

ESTUDOS CIENTÍFICOS COM ENFOQUE NO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

VOLUME IV

ORGANIZADORES:

Fladimir Fernandes dos Santos
Nirlene Fernandes Cechin



Organizadores
Fladimir Fernandes dos Santos
Nirlene Fernandes Cechin

Estudos Científicos com Enfoque no
Desenvolvimento Sustentável - Volume IV

1ª Edição

EDITORA FAITH
BAGÉ-RS
2023

Ficha Técnica

Estudos Científicos com Enfoque no Desenvolvimento Sustentável
- Volume IV

Organizadores

Fladimir Fernandes dos Santos
Nirlene Fernandes Cechin

Arte da capa

Ana Paula Culau

Diagramação e editoração

Editora Faith

Registro

1ª. Edição ©2023 - ISBN: 978-65-89270-45-4

Todos os direitos reservados aos autores e organizadores, sob encomenda à Editora Faith.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E82 Estudos científicos com enfoque no desenvolvimento sustentável-
volume IV / Fladimir Fernandes dos Santos, Nirlene Fernandes
Cechin;(Organizadores) --- Editora Faith: Bagé, RS : 2023.
149p.; v.IV.

ISBN: 978-65-89270-45-4

1.Desenvolvimento Sustentável
2.Meio Ambiente
3.Ciências
I. Santos, Fladimir Fernandes dos
II.Cechin, Nirlene Fernandes
III.Título

CDU:504

Direção Geral
Caroline Powarczuk Haubert

Revisão
Organizadores

Corpo Editorial

Prof. Dr. Alfredo Alejandro Gugliano - UFRGS
Prof. Dr. Cristóvão Domingos de Almeida - UFMT
Prof. Dr. Dejalma Cremonese - UFSM
Profª. Dra. Elisângela Maia Pessoa - UNIPAMPA
Prof. Dr. Fernando da Silva Camargo - UFPEL
Prof. Dr. Gabriel Sausen Feil - UNIPAMPA
Profª. Dra. Patrícia Krieger Grossi - PUC-RS
Prof. Dr. Ronaldo B. Colvero - UNIPAMPA
Profª. Dra. Simone Barros Oliveira - UNIPAMPA
Profª. Dra. Sheila Kocourek - UFSM
Prof. Dr. Edson Paniagua - UNIPAMPA
Profª. Dra. Maria de Fátima Bento Ribeiro – UFPEL
Profª. Dra. Danusa de Lara Bonoto – UFFS
Profª. Dra. Érica do Espírito Santo Hermel – UFFS
Prof. Dr. João Carlos Krause – URI
Prof. Dr. Márcio Marques Martins -UNIPAMPA
Prof. Dr. Marcos Barros - UFPE
Profª. Dra. Paula Vanessa Bervian – UFFS
Profª. Dra. Sandra Nonenmacher – IFFAR

Sumário

Apresentação.....	6
Capítulo 1 - Avaliação do Desempenho Térmico entre os Sistemas de Telhado Verde, Ecológico e Convencional (Bernardo Lyoh Sugawara Misaka, Fernanda Bianchi Pereira da Costa, José Wagner Maciel Kaehler, Simone Dornelles Venquiaruto).....	8
Capítulo 2 - Áreas Rurais do Município de Alegrete/RS: patologias e soluções sustentáveis em edificações de terra (Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco, Natália Garcez, Vitor Charão Nunez, Aline Mazoy Lopes, Milena Machado Prates da Silva).....	31
Capítulo 3 - Aplicação do Modelo Hand na Simulação de Inundações da Zona Urbana de Alegrete/ RS (Bruna Della Flora, Adriana Gindri Salbego).....	48
Capítulo 4 - Entupimento do Concreto Permeável: métodos de manutenção e seus efeitos na estrutura de poros (Fernanda Bianchi Pereira da Costa, Jonathan Duarte Oliveira, Tayara Petronio Guerim, Simone Dorneles Venquiaruto).....	72
Capítulo 5 - Frequência das Enchentes do Rio Ibirapuitá Associadas às Cotas Atingidas e Áreas Alagadas (Pablo George da Silva Freitas, Marília Ferreira Tamiosso).....	92
Capítulo 6 - Gestão de Resíduos da Madeira: estudo de caso em empresa da construção civil (Caroline Neves de Lima, Nirlene Fernandes Cechin, Fladimir Fernandes dos Santos).....	112
Capítulo 7 - Aplicação de Práticas Sustentáveis: projetos executados por empresas de administração de obras (Isadora de Oliveira Leão, Fladimir Fernandes dos Santos, Nirlene Fernandes Cechin).....	131

