídas por profissionais com o devido nível de conhecimento. A dotação orçamentária suficiente para a elaboração do estudo e a obtenção de resultados adequados é fundamental para que permitam tomadas de decisão não genéricas e nem sem condições de aplicação de qualquer medida em função da generalização espacial e temporal. A redução de riscos decorrentes de eventos perigosos naturais está centrada em ações de prevenção e mitigação que visam à redução de perdas de vidas, propriedades, serviços essenciais,

dificuldades e limitações econômicas, assim como reduzir as medidas de recuperação em curto e longo prazo, como também, reduzir os custos de reconstruções. Por outro lado, deve-se ter como um ponto fundamental aumentar a cooperação e a comunicação entre os membros da sociedade por meio de um planejamento e buscar aumentar as possibilidades de suportes dos diferentes níveis governamentais para a recuperação, reconstrução e respostas.

A prevenção e a mitigação envolvem uma posição fundamental que é sobre quais aspectos do risco que podem ser modificados e quais não se têm condições de alterá-los, visando minimizar o risco. Para tanto, são necessários conhecimentos específicos sobre os eventos perigosos, elementos do meio ambiente e consequências, em escala espacial e temporal adequada.

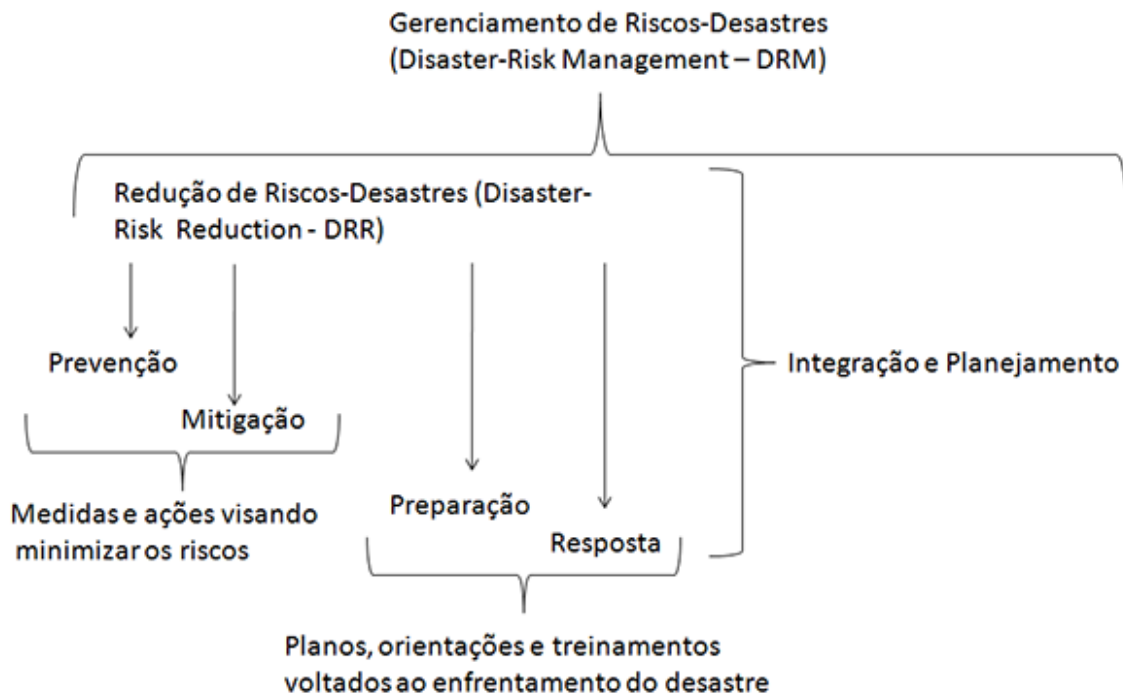
2. Background

Os riscos são decorrentes de diferentes tipos de fontes de eventos perigosos (hazard) de natureza natural, quasi-natural, natural-tecnológicos e antropogênicos. Em função da magnitude das perdas decorrentes de eventos perigosos, pode-se ter a condição de desastres. Assim, as estimativas de riscos é o passo fundamental para evitar desastres. No sentido de minimizar as perdas a UNISDR (2008, 2009) e Baas *et al.* (2008) propõe ações para Redução de riscos de desastres

(Disaster Risk Reduction – DRR) que refere-se à proposição de elementos que considere a minimização de vulnerabilidades e riscos para a sociedade, para evitar (prevenção) ou para limitar (mitigação e preparação) de impactos adversos dos eventos perigosos (hazard) dentro do contexto do desenvolvimento sustentável. Esta etapa está inserida no âmbito do gerenciamento de riscos e desastres (Disaster Risk Management - DRM) que inclui as perspectivas de gerenciamento com a combinação das ações de prevenção, mitigação e preparação com as de respostas no caso da ocorrência do evento perigoso.

A UNISRD (2008) entende que mitigação é o conjunto de ações que são adotadas no sentido de reduzir o risco, prevenindo ou na contenção do evento perigoso; evitar ou reduzir a exposição; melhorar a tolerância e reduzir a sensibilidade e o aumentar a resiliência e a capacidade com o objetivo de minimizar os impactos do evento perigoso e/ou situações de perdas possível no caso de desastres. As ações da mitigação são medidas estruturais e não estruturais adotadas visando atuar em relação aos 2 componentes do risco, na probabilidade de ocorrência do evento e nas consequências. As ações de mitigação variam em função do tipo de evento perigoso, sendo que no caso de eventos perigosos naturais a mitigação tem sido mais efetiva em termos de diminuir as consequências. Na Figura 1 observa-se um fluxograma com as principais relações inseridas no processo de Gerenciamento de Riscos-Desastres.

Figura 1. Etapas e relações envolvidas no processo de Gerenciamento de Riscos-Desastres (Disaster Risk Management – DRM).

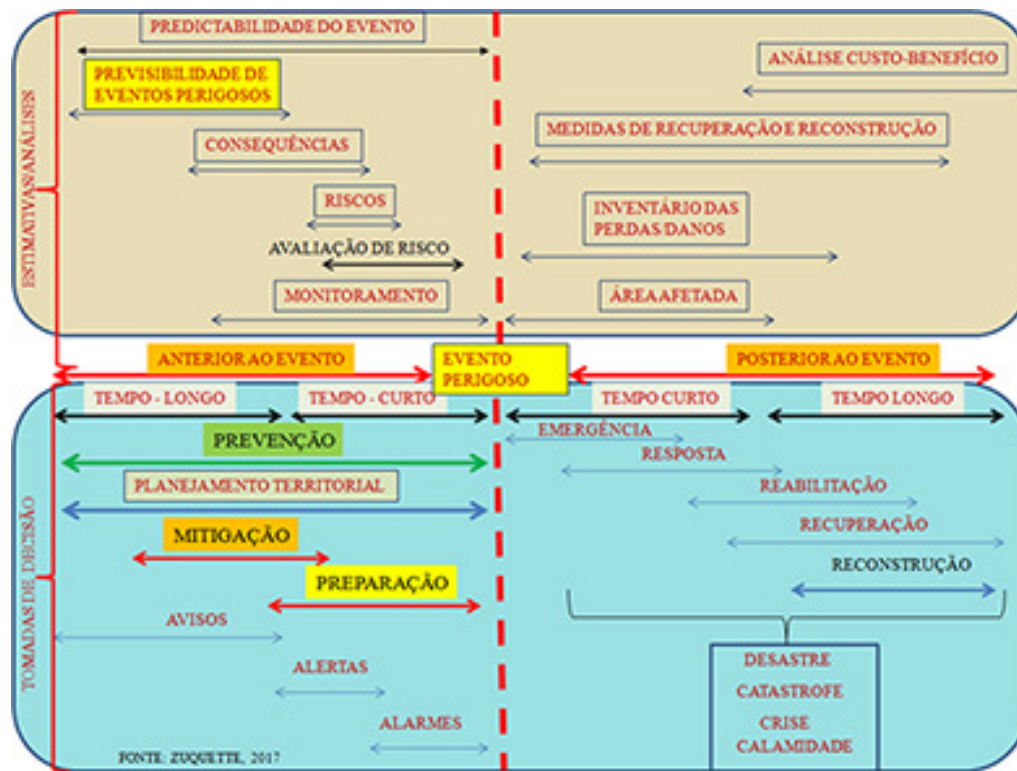


Fonte: Elaborado pelo autor.

As diferentes ações associadas ao processo de gerenciamento de riscos-desastres encontram-se relacionadas na Figura 2, considerando as

fases de estimativas e análises, assim como as de tomadas de decisão, para as condições anteriores e posteriores a ocorrência do evento perigoso.

Figura 2. Ações relacionadas ao Gerenciamento de riscos-desastres.



Fonte: Elaborada pelo autor.

3. Aspectos Conceituais

As medidas de prevenção e mitigação devem ser consideradas de maneira combinada visto que ambas são complementares e demandam de conhecimentos específicos dos conceitos envolvidos nas estimativas de riscos que são fundamentais para que a análise voltada a prevenção e mitigação torne-se efetivas. Neste sentido um conjunto de termos foi considerado em termos conceituais.

Os termos e conceitos fundamentais para subsidiar as seleções e escolhas das ações de prevenção e de medidas de mitigação estão apresentados a seguir de maneira direta e concisa.

Resiliência

É um termo tem sido utilizado com muita frequência em função das possibilidades que existem para

alterar as características de resiliência de uma área, no sentido de aumentar sua eficiência e obter ganhos sociais mais significativos com o objetivo de enfrentar as possíveis ações de um evento perigoso, independentemente de sua natureza. Conceitualmente Manyena (2006) apresenta um texto com uma abordagem bem completa. Existem diversos conceitos e dentre eles destacam-se os seguintes conceitos:

Cardona, 2003 – é a capacidade de um ecossistema ou comunidade afetada absorver os impactos negativos e recuperar-se deles.

Resilience Alliance, 2005 – resiliência de um ecossistema é a capacidade do mesmo em tolerar as alterações (impactos) sem entrar em colapso. Ou seja, de retornar a um equilíbrio sem interferência após ser atingido pelos efeitos de um evento perigoso.

UNISDR, 2005 – é a capacidade de uma sociedade, comunidade ou sistema potencialmente exposta a um evento perigoso em adaptar-se, resistir ou mudar no sentido de manter um nível aceitável de funcionamento e estrutura organizacional.

Evento Perigoso (hazard)

Considerações gerais

O termo é conceituado por diferentes autores, e a grande maioria tem em comum que trata-se de um evento com determinada intensidade e caráter probabilístico em termos espacial e temporal, conforme os conceitos a seguir:

1. Em termos físicos, Scheidegger, 1994 considera que evento perigoso natural é a probabilidade que uma condição razoavelmente estável pode mudar abruptamente.

2. Uma condição ou fenômeno geológico natural ou induzido pelo Homem que apresenta risco ou um perigo potencial a vida e/ou a propriedade (Bates e Jackson, 1984).

3. Todo elemento do ambiente físico que são perigosos ou que produz forças estranhas ao Homem (Burton e Kates, 1964).

4. Um evento concentrado no tempo e no espaço o qual atinge a sociedade ou parte dela com consequências consideradas inaceitáveis (Turner, 1976).

5. A probabilidade de ocorrência de um fenômeno potencialmente danoso dentro de um período de tempo específico e dentro de uma área (UNDRO, 1982).

6. De acordo com CSA (1997) é uma fonte de potencial perigo ou uma situação com potencial para causar problemas em termos de injúria, danos a propriedades, ao meio ambiente ou a outras situações e elementos, ou ainda a combinação de todos.

7. Evento perigoso é uma ação natural ou antropogênica que impacta os humanos e/ou sistemas humanos (Blaikie et al., 1994; Hewitt 1997).

Os eventos perigosos são eventos que ocorrem normalmente, mas que atingem níveis de intensidade e capacidade para afetar os elementos do meio ambiente além de um grau considerado normal para a região exposta aos efeitos diretos e indiretos. Assim, as fontes dos eventos perigosos são as mesmas que geram os eventos cotidianos. As ocorrências de eventos perigosos podem gerar as perdas e danos, que se caracterizam como as consequências do evento e, dependendo da magnitude e diversidades destas consequências, podem ser classificados como desastres e catástrofes.

Os eventos perigosos podem ser agrupados em diferentes categorias dependendo da base de dados considerada, a saber:

1. Quanto à origem (fontes),

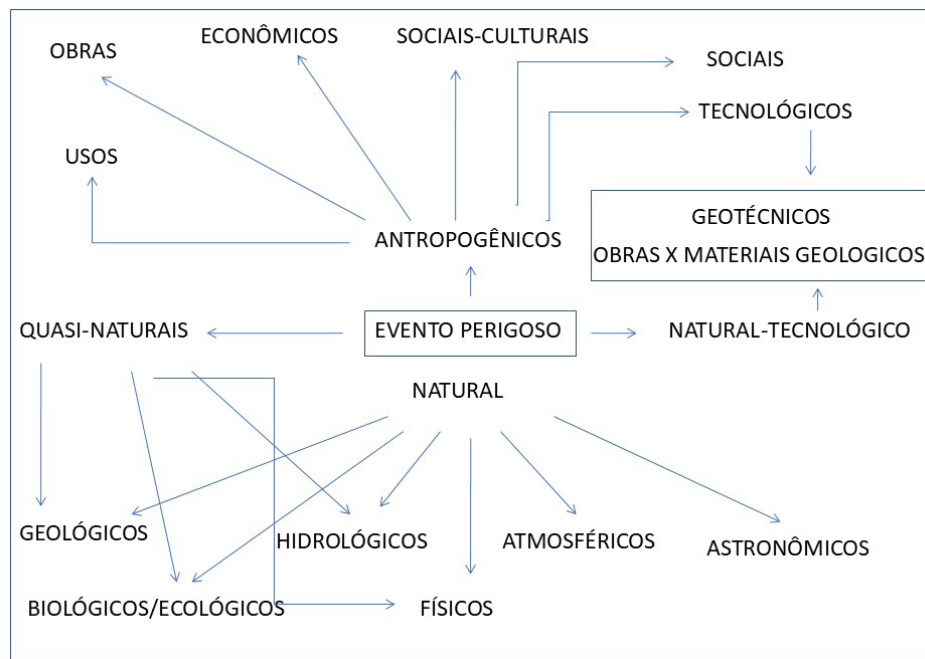
2. Quanto à exposição dos elementos do meio ambiente,
3. Quanto à extensão e magnitude, e
4. Quanto ao caráter antropogênico.

Fontes de eventos perigosos

Dentre as possibilidades de agrupar os eventos perigosos citadas anteriormente a que considera a origem dos eventos é a que permite maior amplitude para o enquadramento dos diferentes tipos, pois permite uma relação entre os tipos de eventos gerados sob as mesmas condições naturais ou antropogênicas. As fontes de eventos perigosos considerando a origem são variadas e em termos gerais podem ser enquadradas

em diferentes grupos em função de origem, magnitude, áreas atingidas, entre outros fatores. No sentido de propiciar o melhor entendimento procurou-se adotar uma sistemática que baseia-se na origem, relação entre a condição natural e a atividade humana, adotando como as divisões em nível fundamental as seguintes: naturais, quasi-naturais, antropogênicos e natural-tecnológicos conhecidos como "Natech" (Figura 3). As fontes estão distribuídas espacialmente de maneira específica e lógica para alguns tipos e sem nenhum padrão, mesmo que seja mínimo, no caso de outras fontes. Vale considerar que a ocorrência de um evento pode gerar uma cadeia de eventos secundários, terciários e em outros níveis, e mesmo que o primário não tenha sido de grandes intensidades os decorrentes podem ser, e assim sejam classificados como eventos perigosos.

Figura 3. Categorias básicas de fontes de eventos perigosos.

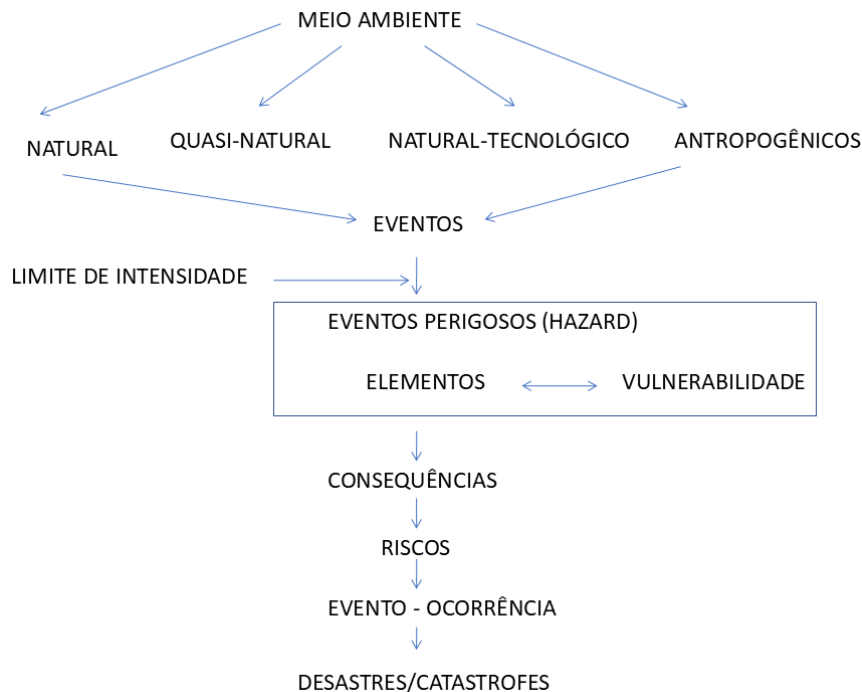


Fonte: Zuquette (2017).

Os estudos de predictabilidade (previsibilidade/prognóstico/previsão) relacionados aos eventos perigosos naturais, quasi-naturais, naturais-tecnológicos e antropogênicos são a base fundamental para estimativa de riscos de qualquer natureza, e, portanto, parte fundamental no âmbito da minimização dos efeitos dos desastres e das catástrofes, sejam diretos e indireto (Figura 4). Os eventos perigosos em termos de origem e efeitos podem se únicos, sequenciais ou combinados. O termo evento perigoso foi adotado a partir da palavra “hazard”, em inglês, que tem origem na palavra “al zahr “ que em inglês significa “dices”, no Frances “hasard” ou em espanhol “azar”. Existem argumentos conceituais diferentes em função do aspecto ambiental tratado e dos profissionais, assim como das finalidades que se destinam os resultados da predictabilidade. Estes podem ser identificados por diversos métodos: estudos específicos considerando as características

intrínsecas, operacionais, incertezas e eficiência de controle, históricos sobre o tipo de evento; seguido de avaliação de trabalhos anteriores, investigação do histórico para condições semelhantes, monitoramento, consulta a especialistas, consulta a órgãos públicos responsáveis pelo controle, uso de documentos (mapas, cartas, etc.) com informações sobre o local ou atividade, uso de mapas de eventos perigosos (hazard maps), estudo do histórico de perdas e uso de checklists. Os eventos perigosos devem ser caracterizados pelos seguintes atributos: localização, tipo, magnitude, intensidade, frequência, duração, dimensão, extensão espacial, materiais envolvidos e distribuição temporal. Para quase todos os tipos de eventos perigosos há recursos para predictabilidade com base no conhecimento científico, e, portanto, as consequências decorrentes podem ser minimizadas, ou mesmo evitadas em sua totalidade.

Figura 4. Relações entre as fontes de eventos perigosos, riscos, desastres e catástrofes.



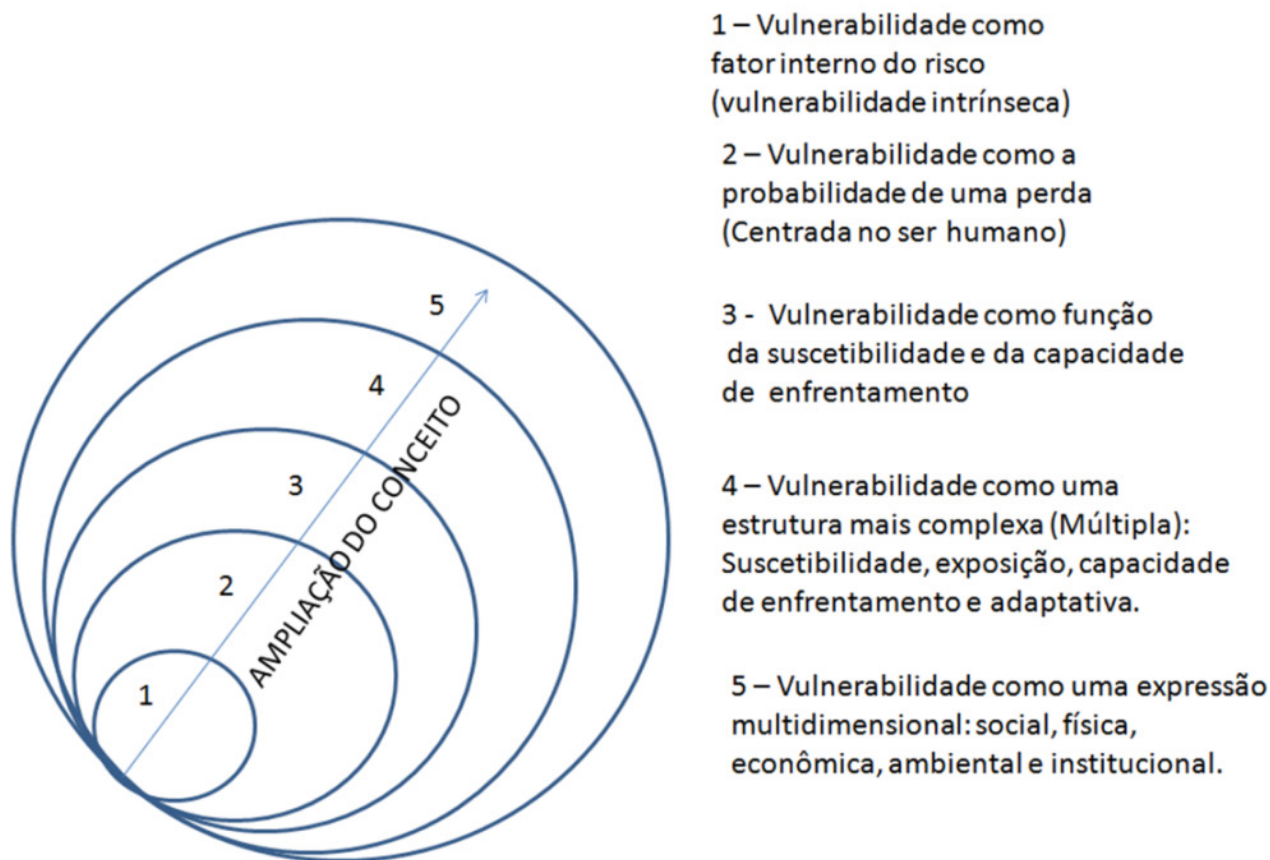
Fonte: Zuquette (2017).

Vulnerabilidade

O termo vulnerabilidade vem passando por mudanças do ponto de vista dos diversos tipos de profissionais envolvidos como considerado no item anterior com a diversidade dos conceitos existentes, e neste sentido Birkmann (2006) e

Villagrán de León (2006) apresentam trabalhos críticos, sendo que o primeiro apresenta um gráfico com a expansão do conceito resultando dos diferentes pontos de vistas dos autores (Figura 5).

Figura 5. Esquema representando as alterações do conceito de vulnerabilidade ao longo do tempo.



Fonte: Modificado de Birkmann (2006).

Wisner et al. (2004) considera vulnerabilidade como os elementos que estão propensos ou predispostos a serem afetados negativamente pela ação ou efeitos de um evento, portanto dependem de suas características intrínsecas que afetam a capacidade de antecipação, enfrentamento, de resistência e recuperação frente aos efeitos do evento.

UNDRO (1991) - refere-se ao grau de perdas potenciais de um elemento ou grupo de elementos quando expostos a ocorrência de um fenômeno de dada magnitude, e varia de 0 (Sem perdas) e 1 (Perda total).

Provention Consortium (2007) - considera como o potencial dos elementos expostos de sofrerem perdas em função da capacidade de antecipação ao evento perigoso, de enfrentamento, de resistir e de recuperar dos seus efeitos. A vulnerabilidade e sua antítese, a resiliência, é função das características dos fatores físicos, ambientais, sociais, econômicos, políticos, culturais e institucionais.

Considerando os conceitos acima pode-se entender que a vulnerabilidade é a combinação de elementos em exposição, as características intrínsecas dos elementos, a resistência e a resiliência, e deve ser considerada como:

1. Multidimensional – ou seja, relacionada a fatores físicos, sociais, econômicos, ambientais, institucionais e humanas.
2. Dinâmica – ou seja, varia ao longo do tempo.
3. Dependente da escala – desde um indivíduo até a extensão de um país.
4. Dependente de local específico.

O grau de vulnerabilidade de um elemento ambiental frente aos efeitos de um evento específico depende de alguns aspectos, tais como:

1. Densidade populacional na proximidade da ocorrência do evento.
2. Grau de educação da sociedade e conhecimento sobre eventos perigosos, riscos e desastres.
3. Existência de sistemas de avisos, alertas e alarmes, assim como meio comunicação eficiente.
4. Conhecimento técnico sobre o evento das equipes envolvidas.
5. Disponibilidade de infraestrutura para ações e medidas de emergência.

6. Materiais usados, procedimentos e métodos construtivos das edificações.

7. Fatores culturais que relacionam com o problema.

8. Eficiência de resposta pelas instituições e organizações responsáveis seja pública ou privada.

Desta forma quanto ao caráter multidimensional à vulnerabilidade pode ser:

1. Física – retrata o potencial frente ao impacto físico sobre uma construção e a população, normalmente expressa em valores entre 0 e 1 para um evento de uma determinada intensidade/magnitude. A vulnerabilidade física pode ser avaliada por meio de procedimentos empíricos (análise de perdas ocorridas, opinião de especialista, pontuação) e modelos analíticos (modelos analíticos simples, métodos analíticos detalhados).
2. Econômica – relacionada aos diferentes setores econômicos em decorrência dos efeitos do evento perigoso e pode ser na forma interrupção de negócios, perdas de postos de trabalho, entre outros aspectos.
3. Social – os impactos de um evento podem afetar pessoas de maneira geral, mas principalmente as com deficiências, idosos, escolas de crianças e hospitais.
4. Ambiental – quando a ação do evento atinge componentes ambientais, por exemplo, como a contaminação de águas subterrâneas ou assoreamento de lagos e reservatórios.
5. Institucional – instituições e edificações públicas sofrem perdas com o impacto do evento.

Para a quantificação da vulnerabilidade é fundamental a existência de informações relativas aos seguintes aspectos:

1. Distribuição e tipologia dos diferentes elementos expostos e suas características intrínsecas.

2. Considerar as diferentes dimensões da vulnerabilidade.

3. As diferentes escalas, visto que cada nível requer métodos específicos e que muitas vezes demandam um tratamento complexo dos dados.

4. O tipo de evento perigoso, visto que os métodos de avaliação da vulnerabilidade variam em função do tipo, intensidades e probabilidades espaciais e temporais.

5. Considerar os eventos perigosos em diferentes cenários em função das intensidades.

Existem métodos que podem ser utilizados para avaliação do grau de vulnerabilidade, com diferentes graus de complexidade, que inicialmente podem ser agrupados em 5 categorias:

1. Consultores/Profissionais – baseado nas características de um evento perigoso como a intensidade o profissional deve estimar as porcentagens de perdas e danos para os diferentes elementos ambientais expostos considerando as suas características intrínsecas.

2. Análises históricas – baseado nas informações de banco de dados e análises estatísticas das perdas e danos ocorridos frente a eventos com diferentes intensidades que ocorreram no passado, elabora-se um ranqueamento dos diferentes graus de vulnerabilidades em relação a intensidades do evento perigoso.

3. Uso de índices – é um método com eficiência muito boa pois considera uma lista ou matriz com diferentes parâmetros relativos as características dos elementos ambientais em análise e os graus de perdas e danos frente as intensidades do evento.

4. Modelos analíticos básicos – avalia-se o comportamento dos elementos ambientais com base em suas características frente as condições impostas pelo evento perigoso baseado em critérios definidos previamente, com o uso de modelos conceituais que são simulados por meio de programas computacionais para diferentes cenários.

5. Modelos analíticos complexos – a partir de métodos com alta complexidade que demandam grande quantidade de informações e normalmente são aplicados para elementos específicos e eventos com intensidades e efeitos bem conhecidos.

Consequências

As estimativas das consequências buscam avaliar a grandeza das perdas e dos danos de todas as naturezas provocadas aos elementos de uma área que estejam expostos as ações decorrentes da ocorrência de um evento perigoso e condicionadas pelo grau de vulnerabilidade dos mesmos em suas diferentes dimensões. As consequências podem ser diretas (perdas de vidas, destruição de edificações e de linhas de infraestrutura, perdas de bens, perdas agrícolas envolvendo danificação de áreas para usos, produtos e animais, assim como custos para recuperação) e indiretas (interrupção de serviços, negócios, perdas de fontes de trabalho, impactos na atividade produtiva, custos sociais, e custos de longo prazo envolvendo saúde). A estimativa das consequências está baseada no elemento e sua posição, assim como no grau de vulnerabilidade, ou seja, existe uma probabilidade espacial de que o evento atinja a área ocupada por um determinado elemento associada a uma probabilidade temporal, dada que a probabilidade espacial ocorra, e, portanto, poderá haver efeitos por um período de tempo. A vulnerabilidade é estimada considerando a posição do elemento e suas características intrínsecas, e que no tempo de ocorrência do evento o mesmo esteja sujeito a ação do evento. Consequências podem ser estimadas para elementos por equações gerais como a seguinte:

$$C = f (P(E/Ep).P(T/E).V(E/T).P(Ci/lep). C(D,I)),$$

Onde:

$P(E/Ep)$ – Probabilidade de que efeitos existam dentro de uma área (E) dado que ocorra o evento perigoso (Ep).

$P(T/E)$ – Probabilidade de que haverá efeitos temporais dado que ocorram efeitos espaciais.

$V(E/T)$ – Probabilidade de que o elemento esteja no local no mesmo tempo do evento.

$P(Ci/lep)$ – Probabilidade do comportamento das características intrínseca do elemento frente à intensidade potencial dos efeitos do possível evento.

$C(D,I)$ – Custos e valores diretos e indiretos relativos ao elemento.

Riscos

A palavra risco tem sua origem relacionada a diversas fontes, a mais difundida vem do grego clássico com a expressão ($\rho\iota\zeta\alpha$) que significa raiz (root) e foi citado na "Homer's Rhapsody M of Odyssey", e depois no latim teve a interpretação como falésia (Cliff). Diversos textos confirmam que o termo em latim originou dos termos gregos relacionados à navegação *rhizikon* e *rhiza*, que são considerados como uma metáfora para a expressão "difficulty to avoid in the sea". A partir do latim (*resicum*, *risicum*, *riscus*) e do latim vulgar (*cliff*, *récif*, *Felsklippe*) surgiu o termo em italiano (*risico*, *risco*, *rischio*), o espanhol (*riesgo*) e o francês *risque*. Ressalta-se que o termo em inglês originou-se a partir do espanhol e o alemão dos italianos até o surgimento do termo Frances no século 18.

Atualmente pode se relacionar o termo risco com o fato de não ter uma solução adequada para um problema, com a falta de certeza, ou seja, as incertezas relacionadas a um sistema, problema ou condição e, portanto, com expectativas de perdas e danos. A expressão básica de risco como proposta por Varnes (1984), que considera risco como o resultado da associação da probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (H) e a vulnerabilidade do elemento (V) em questão ($R = H \times V$), resultando em consequências de diferentes naturezas. Esta tem sido utilizada com muita frequência nos diversos campos de aplicação das estimativas de riscos, enquanto, para UNDHA (1992) - risco é a expectativa de perdas de vidas, injúrias, perdas econômicas, devido a um particular evento perigoso para uma dada área e espaço temporal.

Desastres

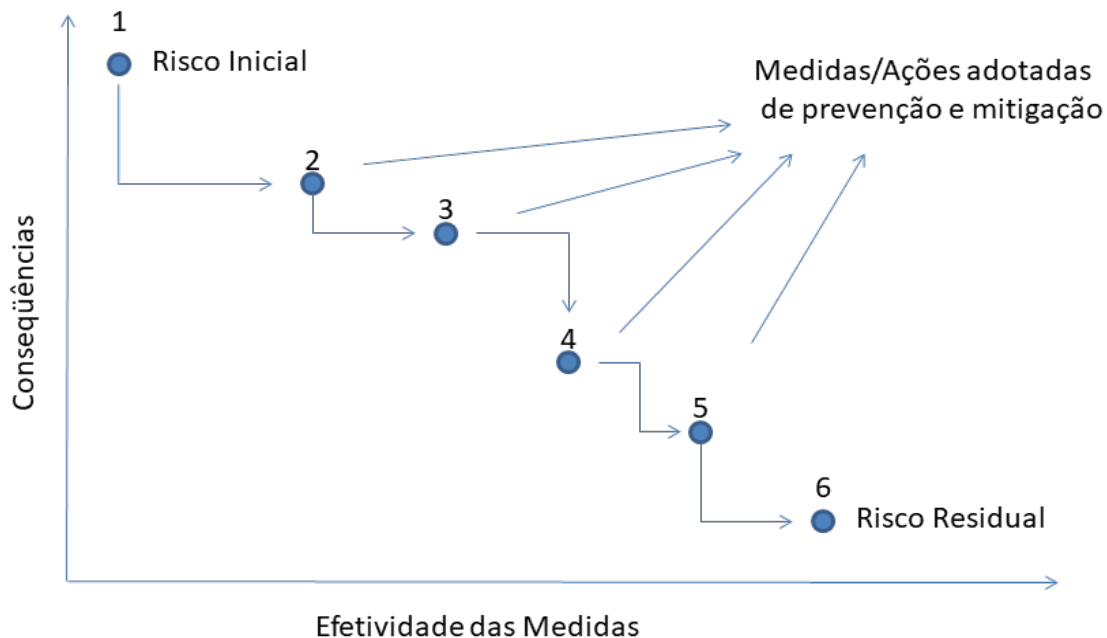
A diversidade de conceitos não é grande como para vulnerabilidade, e a maioria considera como uma interrupção do funcionamento de um sistema, comunidade, sociedade causando problemas de natureza humana em grandes extensões e proporção, envolvendo perdas humanas, materiais, econômicas e ambientais que estão acima do limite que uma sociedade tem como enfrentar com os próprios recursos (UN/ISDR, 2009). Assim, os desastres são resultantes da ocorrência de um evento perigoso, da exposição e vulnerabilidade dos elementos do meio ambiente e da capacidade insuficiente ou de medidas para reduzir as consequências. É importante realçar que a condição de desastre varia em função das condições sociais e econômicas, assim como em função dos elementos afetados, e o critério econômico pode ser extremamente variado de uma situação ou região para outra.

4. Prevenção e Mitigação

As ações de prevenção e mitigação visam reduzir os níveis de riscos que a sociedade está sujeita em decorrência de efeitos dos eventos perigosos.

Na Figura 6 observa-se uma esquematização da adoção de medidas de prevenção e mitigação.

Figura 6. Efeitos da adoção de medidas de prevenção e mitigação sobre a magnitude dos riscos.



Fonte: Zuquette (2017).

Ações de Prevenção

As ações de prevenção envolvem medidas que são adotadas no sentido que a ocorrência de um evento perigoso (hazard) de qualquer natureza tenha efeitos negativos para as pessoas, assim como para outros elementos do meio ambiente. A prevenção visa eliminar as causas básicas (rootcauses) que colocam as pessoas e os elementos do meio ambiente em graus de vulnerabilidade.

As atividades de prevenção dependem de que haja uma adequada identificação do evento perigoso, assim como da vulnerabilidade e consequências humanas, sociais, econômicas e ambientais e da capacidade da sociedade de enfrentar as consequências. Na Tabela 1 encontram-se comentários sobre aspectos envolvidos com as medidas no sentido de evitar ou minimizar a ocorrência do evento perigoso e das suas consequências.

Tabela 1. Aspectos relacionados à prevenção em termos da redução de riscos-desastres.

	EVENTOS COM POSSIBILIDADE DE REDUÇÃO	EVENTOS SEM POSSIBILIDADE DE REDUÇÃO	OBSERVAÇÕES FUNDAMENTAIS
Redução da probabilidade de ocorrência do evento	Erosão, Inundação, Subsidências, Movimentos de massa gravitacionais	Terremotos, Tornados, Furacões	A elaboração de planejamentos territoriais e ambientais baseados em informações que contemplem a ocorrência de eventos perigosos é uma peça fundamental, senão a mais importante no sentido de minimizar os riscos que a sociedade e os elementos ambientais estarão expostos, e contemplam dados oriundos de: 1 - Mapeamentos geotécnicos e temáticos desenvolvidos com conteúdos adequados e com critérios técnicos, em escalas adequadas. 2 - Mapeamento de eventos perigosos com predictabilidade adequada. 3 - Legislações para as unidades espaciais com base em critérios técnicos e dados compatíveis para os fins e escala. 4 - Normas com orientações e critérios para investigações prévias a implantação de usos e obras, assim como de procedimentos de monitoramentos no sentido de previsibilidade de comportamentos frente aos eventos perigosos potenciais.
Redução das consequências	Diminuindo a vulnerabilidade		A Vulnerabilidade tem caráter multidimensional e demanda cuidados na sua estimativa: 1 – Física – retrata o potencial frente ao impacto físico sobre uma construção e a população, normalmente expressa em valores entre 0 e 1 para um evento de uma determinada intensidade/magnitude. A vulnerabilidade física pode ser avaliada por meio de procedimentos empíricos (análise de perdas ocorridas, opinião de especialista, pontuação) e modelos analíticos (modelos analíticos simples, métodos analíticos detalhados). 2 – Econômica – relacionadas aos diferentes setores econômicos em decorrência dos efeitos do evento perigoso, e pode ser na forma interrupção de negócios, perdas de postos de trabalho, entre outros aspectos. 3 – Social – os impactos de um evento podem afetar pessoas de maneira geral, mas principalmente as com deficiências, idosos, escolas de crianças e hospitais. 4 - Ambiental – quando a ação do evento atinge componentes ambientais, por exemplo, como a contaminação de águas subterrâneas ou assoreamento de lagos e reservatórios. 5 - Institucional – quando instituições e edificações públicas são afetadas pelo impacto do evento.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Medidas de Mitigação

As medidas de mitigação são enquadradas como estruturais e não estruturais (Tabela 2). As medidas estruturais são pertinentes a 2 grupos: baseadas em critérios de planejamento e construtivos (Engineered structural measures) e aquelas que não consideram tais critérios (Non-engineered structural measures). As medidas estruturais baseadas em critérios construtivos envolvem a participação de equipe multidisciplinar que tenha conhecimentos sobre o evento perigoso considerado e nas suas consequências. Estas medidas demandam planejamento e projetos que são dependentes das características do evento perigoso e de sua probabilidade de ocorrências, assim como da distribuição espacial e da vulnerabilidade dos elementos do meio ambiente. Um aspecto

fundamental é que estejam substanciadas pela estimativa da probabilidade de ocorrência do evento perigoso, das consequências e da extensão que será afetada, as quais condicionam a elaboração dos códigos e técnicas construtivas, assim como o planejamento territorial e ambiental.

As medidas estruturais não baseadas em critérios construtivos são, basicamente, as desenvolvidas pelas pessoas no sentido de aumentar a resistência de edificações e aumentar a proteção das pessoas das ações dos eventos perigosos. Incluem medidas simples como a construção de barreiras com materiais locais e alternativos, canais de desvios de fluxos, aterros e uso de barreiras de vegetação.

As medidas não estruturais são conceituadas como as voltadas a redução do risco (probabilidade do evento perigoso e consequências) via modificações do comportamento humano ou no processo natural sem que haja necessidade de obras baseadas

em critérios construtivos (Engineered structures). As medidas são, normalmente, consideradas de adaptação das pessoas a natureza, de custo baixo. E adotadas facilmente pela sociedade com baixa necessidade financeira e de recursos tecnológicos.

Tabela 2. Principais medidas de mitigação e algumas observações quanto à aplicação.

CATEGORIAS	MITIGAÇÃO – PRINCIPAIS TIPOS DE MEDIDAS E AÇÕES	EXEMPLOS	OBSERVAÇÕES FUNDAMENTAIS	
Estrutural baseado em critérios de engenharia (engineered structural)	Medidas de regulação	Zoneamentos e orientações para usos baseadas nas estimativas de riscos	Depende da predictabilidade dos eventos e das estimativas de riscos	
	Códigos de edificações	Normas para projetos de edifícios/infraestruturas que aumentem a resistência quanto a pressões externas	Fundamentadas nas intensidades dos eventos e nas probabilidades de ocorrência.	
	Construções resistentes	Aumento da resistência de edificações, infraestruturas, etc.	Frente à intensidade dos eventos	
	Realocação	Considerando custo-benefício, em casos de eventos como deslizamentos é mais adequado realocação edificações	Depende do nível de risco estimado.	No caso de eventos de contaminação das águas e materiais geológicos pode ser a única medida possível.
	Modificações estruturais	Elevação de moradias em caso de inundação	A magnitude da elevação da superfície será função da magnitude e intensidade do evento e da posição topográfica.	
	Construção de Barreiras	Diques e bermas para o caso de inundações	Muros de espera para movimentos gravitacionais de massa	Depressões para deposição de sedimentos gerados pelos processos erosivos
	Construção de sistemas de deflexão	Trincheiras e canais para desvios dos fluxos de águas, fluxos de terra e detritos	Canais inclinados para os materiais de deslizamentos	Sistemas de grades e barreiras para o caso de fluxos de terra e detritos.
	Construção de sistemas de retenção	Barragens seja para o caso de inundação, erosão ou seca.	Estruturas de contenção para o caso de deslizamentos	
	Sistemas de detecção	Sistemas de monitoramento para quase todos os tipos de eventos	Fundamentais para os sistemas de alertas e alarmes	

	Modificações físicas (mudanças no terreno – relevo)	Remoção de materiais geológicos expansivos	Terraceamento para o caso de deslizamentos e erosão.	
	Sistemas de tratamento	Retirada de materiais geológicos contaminados e tratamento ex-situ		
	Redundância em infraestruturas seguras	Redobrar os cuidados com os sistemas de armazenamento de águas		
Estrutural não baseado em critérios de engenharia (non-engineered structural)	Barreiras construídas com materiais locais e alternativos	Controle de eventos de inundação, movimentos de massa gravitacionais e inundações de pequena magnitude.	Apresentam resistência baixa.	Os custos são baixos.
	Trincheiras para a condução de fluxos	Normalmente para redirecionamento de fluxos de água concentrados.		
	Barreiras de vegetação	Controle de avanço de processos erosivos.		
	Barramento em canais	Executados em vales no sentido de acumular águas e evitar alagamentos e inundações		
Não estruturais	Medidas regulatórias	Zoneamento de uso do terreno, Espaços abertos (preservação), Não fornecer serviços públicos em áreas de alto risco, Controle da densidade populacional, Regulação do tipo de uso de edificações, Acordos públicos/privados para usos, Regras para disposição de rejeitos e resíduos, Regulamentações de segurança, Regulamentação para uso dos recursos públicos, Regulamentação de proteção ambiental, Requisitos para obtenção de empréstimos para obras de mitigação, Divulgação para proprietário dos níveis de risco	Estas medidas e ações são as que trazem os melhores resultados, porém demandam que os conhecimentos dos eventos e dos riscos sejam detalhados.	

Programas de educação	Mudanças de comportamento quanto ao entendimento das possíveis consequências,	Fundamental dotar os indivíduos de conhecimentos sobre o evento.	<u>Veja o caso dos incêndios!!</u>
Proteção da comunidade	Avisos, alertas e alarmes	Estes são dependentes de um conhecimento detalhado da ocorrência do evento perigoso, tanto em termos espaciais quanto temporais.	Dependem fortemente dos sistemas de monitoramento. <u>Necessita de credibilidade do processo de monitoramento!!</u>
Modificações físicas não estruturais	Disposição mais segura de moveis e componentes internos das edificações	Dispositivos de combustíveis (gasosos e líquidos) devem ser priorizados	
Controles ambientais	Manejo de vegetação, Reflorestamento, Preservação de dunas, mangues, planícies marginais a canais de drenagem, Áreas de deposição de sedimentos e de acúmulos de águas, etc.....	São fundamentais no controle de muitas fontes de eventos como os movimentos de massa gravitacionais, erosivos, inundações, assoreamentos, incêndios	
Modificações comportamentais	Racionamentos, Práticas de conservação ambiental, Apoios e incentivos as práticas mais seguras nas atividades de vida, orientações para aumentar a resiliência e a resistência,		
Transferência de riscos	Seguros, Fundos financeiros, Regulamentação de serviços públicos, Resseguro de infraestrutura pública e de bens privados, Elaboração de estratégias de proteção financeira.	No Brasil este sistema é ainda incipiente, principalmente em função dos prognósticos dos eventos	
Compartilhamento de riscos	Acordos para que perdas sejam divididas por um grupo de indivíduos	Construções de abrigos	
Distribuição de riscos	Redistribuição entre os diferentes segmentos da sociedade.	No Brasil, ainda muito distante, porém as perdas afetam todos os segmentos da área atingida pelo evento.	

Fonte: Elaborado pelo autor.

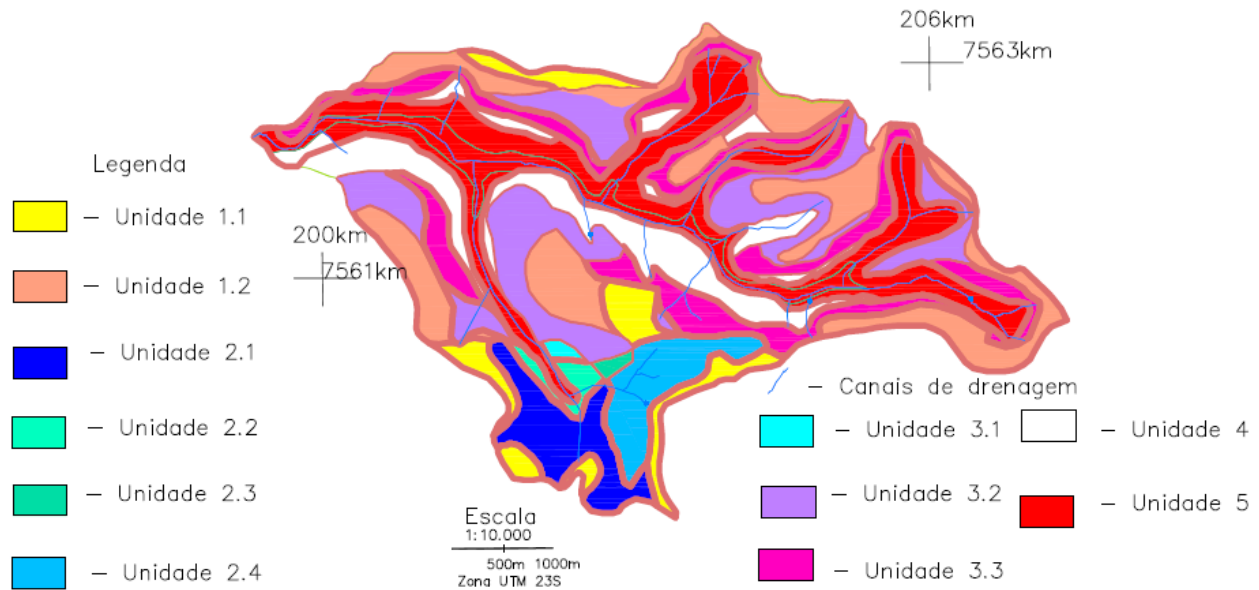
5. Adoção de Medidas de Prevenção e Mitigação

A seleção de medidas de prevenção e mitigação depende do conhecimento adequado do evento perigoso e das suas consequências. Como exemplo desta necessidade tem-se os eventos perigosos de inundação na bacia do Córrego do Gregório, na cidade de São Carlos (SP) que intensificaram nos últimos 40 anos. Os processos de inundação apresentam uma probabilidade de ocorrência anual da ordem de 0,35 considerando a série de eventos nos últimos 120 anos e, quando, se considera uma série dos últimos 40 anos, a probabilidade anual é da ordem de 0,52. Estes dados elevados de probabilidade são frutos de que 75% da bacia encontra-se urbanizada e com um coeficiente de Manning das vertentes menores que 0,01 e capacidade de armazenamento de cerca de 2mm de chuva, quando em condições naturais, o coeficiente de Manning variava de 0,4 a 0,6 e a capacidade de armazenamento da ordem de 20 a 50mm. Estes valores condicionam tempo de permanência das águas de chuva nas vertentes muito curtos e, conseqüentemente, tempos de pico e de concentrações curtos, gerando as inundações para determinados tipos de eventos de chuva.

No sentido de minimizar os riscos decorrentes destacam-se 2 caminhos de prevenção e mitigação como os mais adequados: o primeiro, promover a retenção das águas nas vertentes, com medidas como os Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SDSs) e o segundo, o aumento da vazão do canal principal do Córrego do Gregório, o que envolveria desapropriação de áreas laterais ao canal e o aumento da secção do canal para propiciar uma vazão maior para que não haja espalhamento das águas.

Considerando o caso das medidas relacionadas aos SDSs, é necessário um estudo detalhado e o zoneamento quanto à adequabilidade dos diferentes tipos de SDSs (Figura 7) baseado em características geológicas, geotécnicas, geomorfológicas e dos usos e ocupações (Tabela 3) de acordo com Zuquette *et al.* (2022).

Figura 7. Mapa de zoneamento da adequabilidade de Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SDSs).



Fonte: Zuquette et al. (2022).

Tabela 3. Síntese das características intrínsecas das zonas de adequabilidade dos Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SDSs).

Zona	Unidade geológica	Características básicas				Aspectos de adequabilidade				
		Condutividade Hidráulica (K) da camada superficial (m/s)	Subzona	Profundidade da zona saturada (m)	Profundidade do topo rochoso (m)	Condição de funcionalidade	Condição construtiva	Condição de drenagem subsuperficial	Condição potencial de contaminação das águas subsuperficiais	Condição de estabilidade
1	Unidade 1 Unidade 2	10^{-5} a 10^{-6}	1.1	> 10	> 10	Favorável/ Moderada	Camada superficial quando compactada ou ausente devido às atividades antropogênicas afeta a condição de instalação.	Favorável desde que a camada superficial não esteja compactada.	Em algumas condições podem contaminar o topo da zona saturada próximos as fontes, o que poderá afetar a qualidade das águas que fluem das fontes.	Colapsividade

			1.2	> 10	5 a 10	Favorável/ Moderada	Camada superficial compactada ou ausente devido às atividades antropogênicas. A profundidade do topo rochoso pode limitar a profundidade e eficiência do sistema.	Com condições moderadas visto que a camada superficial está sobre camada de material com menores valores de K.	Condição mais severa que a da Subzona 1.1	Colapsividade No caso da sobreposição da Fm. Itaqueri pode ocorrer siltitos e argilitos com minerais expansivos.
2	Unidade 3 Unidade 9	10 ⁻⁴ a 10 ⁻⁶	2.1	> 10	> 10	Favorável	Camada superficial compactada ou ausente devido às atividades antropogênicas. Problema de instabilidade devido à baixa coesão apresentada pelo material geológico.	Favorável, desde que a camada superficial não esteja compactada ou ausente devido às atividades antropogênicas. As águas do escoamento superficial podem apresentar altas taxas de sedimentos.	As condições são severas visto que é uma área de recarga do principal aquífero e o material geológico apresenta capacidade de sorção e retardamento baixa. É aconselhável o uso de BRP horizontais conforme procedimentos constantes de Rocha & Zuquette, 2020a,b.	Colapsividade Índice de erodibilidade elevado o que pode gerar instabilidade em taludes escavados, assim como de sedimentos.
			2.2	> 10	5 a 10	Favorável	Condição semelhante à subzona 2.1.	Similar a subzona 2.1.	Condição semelhante à subzona 2.1.	Semelhante a subzona 2.1.
			2.3	5 a 10	5 a 10	Moderada	Condição semelhante à subzona 2.1.	Similar a subzona 2.1.	As condições são mais severas que a subzona 2.1.	Semelhante a subzona 2.1.
			2.4	5 a 10	> 10	Moderada	Condição semelhante à subzona 2.1.	Similar a subzona 2.1.	As condições são mais severas que a subzona 2.1.	Semelhante a subzona 2.1.

3	Unidade 1 Unidade 2 Unidade 11	10^{-5} a 10^{-6}	3.1	5 a 10	> 10	Moderada	A ocorrência de camadas compactadas ou ausentes impõe restrições devido às profundidades da zona saturada.	Condição moderada desde que a camada não esteja compactada ou ausente.	A condição de potencial contaminação do topo da zona saturada próximos as fontes é maior que na zona 1.	Colapsividade No caso da sobreposição da Fm. Itaqueri pode ocorrer siltitos e argilitos com minerais expansivos.
			3.2	5 a 10	5 a 10	Moderada	A profundidade e a eficiência do sistema podem ser condicionadas em função do topo rochoso com K muito baixo	Moderada a severa devido à profundidade menor do topo rochoso poderá ocorrer uma acumulo de água infiltrada gerando uma zona saturada suspensa e o fluxo paralelo a superfície do topo rochoso.	Semelhante a Subunidade 3.1.	Devido à menor profundidade do topo rochoso pode ocorrer siltitos e argilitos com minerais expansivos.
			3.3	10 a 5	3 a 5	Moderada/ Severa	Similar a 3.2	Severa devido à profundidade menor do topo rochoso poderá ocorrer uma acumulo de água infiltrada gerando uma zona saturada suspensa e o fluxo paralelo a superfície do topo rochoso.	Similar a Unidade 3.1	Similar a Unidade 3.2
4	Unidade 4 Unidade 7 Unidade 8	10^{-5} a 10^{-9} (com predomínio de $<10^{-6}$)		3 a 5	3 a 5	Severa	Na unidade 8 podem ser encontrados matacões. Nas camadas saprolíticas existe possibilidade de minerais expansivos.	Severa a restritiva devido aos valores de K e a profundidade da zona saturada.	Os materiais geológicos apresentam capacidade de sorção e de retardamento elevada o que gera uma proteção adequada.	Podem ocorrer materiais com minerais expansivos, devido à baixa permeabilidade pode ocorrer acumulo de água de maneira que surjam fluxos em superfície e

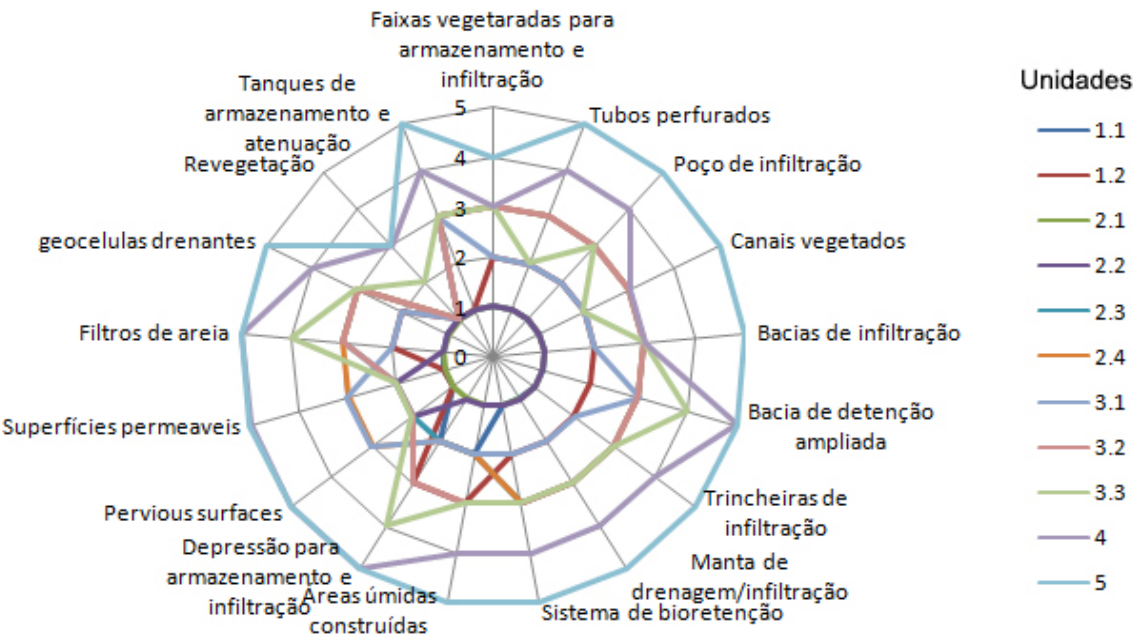
										instabilidade dos sistemas.
5	Unidade 4 Unidade 5 Unidade 6 Unidade 10 Unidade 7 Unidade 8	10^{-5} a 10^{-9} (com predominio de $<10^{-6}$)		<3	<3	Restritiva	Restritiva	Restritiva devido a K baixos, topo da zona saturada muito raso.	Profundidade da zona saturada	Compressibilidade e Expansibilidade em camadas saprolíticas.

Fonte: Zuquette et al. (2022).

Na Figura 8 encontra-se um gráfico com os graus de adequabilidade (ver legenda) para cada tipo de medida SDSs que pode ser adotada na bacia visando aumentar o tempo de permanência das águas de chuva na vertente e/ou diminuir a taxa do escoamento superficial com o aumento da infiltração.

Observa-se que não há um tipo de SDS que é adequado para todas as unidades, ou seja, diferentes tipos de SDS devem ser adotados. Ressalta-se que após esta análise é fundamental as análises de custos, assim como diretrizes que fariam parte das orientações dos planos diretores.

Figura 8. Gráfico com os graus de adequabilidade de cada tipo de SDSs considerando as características intrínsecas.



Legenda: As condições de adequabilidade para cada unidade são: 1 – Favorável, 2 – Pouco favorável, 3 – Moderada, 4 – Severa, 5 - Restritiva

Fonte: Elaborado pelo autor.

6. Considerações Finais

Considerando os aspectos, conceitos e as possibilidades de ações de prevenção e medidas de mitigação, pode-se afirmar que é um processo que somente será efetivo se estiver embasado em dados confiáveis sobre o evento perigoso, as consequências, sobre a área que seria afetada, assim como da vulnerabilidade dos elementos inseridos na área. Para tanto é necessário que equipes multidisciplinares atuem nas diferentes etapas do processo e que, para qualquer nível administrativo, municípios, estados, regiões e país, estas ações sejam objetivos sérios e com continuidade temporal.

7. Referências

BAAS, S., RAMASAMY, S., PRYCK, J. D., BATTIST, F. Disaster risk management systems analysis. FAO Environment and Natural Resources Service Series, N. 13 - FAO, 90 p., 12 figures, 9 tables, Rome, 2008.

BATES, R.L.; JACKSON, J.A.J. (Eds). Glossary of Geology. 3rd. Edition. American Geological Institute, Alexandria-USA. 1984.

BIRKMAN, J. (Ed.), Measuring Vulnerability to Natural Hazards— Towards Disaster-Resilient Societies. UNU Press, Tokyo, New York. 2006.

BLAIE, P., CANNON, T., DAVIS, I. and WISNER, B. At risk: natural hazards, people's Vulnerability, and Disasters. London: Routledge. 1994.

BURTON, I. AND R. W. KATES. The Perception of Natural Hazards in Resource Management. Natural Resources Journal, v. III, n. 3, p. 412-441, 1964.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. Risk Management: Guideline for Decision-Makers. A National Standard of Canada. Canadian Standards Association, CAN/CSA-Q850-97. 1997. (Reaffirmed 2002 without change).

CARDONA, O. D. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism

for Effective Risk Management. In G. Bankoff, G. Frerks, and D. Hilhorst, editors, Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People, chapter 3. London, 2003.

FAILACHE, M.; PONS, N.; PEJON, O.; ZUQUETTE, L. Suitability Zoning for Sustainable Drainage Systems (SuDSs): Application in a Basin in Southern Brazil. Sustainability, 2022, v.14, n.5, 2577. <https://doi.org/10.3390/su14052577>.

FEMA. Mitigation Ideas. A Resource for Reducing Risk to Natural Hazards. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-06/fema-mitigation-ideas_02-13-2013.pdf

HEWITT, K. Regions of Risk. Longman. Harlow Resilient Societies. UNU Press, Tokyo, New York, 1997.

MANYENA, S.B.. The concept of resilience revisited. Disasters. v. 30, n. 4, p. 434-450, 2006. <https://doi.org/10.1111/j.0361-3666.2006.00331.x>

PROVENTION CONSORTIUM. Vulnerability and Capacity Analysis. Guidance Note 9. Geneva, 2007. www.proventionconsortium.org/themes/default/pdfs/tools_for_mainstreaming_GN9.pdf.

RESILIENCE ALLIANCE. Glossary. Resilience Alliance. 2005. Acessado: Agosto, 2015. <http://www.resalliance.org/glossary>.

SCHEIDEGGER, A. E. Hazards: singularities in geomorphic systems. Geomorphology, v. 10, n.1, p. 19-25, 1994. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(94\)90005-1](https://doi.org/10.1016/0169-555X(94)90005-1).

TURNER BL II, KASPERSON RE, MATSON PA ET AL A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proc Nat Acad Sci USA, v. 100 n. 14 p. 8074–8079. 2003. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>

UNDHA. Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management. UN DHA (United Nations Department of Humanitarian Affairs), Geneva, December 1992.

UNDRO. Mitigation natural disasters: phenomena, effects, and options. A manual for policy makers and planners, Office of the United Nations Disaster Relief Co-ordinator, Geneva, 1991.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). Indicators of Progress: Guidance on Measuring the Reduction of Disaster Risks and the Implementation of the Hyogo Framework for Action. UNISDR, Geneva, Switzerland, 2008.

UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction). Terminology on Disaster Risk Reduction. 2009. <https://www.undrr.org/publication/2009-unisdr-terminology-disaster-risk-reduction>

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. GAR Special Report: Measuring Resilience for the Sustainable Development Goals. Geneva. 2023.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION AND G20 WORKING GROUP ON DRR. Good Practices for Increasing the Application of Ecosystem-based Adaptation and Nature-based Solutions for Disaster Risk Reduction Volume II. 2024.

VARNES, D.J. Landslide Hazard Zonation: A Review of Principles and Practice. Unesco, Paris. 1984.

VILLAGRÁN DE LEÓN, J.C. Vulnerability: A conceptual and methodological review. SOURCE Publication Series of UNU-EHS, 4, United Nations University Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), Bonn, Germany. 2006.

YANG G, ZHANG P, YU F AND ZHU X A review on resilient cities research from the perspective of territorial spatial planning: a bibliometric analysis. Front. Ecol. Evol. v.11, 1300764. 2023. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1300764> .

WISNER, B., BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I. At Risk: Natural hazards, People's Vulnerability and Disasters. Second ed. Routledge, London. 2004.

ZUQUETTE, L.V. Riscos, Desastres e Eventos Naturais Perigosos. Aspectos conceituais na análise e estimativas de riscos. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ. (ISBN 978.85-352-8209-2). 2017.

ZUQUETTE, L.V. Riscos, Desastres e Eventos Naturais Perigosos. Fontes de eventos perigosos. Elsevier, Rio de Janeiro, RJ. (ISBN 978.85-352-8952-7). 2018.

ZUQUETTE, L. V. (Org.). Geotecnia ambiental. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. xxxii, 399 p. ISBN 9788535280586.

ZUQUETTE, L.; FAILACHE, M.; BARBASSA, A. Assessment of Depressional Wetland Degradation, Spatial Distribution, and Geological Aspects in Southern Brazil. Geosciences. v. 10, n. 8, 296, 2020. <https://doi.org/10.3390/geosciences10080296>

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. Cartografia Geotécnica. Editora Oficina de Textos. São Paulo, SP, 2004, 190p.

ZUQUETTE, L.V., FAILACHE, M., PONS, N.A.D., PEJON, O.J.. Proposta de procedimentos para o zoneamento quanto a adequabilidade para Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SDS) baseada em características geológicas e geotécnicas: Aplicação na Bacia do Córrego do Gregório, São Carlos (SP), Brasil. Geociências, v. 41, n. 2, p. 373 - 390, 2022. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v41i02.15851>

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM PROPRIEDADES ELÉTRICAS (CCPE) APLICADOS À INFRAESTRUTURA URBANA: UMA BREVE REVISÃO

Cementitious Composites With Electrical Properties (CCCEP) Applied to Urban Infrastructure: A Brief Review

Compuestos de Cemento con Propiedades Eléctricas (CCPE) Aplicados a la Infraestructura Urbana: Una Breve Revisión

SILVA, J. B. L. P.¹; SILVA, C. T. O.²; MARÇULA, S. C.³;
LINTZ, R. C. C.⁴; GACHET, L. A.⁵

Resumo

A demanda por infraestrutura que atenda aos anseios econômicos, sociais e ambientais, carece de avanços tecnológicos provenientes de pesquisas nos mais diversos campos, inclusive no desenvolvimento e aperfeiçoamento de compósitos cimentícios como argamassas e concretos, os quais são amplamente utilizados em obras de infraestrutura. Neste sentido, a sociedade acadêmica tem buscado agregar novas funcionalidades aos compósitos cimentícios, ao ponto que a melhora das propriedades elétrica ganha destaque. Quando melhoradas, essas propriedades permitem que os compósitos sejam usados como coletores de energia elétrica, sistema de detecção de tráfego, blindagem eletromagnética, monitoramento estrutural, entre outros. Para isso, materiais eletricamente condutivos, como carbono e metais são incorporados à matriz cimentícia. Estudos têm demonstrado que tais compósitos têm apresentado características multifuncionais, pois além de funcionarem como componentes estruturais, por exemplo, no caso de uma ponte, um túnel ou um pavimento, também são capazes de oferecer outras funcionalidades como gerar, transmitir ou armazenar energia elétrica. Contudo, mais pesquisas são necessárias para se superar todos os desafios técnicos, econômicos e ambientais, visando o uso dos compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPEs) em construções reais. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um panorama de pesquisas com CCPEs que contribuam para a identificação de campos para pesquisa futura.

Palavras-chave: Materiais da construção civil, impedância, condutividade, propriedades multifuncionais.

¹ SILVA, J. B. L. P. - João Batista Lamari Palma e Silva. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7115-6385>, jblamari@unicamp.br

² SILVA, C. T. O. - Camila Tiemi Ozaki e Silva. Doutoranda na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0678-2624>, c210427@dac.unicamp.br

³ MARÇULA, S. C. - Stephanie Cucolo Marçula. Doutoranda na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4858-0043>, s237360@dac.unicamp.br

⁴ LINTZ, R. C. C. - Rosa Cristina Cecche Lintz. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7201-3260>, rosaint@unicamp.br

⁵ GACHET, L. A. - Luísa Andréia Gachet. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1661-2605>, gachet@unicamp.br

COMO CITAR:

SILVA, J. B. L. P., SILVA, C. T. O., MARÇULA, S. C., LINTZ, R. C. C., GACHET, L. A. COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS COM PROPRIEDADES ELÉTRICAS (CCPE) APLICADOS À INFRAESTRUTURA URBANA: UMA BREVE REVISÃO. Engenharia Urbana Em Debate. Engenharia Urbana Em Debate, 6(1). <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v6i1.151>

Data da Submissão:
13 de janeiro de 2025
Data da Aprovação:
03 de março de 2025
Data da Publicação:
10 de março de 2025



Abstract

The demand for infrastructure that meets economic, social and environmental needs requires technological advances from research in a wide range of fields, including the development and improvement of cementitious composites such as mortars and concretes, which are widely used in infrastructure projects. In this sense, academia has sought to add new functionalities to cementitious composites, to the point that improving their electrical properties has gained prominence. When improved, these properties allow the composites to be used as electrical energy collectors, traffic detection systems, electromagnetic shielding, structural monitoring, among others. To this end, electrically conductive materials such as carbon and metals are incorporated into the cementitious matrix. Studies have shown that such composites have multifunctional characteristics, since in addition to functioning as structural components, for example, in the case of a bridge, a tunnel or a pavement, they are also capable of offering other functionalities such as generating, transmitting or storing electrical energy. However, more research is needed to overcome all the technical, economic and environmental challenges, aiming at the use of cementitious composites with electrical properties (CCEPs) in real constructions. Thus, the objective of this work is to present an overview of CCEPs research that contributes to the identification of fields for future research.

Keywords: building materials, impedance, conductivity, multifunctional properties.

Resumen

La demanda de infraestructura que atienda las preocupaciones económicas, sociales y ambientales requiere avances tecnológicos resultantes de la investigación en los más diversos campos, incluido el desarrollo y mejora de compuestos cementosos como morteros y concretos, ampliamente utilizados en obras de infraestructura. En este sentido, la sociedad académica ha buscado agregar nuevas funcionalidades a los composites cementosos, hasta el punto de que la mejora de las propiedades eléctricas ha ganado protagonismo. Cuando se mejoran, estas propiedades permiten que los compuestos sean utilizados como colectores de energía eléctrica, sistemas de detección de tráfico, blindaje electromagnético, monitoreo estructural, entre otros. Para lograrlo, se incorporan a la matriz de cemento materiales eléctricamente conductores, como carbono y metales. Los estudios han demostrado que dichos compuestos tienen características multifuncionales, ya que además de funcionar como componentes estructurales, por ejemplo, en el caso de un puente también son capaces de ofrecer otras funcionalidades como generar, transmitir o almacenar energía eléctrica. Sin embargo, se necesita más investigación para superar todos los desafíos técnicos, económicos y ambientales, apuntando al uso de compuestos cementosos con propiedades eléctricas (CCPEs) en construcciones reales. Así, el objetivo de este trabajo es presentar una visión general de la investigación con CCPEs que contribuya a la identificación de campos para futuras investigaciones.

Palabras-clave: materiales de construcción, impedancia, conductividad, propiedades multifuncionales.

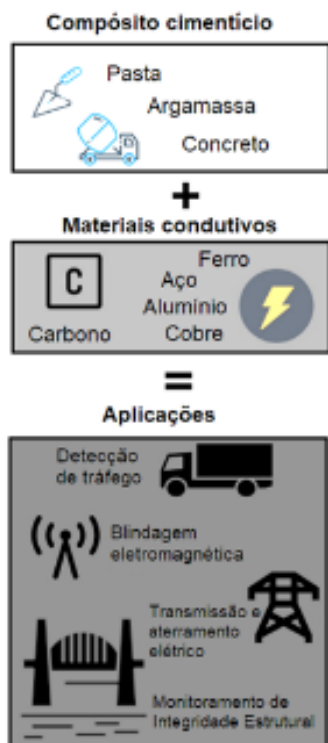
1. Introdução

A previsão do Governo Federal brasileiro para investimentos em infraestrutura é de R\$ 1,4 trilhão até o ano de 2026, por meio do programa Novo PAC (Brasil, 2023). É esperado que, além de aumento de obra, estas obras utilizem novas tecnologias, para diminuir custos de construção, operação e manutenção, além de atenuar os impactos ambientais e sociais.

Uma maneira de maximizar o uso de materiais e/ou compósitos se dá por meio de métodos que possam adicionar funcionalidades complementares a estes. Por exemplo, um concreto, que poderá ter múltiplos usos, além de servir como elemento estrutural.

Neste sentido tem-se os compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPEs) que, seja na forma de pastas de cimento, argamassas ou concretos, pode dispor de propriedades que possibilitem diversas aplicações (Figura 1). Essas aplicações envolvem usos como, por exemplo: blindagem contra interferências eletromagnéticas, aterramento elétrico, monitoramento de tráfego de veículos, proteção catódica, monitoramento de integridade estrutural, entre outras funcionalidades (Wang & Aslani, 2019).