Apresentação

O meio ambiente é caracterizado por um conjunto de fatores que estabelecem interação entre os elementos naturais e os seres vivos, influenciando-os e sendo influenciado por eles.

As práticas de preservação e de conservação ambiental estão diretamente ligadas ao conceito de sustentabilidade, que aborda um conjunto de ações que promovem o desenvolvimento sustentável da sociedade.

Na atualidade, as discussões a respeito da preocupação com o meio ambiente, assim como a aplicação de práticas sustentáveis fazem parte dos temas transversais presentes nos Parâmetros Curriculares Nacionais e, portanto, de estudos realizados no âmbito das Instituições de Ensino Superior.

Nesse contexto, esse livro torna-se importante, pois nele estão apresentadas algumas das produções acadêmicas realizadas na Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA).

Diante o exposto, o artigo descrito no capítulo 1 teve por objetivo principal testar a eficiência térmica de três tipos de sistemas de telhado, para o clima do município de Alegrete, localizado no estado do Rio Grande do Sul (RS).

No capítulo 2 estão evidenciadas algumas soluções sustentáveis que visam a redução de patologias em edificações de estradas e de barragens de terra, localizadas em áreas rurais do município de Alegrete, RS.

O capítulo 3 enfocou, por meio de um estudo realizado, a avaliação da aplicabilidade do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação no município de Alegrete, RS.

O capítulo 4 aborda como o desempenho hidráulico e a estrutura de poros do concreto permeável são afetados pelo processo de entupimento com sedimentos de areia, em ciclos de indução.

No capítulo 5 é apresentado um estudo de caso da área urbana do município de Alegrete, RS, com a aplicação de uma metodologia sequencial que visa obter as áreas alagadas para os eventos de enchentes que

ocorrem com determinada frequência.

No capítulo 6 foi dado destaque ao estudo que foi realizado em uma empresa da construção civil, localizada no município de São Gabriel, RS, tendo como objetivo de analisar a gestão dos resíduos de madeira da construção civil, considerando a identificação e a caracterização dos resíduos de madeira e das fontes geradoras destes resíduos, bem como a caracterização da gestão destes resíduos quanto aos dispositivos legais e técnicos.

O capítulo 7 traz os resultados de uma pesquisa que buscou verificar se as obras realizadas por engenheiros de empresas de administração de obras apresentaram projetos de execução que empregavam práticas sustentáveis. A amostra estudada é composta de empresas de administração de obras e construção civil de edificações, situadas em Brasília, Distrito Federal.

Aos autores dos capítulos publicados nesse livro, fica o agradecimento pela dedicação, desejando-lhes votos de muito sucesso.

Fladimir Fernandes dos Santos
Nirlene Fernandes Cechin
Organizadores

Capítulo 1 - Avaliação do Desempenho Térmico entre os Sistemas de Telhado Verde, Ecológico e Convencional

Bernardo Lyoh Sugawara Misaka*

Fernanda Bianchi Pereira da Costa**

José Wagner Maciel Kaehler***

Simone Dornelles Venquiaruto****

Resumo

O serviço energético de uso final, representado pelo condicionamento ambiental interno das edificações, impõe o uso de equipamentos que utilizam energia elétrica como vetor energético e nem sempre, operam com a necessária eficiência energética. A edificação, por meio da sua envolvente, constitui-se no primeiro e principal equipamento permanente, captador e emissor de energia térmica. Neste contexto, há um consenso no meio científico de que a estrutura de cobertura em uma edificação tem uma contribuição relevante para o aumento da temperatura interna dos ambientes. Baseado no que foi exposto, este capítulo visa testar a eficiên-

* Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: bernardomisaka@unipampa.edu.br

** Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora do curso de graduação em Engenharia Civil e Pós-Graduação em Engenharia (PPEng) da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fernandacosta@unipampa.edu.br

*** Doutor pela Centre D'Énergétique – CENERG – Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris. Professor Adjunto do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: josekaehler@unipampa.edu.br

**** Doutora na área de Construção em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora Adjunta do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: simonevenquiaruto@unipampa.edu.br

cia térmica de três tipos de coberturas distintas para o clima da cidade de Alegrete, localizada no estado do Rio grande do Sul. Para analisar o comportamento térmico das coberturas foram montados três protótipos (denominados de células-teste), destes, dois protótipos receberam telhas com características que pontuam ecologicamente, e o outro foi confeccionado com uma telha convencionalmente utilizada no Brasil. A fim de comparar a eficiência entre as coberturas, o monitoramento da temperatura interna das células-teste foi realizado com o auxílio de equipamentos específicos. Para auxiliar na análise de dados, os resultados foram validados com a realização de cálculos ligados a transmitância térmica seguindo a norma ABNT NBR 15220-1:2003. Concluiu-se que entre as estruturas de telhado estudadas, somente a de cobertura verde atendeu os padrões normativos vigentes e apresentou o melhor desempenho no quesito conforto térmico.

Palavras-chave: Transmitância térmica. Eficiência energética. Coberturas. Telha ecológica de fibra vegetal. Telhado verde. Telha de fibrocimento.

1. Introdução

Segundo *World Wide Fund for Nature - Brasil* (WWF, 2007), um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade é o aquecimento global, podendo resultar em cenários avassaladores no futuro e, para lidar com o mesmo, uma das saídas é o serviço energético de uso final, representado pelo condicionamento ambiental com o uso de ar-condicionado ou ventiladores, sendo que as duas opções se fundamentam no uso da energia elétrica como vetor, aumentando o consumo energético.

Visando atingir um equilíbrio entre o desenvolvimento e a sustentabilidade, o setor da construção civil brasileira possui grande responsabilidade em conscientizar a população sobre alternativas que reduzam o consumo energético, pois o desempenho térmico da envolvente da edificação vem se tornando um requisito importante no referido setor. Para a redução do consumo energético existem inúmeras soluções, sendo uma

delas a implantação de sistemas de telhados que proporcionem melhores condições de conforto térmico nas edificações, pois, segundo pesquisa realizada por Lamberts (2016), a maior parte do fluxo de calor do exterior, para o interior da edificação, ocorre pela cobertura.

Em um estudo realizado com o auxílio de aplicativos, Silveira (2014) apresentou a diferença de temperatura e conforto térmico de duas edificações, uma contendo o isolamento de laje e, a outra, sem o sistema de isolamento. O citado autor observou o desconforto térmico gerado nas duas estruturas e que, mesmo que as estruturas possuam uma laje isolante, muitas vezes, elas não conseguem proporcionar um conforto térmico aceitável classificado pela norma ABNT NBR ISO 9241:2018. Os resultados do estudo levaram o autor a concluir sobre a necessidade de mais estudos sobre materiais variados e diferentes sistemas de telhados, pois permitiriam encontrar soluções inovadoras para um conforto térmico agradável dentro da edificação, reduzindo o consumo energético.