Figura 1 – Exemplos de aplicações de compósitos cimentícios com propriedades elétricas



Fonte: Adaptado de Silva (2024)

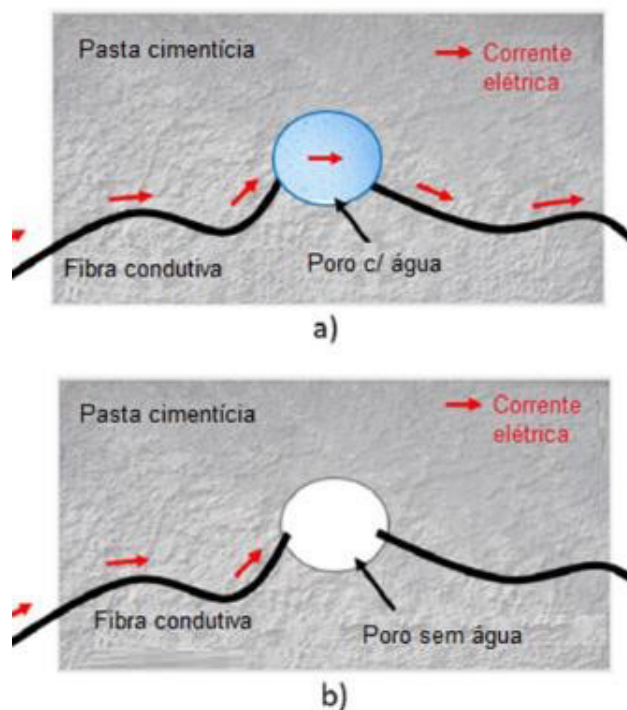
Compósito cimentícios são considerados eletricamente isolante – mau condutor –, portanto, para que tenham suas propriedades elétricas modificadas, é necessário incorporar fillers eletricamente condutivos que permitam a passagem de corrente elétrica, podendo, por exemplo, aumentar sua condutividade elétrica (Wang & Aslani, 2021).

Entretanto, outras questões além dos materiais eletricamente condutores incorporados a um compósito cimentícios, interferem em sua condutividade elétrica, tais como: a presença ou não de água nos poros, a teoria do limiar de percolação e a teoria do efeito de tunelamento quântico.

A água nos poros serve como um caminho entre as partículas condutoras (Figura 2) que porventura não mantenham contato direto entre si (Yoo et

al., 2017). O aumento da condutividade elétrica devido a água presente nos poros do compósito, ocorre pelo fato da possibilidade de que os íons hidratados se movam livremente na água, na condição de portadores de corrente elétrica (Chuang et al., 2017).

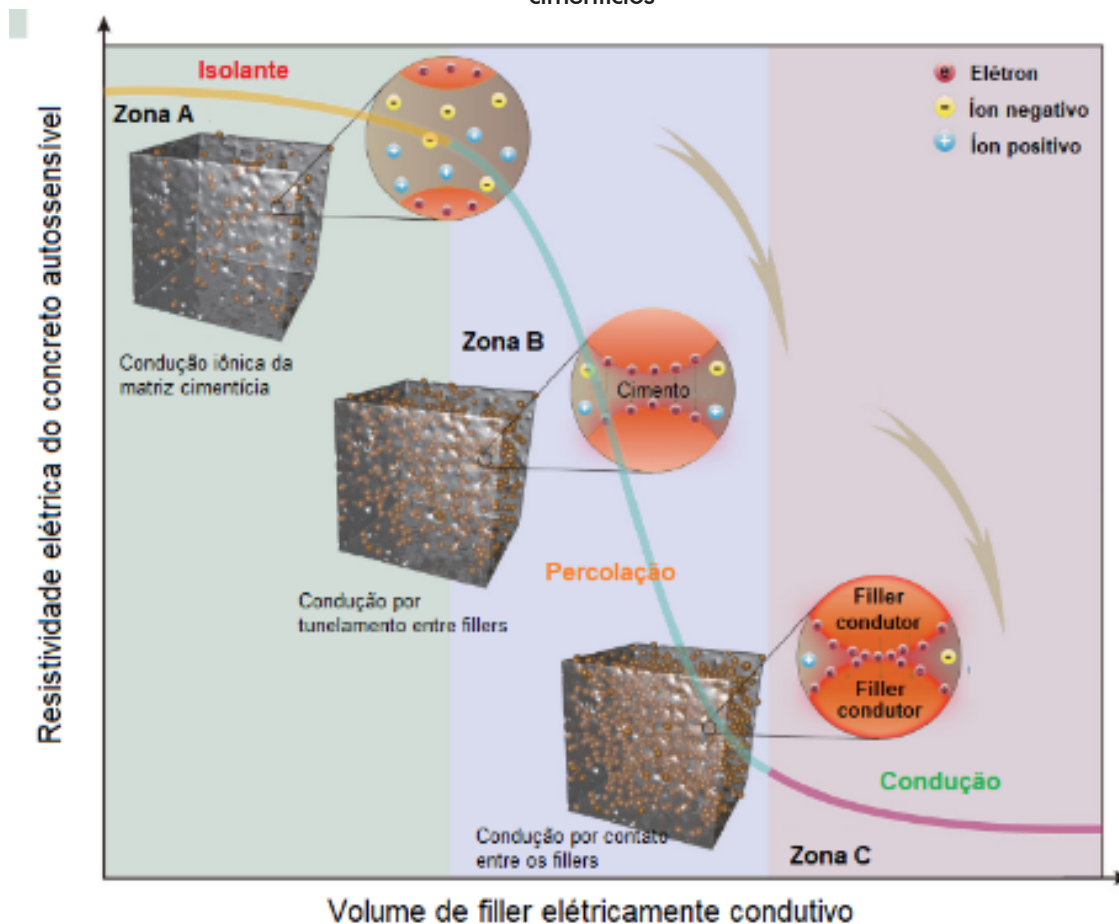
Figura 2 – Esquema comparativo entre o caminho condutivo da pasta de cimento (a) com água e (b) sem água.



Fonte: Wang & Aslani (2019) apud Silva (2024).

As variações de propriedades elétrica em compósitos cimentícios, também são justificadas pelas teorias do limiar de percolação e do efeito de tunelamento quântico (Han et al., 2020). O limiar de percolação (Figura 3) é o estágio em que uma transição abrupta ocorre da fase isolante para a fase de maior condutividade elétrica que o compósito pode atingir. Isso se dá mediante o aumento da incorporação de um material eletricamente condutor junto a matriz cimentícia (Haghgoo et al., 2022).

Figura 3 – Zonas (isolante, percolação ou transição e condução) de resistividade elétrica em compósitos cimentícios

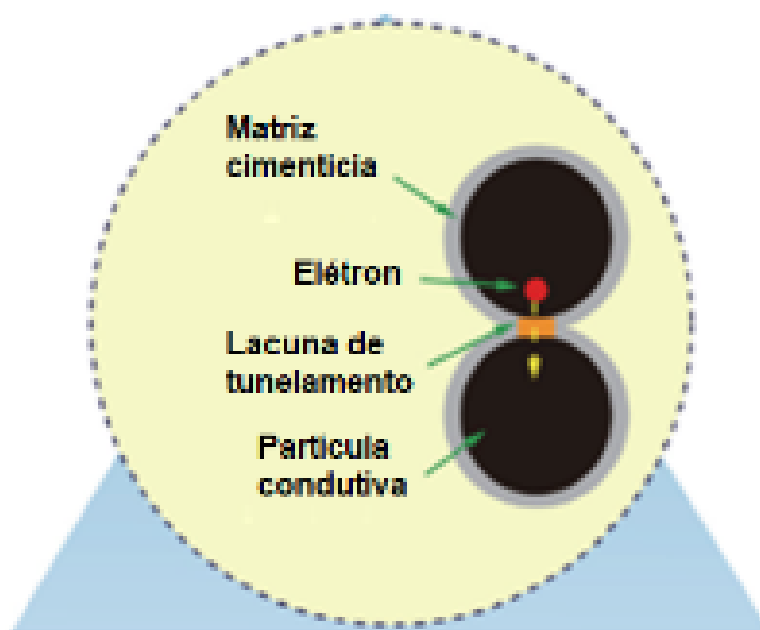


Fonte: Ding *et al.* (2019) apud Silva (2024).

Já o tunelamento quântico ocorre devido à distância demasiadamente pequena entre partículas eletricamente condutoras que não possuem contato direto (Figura 4), mas permitem

que um elétron ou carga elétrica salte de uma partícula para outra, sem que haja um caminho formado por um material condutor (Chuang *et al.*, 2017).

Figura 4 – Esquema ilustrativo de tunelamento entre partículas condutoras sem contato

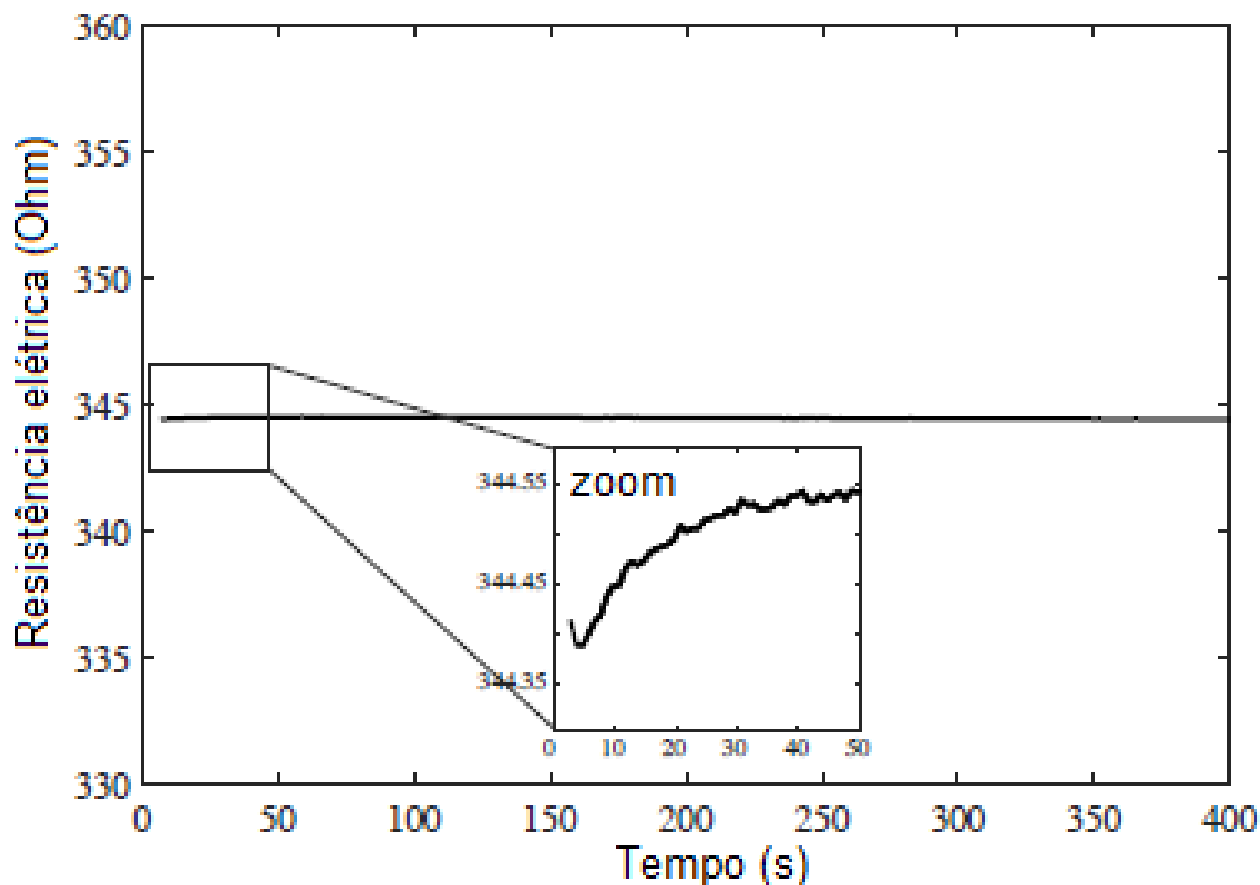


Fonte: Ding *et al.* (2019) apud Silva (2024).

Outro aspecto significativo sobre a condutividade elétrica de compósitos cimentícios, é que esses não exibem um comportamento puramente ôhmico, uma vez que se assemelham as características de materiais dielétricos (D'Alessandro *et al.*, 2014; Downey *et al.*, 2018). Essas características estão

ligadas tanto à resistência quanto à capacitância, resultando em valores instáveis de resistência elétrica (Figura 5) em um determinado período da medição (Chung & Xi, 2022; Chung, 2021a; Chung, 2021b), o que se dá em função da polarização elétrica.

Figura 5 – Variação da resistência elétrica em função do efeito de polarização causado por propriedades capacitivas durante alimentação com corrente contínua



Fonte: Birgin *et al.* (2020) apud Silva (2024).

A movimentação de íons livres presentes na matriz cimentícia acontece devido a aplicação de uma excitação elétrica, criando assim um campo elétrico na direção contrária do fluxo da corrente. Essa situação gera o efeito de polarização elétrica, o que gera o aumento da resistividade por um determinado período (Dehghani & Aslani, 2021).

Assim, a seleção das técnicas e métodos de análise de propriedades elétricas de compósitos cimentícios é uma questão altamente relevante para realização das análises desejadas. Contudo, ainda não há consenso na comunidade acadêmica, gerando diversas formas e modelos diferentes de medição e equipamentos, demonstrando assim ser um campo de pesquisa relevante.

Portando, é essencial não limitar o uso de um material ou de um compósito apenas para uma finalidade, mas sim explorar novas funcionalidades, a fim de torná-lo um agente promotor de desenvolvimento sustentável (Qin *et al.*, 2024). Assim, é crucial entender a situação destes materiais e compósitos multifuncionais, que têm sido foco de diversas pesquisas nos últimos anos. Por tanto, o objetivo deste trabalho é realizar uma breve revisão bibliográfica sobre compósitos cimentícios com propriedades elétricas (CCPEs).

2 Materiais e Métodos

Para compreender a relevância do estudo das propriedades elétricas para compósitos cimentícios na infraestrutura, foi realizada análise bibliométrica por meio de busca pelos termos da Quadro 1, junto ao sistema de pesquisas da plataforma

ScienceDirect (acesso em 23/11/2024) nos campos “Title, abstract or author-specified keywords”, no modo de busca avançada para os últimos 10 anos.

Quadro 1 – Termos e operadores booleanos da pesquisa na plataforma ScienceDirect

Termos Elétricos	Termos cimentícios	Termos de obras de infraestrutura
("electrical properties")	AND (cement OR concrete)	AND (road OR dam OR bridge OR infrastructure)
("electrical conductivity")		
("electrical impedance")		
("electrical resistance")		
("electrical resistivity")		

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Ainda a partir dos resultados da busca em questão, os dados como título, resumo e palavras-chave das publicações identificadas, foram inseridas no software de análise bibliométrica VOSviewer (versão 1.6.20), para análise tipo co-ocorrência, em configuração default, por meio dos arquivos com a extensão “ris” do inglês *Research Information Systems*. Tal análise visou a criação de mapa de baseado em dados bibliográficos.

Por meio dessa análise bibliográfica, os títulos e resumos foram lidos a fim de se selecionar artigos relacionados a aplicação dos CCPEs. Durante a leitura, chamou a atenção as diferentes técnicas de medição de propriedades elétricas que foram brevemente descritas neste artigo.

3 Resultados e Discussões

3.1. Análise Bibliométrica

A partir dos resultados das buscas junto a plataforma ScienceDirect em foram localizados um total de 198 publicações (artigos de revisão, de pesquisa e livros), distribuídos conforme valores

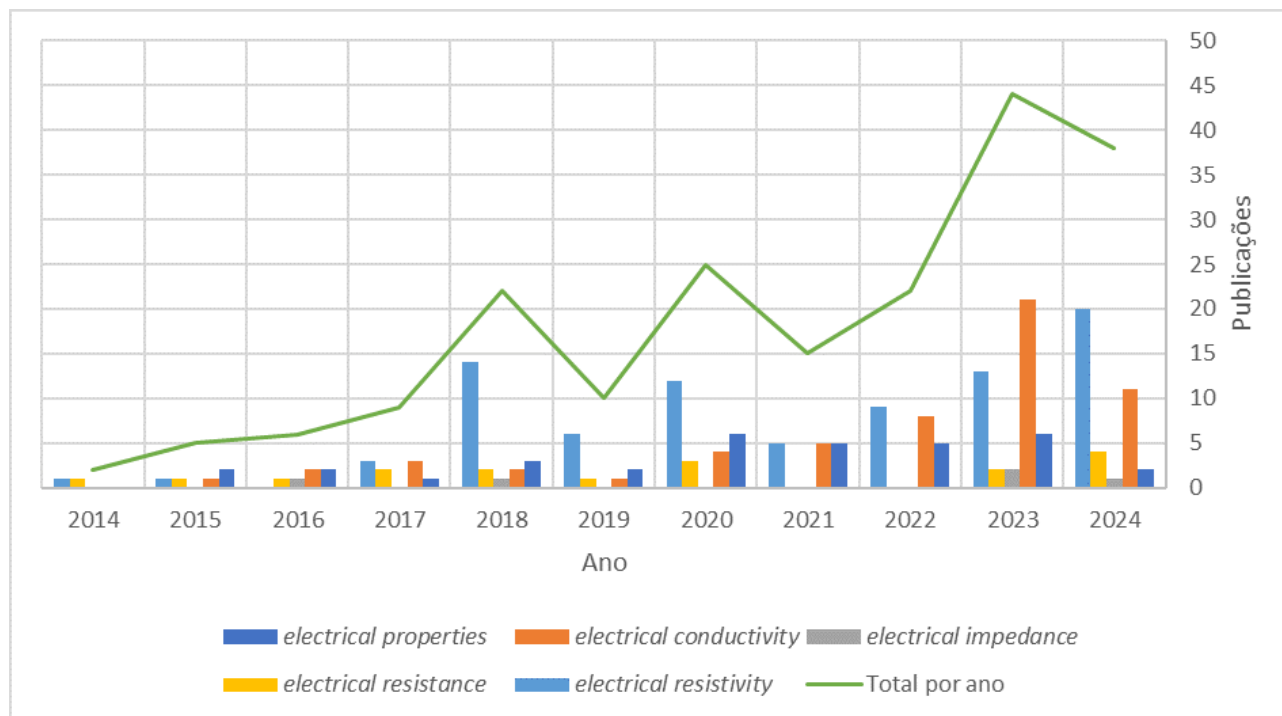
apresentados na Tabela 1. Na análise por ano de publicação os resultados são apresentados na Figura 6. Todos estes resultados levaram em consideração os termos “elétricos”, “cimentícios” e de “obras de infraestrutura”, parametrizados na ferramenta de buscas.

Tabela 1 – Termos e operadores booleanos da pesquisa na plataforma ScienceDirect

Termos elétricos	Quantidade
("electrical properties")	34
("electrical conductivity")	58
("electrical impedance")	5
("electrical resistance")	17
("electrical resistivity")	84
Total de publicações	198

Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Figura 6 – Quantidades anuais de publicações na plataforma ScienceDirect para termos pré-definidos

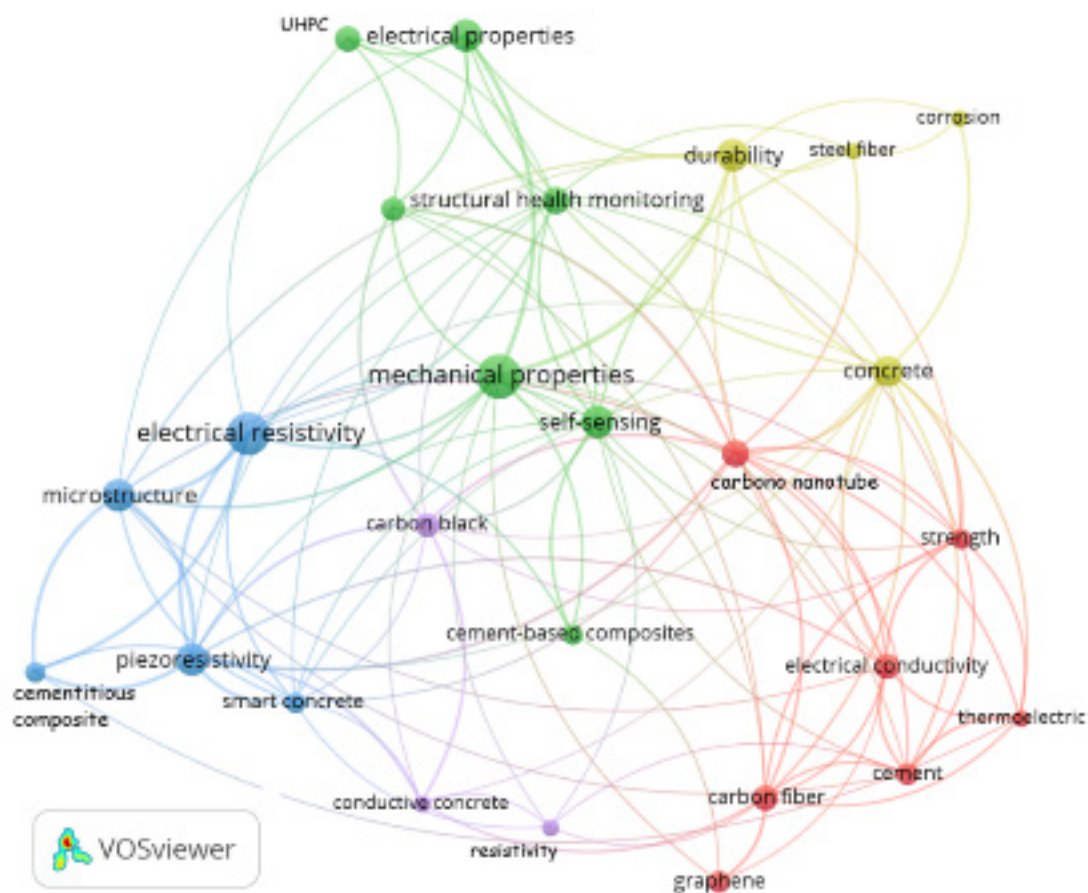


Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Observa-se que um número crescente de pesquisas tem sido reportado nos últimos anos na temática dos estudos das propriedades elétricas de compósitos cimentícios aplicados a infraestrutura. Estes números mostram ainda que apesar do crescimento das publicações, em valores absolutos a temática em questão carece de mais pesquisas.

Por meio da rede de conexões gerada pelo software VOSviewer a partir dos dados bibliográficos, foi possível obter o mapa da Figura 7, o qual levou em consideração a co-ocorrência dos principais 26 termos identificados pelo referido software.

Figura 7 – Mapa de rede de conexão dos principais termos de co-ocorrência



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Ainda em relação aos termos da rede de conexão da Figura 7, é possível observar o uso de materiais emergentes na produção de CCPEs como grafeno, negro de fumo e nanotubo de carbono, os quais apresentam alta condutividade elétrica e boas

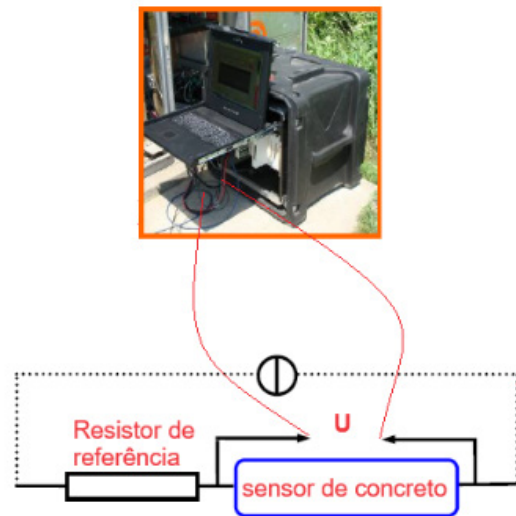
propriedades mecânicas. Entretanto, também são observados materiais convencionais como fibras de aço e de carbono, os quais também conferem melhoras em propriedades elétricas e mecânicas dos compósitos.

3.2. Técnicas de medição de resistência elétrica em compósitos cimentícios

Quanto à forma de medição de resistência elétrica em compósitos cimentícios, nota-se que pode ser realizada por meio de diversas técnicas e métodos. Com isso, o método empregado para medir de grandezas como resistência elétrica pode causar um impacto considerável nos resultados das propriedades elétricas analisadas. Tais métodos podem abranger o uso de circuitos alimentados por corrente alternada (CA), bem como por corrente contínua (CC). Em diversos casos as medições de resistência elétrica envolvem o uso de um circuito que seja alimentado por CC (Figura 8), visando a determinação da queda de tensão elétrica (U), o que possibilita a obtenção do valor da resistência elétrica (Dong *et al.*, 2019; Han *et al.*, 2020; Scholle & Sinapius, 2021).

O Quadro 2 relaciona as principais referências, o tipo de compósito estudado, o material condutivo inserido, a propriedade elétrica estudada e o tipo de corrente e de corpo de prova e eletrodos usados para a medição.

Figura 8 – Medição de tensão elétrica por meio do uso de circuito divisor de tensão para determinação da resistência elétrica em sensor produzido em concreto



Fonte: Adaptado de Han *et al.* (2013)

Quadro 2 – Técnicas e métodos para medição de resistência elétrica em compósitos cimentícios e suas respectivas referências

Referência	Compósito Cimentício	Material Condutivo inserido	Propriedade Elétrica estudada	Modelo de corpo de prova e eletrodo
Silva <i>et al.</i> (2024a)	Argamassa	Resíduo de Lona de Freio	Impedância (CA)	Cúbicos com inserção de eletrodos de placa de alumínio
Silva <i>et al.</i> (2024b)	Argamassa	Resíduo de Lona de Freio	Impedância e Piezorresistividade (CA)	Prismáticos com inserção de eletrodos de placa de cobre
Marçula <i>et al.</i> (2024)	Argamassa	Microfibras de Carbono	Impedância e Piezorresistividade (CA)	Prismáticos com inserção de eletrodos de placa de cobre
Birgin <i>et al.</i> (2023)	Argamassa com cimento e areia	Microfibras de Carbono	Resistividade e Piezorresistividade (CC)	Cúbicos com inserção de eletrodos de cabos de cobre
Dong <i>et al.</i> (2023)	Concreto Asfáltico	Fios e fibras de aço inoxidável	Resistividade (CC e CA)	Cilíndricos, eletrodos externos em fitas adesivas condutoras
Ozaki e Silva <i>et al.</i> (2023)	Argamassa	Grafite em pó	Impedância (CA)	Prismáticos com eletrodos externos de cobre e cúbicos com inserção de eletrodos de placa de alumínio
Cassol <i>et al.</i> (2022)	Concreto	Aditivo compensador de retração à base de óxido de cálcio supercalcinado	Impedância (CA)	Cilíndrico com inserção de eletrodos de placa de aço inoxidável
Ding <i>et al.</i> (2022)	Argamassa	Nanotubo de Carbono	Resistividade e Piezorresistividade (CC)	Cúbicos com inserção de eletrodos de placa de cobre
Wang e Aslani (2021a)	Argamassa	Fibra de Carbono	Resistividade e Piezorresistividade (CC)	Prismáticos com inserção de eletrodos de placa de cobre
Birgin <i>et al.</i> (2020)	Argamassa	Grafite em pó	Resistividade	Cúbico com inserção de eletrodos de rede de aço inoxidável
Sarway <i>et al.</i> (2019)	Argamassa	Fibra e Nanotubo de Carbono	Impedância (CA)	Prismático em larga escala com inserção de eletrodos de bronze
Segura <i>et al.</i> (2019)	Concreto	Fibras de Carbono recicladas	Impedância (CA) Piezorresistividade (CC)	Prismático com inserção de eletrodos cilíndricos de aço inoxidável
Chuang <i>et al.</i> (2017)	Pasta de Cimento	Fibra de Carbono	Resistividade (CC)	Cúbicos com inserção de placa de cobre
Yoo <i>et al.</i> (2017)	Argamassa	Nanotubo de Carbono, Grafeno e Nanofibras de Grafite	Resistividade e Piezorresistividade (CC)	Cúbicos com inserção de eletrodos de placa de cobre

Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Cosoli *et al.* (2020) conduziram uma pesquisa que revelou que aproximadamente 65% das referências consultadas por eles, fizeram uso de circuitos com alimentação em CA para medir as propriedades elétricas em compósitos cimentícios. Chuang *et al.* (2017) ressaltam que a utilização de circuitos alimentados por CA é mais complexa do que a utilização de alimentados por CC para medir as propriedades elétricas em compósitos cimentícios. Porém, ocorre o efeito de polarização indicado na Figura 5 no caso de CC.

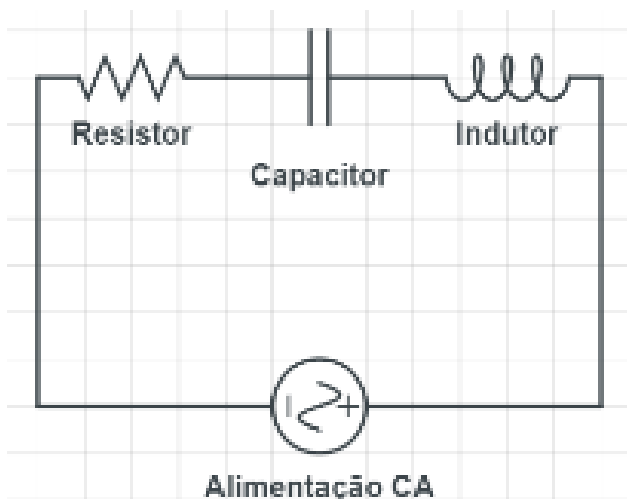
Contudo, no uso dos métodos que envolvem medição com o uso de CA (Figura 9), a impedância elétrica obtida e não a resistência elétrica, uma vez que o circuito equivalente pode conter indutores e/ou capacitores (Figura 10). Isso, promove a ocorrência do efeito de reatância elétrica, uma vez que o pico da corrente e da tensão elétrica não ocorrem simultaneamente (Sarway *et al.*, 2019).

Figura 9 – Utilização de analisador de impedância em compósito cimentício com dois eletrodos metálicos embutidos



Fonte: Cassol *et al.* (2022) *apud* Silva (2024)

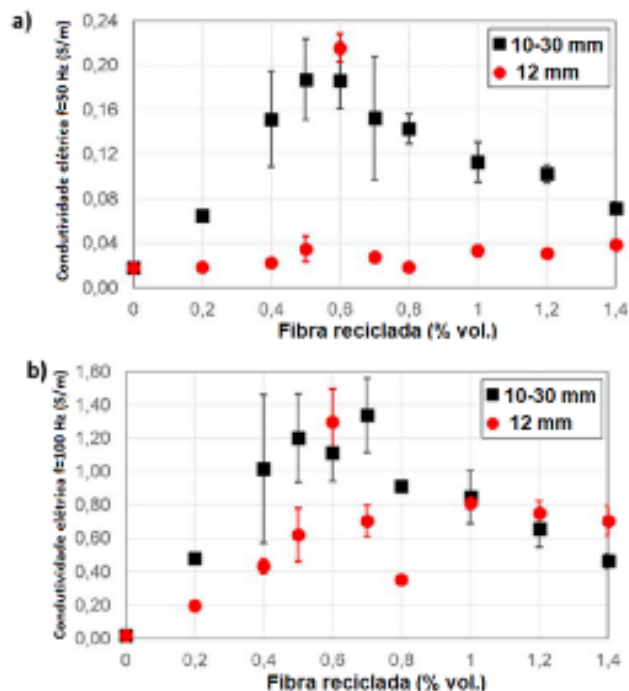
Figura 10 – Circuito elétrico com elementos resistivos e reativos, com alimentação em CA



Fonte: Próprio autor

Ainda no que se refere a análise de compósitos cimentícios por meio de sistemas com alimentação CA, os valores de condutividade elétrica podem ser influenciados pela frequência (Figura 11) da corrente (Segura *et al.*, 2019).

Figura 11 – Influência da variação da frequência da corrente elétrica, entre 50 Hz (a) e 100 kHz (b) na condutividade elétrica de compósito cimentício



Fonte: Segura *et al.* (2019) *apud* Silva (2024)

Seja a medição das propriedades elétricas realizadas com um circuito CA ou CC, essa melhora das propriedades elétricas precisa estar acompanhada ao estudo e compreensão de como a incorporação de materiais condutivos impacta nas propriedades mecânicas dos compósitos para que sejam viabilizados em estruturas. Dessa forma, baseado em diversos estudos da literatura, o grupo de pesquisas dos autores do presente

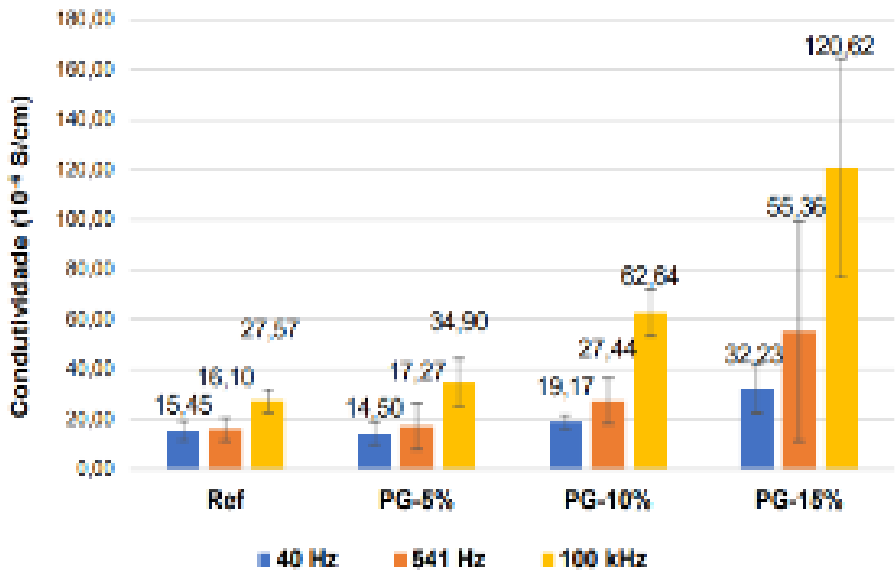
artigo, tem realizado estudos experimentais no campo dos CCPEs. Tais estudos envolvem o uso de grafite (Ozaki e Silva *et al.*, 2023), fibras de carbono Marçula (2024) e resíduo de lona de freio (Silva *et al.*, 2024), os quais visam obter melhor desempenho das propriedades elétricas sem comprometimento significativo das propriedades mecânicas.

Ozaki e Silva (2023), produziu argamassa com o traço 1:0,75:0,5 (cimento:areia:água), com adições de grafite em pó nas proporções de 5%,

10% e 15% em relação a massa do cimento Portland. Isso permitiu o aumento da condutividade elétrica em diversas frequências analisadas, conforme Figura 12.