Em função do exposto, esse capítulo aborda a análise experimental de três distintos sistemas de telhado durante o período de verão na cidade de Alegrete/RS. O experimento proporcionou obter um comparativo de desempenho entre eles, permitindo aferir sobre os benefícios dos sistemas de telhados alternativos (telhado verde e telhas ecológicas) em relação a um sistema de telhado convencional (telhado fibrocimento). Os sistemas de telhados alternativos foram escolhidos pela capacidade de promoverem um conforto térmico dentro da edificação. Sendo que o telhado verde traz ainda como vantagem a amenização de problemas relacionadas ao meio ambiente, tais como ilhas de calor, poluição atmosférica e impermeabilizações (ao se ocupar uma grande faixa do terreno para se construir, a área de infiltração de água se torna limitada, conseqüentemente aumentando as chances de enchente).

1.1 Objetivos

Este estudo teve por objetivo avaliar o desempenho térmico de sistemas de telhado verde, convencional e ecológico, na cidade de Alegrete/RS, além de verificar as variações de temperatura entre cada sistema e

parear os resultados com os valores obtidos em cálculo e, ao final, realizar uma comparação da relação custo/benefício entre as alternativas energéticas.

1.2 Justificativa

Com o mundo caminhando para um cenário ecológico e sustentável, em conjunto com o crescimento e desenvolvimento das cidades, um dos pontos que tem chamado a atenção de ambientalistas está relacionado com a necessidade de redução do consumo energético. Visando a probabilidade de que ocorra um aumento maior do consumo de energia, a busca por novos materiais e/ou novos sistemas de telhado, que possuam a capacidade de diminuir um pouco deste consumo, é considerada necessária.

Frequentemente é discutido o desperdício de material gerado pela construção civil. Além dos resíduos tradicionais, nela gerados, ainda pode haver, em algumas ocasiões, resíduos classificados como perigosos e inertes (JADOVSK, 2005). Logo, o aproveitamento de materiais alternativos e não perigosos, como o telhado ecológico, pode proporcionar benefícios por ser um produto criado por meio de materiais reciclados e contribuir de maneira relevante para a redução da quantidade de resíduos gerados pela construção civil.

No Brasil, a utilização dos telhados ecológicos e verdes ainda não é muito difundida, porém, ambos os telhados (verdes e ecológicos) apresentam capacidades de isolamento térmico superior aos telhados convencionais, agregando a edificação um maior conforto contra a grande amplitude térmica (LOPES, 2007; MAGALHÃES, 2018). Visando isto, esta pesquisa se torna importante por trazer um comparativo tanto de caráter técnico, quanto do custo/benefício dos sistemas de telhado verde, permitindo um embasamento científico para evidenciar sobre o uso destes telhados alternativos.

2. Revisão da Literatura

2.1 Consumo e eficiência energética em edificações

O Brasil, assim como outros países que buscam o crescimento econô-

mico e o desenvolvimento de suas cidades, sofre um aumento cada vez maior de consumo energético (FINKLER *et al.*, 2016). Entende-se, por consumo energético, o quantitativo total de energia consumida, contabilizando desde a utilização em edificações residenciais até as industriais e este aumento do consumo energético no país se torna problemático pela necessidade de gerar um investimento maior na produção energética, que pode ser gerada de forma não renovável ou renovável.

Para que o aumento energético possa ser reduzido, existem várias alternativas, sendo uma delas ligada a indústria da construção civil, na qual, muitas vezes, este aumento é associado aos desconfortos térmicos gerados em períodos de inverno e verão, que levam a utilização de ar-condicionado e aquecedores. Uma forma de reduzir esse aumento de consumo energético pode ser realizada pelas próprias empresas de arquitetura e de construção civil, pois, segundo Positivo Tecnologia (2019), a redução pode ser implementada com conscientização da população sobre métodos e componentes que proporcionem o conforto dentro das edificações. Alguns dos sistemas e materiais que podem ser empregados são o telhado verde e a telha ecológica, os quais promovem o conforto acústico e térmico, no interior das edificações, além de benefícios ligados a ecologia e sustentabilidade que proporcionam.