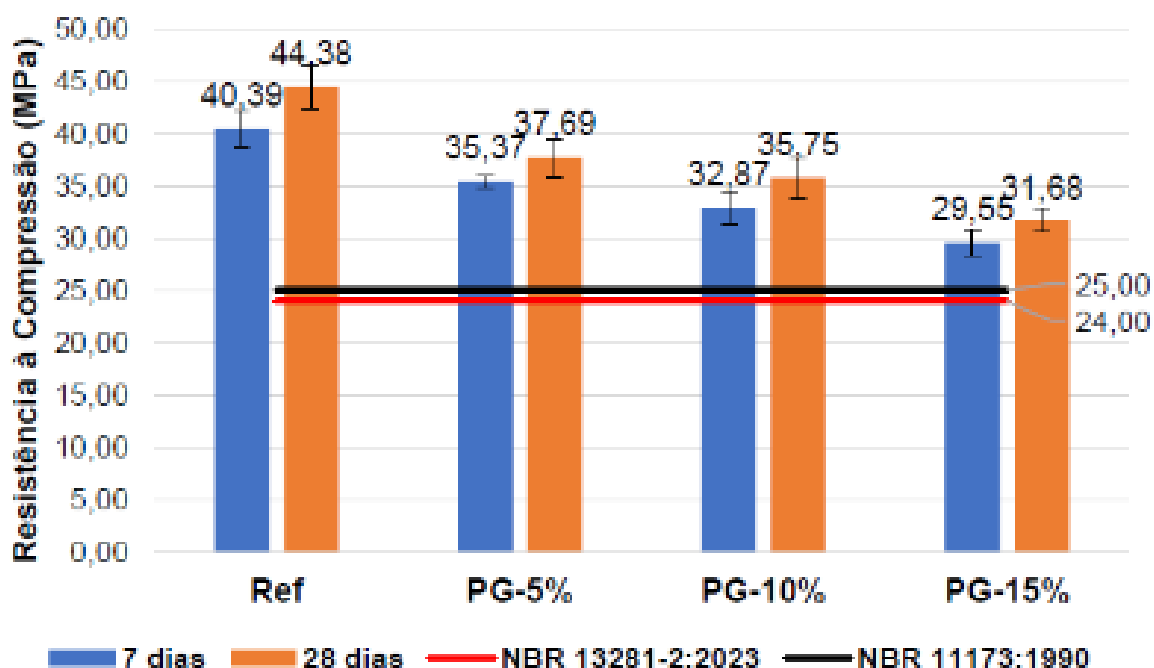
Embora tenha ocorrido perda na resistência à compressão (Figura 13), os resultados do referido estudo se mantiveram dentro dos padrões normativos brasileiros (NBR 13281-2:2023; NBR 11173:1990) quanto a propriedade em referência.

Figura 12 – Valores médios de condutividade elétrica por traço de argamassa com grafite para as medições em frequências de 40 Hz, 541 Hz e 100 kHz



Fonte: Adaptado de Ozaki e Silva (2023).

Figura 13 – Média de valores de resistência à compressão para os traços aos 7 e 28 dias

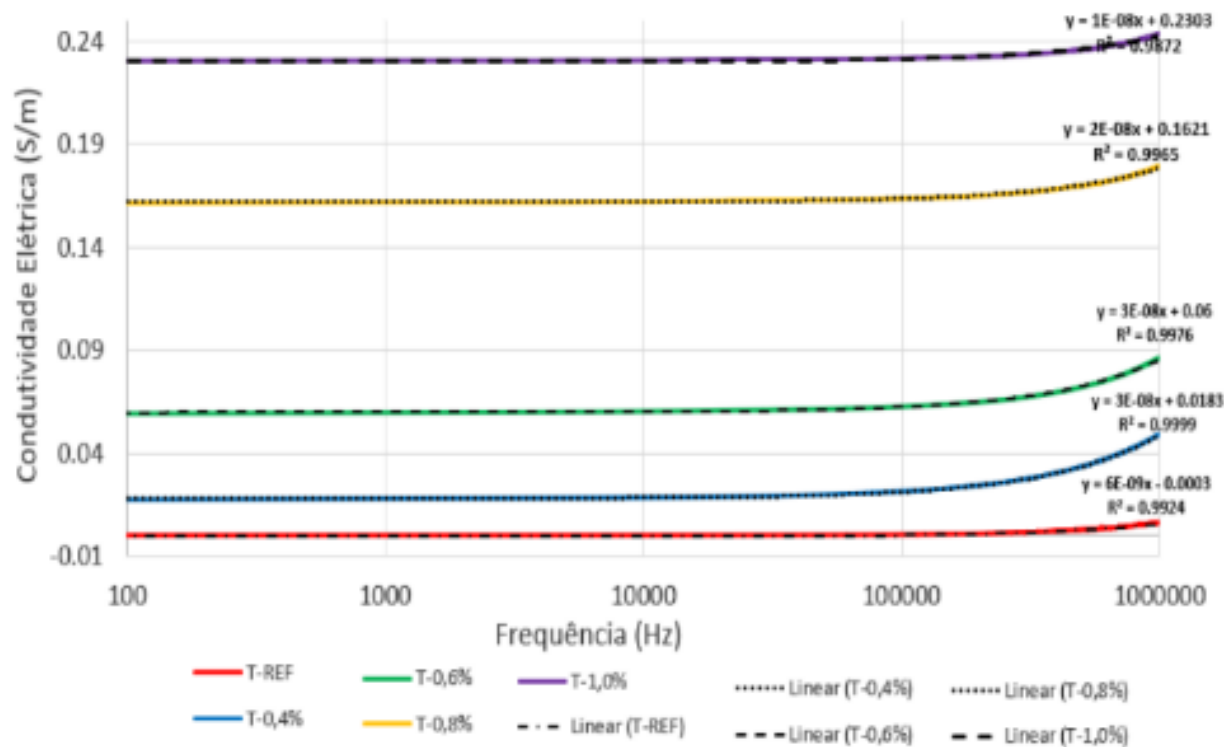


Fonte: Adaptado de Ozaki e Silva (2023).

Marçula (2024), produziu argamassas no traço 1:2:0,45 (cimento:areia:água) com aditivo redutor de água, com adição de fibra de carbono nas proporções de 0,4%, 0,6%, 0,8% e 1% em relação a massa de cimento Portland. Nesse estudo foi obtido o aumento de condutividade elétrica do

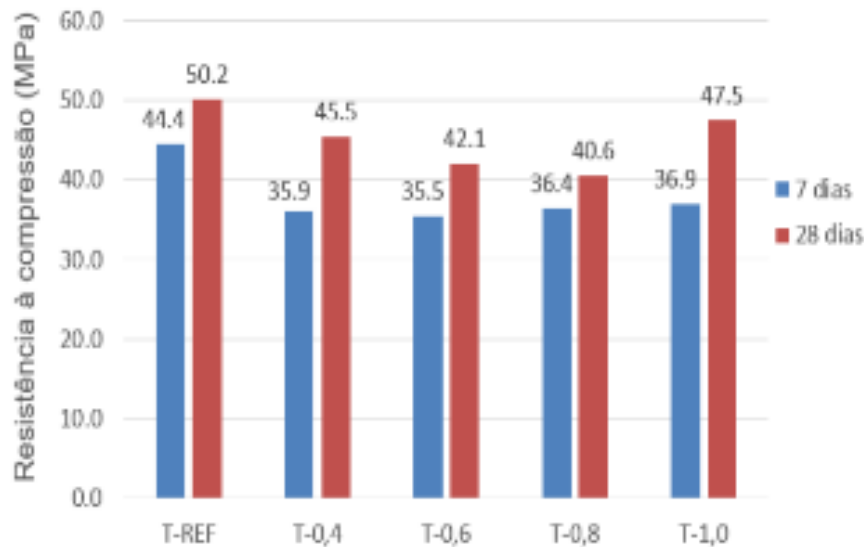
compósito conforme resultados da Figura 14. Em relação as perdas de resistência à compressão (Figura 15) constatadas por Marçula (2024), essas também não ultrapassaram os limites normativos brasileiros.

Figura 14 – Valores médios de condutividade elétrica por traço de argamassa com fibra de carbono para as medições nas frequências de 40 Hz a 1 MHz



Fonte: Adaptado de Marçula (2024).

Figura 15 – Média de valores de resistência à compressão para os traços aos 7 e 28 dias



Fonte: Adaptado de Marçula (2024).

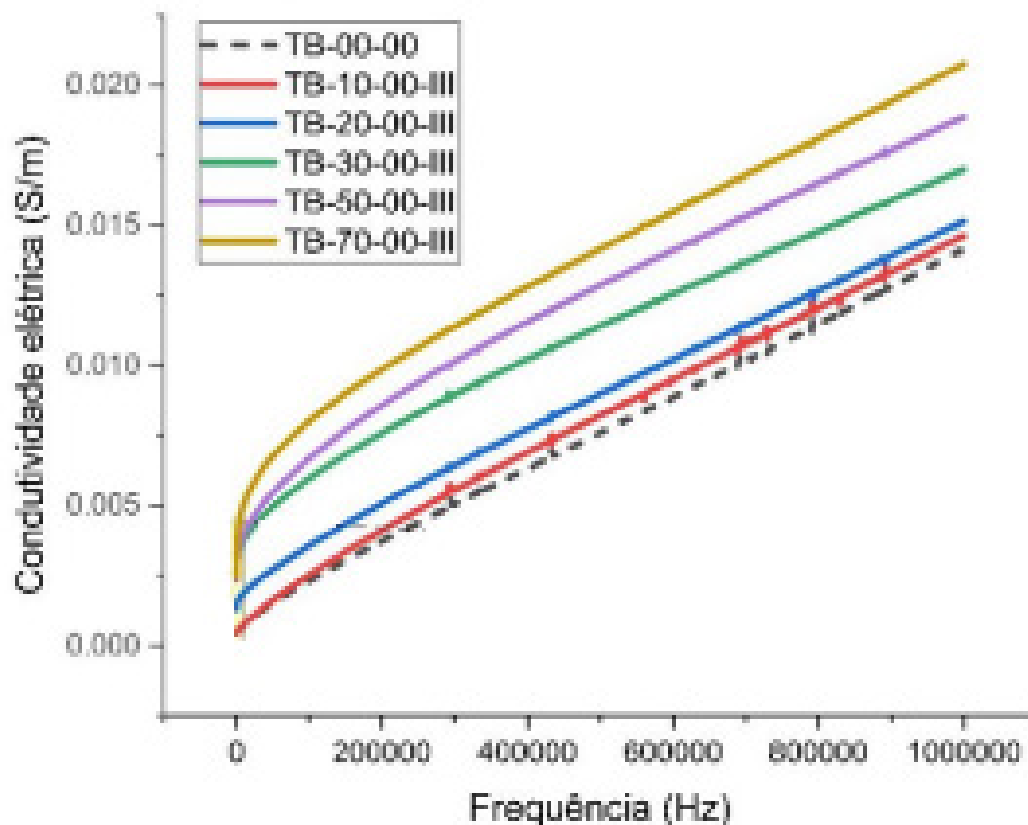
Segundo Frac e Pichór (2020), materiais carbonáceos como fibras, nanotubos e nanografite são de alto custo, o que limita a aplicação dos compósitos, além de causar a diminuição das propriedades mecânicas e da durabilidade. Sendo assim, ao combinar ou substituir por completo por materiais menos nobres (mais baratos e/ou de rejeitos), viabilizar-se-ia sua efetiva utilização em estruturas de larga escala, além de contribuir com a sustentabilidade, tornando-o um material ecofriendly (Silva *et al.*, 2021).

Dessa forma, no campo dos CCPEs com o emprego de materiais de descarte, rejeito e/ou subprodutos, Silva (2024) utilizou resíduo de lona

de freio automotivo na produção de argamassa no traço 1:1:0,37 (cimento:areia:água) com aditivo redutor de água, promovendo a substituição da areia pelo resíduo nas proporções de 10%, 20%, 30%, 50% e 70%. Na referida pesquisa foi obtido o aumento de condutividade elétrica conforme resultados da Figura 16.

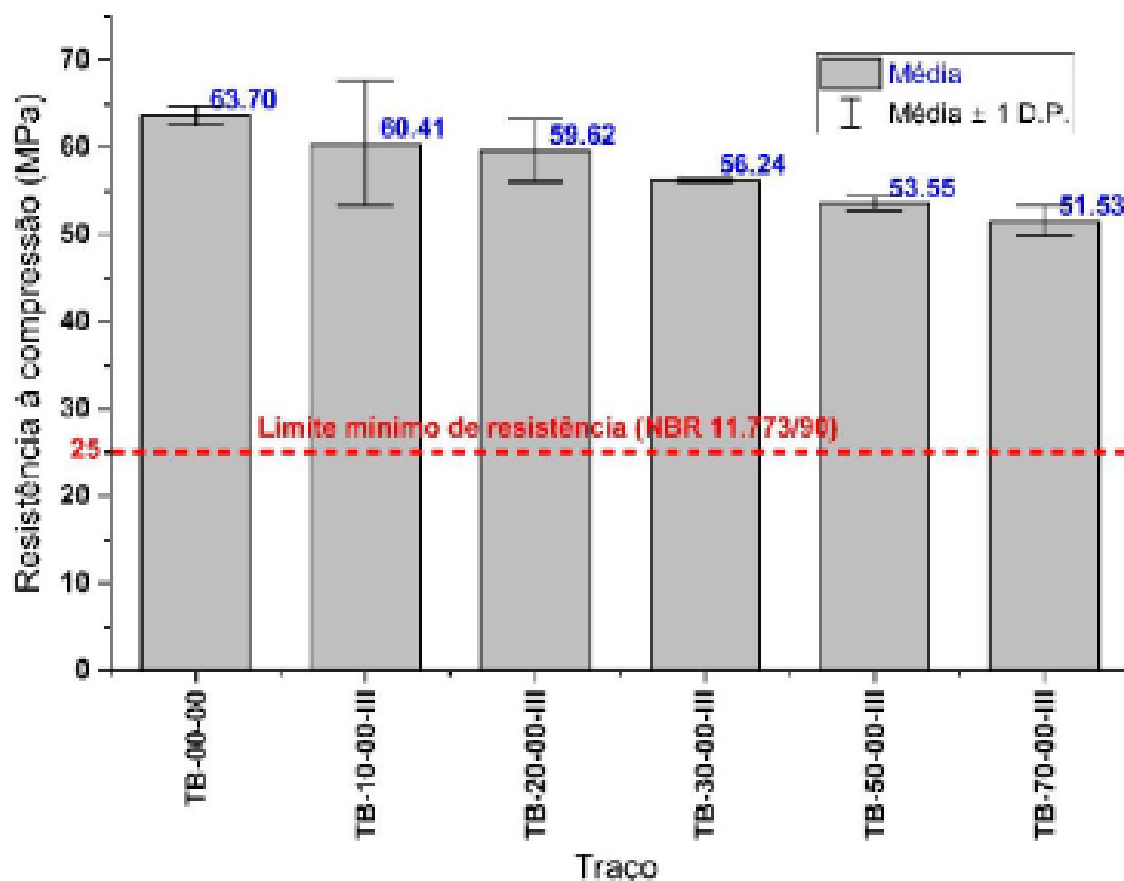
Quanto aos resultados de resistência à compressão (Figura 17) dos compósitos cimentícios com resíduo de lona de freio, Silva (2024) constatou uma diminuição menor em relação ao uso das fibras de carbono, as quais em pequenas quantidades afetaram a resistência em magnitude significativamente maior.

Figura 16 – Valores médios de condutividade elétrica por traço de argamassa com resíduo de lona de freio para as medições nas frequências de 40 Hz a 1 MHz



Fonte: Adaptado de Silva (2024).

Figura 17 – Média de valores de resistência à compressão para os traços aos 28 dias



Fonte: Adaptado de Silva (2024).

3.3. Aplicação de CCPEs e perspectivas futuras

Tais resultados de aumento de condutividade elétrica dos compósitos das pesquisas mencionadas, bem como em alguns casos a pouca diminuição das propriedades mecânicas, indicam quão promissor pode ser o uso de argamassas ou concretos com propriedades elétricas. Além disso, ressalta-se a importância de se pesquisar sobre outros possíveis materiais recicláveis e/ou de reuso, a fim de se implementar também a sustentabilidade e a redução de custos desses novos materiais. Na próxima sessão são apresentadas as possíveis aplicações dos CCPEs.

Várias pesquisas têm objetivado o aperfeiçoamento dos compósitos cimentícios, por meio da incorporação de novos usos para esses, como é o caso dos denominados concretos inteligentes (do inglês smart concrete). A exemplo de infraestrutura rodoviária (Figura 18), esses novos usos podem permitir aplicações como o caso dos pavimentos e estruturas autossensíveis (do inglês self-sensing), autocoletores (do inglês self-harvesting) de energia e degelo (Dong *et al.*, 2023), as quais estão diretamente relacionadas as propriedades elétricas dos compósitos cimentícios.

Os pavimentos e as estruturas autossensíveis, consistem-se na habilidade que o concreto pode possuir em se automonitorar. Nesse caso não há a necessidade do uso de sensores instalados no pavimento ou na estrutura. Tal automonitoramento pode estar relacionado a análise de grandezas como temperatura, pH, umidade, tensão-deformação, entre outros, os quais contribuem para avaliação da situação de uma estrutura ou de um pavimento (Birgin *et al.*, 2023; Mo *et al.*, 2020; Scholle & Sinapius, 2021).

Contudo, ainda são reduzidas as aplicações de CCPEs em construções reais. Han *et al.*, (2013) desenvolveram uma argamassa autossensível, com a incorporação de nanotubos de carbono, visando o uso de sensores cimentícios no pavimento de concreto (Figura 19) de uma rodovia em Albertville-MN, nos Estados Unidos da América, com o objetivo de detectar o tráfego de veículos na referida rodovia. Por meio dos resultados obtidos pelos referidos pesquisadores, constatou-se que os sensores cimentícios podem apresentar vantagens em relação aos convencionais, tais como boa compatibilidade com o pavimento em concreto e maior vida útil.

Figura 18 – Exemplos de aplicações em infraestrutura de pavimentos com compósitos multifuncionais

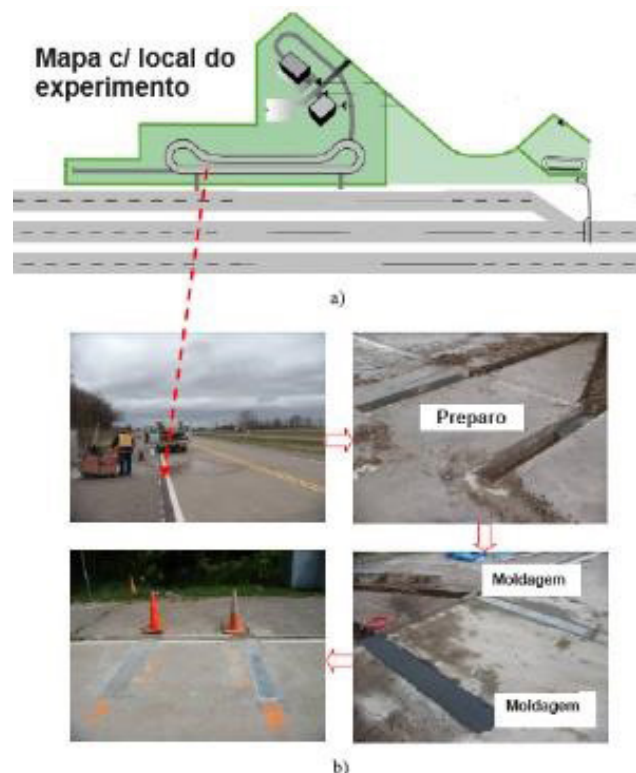


Fonte: Adaptado de Dong *et al.*, 2023.

Em casos mais recentes de aplicações de CCPEs em estruturas reais, ainda que em pequena proporção, como o de Ding *et al.* (2022), foi

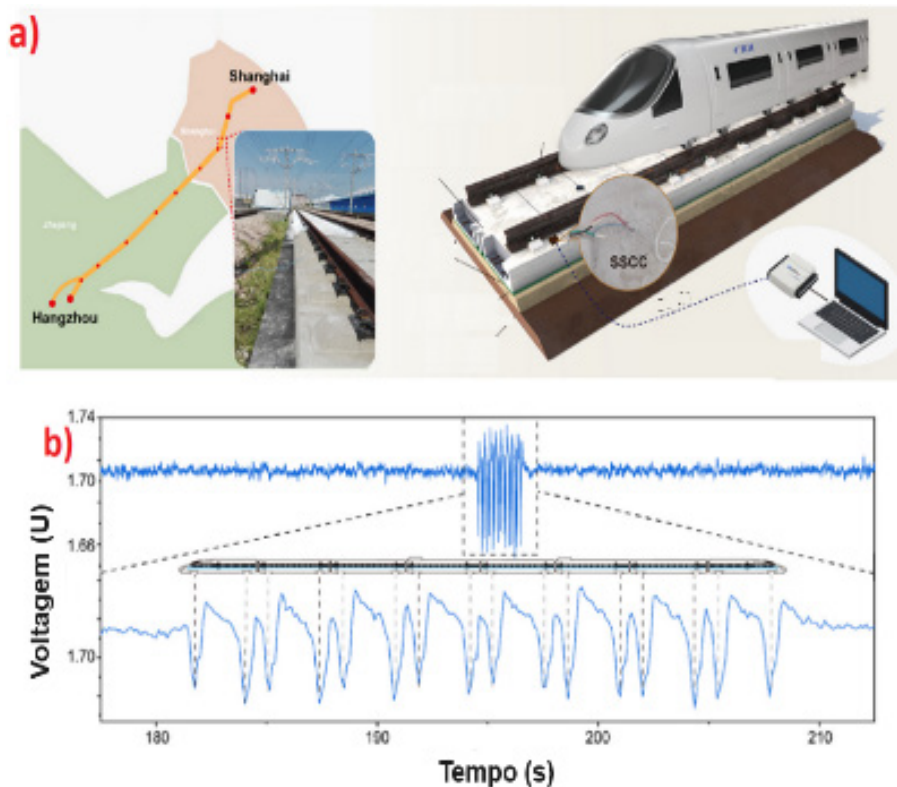
desenvolvida uma pasta cimentícia autossensível com nanotubos de carbono, os quais foram sintetizados diretamente no cimento Portland. O mencionado compósito foi aplicado em partes da laje de suporte (Figura 19) dos trilhos da linha ferroviária de alta velocidade que liga Xangai a Hangzhou na China. Segundos os referidos pesquisadores, o compósito demonstrou excelentes resultados em termos de repetibilidade e estabilidade das leituras, durante a passagem dos trens. No entanto, de acordo com os autores, é preciso mais empenho para diminuir custos na produção de nanotubos de carbono sintetizados, a fim de permitir sua utilização em larga escala.

Figura 19 – Mapa de localização do experimento (a) e fotos da etapa de preparo e moldagem in loco dos sensores cimentícios (b)



Fonte: Adaptado de Han *et al.* (2013)

Figura 20 – Localização e detalhamento do local de execução do compósito autossensível (a) e resultados gráficos da variação de voltagem com a passagem de trem de alta velocidade (b)

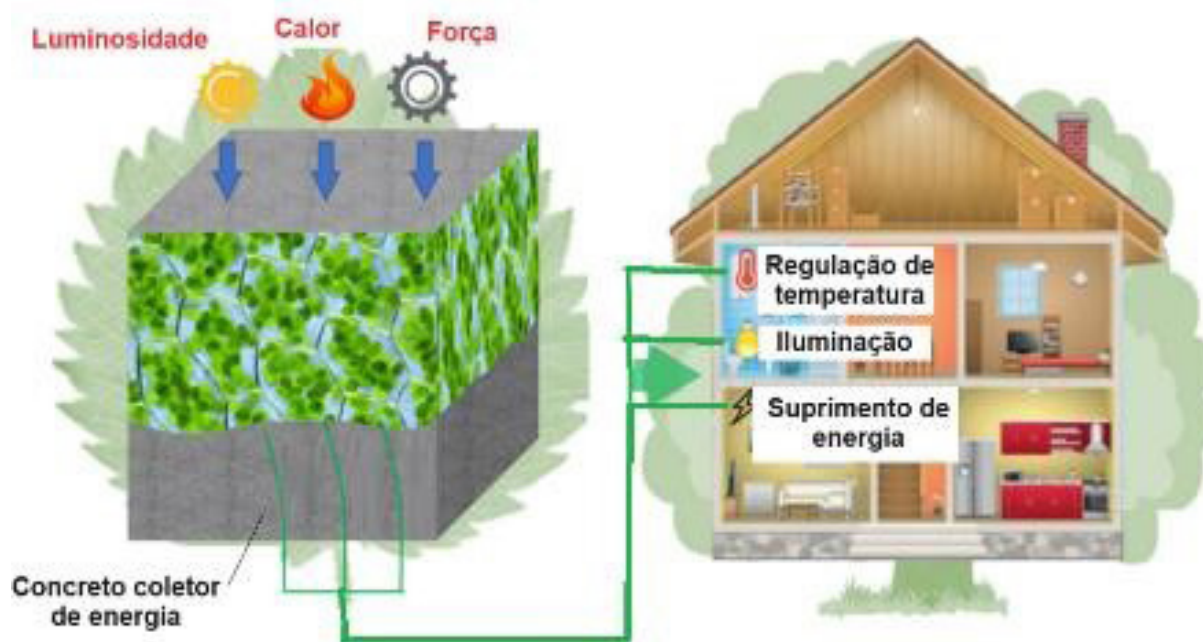


Fonte: Ding *et al.*, 2022.

Qin *et al.* (2024) salientam que vários pesquisadores têm desenvolvido sistemas de captação de energia elétrica a partir de concretos que empregam princípios fotovoltaicos, termoelétricos e piezoelétricos, com o propósito de transformar fenômenos físicos sobre um pavimento de concreto em energia elétrica (Figura 21).

Ainda segundo os autores citados, mesmo com a complexidade e os desafios ainda existentes, a exemplo da utilização das referidas técnicas sem comprometer as propriedades do concreto, esses sistemas de conversão de energia têm potencial para poder colaborar com a redução de emissões de CO₂.

Figura 21 – Esquema de conversão de energia luminosa, térmica e mecânica em energia elétrica por meio de concreto com propriedades multifuncionais



Fonte: Adaptado de Wang *et al.* (2021)

Percebe-se, portanto, grande potencial dos CCPEs para mais segurança e melhor qualidade de vida para o ser humano. Entretanto, para que isso seja possível é necessário a busca pela diminuição do custo deste novo material, bem como a diminuição do consumo de recursos naturais.

4. Considerações Finais

Este trabalho apresentou um panorama geral de como a literatura tem tratado e registrado o estudo dos compósitos cimentícios com propriedades elétricas. Percebe-se que pesquisas para o desenvolvimento e aplicações de compósitos cimentícios com propriedades elétricas têm aumentado significativamente nos últimos anos. Com isso, diversos avanços tecnológicos foram obtidos, os quais indicam que diversas aplicações podem coexistir em um mesmo tipo de compósito. Nota-se que o campo de medição

das propriedades elétricas dos materiais ainda é um desafio, o que demanda um estudo amplo para que seja possível em determinado momento a elaboração de normas e boas práticas sobre o tema.

Contudo, ainda que existam diversas barreiras a serem superadas para que tais compósitos estejam presentes em obras de infraestrutura urbana, ao se adotar soluções ambientalmente amigáveis na produção dos CCPEs, pode-se inclusive colaborar com o atingimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU).

Portanto, são necessárias mais pesquisas para se aprimorar as técnicas de produção e análise dos CCPEs, sem comprometer suas propriedades usuais, como resistência mecânica e durabilidade.

5. Referências

- BIRGIN, H. B.; D'ALESSANDRO, A.; LAFLAMME, S.; UBERTINI, F. Smart Graphite–Cement Composite for Roadway-Integrated Weigh-In-Motion Sensing. *Sensors*, v. 20, 4518, 2020. DOI: 10.3390/s20164518.
- BIRGIN, H. B.; D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F. A new smart sustainable earth-cement composite doped by carbon microfibers with self-sensing properties. *Developments in the Built Environment*, v. 14, 100168, 2023. DOI: 10.1016/j.dibe.2023.100168.
- BRASIL. SECRETARIA DE COMUNICAÇÃO SOCIAL. Investimentos em infraestrutura voltam a ser prioridade. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2023/12/governo-lula-recupera-investimentos-na-infraestrutura-do-brasil>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- CASSOL, D.; RECH, G. L.; THOMAZI, E.; PEROTTONI, C. A.; ZORZI, J. E. Influence of an over calcined calcium oxide-based shrinkage-compensating admixture on some properties of a self-compacting concrete. *Matéria (Rio J)*, v. 27, n. 4, e20220171, 2022. DOI: 10.1590/1517-7076-rmat-2022-0171.
- CHUANG, W.; GENG-SHENG, J.; BING-LIANG, L.; LEI, P.; YING, F.; NI, G.; KE-ZHI, L. Dispersion of carbon fibers and conductivity of carbon fiber-reinforced cement-based composites. *Ceramics International*, v. 43, n. 17, p. 15122-15132, 2017. DOI: 10.1016/j.ceramint.2017.08.041.
- CHUNG, D. D. L. Self-sensing concrete: from resistance-based sensing to capacitance-based sensing. *International Journal of Smart and Nano Materials*, v. 12, n. 1, p. 1-19, 2021a. DOI: 10.1080/19475411.2020.1843560.
- CHUNG, D.D.L. Pitfalls and Methods in the Measurement of the Electrical Resistance and Capacitance of Materials. *J. Electron. Mater.*, v. 50, p. 6567-6574, 2021b. DOI: 10.1007/s11664-021-09223-w.
- CHUNG, D. D. L.; XI, X. A review of the colossal permittivity of electronic conductors, specifically metals and carbons. *Materials Research Bulletin*, v. 148, 111654, 2022. DOI: 10.1016/j.materresbull.2021.111654.
- COSOLI, G.; MOBILI, A.; TITTARELLI, F.; REVEL, G. M.; CHIARIOTTI, P. Electrical Resistivity and Electrical Impedance Measurement in Mortar and Concrete Elements: A Systematic Review. *Appl. Sci.*, v. 10, 9152, 2020. DOI: 10.3390/app10249152.
- D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F.; MATERAZZI, A. L.; PORFIRI, M. Electrical modelling of carbon nanotube cement-based sensors for structural dynamic monitoring. *AIP Conf Proc.*, 1603, p. 23-30, 2014. DOI: 10.1063/1.4883038.
- DEHGHANI, A.; ASLANI, F. Piezoresistive Sensing of Cementitious Composites Reinforced with Shape Memory Alloy, Steel, and Carbon Fibres. *Construction and Building Materials*, v. 267, 121046, 2021a. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121046.
- DING, S.; DONG, S.; ASHOUR, A.; HAN, B. Development of sensing concrete: Principles, properties and its applications. *Journal of Applied Physics*, v. 126, n. 24, 241101, 2019. DOI: 10.1063/1.5128242.
- DING, S.; XIANG, Y.; NI, Y.-Q.; THAKUR, V. K.; WANG, X.; HAN, B.; OU, J. In-situ synthesizing carbon nanotubes on cement to develop self-sensing cementitious composites for smart high-speed rail infrastructures. *Nano Today*, v. 43, 101438, 2022. DOI: 10.1016/j.nantod.2022.101438.
- DONG, S.; ZHANG, W.; D'ALESSANDRO, A.; HAN, B.. Developing highly conductive asphalt concrete by incorporating stainless steel fibers/wires for smart pavement. *Journal Of Materials Science, [S.L.]*, v. 58, n. 27, p. 11062-11084, 2023. DOI: 10.1007/s10853-023-08736-5.

DONG, W.; LI, W.; TAO, Z.; WANG, K. Piezoresistive properties of cement-based sensors: Review and perspective. *Construction and Building Materials*, v. 203, p. 146-163, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.01.081.

DOWNEY, A.; D'ALESSANDRO, A.; UBERTINI, F.; LAFLAMME, S. Automated crack detection in conductive smart-concrete structures using a resistor mesh model. *Measurement Science and Technology*, v. 29, n. 3, 035107, 2018. DOI: 10.1088/1361-6501/aa9fb8.

FRANC, M.; PICHÓR, W. Piezoresistive properties of cement composites with expanded graphite. *Composites Communications*, v. 19, p. 99–102, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2020.03.005>.

HAGHGOO, M.; ANSARI, R.; HASSANZADEH-AGHDAM, M. K. Prediction of piezoresistive sensitivity and percolation probability of synergetic CNT-GNP conductive network composite. *Sensors and Actuators A: Physical*, v. 336, 113414, 2022. DOI: 10.1016/j.sna.2022.113414.

HAN, B.; ZHANG, K.; BURNHAM, T.; KWON, E.; YU, X. Integration and road tests of a self-sensing CNT concrete pavement system for traffic detection. *Smart Materials and Structures*, 22, 015020, 2013. DOI 10.1088/0964-1726/22/1/015020.

HAN, J.; PAN, J.; CAI, J.; LI, X. A review on carbon-based self-sensing cementitious composites. *Construction and Building Materials*, v. 265, 120764, 2020. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120764.

MARÇULA, S.C. (2024). *Análise de Propriedades Elétricas e Mecânicas de Argamassa com Incorporação de Microfibra de Carbono*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Limeira-SP.

MO, Y.L.; GAUTAM, A.; CHEN, Y.; CHEN, J.; JOSHI, B. Electrical impedance of carbon nanofiber aggregates. In: LIEW, M. S.; NGUYEN-TRI, P;

NGUYEN, T. A.; KAKOOEI, S. *Micro and Nano Technologies, Smart Nanoconcretes and Cement-Based Materials*. [S.l]: Elsevier, 2020. p. 333-349. DOI: 10.1016/B978-0-12-817854-6.00014-3.

OZAKI E SILVA, C.T. (2023). *Comparação das propriedades mecânicas e condutividade elétrica de argamassas com adição de grafite em pó*. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Limeira-SP.

OZAKI E SILVA, C.T.; SILVA, J.B.L.P.; LINTZ, R.C.C.; GACHET, L.A. Mortars with addition of powdered graphite: Mechanical and electrical properties. *Materials Today: Proceedings* (2023). DOI: 10.1016/j.matpr.2023.03.489.

QIN, H.; DING, S.; ASHOUR, A.; ZHENG, Q.; HAN, B. Revolutionizing infrastructure: The evolving landscape of electricity-based multifunctional concrete from concept to practice. *Progress in Materials Science*, 145, 101310, 2024. DOI 10.1016/j.pmatsci.2024.101310.

SARWARY, M. H.; YILDIRIM, G.; AL-DAHAWI, A.; ANIL, Ö.; KHIAMI, KA.; TOKLU, K.; SAHMARAN, M. Self-Sensing of Flexural Damage in Large-Scale Steel-Reinforced Mortar Beams *ACI Mater. J.*, v. 116, p. 209-221, 2019. DOI: 10.14359/51715581.

SEGURA, I.; FANECÁ, G.; TORRENTS, J. M.; AGUADO, A. Self-sensing concrete made from recycled carbon fibres. *Smart Materials and Structures*, v. 28, n. 10, 105045, 2019. DOI: 10.1088/1361-665x/ab3d59.

SCHOLLE, P.; SINAPIUS, M. A Review on the Usage of Continuous Carbon Fibers for Piezoresistive Self Strain Sensing Fiber Reinforced Plastics. *J. Compos. Sci.*, v. 5, n. 4, 96, 2021. DOI: 10.3390/jcs5040096.

SILVA, J. B. L. P. (2024). *Estudo do desempenho físico-mecânico, elétrico e piezorresistivo de compósito cimentício autossensível produzido com resíduo de lona de freio e fibra de carbono*. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas

(UNICAMP). Faculdade de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia. Limeira-SP.

SILVA, J.B.L.P.; LINTZ, R.C.C. E; GACHET, L.A. Analysis of the electrical and mechanical properties of cement composite produced with brake lining waste. *Advances in Science And Technology*. 149, 21-29, 2024a. DOI:10.4028/p-dR94lv.

SILVA, J. B. L. P.; LINTZ, R. C. C.; GACHET, L. A. Análise do efeito piezoresistivo em compósito cimentício autossensível sob diferentes disposições de carregamento uniaxial. In: Congresso Nacional Reabilitar & Betão Estrutural 2020, LNEC, Lisboa. p. 849-857, 2021. ISBN: 978-989-53078-1-4 https://reabilitarbe2020.pt/r&be2020_final.pdf.

SILVA, J.B.L.P.; OZAKI E SILVA, C.T.; MARÇULA, S.C.; ROS, P.S.; LINTZ, R.C.C. E; GACHET, L.A. Self-sensing cement composite based on the piezoresistive effect with brake lining waste. *Construction and Building Materials*, v. 456, p. 139273, 2024b. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2024.139273.

WANG, L.; ASLANI, F. A review on material design, performance, and practical application of electrically conductive cementitious composites. *Construction and Building Materials*, v. 229, 116892, 2019. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.116892.

WANG, L.; ASLANI, F. Mechanical properties, electrical resistivity and piezoresistivity of carbon fibre-based self-sensing cementitious composites. *Ceramics International*, v. 47, n. 6, p. 7864-7879, 2021a. DOI: 10.1016/j.ceramint.2020.11.133.

WANG, X.; DONG, S.; ASHOUR, A.; HAN, B. Energy-harvesting concrete for smart and sustainable infrastructures. *Journal of Materials Science*. 56:16243–16277, 2021. DOI 10.1007/s10853-021-06322-1.

YOO, D-Y.; YOU, I.; LEE, S-J. Electrical Properties of Cement-Based Composites with Carbon Nanotubes, Graphene, and Graphite Nanofibers. *Sensors*, v. 17, 1064, 2017. DOI: 10.3390/s17051064.

ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR: INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO, ISOLAMENTO TÉRMICO E ROTINA DE OCUPAÇÃO

Analysis of Thermal Load in a Single-Family House: Influence of Shading, Thermal Insulation and Occupancy Routine

Análisis de la Carga Térmica en una Vivienda Unifamiliar: Influencia del Sombreamiento, Aislamiento Térmico y Rutina de Ocupación

CASSOL, F.¹; CAROTENUTO, A. R. S.²

Resumo

O presente estudo investigou a carga térmica envolvida na climatização de uma habitação unifamiliar localizada em clima subtropical úmido (Cfa) do sul do Brasil, por meio de simulação computacional no software EnergyPlus versão 9.4. O objetivo foi analisar a influência do sombreamento lateral de edificações vizinhas, do isolamento térmico aplicado ao forro e de diferentes rotinas de ocupação sobre as demandas de aquecimento e resfriamento. A unidade habitacional foi modelada no SketchUp, associada a arquivo climático de Santa Maria/RS, considerando setpoints de 22 °C para aquecimento e 24,5 °C para resfriamento em sistema HVAC do tipo PTHP. As simulações foram organizadas em duas rotinas de uso (noturna e diurna) e em quatro cenários construtivos, com combinações de sombreamento e isolamento, e os resultados foram apresentados em tabelas e gráficos mensais de carga térmica e em médias mensais de consumo elétrico. Na Rotina 1 (uso noturno), observou-se maior demanda de aquecimento, com pico próximo de 5085 BTU/h no inverno, enquanto as cargas de resfriamento foram reduzidas e pouco sensíveis ao sombreamento; o pior desempenho energético ocorreu sem isolamento e sem sombreamento. Na Rotina 2 (uso diurno), destacou-se a demanda de resfriamento, com pico de 6895 BTU/h no verão sem sombreamento e redução significativa quando sombreamento e isolamento foram aplicados (valores em torno de 2906,92 BTU/h em janeiro); o melhor desempenho médio ocorreu sem sombreamento e com isolamento. Conclui-se que o isolamento no forro contribui para a redução de cargas em todas as condições, enquanto o sombreamento é mais relevante para ocupação diurna, indicando que a integração dessas estratégias pode orientar diretrizes construtivas mais eficientes para habitações em clima subtropical úmido.

Palavras-chave: Energia; Consumo energético; Energyplus.

¹ CASSOL, F. - Fabiano Cassol: Prof. Dr. da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9633-2955>, fabiano.cassol@uffs.edu.br

² CAROTENUTO, A. R. S. - Adriano Roberto da Silva Carotenuto: Prof. Dr. da Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9633-2955>, adrianocarotenuto@unipampa.edu.br

COMO CITAR:

CASSOL, F.; CAROTENUTO, A. R. S. ANÁLISE DA CARGA TÉRMICA EM UMA HABITAÇÃO UNIFAMILIAR: INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO, ISOLAMENTO TÉRMICO E ROTINA DE OCUPAÇÃO. Engenharia Urbana Em Debate, 6(1). <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v6i1.137>

Data da Submissão:
19 de setembro de 2024
Data da Aprovação:
4 de junho de 2025
Data da Publicação:
17 de dezembro de 2025



Abstract

This study investigated the thermal load involved in conditioning a single-family dwelling located in a humid subtropical climate (Cfa) in southern Brazil, using EnergyPlus version 9.4. The aim was to analyze the influence of lateral shading from neighboring buildings, thermal insulation applied to the ceiling, and different occupancy routines on heating and cooling demands. The dwelling was modeled in SketchUp and linked to a weather file of Santa Maria/RS, with HVAC setpoints of 22 °C for heating and 24.5 °C for cooling using a PTHP system in autosize mode. Simulations were organized into two occupancy routines (nighttime and daytime) and four constructive scenarios combining shading and insulation, with results presented in monthly tables and graphs of thermal loads and average monthly electricity consumption. In Routine 1 (nighttime use), the highest demand was for heating, with a peak of approximately 5085 BTU/h in winter, while cooling loads were lower and little affected by shading; the worst performance occurred without shading and insulation. In Routine 2 (daytime use), cooling was predominant, reaching a peak of 6895 BTU/h in summer without shading, and showing significant reduction when shading and insulation were applied (values around 2906.92 BTU/h in January); the best average performance was observed without shading but with insulation. The results show that ceiling insulation consistently reduces heating and cooling loads, while shading is particularly relevant for daytime occupancy, supporting constructive guidelines for energy-efficient housing in humid subtropical climates.

Keywords: Energy; Energy consumption; EnergyPlus.

Resumen

El presente estudio investigó la carga térmica de climatización en una vivienda unifamiliar ubicada en un clima subtropical húmedo (Cfa) del sur de Brasil, mediante simulación computacional en el software EnergyPlus versión 9.4. El objetivo fue analizar la influencia del sombreado lateral de edificaciones vecinas, del aislamiento térmico aplicado al cielorraso y de diferentes rutinas de ocupación sobre las demandas de calefacción y refrigeración. La vivienda fue modelada en SketchUp y asociada a un archivo climático de Santa Maria/RS, con consignas de 22 °C para calefacción y 24,5 °C para refrigeración en un sistema HVAC tipo PTHP con autosize. Las simulaciones se organizaron en dos rutinas de uso (nocturna y diurna) y en cuatro escenarios constructivos que combinan sombreado y aislamiento, y los resultados se presentaron en tablas y gráficos mensuales de carga térmica y en promedios mensuales de consumo eléctrico. En la Rutina 1 (uso nocturno), se observó mayor demanda de calefacción, con un pico cercano a 5085 BTU/h en invierno, mientras que las cargas de refrigeración fueron reducidas y poco sensibles al sombreado; el peor desempeño energético ocurrió sin aislamiento y sin sombreado. En la Rutina 2 (uso diurno), predominó la refrigeración, con un pico de 6895 BTU/h en verano sin sombreado y una reducción significativa cuando se aplicaron sombreado y aislamiento (valores alrededor de 2906,92 BTU/h en enero); el mejor desempeño promedio se registró sin sombreado y con aislamiento. Se concluye que el aislamiento en el cielorraso contribuye a reducir cargas en todas las condiciones, mientras que el sombreado es más relevante para ocupación diurna, lo que indica que la integración de estas estrategias puede orientar directrices constructivas más eficientes para viviendas en clima subtropical húmedo.

Palabras-clave: Energía; Consumo energético; EnergyPlus.

1. Introdução

O consumo de energia residencial tem se intensificado nos últimos anos, impulsionado por avanços tecnológicos e pelo aumento no uso de equipamentos eletroeletrônicos (Kamaludin, 2013). Entre os principais fatores que contribuem para esse aumento estão a iluminação artificial, os equipamentos eletrônicos e motores elétricos, entre outros (Pérez-Lombard et al., 2008; Bowhmic et al., 2023). Além disso, a utilização de sistemas de condicionamento de ar para aquecimento e resfriamento de ambientes tem gerado um acréscimo significativo no consumo energético (Thomas e Rosenow, 2020). O uso desses sistemas sem uma avaliação prévia das trocas térmicas do ambiente pode resultar em consumo energético superior ao necessário (Lam, 2000; Mathew et al., 2008; Shan et al., 2019).

A carga térmica proveniente de fatores externos, como a irradiação solar e a temperatura do ar ambiente, tem uma contribuição significativa no aumento do consumo energético relacionado ao resfriamento ou aquecimento de ambientes. Além disso, a infiltração de ar interfere no conforto térmico e também eleva o consumo de energia (Sakiyama et al., 2021). Em novas edificações, o consumo energético pode ser reduzido por meio da otimização do projeto. Já em construções existentes, alternativas como melhorias nas características térmicas das paredes, do forro e do isolamento térmico podem contribuir para a economia de energia (Yu et al., 2015; Annibaldi et al., 2020).

Os elementos construtivos das edificações, como

as paredes, os materiais de isolamento térmico, as janelas, o sombreamento e as cores, têm papel essencial na otimização da estrutura e na eficiência energética (Kamimura et al., 2020). A rotina de ocupação do ambiente também influencia o consumo energético, sendo impactada por fatores como horários de trabalho, uso de equipamentos eletroeletrônicos e necessidades de conforto térmico. Essas características, mesmo individuais, devem ser consideradas no projeto (Sukarno et al., 2017; Chen et al., 2021; Wu et al., 2023).

Embora o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar geralmente desconsidere o efeito do sombreamento (Lam, 2000), em grandes centros urbanos a densidade populacional torna inevitável a interferência de edificações vizinhas. Estudos como os de Ascione et al. (2020) indicam que os efeitos de sombreamento dependem da área superficial impactada e podem ser relevantes para a modelagem energética.

Pesquisas recentes destacam o impacto do sombreamento e de estratégias relacionadas na eficiência energética de residências unifamiliares. Kazanci e Olesen (2015) analisaram variáveis como sombreamento solar, ventilação e áreas envidraçadas no desempenho térmico de residências, enquanto Levinson (2019) estudou a influência do sombreamento gerado por edifícios vizinhos na economia de energia em sistemas HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning - Aquecimento, ventilação e ar condicionado). Maftouni e Kiana (2020) avaliaram a redução da carga térmica com alterações em janelas, paredes externas e uso de sombreamento. Prozuments et al. (2021) utilizaram modelagens para analisar cenários otimizados de sombreamento e ventilação.

No entanto, poucos estudos focam exclusivamente na influência do isolamento térmico aplicado ao forro de residências no consumo energético de sistemas HVAC. Normalmente, as abordagens integram múltiplos fatores, como paredes, janelas e sombreamento. Para preencher essa lacuna, este estudo busca explorar o dimensionamento de sistemas de condicionamento de ar HVAC PTHP (Packaged Terminal Heat Pump - bomba de

aquecimento do terminal compacto), avaliando o impacto do sombreamento e do isolamento térmico no forro de uma edificação unifamiliar. O objetivo principal deste estudo é analisar a carga térmica de aquecimento e resfriamento em uma habitação unifamiliar, considerando o impacto do sombreamento lateral, da presença de isolamento térmico no forro e da rotina de ocupação. A partir dessa análise, busca-se estimar o consumo energético associado às diferentes condições de uso e de projeto.

Além dos aspectos construtivos, o desempenho energético das edificações está relacionado ao planejamento urbano. Parâmetros como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e índice de permeabilidade influenciam a ventilação natural, a radiação solar recebida e o microclima local. Quando definidos sem critérios técnicos, podem gerar sombreamento excessivo, reduzir a circulação de ar e intensificar o efeito de ilhas de calor. Dessa forma, a integração entre soluções arquitetônicas e diretrizes urbanísticas é importante para ampliar os ganhos em eficiência energética.

2. Metodologia

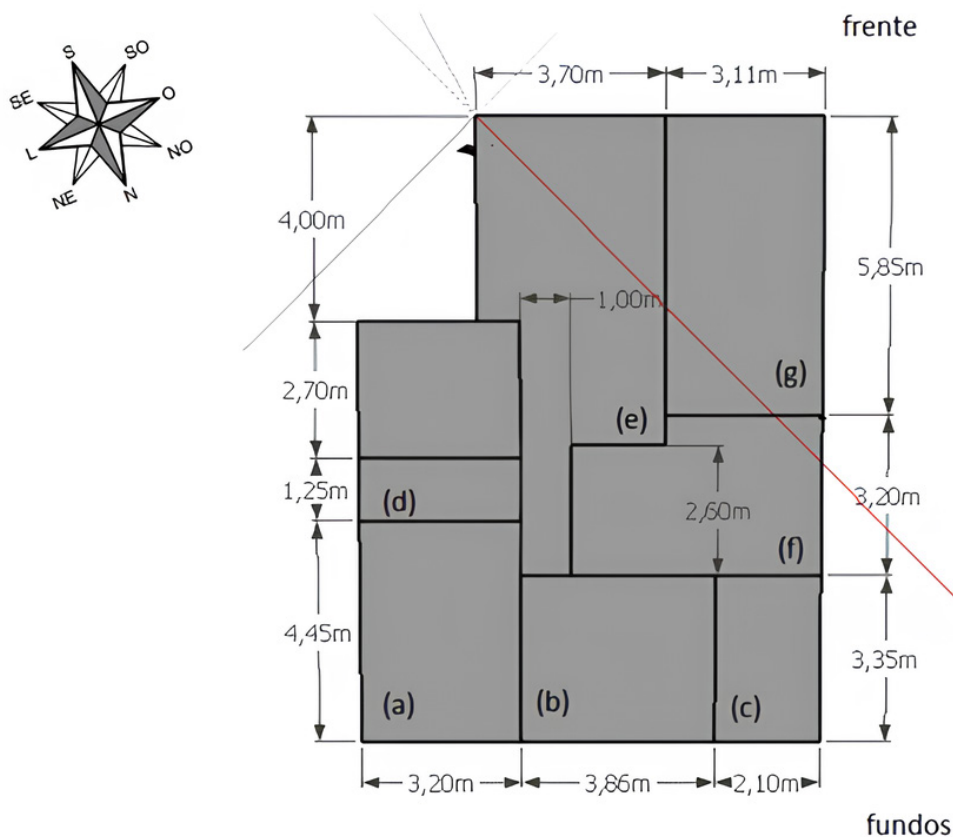
A análise termoenergética da edificação foi realizada utilizando os softwares de modelagem SketchUp Make 2017 (software de edição da geometria da edificação) e EnergyPlus 9.4 (software de simulação de carga térmica e consumo energético). As versões dos softwares utilizadas são de distribuição gratuita. A modelagem do ambiente busca determinar o dimensionamento de equipamentos de condicionamento de ar a partir do detalhamento de cargas térmicas internas (principalmente relacionadas à ocupação humana no ambiente) e cargas térmicas externas (clima local e infiltração de ar).

A habitação selecionada para a execução da avaliação está localizada em uma região de clima subtropical úmido do tipo Cfa, conforme a classificação de Köppen-Geiger. Essa classificação considera verão quente, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C, ausência de estação seca, com umidade durante todo o ano, e temperatura média do mês mais frio

entre -3°C e 18°C . As temperaturas na região apresentam variações significativas ao longo das estações do ano, com verão quente e inverno frio, caracterizando estações bem definidas. A habitação está posicionada com sua face frontal angulada em 45 graus em relação ao eixo norte, voltada para a direção sudoeste. As dimensões da edificação estão ilustradas nas Figuras 1 a 5, enquanto o sombreamento e as dimensões correspondentes estão indicados na Figura 2. A

cidade de Santa Maria, RS, Brasil, foi utilizada como referência para a obtenção dos dados climáticos (EnergyPlus, 2024). Para fins de simulação, foram considerados quatro dias de projeto para temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e ponto de orvalho no período de verão, totalizando doze dias de projeto. Para o período de inverno, foi considerado um dia para temperatura de bulbo seco e um dia para ponto de orvalho, totalizando dois dias de projeto.

Figura 1 – Dimensões da habitação utilizada na simulação. Representação inferior da divisão e distribuição de cada cômodo da habitação. (a) Quarto. (b) Quarto. (c) Lavanderia. (d) Banheiro. (e) Sala/corredor. (f) Cozinha. (g) Garagem. (h) Quarto. Na figura, a coloração azul representa o céu, cinza representa a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

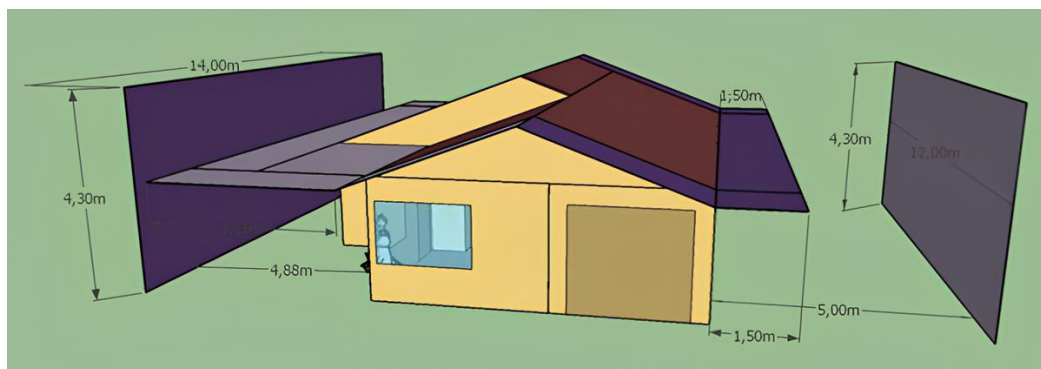
Os dias de projeto são formulados a partir de dados climáticos estatísticos que representam condições extremas ou características típicas para o dimensionamento de sistemas térmicos. No período de verão, foram considerados quatro dias de projeto distintos, cada um focado em diferentes combinações de variáveis climáticas, como temperatura de bulbo seco, bulbo úmido e ponto de orvalho. Cada combinação reflete situações de máxima carga térmica para resfriamento e controle de umidade. No período de inverno, foram considerados dois dias de projeto: um voltado para a condição extrema de temperatura de bulbo seco, visando a maior demanda de aquecimento, e outro focado no ponto de orvalho, para controle de umidade em climas frios. Dessa forma, os dias de projeto abrangem tanto o dimensionamento de resfriamento no verão quanto o de aquecimento no inverno, com o objetivo de garantir o desempenho adequado dos sistemas HVAC sob condições

críticas. As informações climáticas foram obtidas em ASHRAE, 2024.

A habitação unifamiliar possui 104,15 metros quadrados de área, com três quartos, um banheiro, uma sala, uma cozinha, uma lavanderia e uma garagem. No projeto, apenas os quartos e a sala são climatizados. A representação esquemática do modelo computacional para simulação está apresentada na Figura 3. O pé direito da habitação corresponde a 2,6 metros de altura.

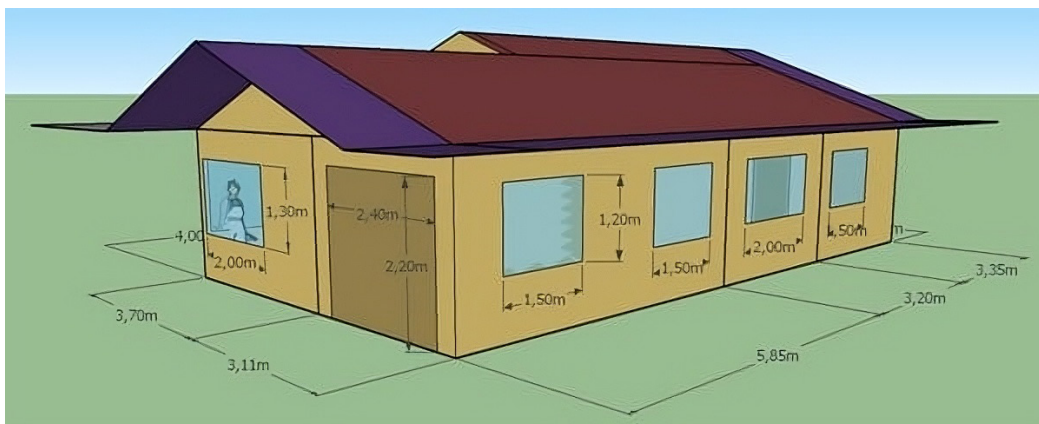
Foi utilizado um sistema do tipo PTHP (Packaged Terminal Heat Pump - bomba de aquecimento do terminal compacto), com COP 3,0 W/W (Coefficient of Performance - coeficiente de performance). O setpoint (ponto de ajuste) de temperatura foi configurado para acionamento do aquecimento em 22°C e do resfriamento em 24,5°C.

Figura 2 – Vista frontal e indicação das áreas de sombreamento na habitação. O sombreamento ocorre por construções no lado esquerdo e direito da habitação e através das abas do telhado. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, amarelo e marrom representam a edificação, azul em tonalidade transparente representa áreas de vidro e os tons de roxo representam o sombreamento



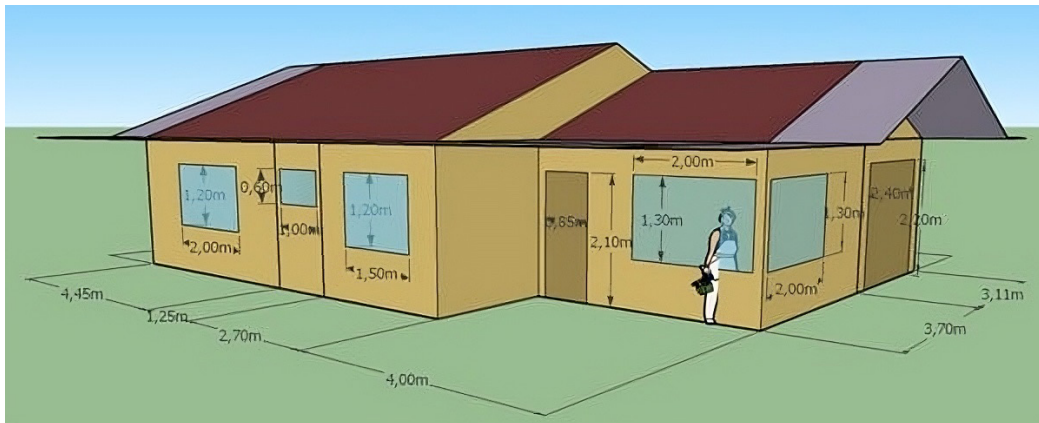
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 3 – Vista frontal da habitação utilizada na simulação. Indicação das janelas laterais lado noroeste. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, azul representa o céu, azul em tonalidade transparente representa área de vidro, amarelo e marrom representam a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 4 – Vista lateral da habitação utilizada na simulação. Indicação das janelas laterais lado Oés-noroeste. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, azul representa o céu, azul em tonalidade transparente representa área de vidro, amarelo e marrom representam a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As resistências de troca térmica entre cada zona e o ambiente externo são delimitadas por meio das superfícies de troca de calor. A resistência de troca térmica é uma propriedade que mede a dificuldade com que o calor flui através de um material. As superfícies de troca de calor incluem

paredes, pisos, teto, portas e janelas da habitação.

A Tabela 1 apresenta as zonas térmicas consideradas para a simulação. No total, foram analisadas 8 zonas térmicas, 77 superfícies (paredes, tetos e pisos) e 27 subsuperfícies (portas

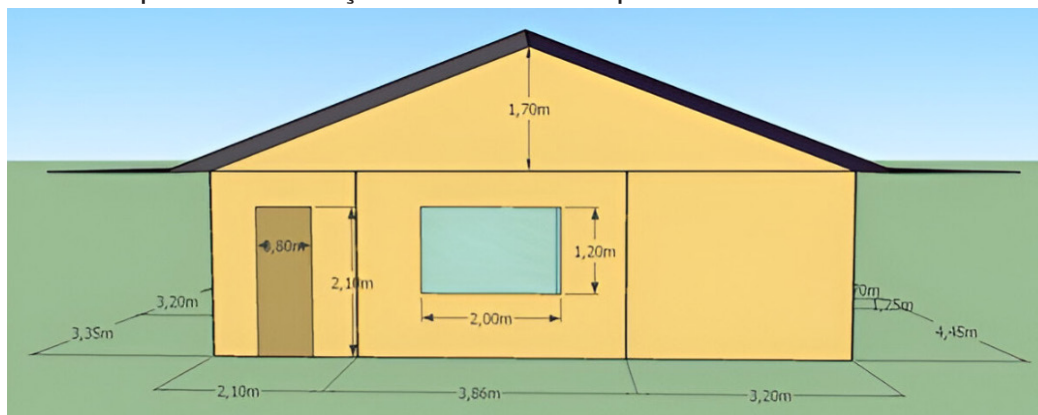
e janelas). Todos os cômodos possuem acesso x 2,1 metros. As portas e janelas externas estão interno por meio de portas com dimensões de 0,8 representadas nas Figuras 1 a 5.

Tabela 1 – Zonas térmicas e características construtivas

Zona	Nome	Evolução livre da temperatura	Volume (m³)	Ocupação - Rotina 1 (predominância noturna)	Ocupação - Rotina 2 (predominância diurna)
1	Sala	Não	63,4	Segunda à Sexta-Feira: 17h-21h Iluminação: 3 horas por dia Sábado e Domingo: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia	Segunda à Sexta-Feira: 13h-17h Iluminação: 3 horas por dia Sábado e Domingo: 7h-19h Iluminação: 3 horas por dia
2	Cozinha	Sim	38,3	Todos os dias: 7h-8h; 10h-13h; 19h-20h Iluminação: 3 horas por dia Fogão: 3 horas por dia	Todos os dias: 7h-8h; 10h-13h; 19h-20h Iluminação: 3 horas por dia Fogão: 3 horas por dia
3	Lavanderia	Sim	18,3	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia
4	Garagem	Sim	47,3	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia
5	Banheiro	Sim	10,4	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia	¼ de ocupação ao longo do dia* Iluminação: 3 horas por dia
6	Quarto 1	Não	37,0	Todos os dias: 21h-7h Iluminação: 3 horas por dia	Todos os dias: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia
7	Quarto 2	Não	33,6	Todos os dias: 21h-7h Iluminação: 3 horas por dia	Todos os dias: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia
8	Quarto 3	Não	22,5	Todos os dias: 21h-7h Iluminação: 3 horas por dia	Todos os dias: 9h-21h Iluminação: 3 horas por dia

* Cômodos sem horário de ocupação definidos. Dimensionado considerando 25% de ocupação ao longo do dia durante toda a semana. Todos os cômodos foram configurados para utilização de 3 horas de iluminação artificial ao longo do dia.
Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 5 – Vista dos fundos da habitação. Indicação de janela e porta. Na figura, a coloração verde representa o ambiente, azul representa o céu, azul em tonalidade transparente representa área de vidro, amarelo representa a edificação e os tons de roxo representam o sombreamento



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Todas as janelas foram consideradas como superfícies de vidro. As portas internas e externas são de madeira, exceto a porta de acesso aos fundos da habitação, que é metálica. Todas as paredes possuem o mesmo material construtivo. O reboco é de COR CLARA com as propriedades (α , emissividade, etc.), informados na Tabela 2.

O forro e o telhado representam uma zona térmica com volume de 82,56 metros cúbicos. As referências volumétricas de todos os cômodos estão apresentadas na Tabela 1. As áreas de sombreamento indicadas no modelo (representadas em coloração roxa na Figura 2) correspondem tanto às abas do telhado quanto às edificações vizinhas (paredes da vizinhança).

Nos resultados, o sombreamento causado pelas abas do telhado está presente em todas as simulações. Já o sombreamento proveniente das habitações vizinhas é considerado nos resultados apenas quando indicada explicitamente a sua presença.

A Tabela 2 apresenta as características construtivas das superfícies e subsuperfícies. Os parâmetros são definidos da seguinte forma: e representa a espessura do material; k é a condutividade

térmica; ρ é a densidade de massa aparente; c corresponde ao calor específico do material; α_t é a absorvidade da radiação térmica de onda longa na temperatura de superfície de 300 K; α_s é a absorvidade da radiação solar integrada em todo o espectro do comprimento de onda; e α_v é a absorvidade da radiação solar integrada no espectro do comprimento de onda visível. Os parâmetros α_t , α_s e α_v são adimensionais.

A rotina de ocupação dos habitantes está descrita na Tabela 1. Durante a semana, a rotina de ocupação determina que os quartos são os ambientes com maior tempo de utilização, enquanto nos finais de semana (sábado e domingo), a sala passa a ser o cômodo de maior ocupação.

Duas rotinas distintas de ocupação foram consideradas:

- Rotina 1: Durante a semana, os habitantes permanecem fora da residência no período diurno, ocupando a habitação principalmente no período noturno.
- Rotina 2: Durante a semana, os habitantes permanecem na habitação principalmente no período diurno.

A residência é ocupada por 3 pessoas, que se distribuem alternadamente pelos diferentes cômodos. Dessa forma, as estimativas de

ocupação e uso dos ambientes foram consideradas aproximadas, com valores médios utilizados para a análise.

Tabela 2 – Propriedades dos materiais construtivos da habitação

Material	Propriedades						
	e (m)	k (W m ⁻¹ K ⁻¹)	ρ (kg m ⁻³)	c (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	α _t	α _s	α _v
Tijolo 6 furos	0,14	0,37	898	480	0,92	0,75	0,75
Reboco das paredes	0,0015	1,15	1800	1000	0,90	0,50	0,50
Telha de fibrocimento	0,008	0,95	1900	840	0,9	0,75	0,75
Forro de madeira	0,01	0,15	608	1630	0,90	0,50	0,50
Porta de madeira	0,035	0,15	608	1630	0,90	0,50	0,50
Porta metálica	0,0005	45,28	7824	500	0,90	0,50	0,50
Piso cerâmico	0,005	1	1900	1000	0,90	0,75	0,75
Estrutura de contrapiso	0,03	1,15	2000	1000	0,90	0,50	0,50
Isolamento térmico	0,5	0,03	43	1210	-	-	-

Fonte: SIEGEL; HOWELL, 2002; ABNT, 2003; ASHRAE, 2005.

As propriedades do vidro utilizado nas janelas (vidro claro simples) são as seguintes: espessura de 3 mm, transmitância solar de 0,837, refletância solar externa de 0,075, refletância solar interna de

0,075, transmitância visível de 0,898, refletância visível externa de 0,898, refletância visível interna de 0,081, transmitância infravermelha de 0, emissividade interna de 0,84, emissividade externa

de 0,84 e condutividade térmica de 0,9 W/m·K. Todos os valores de reflectância, transmitância e emissividade são adimensionais.

O dimensionamento do sistema de ar-condicionado foi realizado por meio da função autosize. Essa propriedade permite a determinação de curvas de desempenho para os equipamentos de climatização, fornecendo os dados necessários para calcular as demandas de potência de refrigeração e aquecimento.

As simulações foram conduzidas sob duas condições de rotina de utilização, levando em conta o forro com e sem isolamento térmico e a presença ou ausência do sombreamento causado pela vizinhança. Os resultados apresentam a carga térmica de resfriamento e de aquecimento para as diferentes condições analisadas, bem como a estimativa total do consumo de energia elétrica.

As simulações foram caracterizadas da seguinte forma:

Caso A: Resfriamento do ambiente, com ocupação predominante no período noturno.

Caso B: Aquecimento do ambiente, com ocupação predominante no período diurno.

Caso C: Resfriamento do ambiente, com ocupação predominante no período noturno.

Caso D: Aquecimento do ambiente, com ocupação predominante no período diurno.

Para todos os casos, foram avaliadas as seguintes configurações:

- (a) Com sombreamento lateral.
- (b) Com sombreamento lateral e com isolamento no forro.
- (c) Sem sombreamento lateral.
- (d) Sem sombreamento lateral e com isolamento no forro.

Em suma, o procedimento metodológico seguiu uma sequência estruturada, iniciando-se com a construção do modelo geométrico da edificação no Google SketchUp. Em seguida, realizou-se o levantamento das propriedades termofísicas dos materiais de construção, a fim de caracterizar adequadamente os elementos opacos e transparentes no ambiente de simulação. Posteriormente, foram definidos os períodos de ocupação da edificação, considerando rotinas distintas de uso. Na etapa seguinte, procedeu-se à configuração dos parâmetros de simulação do sistema de ar condicionado, com ajuste das condições operacionais e dos setpoints de controle. Por fim, foram executadas as simulações no EnergyPlus, obtendo-se as potências de aquecimento e de resfriamento, bem como o consumo de energia elétrica mensal e anual da edificação, para os Casos A, B, C e D previamente definidos.

3. Resultados

Esta seção apresenta os resultados das simulações realizadas. Serão exibidos os valores da carga térmica de resfriamento e da carga térmica de aquecimento, ambos expressos em BTU/h. Para a manutenção do conforto térmico do ambiente, foram consideradas as temperaturas de 22 °C para aquecimento e 24,5 °C para resfriamento, conforme recomendações da ASHRAE (2013). Sempre que a temperatura do ambiente estiver abaixo de 22 °C, o sistema de aquecimento será acionado, e quando estiver acima de 24,5 °C, o sistema de resfriamento será ativado, de acordo com os horários de utilização indicados na Tabela 1. Assim, o sistema de ar-condicionado será acionado automaticamente sempre que os limites de temperatura forem excedidos.

Para fins de organização, os resultados são apresentados conforme Rotina 1 e Rotina 2. A Rotina 1 representa uma habitação que permanece total ou parcialmente vazia durante o dia e é ocupada à noite, sendo nesse período que o ar-condicionado é utilizado. Já a Rotina 2 representa uma ocupação predominante ao longo do dia. O tempo de utilização do sistema é o mesmo para ambas as rotinas, diferenciando-se apenas pela

incidência da radiação solar, tomando a carga térmica dependente exclusivamente das condições externas do ambiente.

Os resultados estão organizados nas seguintes tabelas:

- Tabela 3: Carga térmica de resfriamento – Rotina 1
- Tabela 4: Carga térmica de aquecimento – Rotina 1

- Tabela 5: Carga térmica de resfriamento – Rotina 2

- Tabela 6: Carga térmica de aquecimento – Rotina 2

Os dados apresentados indicam que, devido às condições climáticas da região, a carga térmica de resfriamento é mais elevada entre os meses de novembro e março, enquanto a carga térmica de aquecimento é mais significativa entre abril e outubro.

Tabela 3 – Propriedades dos materiais construtivos da habitação

Mês	Com sombreamento (Figura 2)	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento (Figura 3)	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	1717,21	938,23	1759,50	968,57
Fevereiro	1576,92	1045,84	1611,00	1062,37
Março	620,62	275,13	643,48	291,99
Abril	179,84	46,49	190,75	51,58
Maio	15,58	0,47	17,32	0,63
Junho	0	0	0	0
Julho	0,02	0	0,043	0
Agosto	21,95	2,39	22,93	2,40
Setembro	29,81	8,36	31,84	8,37
Outubro	327,89	54,78	343,36	59,29
Novembro	703,17	274,73	726,22	286,11
Dezembro	773,20	235,81	804,54	253,19
Dezembro	962,49	667,20	985,07	300,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 4 – Carga térmica de aquecimento (em BTU/h). Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 1

Mês	Com sombreamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	133,91	63,11	142,24	430,16
Fevereiro	296,49	181,19	306,97	886,32
Março	658,26	432,81	679,11	199,58
Abril	2116,88	1563,71	2153,53	507,45
Maiο	3451,45	2695,77	3494,20	845,44
Junho	3688,62	2973,94	3738,54	911,08
Julho	4414,31	3487,05	4461,43	1071,10
Agosto	5043,20	3898,68	5084,78	1210,49
Setembro	3838,77	3077,95	3878,25	961,94
Outubro	2073,92	1607,84	2107,74	504,63
Novembro	1232,16	897,52	1257,86	454,94
Dezembro	962,49	667,20	985,07	300,02

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Nos casos sem isolamento térmico, os valores de carga térmica para aquecimento se mantêm semelhantes. No entanto, com a inclusão do isolamento térmico, observa-se uma redução no consumo de energia térmica. Além disso, considerando a habitação com isolamento térmico e com sombreamento proveniente das edificações vizinhas, os valores de consumo energético são ainda menores. Essa redução ocorre porque uma parte significativa da carga térmica de aquecimento provém da radiação solar, e a presença de sombreamento limita essa contribuição. Os resultados referentes à Rotina 1 estão ilustrados nas Figuras 6 e 7.