2.2 Conforto térmico e desempenho de edificações

As edificações são ambientes que abrigam pessoas, visando a sua proteção e conforto. Logo, em um projeto de edificação, as características climáticas locais devem ser levadas em consideração na realização de modelos arquitetônicos e construtivos para atender as demandas de variedades climáticas da região em que será implementado. Para uma análise eficiente de desempenho térmico, devem ser considerados os mecanismos de transmissão de calor (condução, convecção e, principalmente, a radiação) em paredes, coberturas e janelas, nos quais representam as estruturas responsáveis pela maior taxa de transmissão de calor do ambiente externo para o interno (LAMBERTS, 2000).

Para realizar o controle do desempenho de edificações habitacionais foi implementada, no Brasil, a ABNT NBR 15575, no ano de 2013, que regulamenta critérios relacionados a desempenho térmico para edifica-

ções com até cinco (5) pavimentos. Para o projeto deste estudo foi utilizada a Parte 5 da supracitada norma, referente aos requisitos dos sistemas de cobertura.

2.3 Estanqueidade e transmissão de calor em coberturas

Na visão de Ribeiro (2008), o sistema de cobertura é a parte da envolvente da edificação com maior exposição à radiação direta do sol, logo, exerce predominante influência na carga térmica transmitida aos ambientes, importante no conforto térmico dos usuários e no consumo de energia para ligar equipamentos de condicionamento artificial de ar. No que se refere à transmissão de calor, Lamberts (2016) destaca que ela é realizada através de condução, convecção e radiação.

Conforme a NBR 15575-5 (ABNT, 2013), o sistema de cobertura é o conjunto de elementos/componentes, dispostos no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade às águas pluviais, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional. A estanqueidade¹ é de suma importância em coberturas, sendo que a NBR 15575-5 (ABNT, 2013) determina critérios de impermeabilidade.

Segundo a NBR 15575-5 (2013), o sistema de cobertura deve apresentar transmitância térmica² e absorvância³ à radiação solar que proporcionem um desempenho térmico apropriado para cada Zoneamento Bioclimático. Ainda, tem-se mencionado na supracitada norma que a

¹ Propriedade de um elemento (ou de um conjunto de componentes) de impedir a penetração ou passagem de fluidos através de si. A sua determinação está associada a uma pressão-limite de utilização (a que se relaciona com as condições de exposição do elemento ao fluido). NBR 9575 (ABNT, 2010, p. 4).

² Transmissão de calor em unidade de tempo e através de uma área unitária de um elemento ou componente construtivo; neste caso, dos vidros e dos componentes opacos das paredes externas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes. A transmitância térmica deve ser calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2:2005 ou determinada através do método da caixa quente protegida da NBR 6488. NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 10).

³ Quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície. NBR 15575-1 (ABNT, 2013, p. 6).

transmitância térmica (U) deve apresentar valores máximos admissíveis de $U \leq 2,30$, que será o critério utilizado para o zoneamento bioclimático estabelecido no presente estudo.

A ABNT NBR 15220 (2003) determina que a transmitância Térmica (taxa de transferência de calor através da matéria – equação 1) é o inverso da resistência térmica total (RT), sendo considerada a variável mais importante na avaliação do comportamento térmico em uma edificação com fechamentos opacos. No entendimento de Lamberts (2016), essa variável possibilita também a comparação entre diferentes fechamentos por meio de análises comportamentais em frente a transmissão de calor do exterior ao interior.