Considerando a Rotina 1 de ocupação, os resultados para a carga térmica de resfriamento indicam que os casos sem isolamento do forro apresentam maior demanda térmica. Já os casos com isolamento demonstram uma redução na carga térmica para resfriamento. Esses resultados são coerentes com o esperado em edificações, pois o isolamento térmico tem como objetivo minimizar o consumo de energia térmica.

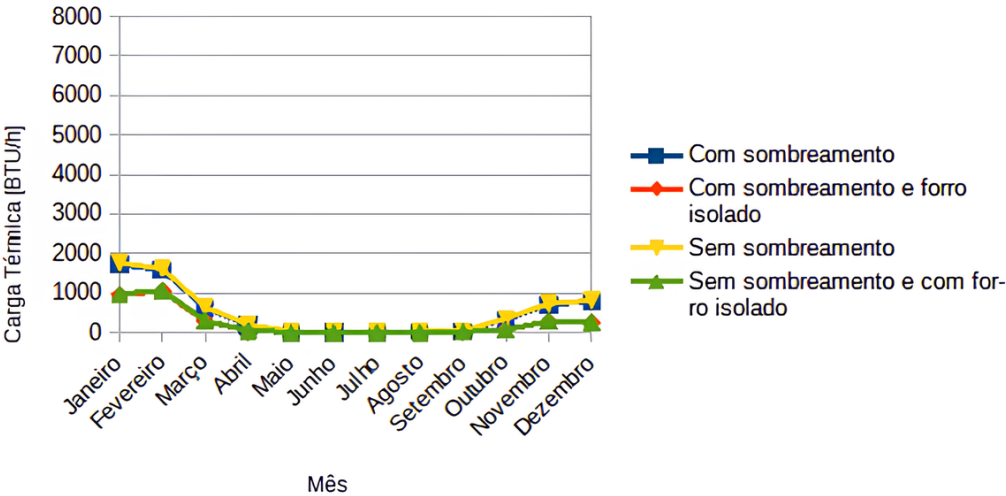
Observa-se que, para a Rotina 1, o sombreamento da vizinhança não tem impacto significativo nos resultados. Isso ocorre porque a maior parte da ocupação acontece durante a noite, período em que a radiação solar não influencia diretamente o

ambiente interno, tornando o consumo de energia para resfriamento independente da presença de sombreamento externo.

A Rotina 2 representa uma ocupação predominante ao longo do dia, o que significa que toda a carga térmica sofre interferência da irradiação solar. Para

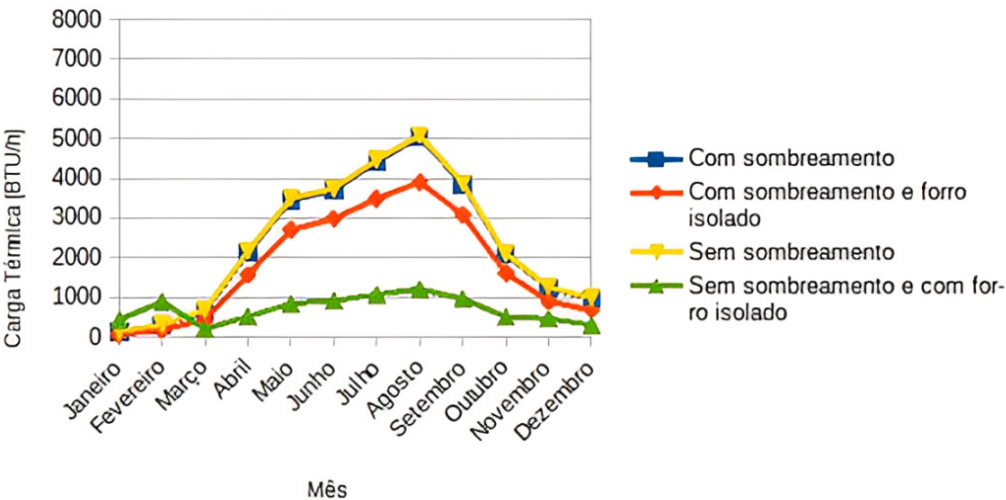
a carga térmica de resfriamento, os casos sem isolamento térmico apresentaram maior demanda energética, enquanto os casos com isolamento mostraram uma redução significativa na carga térmica. Além disso, nos casos com isolamento térmico e sombreamento, os menores índices de carga térmica para resfriamento foram registrados.

Figura 6 – Carga térmica de resfriamento. Carga térmica mensal necessária para o resfriamento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 7 – Carga térmica de aquecimento. Carga térmica mensal necessária para o aquecimento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

As diferenças médias anuais de carga térmica para refrigeração, se comparados com o caso com sombreamento e com isolamento térmico, foram as seguintes:

- 180,31% menor no caso sem sombreamento,
- 168,87% menor no caso com sombreamento,
- 21,99% menor no caso sem sombreamento, mas com isolamento térmico.

Para a carga térmica de aquecimento, não houve diferença significativa entre os valores obtidos. Isso pode ser atribuído ao fato de que, ao longo do tempo e nos horários indicados para a utilização do ambiente, a incidência solar foi suficiente para auxiliar na manutenção do conforto térmico e na redução da demanda de aquecimento. Além disso, as temperaturas mais elevadas ao longo do dia, típicas do clima local, ajudaram a manter o ambiente aquecido, diminuindo o consumo de energia para essa finalidade. Outro fator relevante é que, nos dados climáticos utilizados, houve uma menor ocorrência de dias de inverno, especialmente dias nublados e encobertos.

Tabela 5 – Carga térmica de resfriamento (em BTU/h). Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2

Mês	Com sombreamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	6698,53	2906,92	6895,56	3415,15
Fevereiro	5578,29	2333,52	5751,48	3235,28
Março	2893,93	840,68	3049,16	1343,94
Abril	786,87	163,75	856,52	292,96
Maiο	167,49	21,42	189,74	52,88
Junho	9,062	0,01	13,19	0
Julho	62,33	6,49	71,32	10,23
Agosto	116,30	36,52	125,19	38,79
Setembro	278,73	144,79	300,304	104,73
Outubro	1569,29	461,18	1659,36	461,32
Novembro	2909,77	801,69	3044,28	1040,17
Dezembro	3171,26	1299,19	3317,38	1003,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Tabela 6 – Carga térmica de aquecimento (em BTU/h). Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2

Mês	Com sombreamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Janeiro	6,38	7,73	6,68	3,15
Fevereiro	25,46	41,65	24,91	21,53
Março	73,55	111,98	73,70	63,97
Abril	553,13	712,98	541,08	526,06
Maio	1730,45	2010,84	1684,56	1709,13
Junho	3241,80	3325,90	3206,35	2996,04
Julho	4044,53	4031,16	4007,88	3719,09
Agosto	3568,18	3913,18	3489,55	3557,92
Setembro	1966,78	2537,84	1901,01	2194,06
Outubro	442,50	750,73	429,32	566,90
Novembro	190,56	338,64	184,50	230,16
Dezembro	84,28	142,32	83,46	80,97

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os resultados confirmam que isolamento térmico e sombreamento reduzem as cargas de aquecimento e resfriamento. No entanto, esses efeitos também dependem de fatores urbanos. Recuos entre edificações, altura máxima e áreas permeáveis podem alterar a ventilação natural e a radiação solar incidente. Assim, observa-se que os ganhos obtidos nas simulações podem ser ampliados em contextos urbanos planejados de forma a favorecer a eficiência energética.

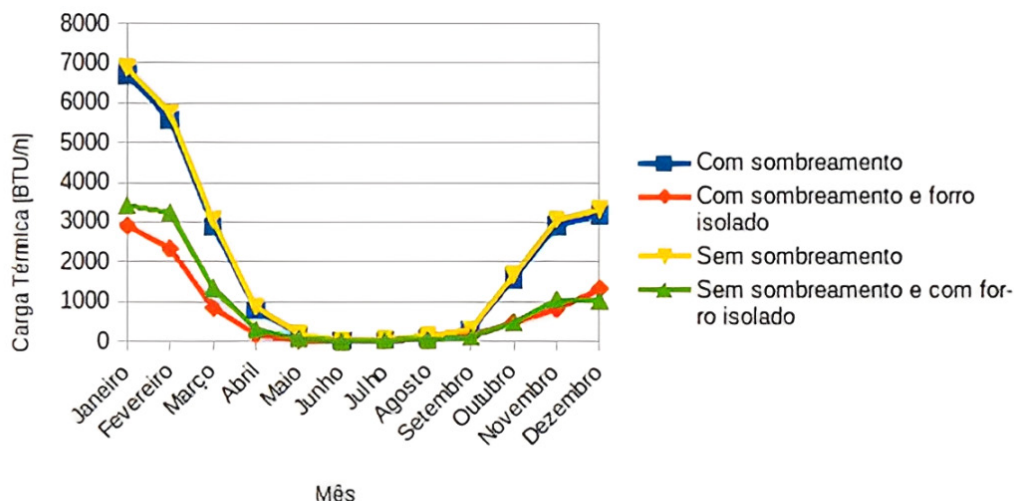
Os maiores consumos foram identificados para resfriamento na Rotina 2 e aquecimento na Rotina 1. Isso confirma a influência da utilização do

ambiente no consumo energético:

- Na Rotina 1, as temperaturas mais baixas ao longo da noite aumentam a necessidade de aquecimento.
- Na Rotina 2, as temperaturas mais altas durante o dia elevam a demanda de resfriamento.

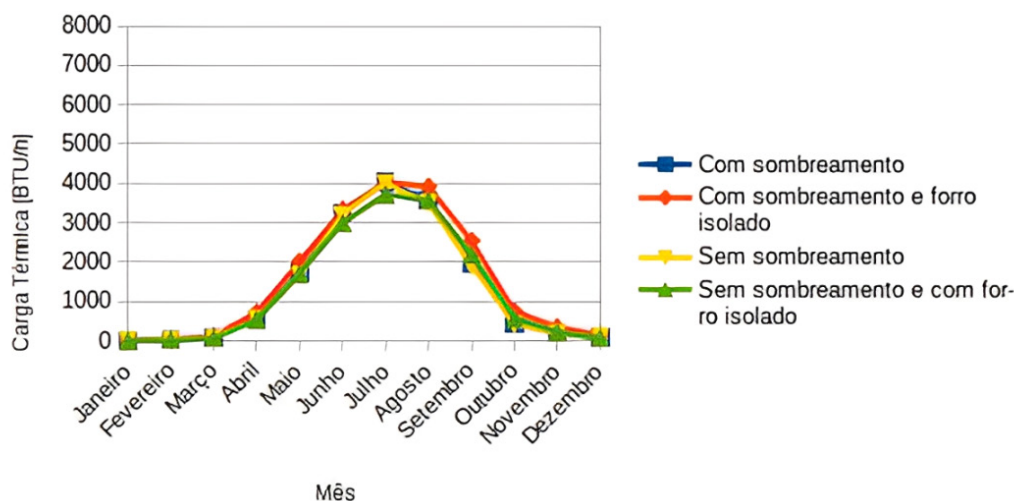
Por fim, o sombreamento demonstrou maior impacto na Rotina 1 em relação ao aquecimento e na Rotina 2 nos casos de resfriamento, evidenciando sua influência na regulação térmica da edificação.

Figura 8 – Carga térmica de resfriamento. Carga térmica mensal necessária para o resfriamento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 9 – Carga térmica de aquecimento. Carga térmica mensal necessária para o aquecimento dos quartos e sala. Ocupação do ambiente conforme Tabela 1 e Rotina 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os consumos de energia elétrica para as médias mensais de cada caso analisado são apresentados na Tabela 7. Os resultados indicam que o consumo de energia elétrica é mais eficiente (ou seja, apresenta menor consumo) na configuração da Rotina 2, com forro isolado, mas sem sombreamento na residência.

É importante destacar que os valores representam uma média anual, abrangendo períodos de aquecimento e resfriamento do ambiente. A incidência solar nas paredes auxilia na redução da carga térmica de aquecimento, enquanto o isolamento térmico no forro minimiza perdas térmicas excessivas, contribuindo para a eficiência

energética.

O maior consumo energético foi registrado na configuração sem sombreamento e sem isolamento térmico, para a ocupação correspondente à Rotina 1. Esses resultados reforçam a importância

do isolamento térmico do forro, uma vez que essa superfície estabelece trocas térmicas diretas com a atmosfera e recebe radiação solar direta. Portanto, quando o objetivo é a economia energética da edificação, o isolamento térmico do forro se mostra um elemento fundamental.

Tabela 7 – Média mensal de consumo energético. Média de consumo energético considerando o cômputo de resfriamento e aquecimento ao longo do ano. Consumo elétrico dos equipamentos HVAC em kWh

	Com sombreamento sem isolamento	Com sombreamento e forro isolado	Sem sombreamento e sem isolamento	Sem sombreamento e com forro isolado
Rotina 1	209,20	155,01	211,83	145,07
Rotina 2	115,79	123,34	113,76	109,43

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os padrões de ocupação residencial podem variar conforme a cultura local. Papakostas e Sotiropoulos (1997) identificaram que a ocupação total da habitação (100% dos membros familiares presentes) ocorre apenas entre 22h e 6h. Já a ocupação acima de 80% ocorre, em média, entre 17h e 7h. Além disso, os autores observaram que algumas atividades seguem padrões específicos de horário: assistir televisão ocorre predominantemente à noite, limpeza da casa ocorre no final da manhã, cozinhar acontece entre 10h e 12h e novamente entre 18h e 21h, enquanto lavar roupas segue os mesmos períodos da atividade de cozinhar. Já o hábito de tomar banho é mais frequente no período noturno. Considerando essas características, a Rotina 1 representa de forma satisfatória a rotina típica de uma família.

O impacto dos hábitos dos ocupantes na carga térmica da residência tende a ser reduzido em construções sem isolamento térmico. Meester et al. (2013) demonstraram que a influência dos ocupantes na carga térmica do ambiente torna-se

significativa apenas quando há isolamento térmico eficaz, reduzindo a interferência do ambiente externo. Dessa forma, o detalhamento dos hábitos dos moradores se torna essencial para edificações com isolamentos eficientes, que bloqueiam as trocas térmicas com o exterior.

No Brasil, os projetos residenciais, em geral, possuem pouca efetividade de isolamento térmico para aquecimento ou resfriamento. Invidiata e Ghisi (2016) indicam que as residências brasileiras devem ser projetadas priorizando a economia de energia para resfriamento, uma vez que há mais dias quentes do que frios ao longo do ano. Esse enfoque favorece uma maior economia energética relacionada ao resfriamento dos ambientes.

Estudos sobre o efeito das edificações vizinhas no consumo energético foram conduzidos por Ascione et al. (2020). O estudo buscou identificar o grau de detalhamento necessário na modelagem computacional dessas edificações para prever corretamente a influência do sombreamento ainda na fase de projeto. Os autores concluíram que a

influência do sombreamento varia conforme o grau de exposição da edificação ao sol. Dessa forma, a modelagem da interação com o meio externo depende de diversos fatores, como a configuração arquitetônica e o nível de sombreamento existente.

4. Conclusões

O presente estudo teve como objetivo avaliar o impacto do sombreamento no consumo energético de uma habitação unifamiliar, com foco na análise das cargas térmicas de resfriamento e aquecimento dos ambientes. Considerando que os equipamentos de ar-condicionado representam um consumo energético significativo e que a climatologia externa influencia diretamente sua operação, foram analisadas as cargas térmicas nos quartos e na sala, que possuem sistemas de condicionamento de ar instalados. A investigação levou em conta a incidência direta da radiação solar e a presença de elementos externos de sombreamento, localizados nas paredes laterais da edificação, devido à proximidade com construções vizinhas.

O estudo teve como objetivo principal investigar a influência do sombreamento da vizinhança nas paredes laterais da habitação, bem como a utilização de isolamento térmico no forro. Para isso, foram consideradas duas rotinas de ocupação e duas configurações construtivas, abordando casos com e sem forro isolado e com e sem sombreamento lateral, para situações de ocupação diurna e noturna.

Os resultados indicaram que uma ocupação predominantemente diurna resulta em maior carga térmica de resfriamento. Já para o aquecimento do ambiente, a rotina diurna não apresentou diferença significativa em relação à presença de sombreamento ou isolamento térmico do forro. No entanto, na rotina com uso predominantemente noturno, a carga térmica de aquecimento tem um impacto mais expressivo. Além disso, a presença de sombreamento teve um efeito mais relevante na redução da carga térmica de resfriamento.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram os achados da literatura, evidenciando que

fatores climáticos possuem grande influência no desempenho térmico e energético da edificação. O isolamento térmico se mostrou efetivo tanto para aquecimento quanto para resfriamento, reduzindo o consumo energético em diferentes condições. Um planejamento construtivo adequado pode minimizar os efeitos de elementos externos, como paredes ou muros vizinhos, melhorando a posição solar da edificação e favorecendo áreas de ventilação natural.

A análise da influência do sombreamento, do isolamento térmico e da rotina de ocupação na carga térmica da edificação reforça que esses fatores impactam diretamente a demanda por aquecimento e resfriamento. O sombreamento lateral reduz significativamente a necessidade de resfriamento diurno, minimizando a incidência solar direta sobre a construção. O isolamento térmico no forro atua na redução das trocas de calor com o ambiente externo, diminuindo tanto a carga térmica de aquecimento quanto a de resfriamento. Por fim, a rotina de ocupação influencia os períodos de maior demanda energética, sendo que uma ocupação diurna aumenta a necessidade de resfriamento, enquanto uma ocupação predominantemente noturna eleva a demanda por aquecimento. A combinação desses fatores permite otimizar o consumo de energia e melhorar a eficiência térmica da edificação.

A análise mostra que a eficiência energética em habitações não depende apenas de soluções construtivas. A inclusão de critérios de conforto térmico e eficiência nos coeficientes urbanísticos pode melhorar a ventilação, equilibrar a radiação solar e reduzir o efeito de ilhas de calor. Recomenda-se que planos diretores municipais considerem indicadores energéticos na definição de parâmetros de ocupação e aproveitamento do solo, fortalecendo os resultados obtidos em estudos de simulação. Parâmetros como taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, recuos e altura máxima interferem na ventilação natural, na incidência de radiação solar e no sombreamento entre edificações, impactando diretamente as cargas térmicas de aquecimento e resfriamento. Recomenda-se que planos diretores e leis de uso

e ocupação do solo adotem critérios técnicos de desempenho térmico (por exemplo, relações entre altura e distância que evitem sombreamento excessivo), de modo a potencializar o efeito do isolamento do forro e a efetividade de estratégias de sombreamento conforme o padrão de uso (diurno/noturno) observado. Essa integração entre projeto da edificação e regulação urbana tende a reduzir picos de carga, melhorar o conforto térmico e promover eficiência energética em escala de bairro.

5. Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ANNIBALDI, V., CUCCHIELLA, F., BERARDINIS, P., GASTALDI, M., & ROTILIO, M. An integrated sustainable and profitable approach of energy efficiency in heritage buildings. *Journal of Cleaner Production*, v. 251, 119516, 2020.

ASCIONE, F., BIANCO, N., IOVANE, T., MASTELLONE, M., MAURO, G.M. Is it fundamental to model the inter-building effect for reliable building energy simulations? Interaction with shading systems. *Building and Environment*, v. 183, 107161, 2020.

ASHRAE. Handbook - Fundamentals. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2005.

ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA, 2013.

ASHRAE. Climate Design Conditions. Disponível em: <https://ashrae-meteo.info/v2.0/>. Acesso em: 17 de dezembro de 2024.

BHOWMIC, A., MODAK, M., CHAK, M., Mohammad, N. IoT-Based Home Energy Management System to Minimize Energy Consumption Cost in Peak Demand Hours. 10th IEEE International Conference on Power Systems (ICPS), pp. 1-6, 2023.

CHEN, S., ZHANG, G., XIA, X., CHEN, Y., SETUNGE, S., & SHI, L. The impacts of occupant behavior on building energy consumption: A review. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 45, pp. 101212, 2021.

ENERGY PLUS. Weather Data. Disponível em:

https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA/BRA_RS_Santa_Maria.839360_TNMET. Acesso em: 17 de dezembro de 2024.

INVIDIATA, A., GHISI, E. Impact of climate change on heating and cooling energy demand in houses in Brazil. *Energy and Building*, v.130, p. 20-32, 2016.

KAMALUDIN, M. Electricity Consumption in Developing Countries. *Asian journal of social sciences and humanities*, 2, 84-90, 2013.

KAMIMURA, M.K., GNECCO, V.M., GIARETTA, R.F., Fossati, M. Edificações de Energia Zero: Uso das Cores Como Estratégia para a Redução do Consumo de Energia. *Mix Sustentável*, v.6, n.2, p.99-110, 2020.

KAZANCI, O., OLESEN, B.. Thermal Indoor Environment and Energy Consumption in a Plus-energy House: Cooling Season Measurements. *Energy Procedia*, 78, pp. 2965-2970, 2015.

LEVINSON, R. Using solar availability factors to adjust cool-wall energy savings for shading and reflection by neighboring buildings. *Solar Energy*, 2019.

MAFTOUNI, N., KIANA, M. Optimization of Cooling and Heating Loads in a Residential Building in a Hot and Dry Climate. *Journal of Mechanical Engineering*, v. 50, p. 215-224, 2020.

- MATHEW, P., GREENBERG, S., FRENZE, D., MOREHEAD, M., SARTOR, D., STARR, W. Using measured equipment load profiles to "right-size" HVAC systems and reduce energy use in laboratory buildings (Pt. 2). Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008.
- MEESTER, T., MARIQUE, A-F., HERDE, A., REITER, S. Impacts of occupant behaviors on residential heating consumption for detached houses in a temperature climate in the northern part of Europe. *Energy and Building*, v.57, p. 313-323, 2013.
- PAPAKOSTAS, K.T., SOTIROPOULOS, B.A. Occupational and energy behaviour patterns in Greek residences. *Energy and Building*, v. 26, p. 207-213, 1997.
- PÉREZ-LOMBARD, L., ORTIZ, J., POUT, C. A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, v. 40, n.3, p. 394-398, 2008.
- PROZUMENTS, A., STAVECKIS, A., ZEMITIS, J., & BAJARE, D.. Evaluation of Heating and Cooling Loads for a Well-Insulated Single-Family House under Variable Climate Pattern. *Environmental and Climate Technologies*, v.25, p. 750 - 763, 2021.
- SAKIYAMA, N.R.M., MAZZAFERRO, L., CARLO, J.C., BEJAT, T., GARRECHT, H. Dataset of the Energyplus model used in the assessment of natural ventilation potential through building simulation. *Data in Brief*, v. 34, 2021.
- SIEGEL, R.; HOWELL, J. R. *Thermal Radiation Heat Transfer*. 4. ed. New York: Taylor & Francis, 2002.
- SHAN, X., LU, W., & HUI, S.. Dynamic Performance of Indoor Environment and Energy Consumption of Air Conditioning System under Intermittent Mode. *Energy Procedia*. v. 158, p. 3821-3826, 2019.
- SUKARNO, I., MATSUMOTO, H., SUSANTI, L. Household lifestyle effect on residential electrical energy consumption in Indonesia: On-site measurement methods. *Urban Climate*, 20, 20-32, 2017.
- THOMAS, S., ROSENOW, J. Drivers of increasing energy consumption in Europe and policy implications. *Energy Policy*, v. 137, 2020.
- YU, S., CUI, Y., XU, X., FENG, G. Impact of Civil Envelope on Energy Consumption Based on Energy Plus. *Procedia Engineering*, v. 121, p. 1528-1534, 2015.
- WU, T., ZHOU, X., LU, Y., HU, S. The Influence of Occupancy Change on the Change of Heating and Cooling Energy Consumption in Residential Buildings - A Case Study of Nanjing. *Building Simulation Conference Proceedings*. 2023.

DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE AÇÕES VOLTADAS À REDUÇÃO DE SINISTROS ENVOLVENDO CICLISTAS EM SÃO CARLOS-SP, BRASIL

Identifying Issues and Proposing Actions Aimed at Reducing Accidents Involving Cyclists in São Carlos-SP, Brazil

Diagnóstico y Propuesta de Acciones para Reducir los Accidentes con Ciclistas en São Carlos-SP, Brasil

SOUSA, G. A. D.¹; MONARI, M.²

Resumo

No Brasil, a priorização do transporte motorizado individual em viagens cotidianas reflete em altos índices de sinistros de trânsito. Os objetivos deste trabalho são: conduzir um diagnóstico da segurança viária de ciclistas na cidade de São Carlos-SP, Brasil, identificando locais críticos à ocorrência de sinistros envolvendo ciclistas; e propor ações mitigadoras nesses locais para prevenir futuros sinistros. Para isso, foram filtrados na plataforma INFOSIGA-SP e georreferenciados em ambiente SIG os registros de sinistros pertinentes ocorridos na última década, que permitiram produzir um Mapa de Densidade de Kernel. Os cinco principais hotspots do mapa foram visitados em campo para levantamento das correspondentes características geométricas e operacionais; e, para cada trecho viário ou interseção crítica, foram sugeridas soluções envolvendo medidas de traffic calming, provisão de infraestrutura cicloviária etc. Especula-se que o trabalho tenha sido um bom ponto de partida para se proceder com a proposta de medidas mitigadoras pontuais da violência relacionada ao uso da bicicleta no trânsito do estudo de caso, como melhoria de sinalização, provisão de ciclovias etc.; e com a avaliação de medidas recentemente implementadas no município. Ademais, os resultados permitem orientar as autoridades locais sobre a priorização de estudos específicos de viabilidade ou de tráfego.

Palavras-chave: Bicicleta; Segurança viária; INFOSIGA-SP; Moderação de tráfego.

Data da Submissão:
25 de novembro de 2024
Data da Aprovação:
05 de agosto de 2025
Data da Publicação:
17 de dezembro de 2025

¹ SOUSA, G. A. D. - Gustavo Augusto Debeus de Sousa: Graduando de Engenharia Civil na Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8226-3609>, gustavodebeus20@estudante.ufscar.br

² MONARI, M. - Marcelo Monari: Prof. Dr. da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5562-3235>, marcelo.monari@ufscar.br

COMO CITAR:

SOUSA, G. A. D.; MONARI, M. DIAGNÓSTICO E PROPOSTA DE AÇÕES VOLTADAS À REDUÇÃO DE SINISTROS ENVOLVENDO CICLISTAS EM SÃO CARLOS-SP, BRASIL. Engenharia Urbana Em Debate, 6(1). <https://doi.org/10.14244/engurbdebate.v6i1.145>



Abstract

In Brazil, the prioritization of individual motorized transport in everyday trips is reflected in high rates of traffic accidents. The objectives of this paper are: to conduct a diagnosis of road safety for cyclists in the city of São Carlos-SP, Brazil, identifying critical locations for the occurrence of accidents involving cyclists; and propose mitigating actions in these locations to prevent future accidents. To this end, the relevant accident records that occurred in the last decade were filtered on the INFOSIGA-SP platform and georeferenced in GIS, which allowed the production of a Kernel Density Map. The five main hotspots on the map were visited in the field to survey the corresponding geometric and operational characteristics; and, for each road section or critical intersection, solutions were suggested involving traffic calming measures, provision of cycling infrastructure, etc. It is speculated that the research was a good starting point to proceed with the proposal of targeted measures to mitigate bicycle-related traffic violence in the case study, such as improved signage, provision of bike paths, etc.; and with the evaluation of measures recently implemented in the city. Furthermore, the results allow local authorities to be guided on the prioritization of specific feasibility or traffic studies.

Keywords: Bicycle; Road Safety; INFOSIGA-SP; Traffic Calming.

Resumen

En Brasil, la priorización del transporte individual motorizado en los viajes cotidianos se refleja en altas tasas de accidentes de tránsito. Los objetivos de este trabajo son: realizar un diagnóstico de seguridad vial para ciclistas en la ciudad de São Carlos-SP, Brasil, identificando lugares críticos para la ocurrencia de accidentes que involucran a ciclistas; y proponer acciones mitigadoras en estas localidades para prevenir futuros accidentes. Para ello, los registros relevantes de accidentes ocurridos en la última década fueron filtrados en la plataforma INFOSIGA-SP y georreferenciados en SIG, lo que permitió producir un Mapa de Densidad Kernel. Se realizaron visitas de campo a los cinco principales puntos críticos identificados en el mapa, con el fin de analizar sus características geométricas y operativas correspondientes; y, para cada segmento o intersección crítica, se sugirieron soluciones que involucran medidas para calmar el tráfico, provisión de infraestructura para bicicletas, etc. Se especula que el trabajo fue un buen punto de partida para proponer medidas puntuales para mitigar la violencia relacionada con el uso de la bicicleta en el tránsito del estudio de caso, como la mejora de la señalización, la provisión de ciclovías, etc.; y evaluar medidas recientemente implementadas en el municipio. Además, los resultados permiten orientar a las autoridades locales en la priorización de estudios específicos de viabilidad o de tráfico.

Palabras-clave: Bicicleta; Seguridad Vial; INFOSIGA-SP; Moderación del Tráfico.

1. Introdução

O sistema de mobilidade que prioriza o transporte motorizado individual, especialmente quando não acompanhado de adequada legislação e/ou fiscalização e provisão de infraestrutura viária, reflete em altos índices de sinistros de trânsito. Segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2023), anualmente, são registradas cerca de 1,19 milhão de mortes decorrentes de sinistros de trânsito, 92% das quais ocorrem em países em desenvolvimento, que agregam aproximadamente 60% da frota mundial de veículos.

No Brasil, de acordo com o recente diagnóstico publicado no Global Status Report on Road Safety (OMS, 2023), estima-se que mais de 31 mil mortes ocorrem anualmente devido a sinistros de trânsito, o que equivale a uma taxa de 15,7 mortes a cada 100 mil habitantes. No caso específico das vítimas ciclistas, que, em 1996, correspondiam a apenas

0,9% dos óbitos no trânsito brasileiro, estima-se que, hoje, elas representem 3,5% do total desses óbitos (Ministério da Saúde, 2022). Apesar dos números preocupantes, nota-se que a busca pela redução da sinistralidade viária não é uma tarefa desempenhada pelas autoridades nacionais em transportes com a urgência que lhe é devida.

Em 2010, foi proclamada a primeira Década de Ação da Segurança no Trânsito, sendo estabelecida, para o período 2011-2020, uma meta global de redução pela metade do número de mortes por sinistros de trânsito (OMS, 2011). Em contrapartida, no Brasil, somente ao final do período em questão, via Lei nº 13.614/2018 (Brasil, 2018), foi implementado o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), que determinou a redução em 50% nos índices de mortes por 100 mil habitantes e em mortes por 10 mil veículos, tanto a nível nacional

quanto para cada Unidade da Federação, considerando (originalmente) o período 2019-2028. Ao final de 2021, no entanto, os pilares de ação e o próprio prazo para o cumprimento das metas foram modificados, no último caso, sendo prorrogado para 2030 (Brasil, 2021).

Estabelecer metas é algo importante em programas que visam aumentar a segurança viária, especialmente para demonstrar um certo grau de comprometimento dos gestores envolvidos (European Road Safety Observatory, 2018). Nesse contexto, embora o PNATRANS seja um marco importante na formalização de diretrizes voltadas à mitigação da violência no trânsito brasileiro, o documento não explicita como as metas estaduais e a nacional devem ser incorporadas pelas autoridades em transportes de cada cidade brasileira (Santos et al., 2022). Assim, em uma abordagem mais pragmática, ações/soluções pontuais podem ser propostas de forma individualizada para cada município com base no georreferenciamento dos sinistros de trânsito registrados nos mesmos.

Diante das informações apresentadas, o objetivo do presente trabalho é conduzir um diagnóstico da segurança viária de ciclistas da cidade de São Carlos-SP, Brasil, identificando locais críticos com base no georreferenciamento de sinistros que envolveram ciclistas locais. Além disso, objetiva-se também discutir alguns dos potenciais fatores causadores desses sinistros e, se exequível, propor ações/soluções voltadas à mitigação da violência no trânsito do local de estudo. Dessa forma, as duas seguintes perguntas foram formuladas para a pesquisa:

1) Com base no histórico de sinistros envolvendo ciclistas na última década em São Carlos-SP, quais são os segmentos viários ou interseções, dentro do perímetro urbano, que demandam esforços mais imediatos do poder público municipal para mitigação da violência no trânsito?

2) Nos locais previamente identificados como críticos, é possível elencar prováveis fatores para a ocorrência dos sinistros envolvendo ciclistas? Se sim, quais medidas de traffic calming ou demais

ações (provisão de infraestrutura, melhoria de sinalização etc.) poderiam ser implementadas para evitar futuros sinistros?

2. Caracterização

No Brasil, a Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012, comumente referida como “Lei da Mobilidade”, determina que todos os municípios nacionais com população superior a 20 mil habitantes ou de interesse turístico elaborem Planos de Mobilidade Urbana (PlanMob), sobretudo, priorizando modos ativos de transporte em detrimento do transporte motorizado individual (Brasil, 2012). Contudo, desde sua aprovação, os prazos dados aos municípios para o cumprimento das exigências da “Lei da Mobilidade” vêm sendo reiteradamente prorrogados, pois, mesmo após mais de uma década, estima-se que apenas 15% daqueles municípios sujeitos à elaboração dos PlanMob os tenham produzido por completo (Ministério das Cidades, 2024).

Inobstante ao fato de São Carlos-SP, cuja população é de aproximadamente 255 mil habitantes (IBGE, 2022), já ter produzido seu PlanMob por completo e o tornado público em novembro de 2023 (Prefeitura de São Carlos, 2023), especula-se que o enfoque metodológico da presente pesquisa seja de grande valia para adequações futuras e etapas executivas do plano. Ademais, presume-se que a abordagem aqui proposta possa servir como aporte técnico para outros municípios ainda em processo de desenvolvimento/discussão de seus correspondentes planos.

A exemplo de cidades norte-americanas e europeias, entende-se que o uso da bicicleta no ambiente urbano é estimulado por políticas públicas e por um forte cicloativismo, no último caso, demandando a alocação de recursos em infraestrutura cicloviária (Cavill et al., 2008; Buehler; Pucher, 2012; Aldred; Junnickel, 2014; Lanzendorf; Busch-Geertsema, 2014). Campanhas de incentivo ao ciclismo, de forma complementar, servem ao propósito de instituir ou fortalecer a “cultura da bicicleta” nas cidades (Rosas-Satizábal; Rodriguez-Valencia, 2019). Não diferentemente, especula-se que um conjunto de

ações voltadas à redução de sinistros de trânsito também contribua nesse sentido, as quais devem ser norteadas pela identificação prévia de fatores que influenciam na ocorrência desses eventos, sobretudo, em interseções (Casello et al., 2017).

De acordo com Ferraz et al. (2012), é considerado um acidente/sinistro de trânsito qualquer evento que envolva um ou mais veículos (motorizados ou não) movimentando-se sobre uma via e que resulte em feridos e/ou danos em veículos e/ou em elementos como postes, edificações, placas de trânsito, entre outros. Ainda segundo os autores, a documentação (registro) de acidentes/sinistros deve ocorrer por meio do preenchimento do Boletim de Ocorrência (BO) por um policial militar ou agente de trânsito, devendo constar, entre outros:

- 1) Localização no espaço: Estado, município, área urbana ou rural, logradouro (ou logradouros, para o caso de interseções), numeração, marco quilométrico estimado (para o caso de rodovias), ponto de referência etc.;
- 2) Localização no tempo: ano, mês, dia do mês e da semana, horário etc.;
- 3) Características dos veículos envolvidos: tipo de veículos, marca, ano/modelo, número da placa etc.;
- 4) Características das pessoas envolvidas: nome, gênero, idade, número da Carteira Nacional de Habilitação (CNH) etc.;
- 5) Condições ambientais: nevoeiro, fumaça, chuva, chuva forte, neve etc.;
- 6) Condições do pavimento: asfalto, concreto, não revestido, pista seca, molhada, com óleo etc.;
- 7) Descrição do sinistro: tipo (colisão, tombamento, choque, atropelamento etc.), possíveis causas (alta velocidade, sinalização inadequada etc.) e croqui indicando a posição dos envolvidos.