$$U = 1/RT \quad (1)$$

Para a obtenção da resistência térmica total (RT), a NBR 15220 (2003) determina duas formas diferentes, sendo uma com camadas homogêneas e a outra com camadas não homogêneas. No entanto, o projeto não abrange componentes com seções não homogêneas, logo, a norma regulamenta que a resistência térmica total (RT) de um componente plano constituído de camadas homogêneas perpendiculares ao fluxo de calor é determinada pelas equações 3 e 4. Na determinação da resistência térmica (R), a NBR 15220 (2003) instrui a utilização de valores baseados em ensaios normalizados, sempre que possível. Caso ocorra a sua ausência, a norma instrui a utilização da equação 2 em camadas sólidas:

$$R = e/\lambda \quad (2)$$

Ressalta-se que a resistência térmica de superfície a superfície (R_t) é estabelecida pelo somatório das “n” camadas homogêneas, determinadas pela resistência térmica (R), como representado na equação 3, no entanto, para este estudo, R_{arn} será zero (0) devido à ausência de câmaras de ar entre as camadas homogêneas.

$$R_t = R_{t1} + R_{t2} + \dots + R_{tn} + R_{ar1} + R_{ar2} + \dots + R_{arn} \quad (3)$$

Cabe ainda dizer que a resistência térmica de ambiente a ambiente (R_T) é determinada pela equação 4. Sendo que R_{se} e R_{si} são determinados pela Tabela 1.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (4)$$

Tabela 1 – Resistência térmica superficial interna e externa

<i>R_{si} (m².K/W)</i>			<i>R_{se} (m².K/W)</i>		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
⇒	⇑	⇓	⇒	⇑	⇓
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: Adaptado da ABNT NBR 15575:2013

2.4 Sistemas de telhado: convencional e verde

As telhas de fibrocimento e as telhas ecológicas representam exemplos de sistemas de telhado convencional, sendo que o suporte necessário para a projeção desse sistema foi embasado nas recomendações da ABNT NBR 7190 (2010).

Segundo Viva Decora (2020), a telha ecológica é um componente construtivo desenvolvido com a finalidade de atender um mercado com exigências ligadas a sustentabilidade, substituindo o uso de telhas convencionais que necessitam de materiais de extração e que, ao final de seu uso, geram resíduos de difícil reciclagem e destinação. A ONDULINE (20--)⁴ garante benefícios como leveza⁵, resistência a queda de objetos, boa impermeabilização, baixa absorção de água⁶, o que, consequentemente, reduz a sobrecarga do telhado. Além disso, proporciona uma economia no projeto estrutural⁷ e permite um resfriamento de até 2°C a mais, quando comparada com a telha de fibrocimento.

⁴ É a principal fabricante deste tipo de telha (ONDULINE, 20--).

⁵ É 12 vezes mais leve que o de uma telha cerâmica convencional, e 4 vezes mais leve que uma telha fibrocimento (ONDULINE, 20--).

⁶ Testes indicam inferior a 1% (ONDULINE, 20--).

⁷ As estruturas são menos robustas para a sustentação do sistema de telhado (ONDULINE, 20--).

O sistema arquitetônico do telhado verde consiste na implementação de uma cobertura vegetal sobre a laje. Arruda *et al.* (2017) afirmam que o telhado verde é, muitas vezes, chamado de telhado vivo ou de telhado ecológico. Em seu todo, a estrutura de um telhado verde é composta por camadas com funções essenciais para manter o funcionamento correto e o aproveitamento máximo da estrutura sem que haja prejuízo ou uma interferência negativa no sistema construtivo da cobertura. Em geral, a estrutura de cobertura verde é composta por laje, membrana à prova de água, barreira contra raízes, sistema de drenagem, tecido permeável, terra e vegetação.

Ferraz (2012) classifica o telhado verde em três categorias:

- Cobertura extensiva, onde o substrato varia de 6 a 20cm e pode ser aplicado em telhados com até 45 graus de inclinação, com auxílio de malha estrutural que proporcione tal estabilidade.
- Cobertura semi-intensiva que possui profundidade do substrato (que pode variar entre 12 a 25cm), e vegetações de médio porte como arbustos médios na qual este tipo de cobertura requer uma manutenção periódica.
- Cobertura intensiva que permite a utilização de vegetações de grande porte (como árvores e arbustos).