Apesar da contribuição potencial de um conjunto de ações como o supracitado, autores como

Sousa, Bahia e Constantino (2016) enfatizam a escassez de estudos relacionados ao entendimento e à prevenção de sinistros envolvendo ciclistas em território nacional. Supõe-se que o não compartilhamento de informações por parte do setor público e a não padronização dos registros de ocorrências de sinistros de trânsito são alguns dos motivos que mais dificultam a análise dos fatores causadores desses eventos no Brasil (Machado, 2017).

Por outro lado, a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) tem facilitado consideravelmente o georreferenciamento de sinistros de trânsito e a identificação de fatores que, embora muitas vezes omitidos nos registros, estão associados às ocorrências. Exemplos internacionais, como os citados a seguir, servem para ilustrar a viabilidade e, inclusive, inspirar tal prática também no contexto brasileiro.

Burbidge(2012)baseou-senogeorreferenciamento de sinistros envolvendo ciclistas e pedestres de Salt Lake County (EUA) para identificar características que tornam as interseções mais ou menos perigosas ao tráfego desses indivíduos, sugerindo que maiores tempos de semáforo, provisão adequada de faixas de conversão à direita e maior índice de arborização podem diminuir o número de futuras ocorrências. Já Asgarzadeh et al. (2017) utilizaram um banco de dados georreferenciados disponibilizado pelo departamento de polícia municipal de Nova York (EUA) para concluir que o ângulo das interseções e a composição do tráfego possuem grande influência na severidade dos sinistros envolvendo ciclistas locais.

Os resultados do trabalho de Osama e Sayed (2017) sinalizam para uma maior probabilidade de ocorrência de sinistros envolvendo ciclistas em zonas de tráfego caracterizadas por altos índices de uso comercial do solo e com grandes proporções de vias arteriais e coletoras. Já no que se refere às características sociodemográficas dos ciclistas, Bíl, Bílová e Müller (2010), no contexto da República Tcheca, concluíram que sinistros graves e fatais são mais prováveis de ocorrer com indivíduos do gênero masculino e com 65 anos ou mais. Estudos de caso em outros países sugerem

resultados semelhantes, como os conduzidos por Martínez-Ruiz et al. (2013), na Espanha; Prati et al. (2019), na Itália, entre outros.

Em países como os Estados Unidos, Canadá e Holanda, bancos de dados georreferenciados de sinistros envolvendo ciclistas são frequentemente utilizados para a constatação de infraestruturas cicloviárias injustificadas em termos de prioridade técnica, social ou ambiental; ou ainda em termos de satisfação da demanda (Reynolds et al., 2009). Por outro lado, no Brasil, grande parte dos trabalhos que se aproveitam de bancos de dados dessa natureza têm como objetivo a simples identificação visual das áreas de maior risco à utilização da bicicleta (Leite; Rosa; Santos Neto, 2015; Oliveira; Sodelli; Freitas, 2015). Alguns autores utilizam ainda bancos de dados alheios aos de sinistros em si para tirar conclusões sobre a segurança viária de ciclistas. Andrade e Jorge (2017), por exemplo, basearam-se no Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde (SIH/SUS) para verificar que 5,4% das internações hospitalares por lesões resultantes de sinistros/acidentes de transporte terrestre, em 2013, foram de ciclistas.

3. Materiais e Método

Nesta seção, são apresentados os materiais e o método da pesquisa. Em síntese, propõe-se filtrar em banco público de dados, para a área urbana de São Carlos-SP, os registros de sinistros que envolveram ciclistas ocorridos na última década; e localizar tais registros a partir de uma camada vetorial representativa do sistema viário da cidade em questão. Essa compatibilização de dados de diferentes repositórios digitais requer ferramentas de geoprocessamento em ambiente SIG, assim como a subsequente etapa de identificação de locais críticos no que tange à segurança de ciclistas do estudo de caso. Uma vez identificados, tais locais críticos devem ser visitados em campo e, a partir das informações levantadas, ações/soluções pontuais voltadas à mitigação da violência no trânsito relacionada ao uso da bicicleta podem ser propostas.

3.1. Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O georreferenciamento e o geoprocessamento de dados espaciais (informações às quais podem ser atribuídas coordenadas) demandam a utilização de plataformas SIG, através das quais pode-se proceder com o gerenciamento, armazenamento, consulta, interpolação, conversão e modelagem das informações (Segantine, 2001). Nesse contexto, na presente pesquisa, foi utilizado o software QGIS, um SIG de código aberto e que possui interface com planilhas Microsoft Excel (onde normalmente são tabulados/fornecidos os registros de sinistros de trânsito) via arquivo de texto delimitado (.csv).

3.2. Banco de dados de sinistros de trânsito

Na presente pesquisa, foi utilizado como banco de dados de sinistros de trânsito o Sistema de Informações Gerenciais de Acidentes de Trânsito do Estado de São Paulo, ou INFOSIGA-SP (DETRAN-SP, 2024). Trata-se de uma base de dados que agrega registros de sinistros de trânsito ocorridos a partir de 2015 em cada um dos 645 municípios paulistas, com atualização mensal. Além disso, cada registro é caracterizado de acordo com o tipo de via, período do dia, condições climáticas, tempo entre o sinistro e o óbito (para sinistros fatais), tipo de veículo(s) envolvido(s), perfil da vítima e, na maior parte dos casos, localização geográfica.

Por meio de um painel interativo, é permitido ao usuário filtrar os dados de seu interesse e baixá-los para uma planilha eletrônica. Assim, conhecendo-se a latitude e a longitude de cada dado filtrado (e o correspondente sistema de coordenadas), os mesmos podem ser inseridos diretamente no SIG como uma camada de pontos; do contrário, o georreferenciamento pode ser conduzido (de forma, evidentemente, muito menos precisa) com base no nome do logradouro ou marco quilométrico, se disponíveis.

3.3. Dados do sistema viário

A fiel representação do sistema viário por feições vetoriais (camada de linhas) é imprescindível ao correto georreferenciamento dos sinistros de trânsito, principalmente quando a localização

desse registros no espaço é feita utilizando-se apenas os nomes dos logradouros ou algum ponto de referência. Em outras palavras, é importante que as vias de tráfego estejam devidamente representadas em ambiente SIG quando se dispõe apenas de informações textuais dos sinistros e não das coordenadas (latitude e longitude) registradas in loco. Assim, os dados vetoriais referentes à rede de transporte da cidade de São Carlos-SP foram obtidos da plataforma de mapeamento colaborativo OpenStreetMap – OSM (OpenStreetMap contributors, 2024).

3.4. Identificação de pontos críticos e visitas de campo

A identificação de pontos críticos do sistema viário com relação à ocorrência de sinistros envolvendo ciclistas deve ser fundamentada em uma análise visual dos registros georreferenciados. Essa análise pode ser auxiliada por um Mapa de Densidade de Kernel (“mapa de calor” ou Heatmap), no qual a intensidade pontual de um devido fenômeno dentro da área de estudo é determinada por

interpolação e, em seguida, plotada. Assim, é possível listar os trechos viários e interseções onde ocorreram a maior parte dos sinistros da série histórica.

Os pontos críticos do sistema viário, uma vez identificados, devem ser visitados em campo para registro fotográfico atualizado e levantamento de informações geométricas, operacionais e de seu entorno que possivelmente estejam associadas à ocorrência de sinistros. A depender da data do sinistro, essas informações podem ser “recuperadas” também de imagens da época disponíveis na plataforma Google StreetView (Google, 2024a).

3.5. Proposta de ações

A última etapa do método proposto consiste em propor possíveis soluções, isto é, uma ou mais ações pontuais, adequadas a cada ponto crítico (segmento viário ou interseção) previamente identificado, visando aumentar a segurança viária de ciclistas ao trafegarem por eles.

Tabela 1 – Medidas moderadoras do tráfego: resumo dos efeitos e da aplicação

Medida moderadora do tráfego	Faixa de redução de velocidade	Uso do espaço para outros fins	Melhoria da aparência da via	Aplicação			
				L	CS	CP	A
Objetivo: redução de velocidade							
Deflexões verticais	1	X	–	☆	☆	◇	#
Deflexões horizontais	2	✓	✓	☆	☆	◇	#
Restrições na pista	2	✓	✓	☆	☆	◇	#
Rotatórias	2	X	X	◇	◇	◇	◇
Redução do raio de giro	2	✓	–	☆	☆	☆	#
Regulamentação de prioridade	2	X	X	◇	◇	#	#
Marcas viárias	3	X	X	#	#	◇	☆

Medida moderadora do tráfego	Faixa de redução de velocidade	Uso do espaço para outros fins	Melhoria da aparência da via	Aplicação			
				L	CS	CP	A
Objetivo: segurança e apoio							
Largura ótica	3	X	✓	☆	☆	☆	◇
Estreitamento da pista	3	✓	✓	☆	☆	☆	◇
Faixas de alinhamento	3	✓	✓	#	◇	☆	◇
Superfícies diferenciadas	3	X	✓	☆	☆	◇	#
Entradas e portais	3	X	✓	☆	☆	◇	◇
Ilhas centrais	3	✓	✓	#	◇	☆	◇
Espaços compartilhados	3	✓	✓	☆	#	#	#
Extensão de calçadas	3	✓	✓	☆	☆	☆	◇
Vegetação e paisagismo	3	X	✓	☆	☆	☆	☆
Mobiliário e iluminação	3	X	✓	☆	☆	☆	☆
Regulamentação	3	X	X	◇	◇	☆	☆

Fonte: Adaptado de BHTRANS (2013, p. 41-42).

A título de exemplificação, a Tabela 1 apresenta medidas de traffic calming compiladas no manual da Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS, 2013), bem como os respectivos efeitos e possibilidades de aplicação. Com relação às faixas de redução de velocidade, a faixa 1 é aquela que garante que apenas 15% dos motoristas trafeguem acima da velocidade máxima desejada; a faixa 2 é aquela cuja redução de velocidade, embora eficiente, não tem a mesma garantia da faixa 1; e a faixa 3 refere-se a um lembrete/incentivo à redução da velocidade. No que diz respeito aos efeitos das medidas, entende-se X como um efeito negativo; ✓ como positivo; e – como neutro. Já com relação à hierarquia viária das vias onde devem ser aplicadas as medidas moderadoras, L significa via local; CS e CP significam vias

coletoras secundária e primária, respectivamente; e A significa via arterial. Por último, no que se refere à possibilidade de aplicação, ☆ remete a “viável”; ◇ remete a “possível”; e # significa não recomendado. Ademais, não se descarta, nesta etapa da pesquisa, a sugestão de outras medidas como a provisão de ciclofaixas, ciclovias e bike boxes, fiscalização eletrônica da velocidade etc.; embora tais medidas demandem estudos de viabilidade técnica mais apurados (Transport Scotland, 2010).

4. Resultados e Discussão

A seguir, são apresentados e discutidos os principais resultados da pesquisa.

4.1. Diagnóstico da segurança viária de

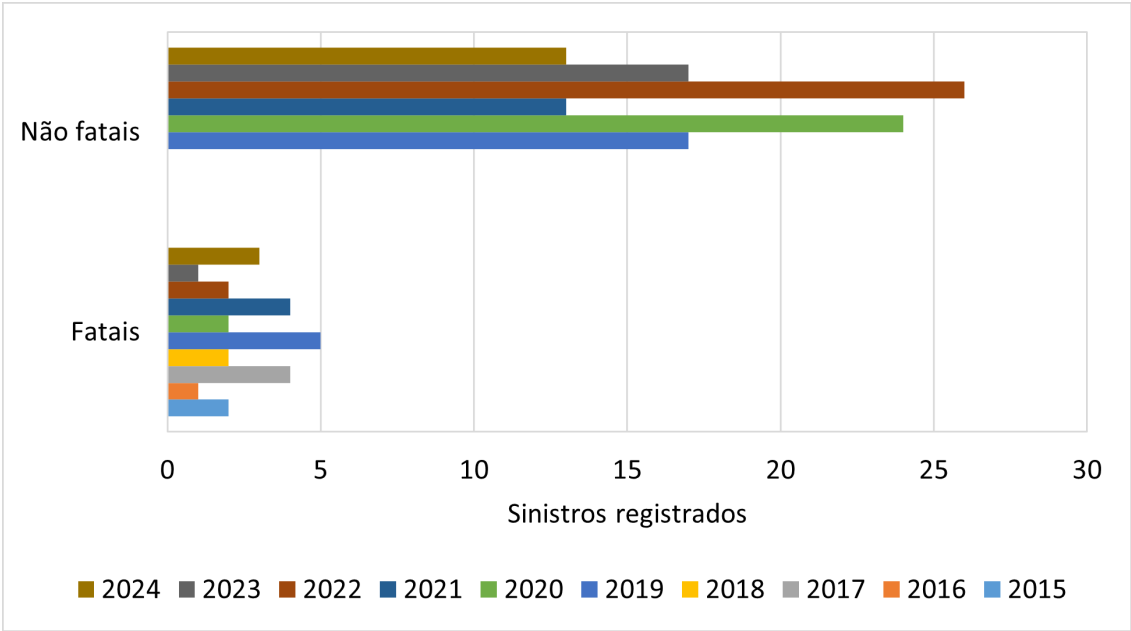
ciclistas de São Carlos-SP)

Ao filtrar na plataforma INFOSIGA-SP os sinistros envolvendo ciclistas em São Carlos-SP, registrados entre janeiro de 2015 (início da plataforma) e setembro de 2024 (conclusão da presente pesquisa), os seguintes totais foram constatados: 26 sinistros fatais e 110 não fatais. Destaca-se que, para o último caso, os registros mais antigos datam de janeiro de 2019, época em que os sinistros não fatais passaram a ser incorporados à plataforma.

A Figura 1 apresenta os números de sinistros fatais e não fatais, envolvendo ciclistas de São Carlos-

SP, agregados por ano. Em média, na cidade estudada, vêm a óbito cerca de 3 ciclistas por ano em decorrência de sinistros de trânsito, e outros 18 envolvem-se em sinistros não fatais (sendo considerado o período 2019-2024 para esse último caso). Ademais, nota-se que o ano crítico com relação aos sinistros fatais foi 2019, período pré-pandemia (condições normais de fluxo veicular); enquanto os críticos para sinistros não fatais foram 2020 e 2022, possivelmente devido ao aumento da frota de bicicletas e à migração modal durante os períodos de distanciamento social para evitar o contágio no transporte público.

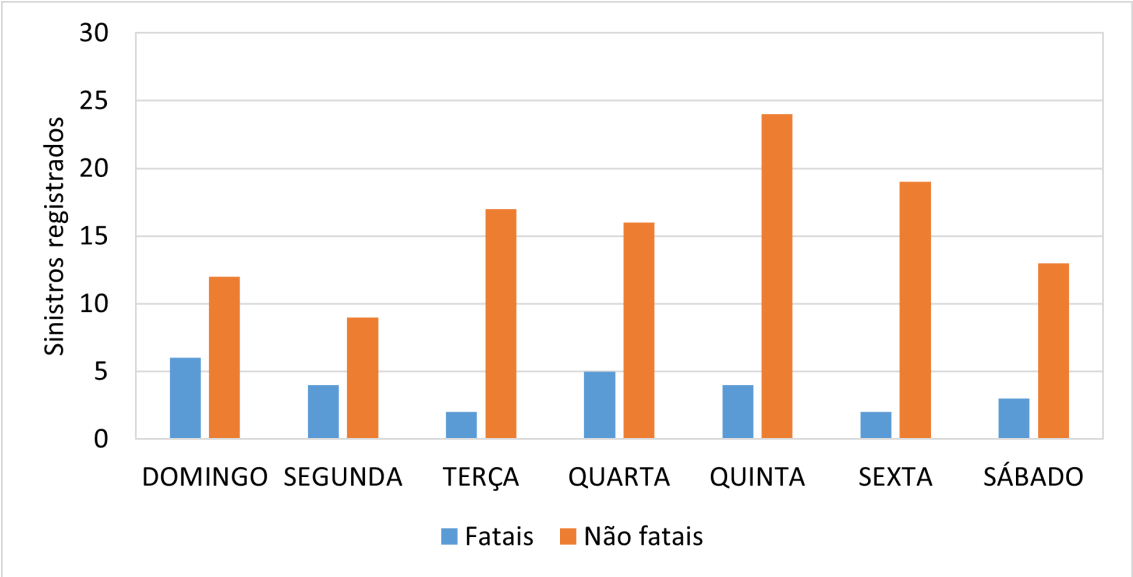
Figura 1 – Ciclistas em São Carlos-SP: sinistros fatais e não fatais agregados por ano



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

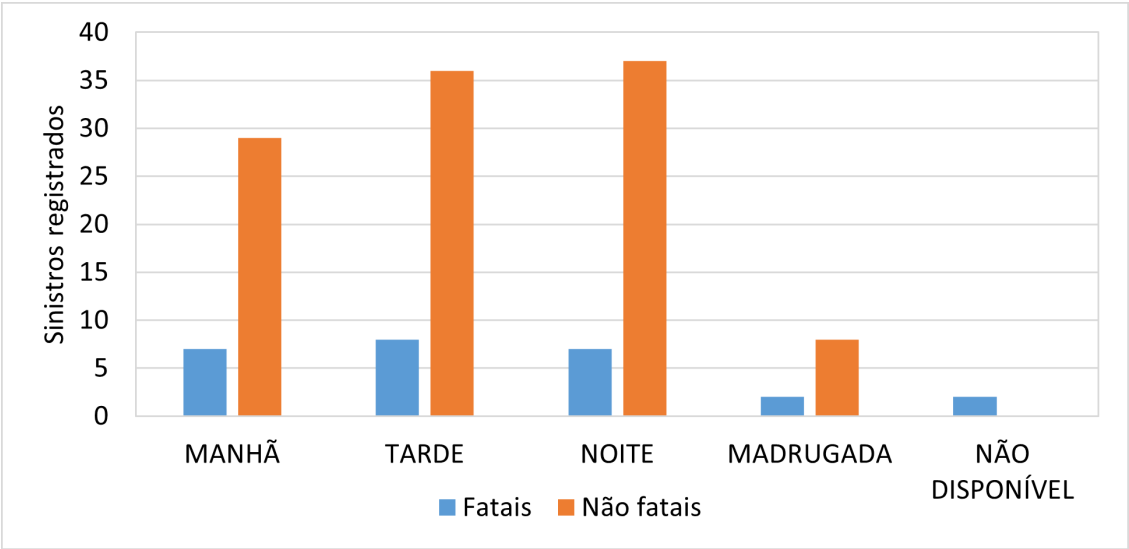
As Figuras 2 e 3 apresentam os números de sinistros fatais e não fatais, envolvendo ciclistas de São Carlos-SP, agregados por dia da semana e por período do dia, respectivamente.

Figura 2 – Ciclistas em São Carlos-SP: sinistros fatais e não fatais agregados por dia da semana



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Figura 3 – Ciclistas em São Carlos-SP: sinistros fatais e não fatais agregados por período do dia



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

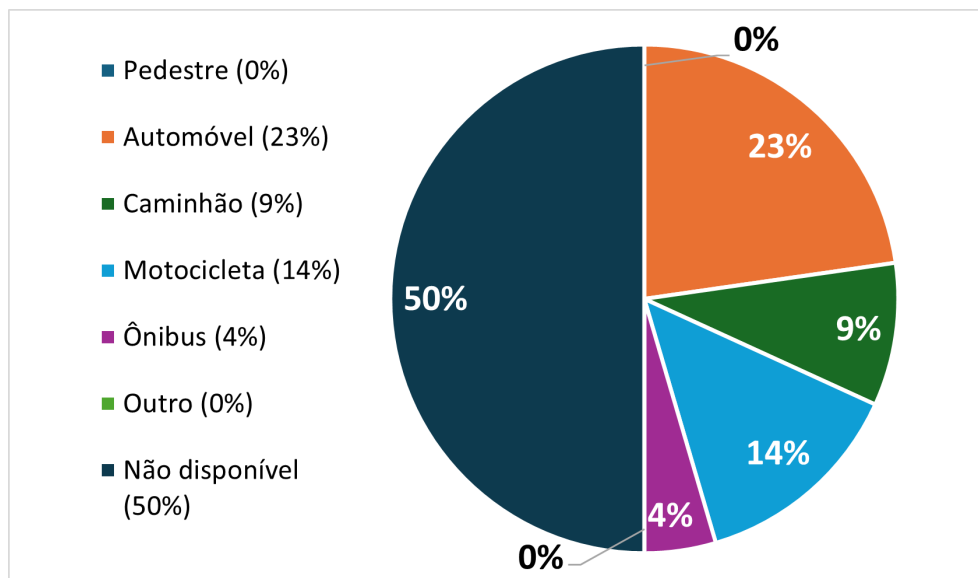
Nota-se que a maior parte dos sinistros fatais ocorreu aos domingos (possivelmente em razão de fatores como o aumento no número de ciclistas inexperientes que pedalam por lazer nesse dia, bem como a maior incidência de motoristas que combinam o consumo de álcool com a direção), enquanto as maiores parcelas de sinistros não fatais remetem às quintas e sextas-feiras. No que diz respeito ao período do dia, os sinistros fatais estão distribuídos de maneira praticamente uniforme entre manhãs, tardes e noites, ao passo que os sinistros não fatais ocorrem majoritariamente à tarde e, sobretudo, à noite (provavelmente devido à maior dificuldade em se avistar os ciclistas nesse último período).

A Figura 4 apresenta os percentuais dos demais veículos envolvidos apenas em sinistros fatais de ciclistas em São Carlos-SP, pois esses dados não são apresentados para sinistros não fatais na plataforma INFOSIGA-SP. Inobstante a isso, é possível evidenciar que, mesmo para sinistros fatais, em metade dos registros, essa informação não está disponível, sinalizando para imprecisões/equívocos no preenchimento dos BOs. Com relação aos registros de fato completos, nota-se

que as maiores porcentagens da Figura 4 remetem a automóveis (23%) e motocicletas (14%), o que não dialoga com os resultados de outras pesquisas que sugerem indícios de influência da composição do tráfego na severidade dos sinistros envolvendo ciclistas (Asgarzadeh et al., 2017).

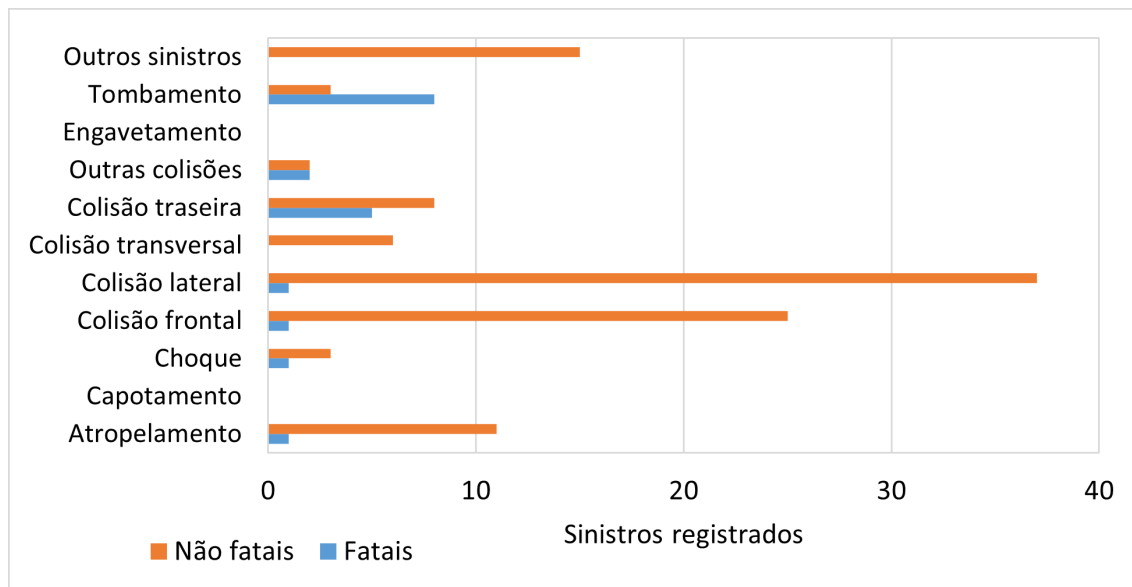
Finalizando o diagnóstico, na Figura 5, apresenta-se os números de sinistros fatais e não fatais, envolvendo ciclistas de São Carlos-SP, agregados por tipo de sinistro. Com relação aos sinistros fatais, nota-se que o tipo mais recorrente foi o “tombamento”, seguido da “colisão traseira”. Isso leva, novamente, a especulações sobre a exatidão/completude do preenchimento dos BOs, visto que, formalmente, um “tombamento” é definido como um “acidente no qual o veículo tomba sobre uma de suas partes laterais, a qual fica em contato com o chão. Pode ocorrer em razão de uma colisão, choque (...)” (Ferraz et al., 2012), o que normalmente é associado a veículos maiores (caminhões, ônibus ou motocicletas em alta velocidade). Já com relação aos sinistros não fatais, a notória maioria dos registros é decorrente de “colisões”, sejam elas laterais (34%), frontais (23%) ou de outro tipo.

Figura 4 – Demais veículos envolvidos em sinistros fatais de ciclistas em São Carlos-SP



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Figura 5 – Ciclistas em São Carlos-SP: sinistros fatais e não fatais agregados por tipo de evento



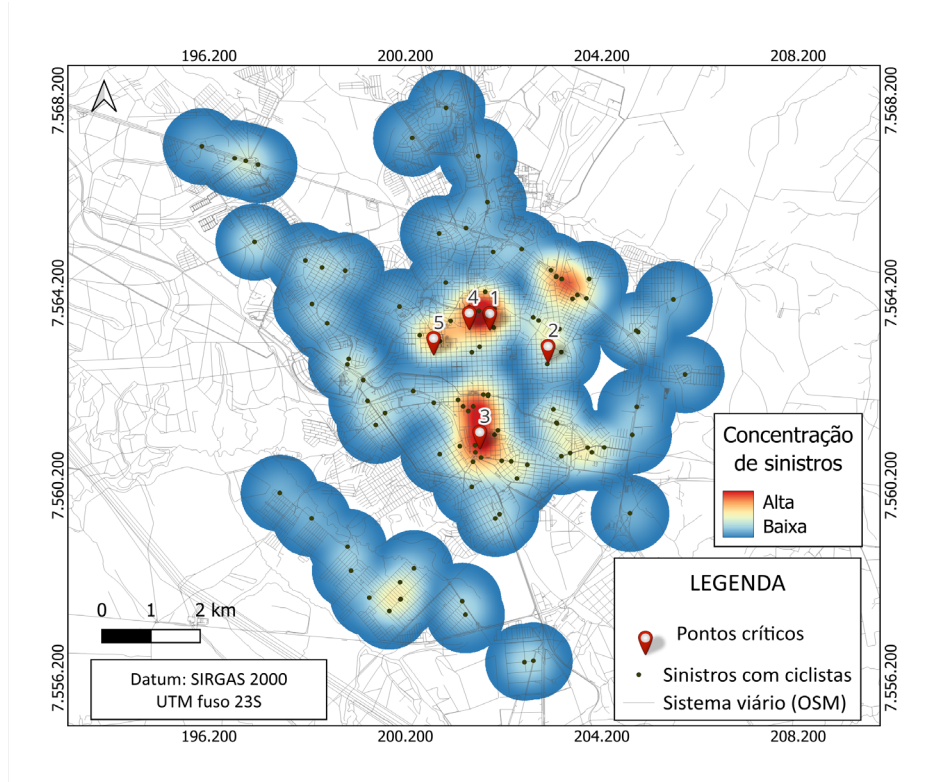
Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

4.2. Pontos críticos: localização e detalhes

De forma a responder a primeira pergunta formulada para a pesquisa, a Figura 6 apresenta a geolocalização dos sinistros (fatais e não fatais) envolvendo ciclistas de São Carlos-SP e os decorrentes 5 pontos críticos selecionados para estudo em função do Mapa de Densidade de Kernel. Os detalhes da localização desses pontos críticos, ou seja, os nomes dos logradouros e as correspondentes hierarquias viárias (Prefeitura de São Carlos, 2023), são apresentados na Tabela 2. Ressalta-se que os hotspots identificados corroboram os achados de Osama e Sayed (2017), os quais apontam para uma maior incidência de sinistros em vias arteriais e coletoras.

É imprescindível destacar que alguns hotspots alheios àqueles elencados, embora devidamente identificados, não foram considerados por fugirem ao escopo da pesquisa. Por exemplo, há um hotspot bastante evidente ao nordeste da região de estudo, que consiste em um ponto de conflito com a Rodovia Washington Luís (SP-310). Assim, apesar de demandar soluções com certa urgência, tal ponto crítico não obedece às premissas para que sejam propostas simples medidas de traffic calming (Tabela 1). Em outras palavras, a maior hierarquia funcional característica da Rodovia incorre na necessidade de mudanças mais complexas, como na própria geometria viária.

Figura 6 – Ciclistas em São Carlos-SP: geolocalização dos sinistros e pontos críticos



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

Tabela 2 – Localização dos pontos críticos

Ponto	Logradouro 1 (hierarquia viária)	Logradouro 2 (hierarquia viária)
1	Av. Trabalhador São Carlense (A)	Rua Rui Barbosa (CP)
2	Rua Monteiro Lobato (CP)	Rua Bruno Giongo (L)
3	Rua Dona Alexandrina (A)	Rua Raimundo Corrêa (CP)
4	Av. Trabalhador São Carlense (A)	-
5	Rua Miguel Petroni (A)	-

Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

4.3. Proposta e discussão de possíveis ações: localização e detalhes

A seguir, de forma a endereçar a segunda pergunta formulada para a pesquisa, são apresentadas e discutidas possíveis ações/soluções para cada ponto crítico previamente identificado.

4.3.1. Ponto crítico 1

As Figuras 7 e 8 apresentam, nessa ordem, a vista em planta e registros fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 1, que remete à interseção entre a Av. Trabalhador São Carlense (via arterial, com limite legal de velocidade de 60 km/h, que permite o acesso à rodoviária e ao campus I da

Universidade de São Paulo) e a Rua Rui Barbosa (via coletora primária, com limite legal de velocidade de 40 km/h e que permeia a região central do município), onde foram registrados 2 sinistros não fatais. A hierarquia funcional da primeira via limita a implementação de medidas de traffic calming (ver Tabela 1) e, concomitantemente, requer a provisão de tipologias cicloviárias com maior grau de separação entre ciclistas e automóveis. Na Figura 8a, nota-se que não há controle de tráfego por semáforos, e que é disposta uma ciclovia no canteiro central. Já as Figuras 8b e 8c apresentam, nessa ordem, os espaços reservados para conversões e a aproximação pela Rua Rui Barbosa.

Figura 7 – Vista em planta do ponto crítico 1



Fonte: Google (2024b).

Diante das informações apresentadas, as seguintes ações são propostas: i) manutenção da ciclovia já existente, assegurando que ela esteja em boas condições de uso e promovendo a segurança dos ciclistas, e implementação de sinalização horizontal de travessia específica para bicicletas, conforme exemplificado na Figura 9; ii) eventual estreitamento de pista na Av. Trabalhador São Carlense (Figura 8a), servindo como medida de

apoio a outras medidas de redução de velocidade, em particular, às marcas viárias. Ademais, seria interessante a provisão de bike boxes na própria Av. Trabalhador São Carlense, sentido leste-oeste, ao interceptar a Rua Rui Barbosa (ver Figura 7), conforme exemplificado na Figura 10 (alertando-se para as devidas adaptações à geometria viária local e à condição de tráfego misto).

Figura 8 – Registos fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 1



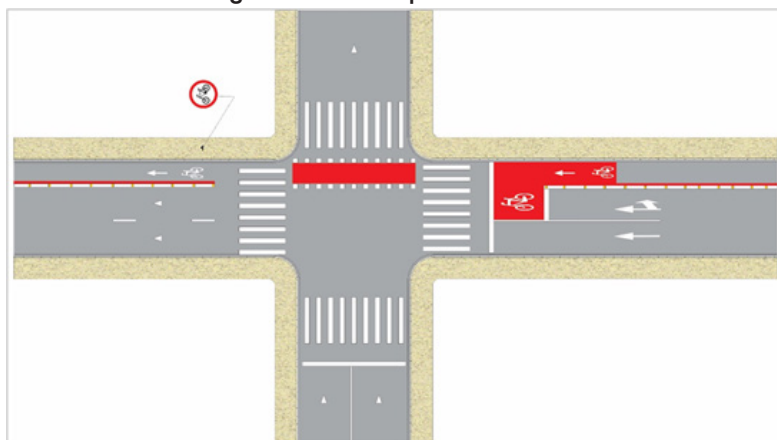
Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Figura 9 – Exemplo de faixa de travessia para ciclistas em Lisboa, Portugal



Fonte: acervo pessoal dos autores (2024).

Figura 10 – Exemplo de bike box



Fonte: CONTRAN (2021).

4.3.2. Ponto crítico 2

A Figura 11 apresenta a vista em planta do ponto crítico 2, que remete à interseção entre as Ruas Monteiro Lobato (via coletora primária, com limite legal de velocidade de 40 km/h) e Bruno Giongo (via local, com limite legal de velocidade de 30 km/h), onde foi registrada em 2019 uma “colisão lateral” não fatal. Especula-se que um possível fator para a ocorrência desse sinistro tenha sido a alta velocidade do outro veículo envolvido, em decorrência do declive acentuado

da Rua Monteiro Lobato entre a Av. Dr. Carlos Botelho e a Rua Bruna Giongo. Nesse contexto, as autoridades locais implementaram, recentemente (pós 2022) e imediatamente antes da interseção crítica, as medidas moderadoras apresentadas na Figura 12 (a: ondulações; b e c: marcas viárias). Desde então, nenhum sinistro envolvendo ciclistas foi registrado tanto no ponto em questão quanto na região de entorno, sinalizando para a eficácia da tomada de decisão.

Figura 11 – Vista em planta do ponto crítico 2



Fonte: Google (2024b).

Figura 12 – Registros fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 2 – Medidas já adotadas



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

4.3.3. Ponto crítico 3

A Figura 13 apresenta a vista em planta do ponto crítico 3, que remete à interseção entre as Ruas Dona Alexandrina (uma das principais vias arteriais da cidade, com limite legal de velocidade de 50 km/h e que garante o acesso a diversos Polos Geradores de Viagens – PGVs, como escolas, hospitais, comércios etc.) e Raimundo Corrêa (via coletora primária, com limite legal de velocidade de 40 km/h), onde foram registrados 3 sinistros não fatais envolvendo ciclistas (1 “atropelamento”, em 2022; 1 “choque”, em 2021; e 1 sinistro não devidamente classificado, em 2020).

A Figura 14 mostra a aproximação da interseção pela Rua Dona Alexandrina (a) e os correspondentes movimentos de conversão permitidos (c). Ademais, o cruzamento com a Rua Raimundo Corrêa é um ponto do sistema viário por onde passam algumas das linhas de ônibus da cidade (Figura 14b), potencializando a ocorrência de sinistros de

trânsito em virtude da contestável geometria viária. Já a Figura 15 apresenta a organização viária na Rua Raimundo Corrêa tanto no sentido leste-oeste (a) quanto oeste-leste (b).

O ponto crítico 3 demanda uma análise mais aprofundada do que aquela objetivada neste trabalho para mitigação da violência no trânsito relacionada ao uso da bicicleta. Isso porque a complexidade e a consolidação do sistema viário no entorno pode limitar as propostas/ações a alterações um tanto quanto impopulares, como: i) restrição dos sentidos de circulação, que requer um estudo robusto sobre as novas alocações de fluxo; e/ou ii) alteração dos trajetos das linhas de ônibus, que necessita de esforços ainda mais apurados para redesenho. A curto prazo, recomenda-se a instalação de um semáforo, que pode contribuir com a redução de conflitos entre ciclistas e demais veículos, embora contagens volumétricas sejam requeridas a título de constatação.

Figura 13 – Vista em planta do ponto crítico 3



Fonte: Google (2024b).

Figura 14 – Registros fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 3 – Rua Dona Alexandrina



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Figura 15 – Registros fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 3 – Rua Raimundo Corrêa



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

4.3.4. Ponto crítico 4

A Figura 16 apresenta a vista em planta do ponto crítico 4, que remete ao trecho da Av. Trabalhador São Carlense (A) que intercepta (em desnível) a Av. São Carlos, e onde foram registrados 2 sinistros não fatais envolvendo ciclistas (1 “colisão lateral”, em 2020; e 1 sinistro não devidamente classificado, em 2021), além de outros sinistros no entorno. Já as Figuras 17 e 18 apresentam, nessa ordem, registros fotográficos do local a nível do solo e de cima do viaduto (Av. São Carlos), no

último caso, para constatação da organização do tráfego e das possíveis conversões.

Assim como para o ponto crítico 3, ressalta-se a necessidade de uma abordagem mais rigorosa para a tomada de decisão assertiva no ponto 4. No entanto, especula-se que há uma necessidade latente pela implantação de uma ciclovia no local, vide hierarquia viária, fluxo e velocidade de tráfego motorizado (60 km/h).

Do ponto de vista técnico, a provisão da ciclovia ao longo do trecho supracitado (Figura 17) é repleta de desafios. Em primeiro lugar, a oeste do ponto crítico em questão, ao invés de um canteiro central íntegro, há a existência de um córrego canalizado, o que limita o espaço disponível à construção de uma tipologia cicloviária contínua e bidirecional. Ademais, a leste do ponto crítico, existe a alça de acesso à Av. São Carlos.

Embora o segmento viário em questão já tenha sido submetido a intervenções geométricas e

operacionais de caráter recente, a ocorrência de sinistros envolvendo ciclistas posterior às intervenções impede afirmar a eficácia das ações implementadas de forma isolada. Assim, como ação corretiva, seria interessante estudar os impactos da redução do limite legal de velocidade de 60 km/h para 40 km/h no trecho da Av. Trabalhador São Carlense (a oeste) imediatamente anterior ao ponto de conflito, medida também consoante com o altíssimo fluxo de pedestres da região que se deslocam até o campus I da USP.

Figura 16 – Vista em planta do ponto crítico 4



Fonte: Google (2024b).

Figura 17 – Registros fotográficos no ponto crítico 4 - Av. Trabalhador São Carlense



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Figura 18 – Registros fotográficos no ponto crítico 4 – Organização do tráfego e conversões



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

4.3.5. Ponto crítico 5

A Figura 19 apresenta a vista em planta do ponto crítico 5, na Rua Miguel Petroni (via arterial, com limite legal de velocidade de 50 km/h, que abrange diversos comércios, equipamentos públicos e linhas de ônibus municipais), onde foi registrado um sinistro não especificado, em 2019; e uma “colisão lateral,” em 2020, ambos não fatais, além de outros 3 sinistros na região do entorno. Trata-se de um ponto de conflito bastante característico, pois, à época dos sinistros, o limite legal de velocidade era de 50 km/h, o que é dissonante das situações de tráfego misto (exemplificada na Figura 20a); além do desenho do parcelamento do solo no relevo em questão

comprometer a visibilidade dos condutores. Aliado a isso, o ponto crítico está localizado próximo a um portão de entrada e outro de saída de estudantes da USP (Figura 20b).

Em 2024, as autoridades locais implementaram medidas mitigadoras no local em questão, sobretudo alertando para a presença de estudantes e orientando os condutores de veículos motorizados a trafegarem a, no máximo, 30 km/h, conforme Figura 21. Ademais, é possível constatar na Figura 21 a existência de ondulações, faixas de pedestres etc. Desde então, nenhum sinistro envolvendo ciclistas foi registrado no local.

Figura 19 – Vista em planta do ponto crítico 5



Fonte: Google (2024b).

Figura 20 – Registros fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 5



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

Figura 21 – Registros fotográficos das visitas de campo no ponto crítico 5



Fonte: elaborada pelos autores (2024).

5. Conclusões

O presente trabalho teve por objetivo investigar os sinistros de trânsito registrados na última década e que envolveram ciclistas da cidade de São Carlos-SP, Brasil, visando identificar locais críticos para se proceder com a proposta de medidas mitigadoras e/ou orientar as autoridades locais sobre a necessidade de condução de estudos específicos. Especula-se que as perguntas formuladas para a pesquisa tenham sido satisfatoriamente respondidas; e que o trabalho em si seja um bom ponto de partida para a condução de diagnósticos mais aprofundados, além de servir de exemplo para outras cidades e regiões empenhadas em diminuir os seus índices de sinistralidade viária, sobretudo relacionados aos usuários mais vulneráveis da via (pedestres e ciclistas).

O estudo de caso baseou-se exclusivamente em dados abertos e em um SIG disponível gratuitamente para download, sugerindo relativa reprodutibilidade. No entanto, é imprescindível destacar que a subnotificação de sinistros de trânsito ainda é comum no Brasil, sobretudo com relação àqueles não fatais, o que limita o impacto de medidas mitigadoras propostas com base em bancos de dados como o INFOSIGA-SP. Assim, trabalhos futuros são encorajados a buscar junto às autoridades locais (secretaria de transportes, polícia militar, prefeitura municipal) outros registros georreferenciados não incluídos na plataforma mencionada.

Finalmente, é importante alertar que, embora lastreado em diretrizes clássicas da literatura, o método da pesquisa voltado à identificação de locais críticos com base no Mapa de Densidade de Kernel não resultou em hotspots que remetem a sinistros fatais da série histórica, sinalizando para uma eventual incerteza sobre o nível de priorização das ações mitigadoras propostas neste trabalho. Assim, trabalhos futuros são estimulados a considerar diferentes pesos para sinistros fatais e não fatais na produção do Mapa de Densidade de Kernel.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa Institucional

de ICT da Universidade ... e ao Grupo ... (informações omitidas de propósito devido à avaliação duplo-cega).

7. Referências

ALDRED, Rachel; JUNGnickel, Katrina. Why culture matters for transport policy: the case of cycling in the UK. *Journal of Transport Geography*, v. 34, p. 78-87, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2013.11.004>.

ANDRADE, Silvana Suely Caribé de Araújo; JORGE, Maria Helena Prado de Mello. Internações hospitalares por lesões decorrentes de acidente de transporte terrestre no Brasil, 2013: permanência e gastos. *Epidemiologia e Serviços de Saúde: Revista do Sistema Único de Saúde do Brasil*, v. 26, n. 1, p. 31-38, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5123/s1679-49742017000100004>.

ASGARZADEH, Morteza et al. The role of intersection and street design on severity of bicycle-motor vehicle crashes. *Injury Prevention*, v. 23, n. 3, p. 179-185, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1136/injuryprev-2016-042045>.

BHTRANS – Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte. Manual de Medidas Moderadoras de Tráfego – Traffic Calming. Belo Horizonte, 2013. 275p. Disponível em: https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/imagens/authenticated%2C%20editor_a_bhtrans/manual_traffic_calming.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.

BÍL, Michal; BÍLOVÁ, Martina; MÜLLER, Ivo. Critical factors in fatal collisions of adult cyclists with automobiles. *Accident Analysis & Prevention*, v. 42, n. 6, p. 1632-1636, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.04.001>.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 4 jan. 2012. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018. Cria o Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS). *Diário Oficial da*

União, Brasília, DF, 12 jan. 2018. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Resolução Contran nº 870, de 13 de setembro de 2021. Dispõe sobre o Plano Nacional de Mortes e Lesões no Trânsito (PNATRANS), instituído pela Lei nº 13.614, de 11 de janeiro de 2018. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 20 set. 2021. Seção 1, p. 42.

BUEHLER, Ralph; PUCHER, John. International Overview: Cycling Trends in Western Europe, North America, and Australia. *City cycling*, p. 9-29, 2012.

BURBIDGE, Shaunna K. Identifying Characteristics of High-Risk Intersections for Pedestrians and Cyclists: A case study from Salt Lake County, Utah. Utah. Dept. of Transportation. Research Division, 2012.

CASELLO, Jeffrey M. et al. Enhancing Cycling Safety at Signalized Intersections: An Analysis of Observed Behavior. *Transportation Research Record*, v. 2662, n. 1, p. 59-66, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3141/2662-07>.

CAVILL, Nick et al. Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: a systematic review. *Transport Policy*, v. 15, n. 5, p. 291-304, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2008.11.001>.

CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito. Sinalização Cicloviária. Brasília: CONTRAN, 2021. 405p.: il. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, v. 8).

DETRAN-SP – Departamento Estadual de Trânsito do Estado de São Paulo. INFOSIGA-SP [Data Set]. 2024. Disponível em: <https://www.infosiga.sp.gov.br/>. Acesso em: 30 out. 2024.

EUROPEAN ROAD SAFETY OBSERVATORY. Quantitative Road Safety Targets 2018. 2018. Disponível em: <https://road-safety.transport.ec.europa.eu/system/files/2021-07/ersosynthesis2018-quantitativetargets.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2023.

FERRAZ, Antônio Clovis Pinto et al. Segurança Viária. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012. 322p. (ISBN 978-85-98156-69-9).

GOOGLE. Google Street View. Disponível em: <https://www.google.com/streetview>. Acesso em: 06 nov. 2024a.

GOOGLE. Imagens do Google Maps: São Carlos-SP, Brasil. 2024b. Disponível em: <https://www.google.com/maps/place/S%C3%A3o+Carlos,+SP/@-22.0198524,-47.9130972,6848m>. Acesso em: 06 nov. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estimativas da População. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-carlos/panorama>. Acesso em: 05 mai. 2024.

LANZENDORF, Martin; BUSCH-GEERTSEMA, Annika. The cycling boom in large German cities - Empirical evidence for successful cycling campaigns. *Transport Policy*, v. 36, p. 26-33, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.07.003>.

LEITE, Marcos Esdras; ROSA, Bruna Oliveira; SANTOS NETO, Narciso Ferreira dos. Mapeamento da densidade de acidentes com ciclistas na cidade de Montes Claros/MG. *ACTA Geográfica*, v. 9, n. 21, p. 82-94, 2015.

MACHADO, Leandro Rodrigues. O compartilhamento de informações no setor público brasileiro: um estudo sobre os acidentes de trânsito no município de Canoas/RS. 2017. 66p. Pós-Graduação (Administração Pública Contemporânea). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MARTÍNEZ-RUIZ, Virginia et al. Risk factors for causing road crashes involving cyclists: An application of a quasi-induced exposure method. *Accident Analysis & Prevention*, v. 51, p. 228-237, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.11.023>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Sistema de Informação sobre Mortalidade—SIM. Brasília, 2022. Disponível em: <http://sim.saude.gov.br/default.asp>. Acesso em: 01 ago. 2025.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Levantamento sobre a situação dos Planos de Mobilidade Urbana. Brasília: Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/mobilidade-urbana/sistema-de-apoio-a-elaboracao-de-planos-de-mobilidade-urbana/levantamento-sobre-a-situacao-dos-planos-de-mobilidade-urbana>. Acesso em: 07 ago. 2024.

OLIVEIRA, Rodrigo Buchianeri Numa; SODELLI, Francielle Calixto; FREITAS, Maria Isabel Castreghini. Sistema de Informação Geográfica no mapeamento de acidentes envolvendo ciclistas e pedestres em Rio Claro/SP. In: 8º Congresso de extensão universitária da UNESP, 2015, Rio Claro. Anais [...], p. 1-6. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/f15c5248-108e-43ea-8475-77af09e13814/content>. Acesso em: 30 out. 2024.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Global Plan for the Decade of Action for Road Safety 2011-2020. 2011. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/global-plan-for-the-decade-of-action-for-road-safety-2011-2020>. Acesso em: 30 out. 2024.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Global Status Report on Road Safety 2023. Genebra, 2018. Disponível em: https://cdn.who.int/media/docs/default-source/country-profiles/road-safety/road-safety-2023-bra.pdf?sfvrsn=fa546e1f_3&download=true. Acesso em: 01 ago. 2025.

OMS – Organização Mundial da Saúde. Road Traffic Injuries. 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>. Acesso em: 01 ago. 2025.

OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS. OpenStreetMap. 2024. Disponível em: <https://www.openstreetmap.org>. Acesso em: 01 ago.

2025. Dados extraídos por meio do plugin QuickOSM no software QGIS, versão 3.34.12.

OSAMA, Ahmed; SAYED, Tarek. Evaluating the Impact of Socio-Economics, Land Use, Built Environment, and Road Facility on Cyclist Safety. *Transportation Research Record*, v. 2659, n. 1, p. 33-42, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3141/2659-04>.

PRATI, Gabriele et al. Gender differences in cyclists' crashes: an analysis of routinely recorded crash data. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, v. 26, n. 4, p. 391-398, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/17457300.2019.1653930>.

PREFEITURA DE SÃO CARLOS. Plano de Mobilidade Urbana de São Carlos. São Carlos, 2023. Disponível em: <http://mobilidadeurbana.saocarlos.sp.gov.br/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

REYNOLDS, Conor et al. The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environmental Health*, v. 8, n. 1, p. 47, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-47>

ROSAS-SATIZÁBAL, Daniel; RODRIGUEZ-VALENCIA, Álvaro. Factors and policies explaining the emergence of the bicycle commuter in Bogotá. *Case Studies on Transport Policy*, v. 7, n. 1, p. 138-149, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2018.12.007>.

SANTOS, Pedro Augusto Borges et al. Estabelecimento de metas de redução de mortes no trânsito nos municípios brasileiros. *TRANSPORTES*, v. 30, n. 3, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14295/transportes.v30i3.2704>.

SEGANTINE, Paulo Cesar Lima. Estudo do Sinergismo entre os Sistemas de informação Geográfica e o Posicionamento Global. 2001. 237p. Tese (Livre Docência). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SOUSA, Carlos Augusto Moreira de; BAHIA, Camila Alves; CONSTANTINO, Patrícia. Análise dos fatores

associados aos acidentes de trânsito envolvendo ciclistas atendidos nas capitais brasileiras. *Ciência & Saúde coletiva*, v. 21, n. 12, p. 3683-3690, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-812320152112.24152016>.

TRANSPORT SCOTLAND. *Cycling by Design* 2010. Transport Scotland - Standards, Traffic and Economics Branch. Glasgow, 2010. Disponível em: https://www.transport.gov.scot/media/14173/cycling_by_design_2010_rev_1__june_2011_.pdf. Acesso em: 06 nov. 2024.

RESUMOS
RESUMOS
RESUMOS
RESUMOS
RESUMOS
RESUMOS
RESUMOS

**OS MUNICÍPIOS PAULISTAS VISTOS COMO CIDADES
INTELIGENTES: VERIFICAÇÃO DO SERVIÇO GRATUITO DE
INTERNET COMO FERRAMENTA DE INFORMAÇÃO**

Stanley Cabral Cramolichi - Mestre em Engenharia Urbana (2024)

**UTILIZAÇÃO DAS AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS
COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA PÓS-OCUPAÇÃO DE USO
DO SOLO: O ESTUDO DE CASO DO SHOPPING PÁSSEIO, SÃO
CARLOS (SP) E SEU ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA**

Felipe Facci Inguaggiato - Mestre em Engenharia Urbana (2020)

**URBANIDADE E VITALIDADE NOS ESPAÇOS PÚBLICOS EM
NOVAS ÁREAS RESIDENCIAIS VERTICALIZADAS. ESTUDO DE
CASOS EM LONDRINA - PR E RIBEIRÃO PRETO – SP**

Juliana Cardoso Esteves - Doutora em Engenharia Urbana (2022)

**DINÂMICAS TERRITORIAIS E MÉTRICAS ESPACIAIS: AVALIAÇÃO
DE EXPANSÃO URBANA EM CIDADE DE PORTE MÉDIO**

Ivan Damasco Menzori - Doutor em Engenharia Urbana (2021)

OS MUNICÍPIOS PAULISTAS VISTOS COMO CIDADES INTELIGENTES: VERIFICAÇÃO DO SERVIÇO GRATUITO DE INTERNET COMO FERRAMENTA DE INFORMAÇÃO

MUNICIPALITIES IN SÃO PAULO VIEWED AS SMART CITIES: VERIFYING FREE INTERNET SERVICE AS AN INFORMATION TOOL

CRAMOLICHI, S. C.¹; MIYASAKA, E. L.²; FIALHO, B.³

Resumo

O termo “Smart City” tem se tornado mais recorrente nos últimos anos para qualificar cidades que, valendo-se da tecnologia, promovem a gestão inteligente, estratégica e participativa. Sob esta ótica, a internet surge como ferramenta crucial na integração entre o cidadão, a cidade e o poder público à medida em que figura como um meio viável ao fluxo de dados e ao acesso democrático da informação. A complexidade do conceito de “Smart City”, o fato de que o título de “cidade inteligente” é auto declaratório e, para além disso, a segregação socioeconômica e espacial dos cidadãos torna necessária a análise crítica dos serviços fornecidos à população para justificar tal título. Neste sentido, o trabalho visa avaliar a efetividade do serviço público de acesso gratuito à internet prestado por cidades consideradas Smart Cities no estado de São Paulo, olhando para a conectividade como meio de acesso à informação. Foram analisados três municípios de três mesorregiões paulistas diferentes quanto a distribuição espacial dos pontos de acesso à internet e coletados, em campo, os dados relacionados à qualidade da conexão através de softwares de monitoramento executados em um notebook e um smartphone. Aplica-se o método de estudo de casos múltiplos e a análise qualitativa de dados obtidos. Os resultados encontrados possibilitaram a comparação entre pontos de acesso e municípios, o que evidenciou a distribuição pouco eficiente dos pontos de acesso à internet e, em algumas situações, a total indisponibilidade do serviço ao munícipe. A discussão aponta a fragilidade da infraestrutura tecnológica voltada à informação e comunicação nos municípios brasileiros; o que desfavorece regiões mais vulneráveis das cidades e debilita a concepção de cidades inteligentes.

Palavras-chave: Acesso à internet; Democratização da informação; Conectividade; Políticas públicas.

Data da Defesa:
2 de maio de 2024
Publicação na Revista:
17 de dezembro de 2025



¹ CRAMOLICHI, S. C. - Stanley Cabral Cramolichi: Doutorando em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3482-5767>, stanleycramolichi@estudante.ufscar.br

² MIYASAKA, E. L. - Elza Luli Miyasaka: Profa. Dra. de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4480-9672>, elza.miyasaka@ufscar.br (ORIENTADOR)

³ FIALHO, B. C. - Beatriz Campos Fialho: Doutora em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade de São Paulo - USP, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0339-1436>, beatrizfialho@ufscar.br (COORIENTADOR)

Abstract

The term “Smart City” has become more recurrent in recent years to qualify cities that, using technology, promote intelligent, strategic, and participatory management. From this perspective, the internet emerges as a crucial tool in the integration between the citizen, the city, and the public authorities as it serves as a viable means for data flow and democratic access to information. The complexity of the “Smart City” concept, the fact that the title of “smart city” is self-declared, and, moreover, the socioeconomic and spatial segregation of citizens necessitate a critical analysis of the services provided to the population to justify such a title. In this sense, the work aims to evaluate the effectiveness of the public service of free internet access provided by cities considered Smart Cities in the state of São Paulo, looking at connectivity as a means of accessing information. Three municipalities from three different mesoregions of São Paulo were analyzed regarding the spatial distribution of internet access points. Data related to connection quality were collected in the field using monitoring software executed on a notebook and a smartphone. The multiple case study method and qualitative analysis of obtained data were applied. The results enabled a comparison between access points and municipalities, which highlighted the inefficient distribution of internet access points and, in some situations, the total unavailability of the service to residents. The discussion points to the fragility of the technological infrastructure aimed at information and communication in Brazilian municipalities, which disadvantages more vulnerable regions of the cities and weakens the concept of smart cities.

Keywords: Internet access; Democratization of information; Connectivity; Public policies.

TRABALHO COMPLETO:

CRAMOLICHI, Stanley Cabral. Os municípios paulistas vistos como cidades inteligentes: verificação do serviço gratuito de internet como ferramenta de informação. 2024. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/19967>. Acesso em: 01 dez. 2025.

UTILIZAÇÃO DAS AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE DA PÓS-OCUPAÇÃO DE USO DO SOLO: O ESTUDO DE CASO DO SHOPPING PASSEIO, SÃO CARLOS (SP) E SEU ESTUDO DE IMPACTO DE VIZINHANÇA

CONTRIBUTION TO EXPANDING TRAINING OF ARCHITECTS AND URBAN
PLANNERS IN SUSTAINABLE MANAGEMENT OF RAINWATER

INGUAGGIATO, F. F.¹; MELANDA, E. A.²; STANGANINI, F.N.³

Resumo

Questões relacionadas a organização e gestão urbana no Brasil sempre foram discutidas, e inúmeras tentativas de sistematização da organização territorial foram realizadas ao longo das últimas décadas. Entretanto, somente no ano de 2001, o Ministério das Cidades deu obrigatoriedade a elaboração de Planos Diretores (PD), com a Lei 10.257/2001 a municípios acima de vinte mil habitantes. Dentre desses PD, existe uma ferramenta de grande relevância para gestão sustentável das cidades: o Estudo de Impacto de Vizinhança, um estudo sobre o impacto que determinados empreendimentos têm em uma região, de suma importância para a discussão dessas relações nas regiões, tanto no presente, quanto no futuro. Todavia, muitas vezes o material cartográfico utilizado na elaboração dos relatórios é insuficiente para realização de análises concretas e específicas sobre os impactos dos empreendimentos, se fazendo necessário a utilização de novas ferramentas para elaboração desses materiais. Nesse sentido, as Aeronaves Remotamente Pilotadas são uma alternativa ao levantamento aerofotogramétrico, devido ao seu baixo custo financeiro e facilidade operacional, além de elevada acurácia das imagens. Nesse contexto, o principal objetivo da presente dissertação é apresentar novas ferramentas de levantamento aerofotogramétrico e seus produtos gerados para a observação de impactos do empreendimento Shopping Passeio, localizado no município de São Carlos (SP) juntamente com análise do seu Relatório de Estudo de Impacto de Vizinhança, elaborando materiais cartográficos referentes ao uso do solo e pós-ocupação da região no ano de 2019. Para tanto, mapas de uso e ocupação do solo, através de softwares de geoprocessamento foram elaborados, com a finalidade de possibilitar a análise do uso e ocupação do solo da região, analisando o EIV do empreendimento e a atual ocupação da área. É possível concluir que, embora pouco abrangente, o relatório 10.522/2013 referente ao EIV do Shopping Passeio está em conformidade com o proposto nas leis municipais, assim como os usos do solo dentro da área de influência direta do empreendimento, respeitando a Lei de Zoneamento Urbano de São Carlos. Entretanto, o material cartográfico apresentado no relatório é inconsistente, bem como a dificuldade para obter acesso ao próprio, indo de encontro as prerrogativas da Lei 10.257/2001. Assim, a dissertação tem o intuito de apresentar novas ferramentas de auxílio a gestão do planejamento urbano, com ênfase na importância e da organização espacial.

Palavras-chave: Urbanização; Geoprocessamento; SIG; Estudo de impacto de vizinhança.

¹ INGUAGGIATO, F. F. - Felipe Facci Inguaggiato: Doutor em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7932-4865>, singuaggiato4@gmail.com

² MELANDA, E. A. - Edson Augusto Melanda: Prof. Dr. de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9298-0637>, melanda@gmail.com (ORIENTADOR)

³ STANGANINI, F. N. - Fabio Noel Stanganini: Prof. Dr. de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar - UFSCar), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2497-2395>, fstanganini@ufscar.br (COORDINADOR)

Data da Defesa:

22 de abril de 2020

Publicação na Revista:

17 de dezembro de 2025



Abstract

Issues related to urban organization and management in Brazil have always been discussed, and major attempts to systematize territorial organization have been carried out over the past few decades. However, only in 2001, the Ministry of Cities obligatorily granted the elaboration of Master Plans (PD), with Law 10.257 / 2001, to municipalities above twenty thousand inhabitants. Among these DPs, there is a tool of great relevance for the sustainable management of cities: the Neighborhood Impact Study, a study on the impact that the enterprises undertaken in the region, is an important importance for a discussion about these relationships and these factors in both in the present and in the future. However, the cartographic material used in recording reports is often insufficient for carrying out concrete and specific analyzes on the impacts of the undertakings, if making the necessary use of new tools to use these images. In this sense, as Remotely Piloted Aircraft are an alternative to aerophotogrammetric survey, due to their low financial cost and operational ease, in addition to the high precision of the images. In this context, the main objective of this dissertation is the presentation of new aerophotogrammetric survey tools and their products generated for an observation of the impacts of the Shopping Passeio project, located in the municipality of São Carlos (SP), with analysis of its Study Report of Visualization Impact, elaboration of cartographic materials related to land use and post-occupation of the region in 2019. For that, land use maps in addition to elaborated geoprocessing software, with the possibility of analyzing the land use and occupation of the region, analyzing the EIV of the enterprise and the current occupation of the area. It is possible to conclude that, although not very comprehensive, report 10.522 / 2013, referring to Shopping Passeio's EIV is in accordance with the procedure adopted in municipal laws, such as land uses within the area of direct influence of the enterprise, which follows the Law of Urban Zoning of São Carlos. However, the cartographic material presented in the report is inconsistent, as well as the difficulty in gaining access to its own, going against the extensions of Law 10.257 / 2001. Thus, the dissertation aims to present new tools to assist the management of urban planning, with emphasis on importance and spatial organization.

Keywords: Urbanization; Geoprocessing; GIS; Neighborhood impact study.

TRABALHO COMPLETO:

INGUAGGIATO, Felipe Facci. Utilização das aeronaves remotamente pilotadas como ferramenta de análise da pós-ocupação de uso do solo: o estudo de caso do Shopping Passeio, São Carlos (SP) e seu estudo de impacto de vizinhança. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12753>. Acesso em: 01 dez. 2025.

URBANIDADE E VITALIDADE NOS ESPAÇOS PÚBLICOS EM NOVAS ÁREAS RESIDENCIAIS VERTICALIZADAS. ESTUDO DE CASOS EM LONDRINA - PR E RIBEIRÃO PRETO - SP

URBANITY AND VITALITY IN PUBLIC SPACES IN NEW VERTICALIZED RESIDENTIAL AREAS. CASE STUDIES IN LONDRINA - PR AND RIBEIRÃO PRETO - SP

ESTEVES, J. C.¹; CASTRO, C. M. P.²

Resumo

Os projetos dos condomínios residenciais voltados às classes média e alta costumam privilegiar o interior do edifício e o desenho de suas fachadas, mas poucos consideram sua relação e integração com o espaço público e as pessoas que o utilizam, que também não têm obtido a devida atenção dos gestores urbanos, visto que a adaptação da cidade ao automóvel absorveu grande parte dos investimentos. Este trabalho teve como objetivo analisar como a configuração do ambiente construído, através de seus elementos morfológicos, tipologias arquitetônicas e práticas socioespaciais, interfere na vitalidade e urbanidade das cidades, especialmente dos espaços públicos de áreas verticalizadas. O método de pesquisa adotado foi o estudo de casos múltiplos em áreas recentemente verticalizadas em cidades de médio porte, e se deu em três fases: desenvolvimento dos instrumentos de pesquisa (fichas de observação, questionários, entrevistas, mapas temáticos) e dos critérios de análise, tendo como base a literatura estudada; levantamento de dados nas cidades de Londrina – PR e Ribeirão Preto – SP e sistematização e análise dos dados coletados. Para verificar os principais atributos da vitalidade e urbanidade nos espaços estudados, foram adotadas duas dimensões de análise: física, em que foram avaliadas as questões da forma urbana, e social, em que se verificou a relação do usuário com o espaço urbano. Do ponto de vista da literatura, a tese contribui com a articulação dos conceitos de urbanidade e vitalidade. A análise dos dados e resultados da pesquisa evidenciaram que a forma urbana tem papel essencial no desenvolvimento da vitalidade e da urbanidade nos espaços públicos das cidades, pois interferem diretamente no uso dos espaços e na percepção dos usuários. Contudo, esta está diretamente ligada às vivências, necessidades específicas e identidades culturais de cada indivíduo. Os estudos de caso confirmaram a hipótese central da pesquisa: uma mesma tipologia verticalizada, disposta no sítio urbano com diferentes arranjos espaciais geram diferentes qualidades urbanas, com repercussão nas percepções estéticas, espaciais, de mobilidade e segurança, produzindo espaços públicos com vitalidade e urbanidade diversos.

Palavras-chave: Desenho urbano; Cidade; Verticalização.

Data da Defesa:

28 de março de 2022

Publicação na Revista:

17 de dezembro de 2025



¹ ESTEVES, J. C. - Juliana Cardoso Esteves: Profa. Dra. de Arquitetura da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho - UNESP, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0854-1122>, juliana.c.esteves@unesp.br

² CASTRO, C. M. P. - Carolina Maria Pozzi de Castro: Profa. Dra. do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ccastro@ufscar.br (ORIENTADOR)

Abstract

The projects of residential condominiums aimed at the middle and upper classes tend to privilege the interior of the building and the design of its facades, but few consider its relationship and integration with the public space and the people who use it, who have also not received due attention. of urban managers, since the adaptation of the city to the car absorbed a large part of the investments. This work aimed to analyze how the configuration of the built environment, through its morphological elements, architectural typologies, and socio-spatial practices, interferes with the vitality and urbanity of cities, especially public spaces in vertical areas. The research method adopted was the study of multiple cases in recently verticalized areas in medium-sized cities and took place in three phases: development of research instruments (observation sheets, questionnaires, interviews, thematic maps) and analysis criteria, based on the studied literature; data collection in the cities of Londrina – PR and Ribeirão Preto – SP and systematization and analysis of the data collected. To verify the main attributes of vitality and urbanity in the spaces studied, two dimensions of analysis were adopted: physical, in which questions of urban form were evaluated, and social, in which the relationship between the user and the urban space was verified. From the literature point of view, the thesis contributes to the articulation of the concepts of urbanity and urban vitality. The analysis of data and research results showed that urban form plays an essential role in the development of vitality and urbanity in public spaces in cities, as they directly interfere in the use of spaces and in the perception of users. However, this is directly linked to the experiences, specific needs, and cultural identities of each one. The case studies demonstrated the central hypothesis of the research: the same vertical typology, arranged in the urban site with different spatial arrangements, generate different urban qualities, with repercussions on aesthetic, spatial, mobility and safety perception, creating public spaces with different vitality and urbanity.

Keywords: Urban design; Cities; Verticalization.

TRABALHO COMPLETO:

ESTEVEZ, Juliana Cardoso. Urbanidade e vitalidade nos espaços públicos em novas áreas residenciais verticalizadas: estudo de casos em Londrina - PR e Ribeirão Preto - SP. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/20.500.14289/16614>. Acesso em: 01 dez. 2025.

DINÂMICAS TERRITORIAIS E MÉTRICAS ESPACIAIS: AVALIAÇÃO DE EXPANSÃO URBANA EM CIDADE DE PORTE MÉDIO

TERRITORIAL DYNAMICS AND SPATIAL METRICS: URBAN EXPANSION EVALUATION IN A MEDIUM-SIZED CITY

MENZORI, I. D.¹; GONÇALVES, L.M.²

Resumo

O rápido crescimento populacional urbano foi acompanhado por intensos processos de expansão das áreas urbanas, especialmente nas cidades de países em desenvolvimento. O enfrentamento dos desafios emergentes desses processos motivou diversos processos e atos regulatórios concernentes ao desenvolvimento urbano mais sustentável. No Brasil, como instrumento de gestão ambiental urbana em regra presente nos planos diretores, o zoneamento permite a definição das funções da cidade, assim como a delimitação das condicionantes do meio físico que possam ser impactadas pelo crescimento urbano extensivo. Todavia, os planos diretores parecem ineficazes nesses aspectos quando abordados pelas autoridades locais. Via de regra, a urbanização periférica e extensiva está relacionada, dentre outros fatores, a políticas urbanas que privilegiam o crescimento econômico no âmbito local, em detrimento da regulação da expansão urbana. Nesse contexto, ainda são escassas as análises de implementação de planos diretores, seus resultados físico-territoriais e sua relação com a gestão territorial local. Assim, neste estudo, é avaliado o papel da gestão territorial urbana nas práticas de implementação de planos diretores, assim como são explorados os resultados espaciais do crescimento urbano em uma cidade média do interior paulista (Araraquara-SP), com abordagens empíricas quantitativas por meio de análises e métricas espaciais. Objetiva-se identificar eventuais discrepâncias e padrões (diferentes do aleatório) nos resultados físico-espaciais do crescimento urbano, observado durante distintas administrações municipais, assumindo que a capacidade de gestão afeta a distribuição espacial do crescimento urbano e a regulação da expansão urbana. Os resultados evidenciam padrões díspares de crescimento urbano associados aos distintos períodos de gestões administrativas, mesmo quando da implementação de um mesmo plano diretor, e oferecem uma noção sobre como os arranjos de gestão, no âmbito local, podem afetar as práticas de implementação de planos diretores, especialmente por meio da aplicação (ou abstenção) dos regulamentos de planejamento, ilustrando um evidente desequilíbrio entre as restrições espaciais e as oportunidades para o desenvolvimento urbano mais sustentável.

Palavras-chave: Expansão urbana; Implementação de planos diretores; Métricas espaciais.

Data da Defesa:

7 de outubro de 2021

Publicação na Revista:

17 de dezembro de 2025



¹ MENZORI, I. D. - Ivan Damasco Menzori: Doutor em Engenharia Urbana pela Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5152-0589>, menzori@ufscar.br

² GONÇALVES, L. M. - Luciana Marcia Gonçalves: Profa. Dra. de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8206-239X>, lucianamg@ufscar.br (ORIENTADOR)

Abstract

Urban populations have grown rapidly, driving intense expansion of urban areas, especially in cities of developing countries. These challenges have led to new regulations and policies aimed at more sustainable urban development. In Brazil, zoning – usually included in master plans as a tool for urban environmental management – defines city functions and sets limits based on physical and environmental conditions affected by growth. Yet, master plans often fall short when put into practice by local governments. In most cases, peripheral and extensive urbanization stems from policies that prioritize local economic growth over the regulation of urban expansion. Despite this, studies that evaluate how master plans are implemented, their territorial outcomes, and their links to local land management remain scarce. This study examines how urban territorial governance shapes the implementation of master plans and explores the spatial patterns of urban growth in a medium-sized city in São Paulo State (Araraquara-SP). Using quantitative methods, including spatial analyses and metrics, the research identifies discrepancies and non-random patterns in growth across different municipal administrations. The findings show that distinct political periods produced very different growth outcomes, even under the same master plan. These results suggest that local territorial governance capacity strongly influences how master plans are carried out, especially through the enforcement – or lack – of planning regulations. The study highlights the imbalance between restrictions on land supply and the opportunities for more sustainable urban development.

Keywords: Urban expansion; Master plan implementation; Spatial metrics.

TRABALHO COMPLETO:

MENZORI, Ivan Damasco. Dinâmicas territoriais e métricas espaciais: avaliação de expansão urbana em cidade de porte médio. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=11009713. Acesso em: 01 dez. 2025.