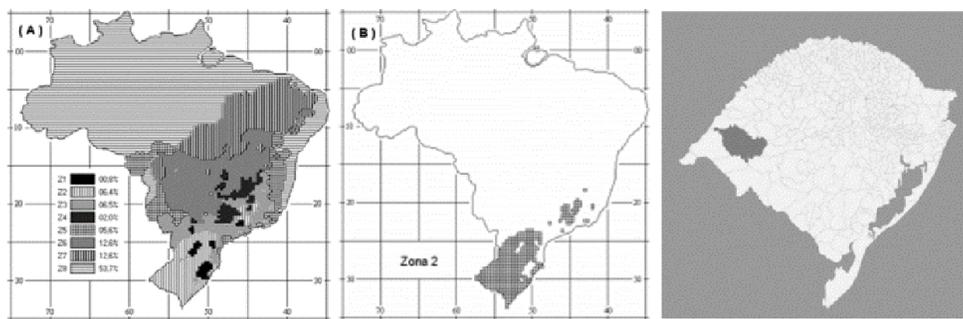
De acordo com Ferraz (2012), a comparação da cobertura intensiva ao jardim não se aplica apenas à sua capacidade de implantação de vegetação de grande porte, mas também à sua manutenção, que se equipara aos gastos de um jardim tradicional, necessitando de cuidados maiores como poda e irrigação constantes.

Ferraz (2012) ainda destaca que, quando a implementação do telhado verde é dada de forma correta e regulamentada, ela proporciona reduções das superfícies impermeáveis, redução da poluição atmosférica, redução das ilhas de calor, entre outros. Além disso, para Castleton (2010), o telhado verde contribui na redução do uso de energia elétrica que seria destinada ao aquecimento e ao resfriamento de ambientes, sendo a vegetação e o substrato responsáveis por essa redução.

3. Metodologia de Pesquisa e Resultados

O desenvolvimento do experimento iniciou com a escolha da cidade e da verificação da sua caracterização climática. O estudo foi desenvolvido com base no zoneamento Bioclimático do Brasil (Figura 1-A), no município de Alegrete (latitude 29°46'59" Sul e longitude 55°47'31" Oeste), localizado na região da fronteira oeste do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1-C), pertencendo a Zona Bioclimática 2 (Z2), e representado na Figura 1-B.

Figura 1 – Zoneamento Bioclimático



Fonte: Imagem (A) e (B) - Adaptado da ABNT NBR 15220 (2003); Imagem (C) - Adaptado de <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/alegrete.html> (2023)

A NBR 15220 (ABNT, 2003) divide o zoneamento bioclimático brasileiro em oito diferentes zonas relativamente homogêneas (Figura 1-A), sendo que a zona Z2 representa cerca de 5,6% da extensão territorial do Brasil. A referida norma também apresenta para cada Zona Bioclimática brasileira diretrizes que podem ser implementadas para melhor conforto térmico das edificações.

Para a Zona Bioclimática 2 a recomendação é de aberturas de ventilação média (com estruturas que favoreçam a ventilação cruzada no período de verão) e com acesso ao aquecimento solar durante o inverno, além de apresentar paredes externas leves, com a cobertura leve e isolada (Transmitância térmica - $U \leq 2,00$; Atraso térmico - $\phi \leq 3,3$ e Fator Solar - $FS_o \leq 6,5$).

O desenvolvimento do projeto foi realizado em uma área em cam-

po aberto (Figura 2) da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) - campus Alegrete/RS. O local escolhido para a implantação do estudo (Figura 2-B) no campus foi determinado seguindo os critérios de acessibilidade à rede elétrica para a utilização dos equipamentos de medição e armazenamento, e respeitando o aproveitamento máximo da fonte solar durante o período de recolhimento de dados.

Figura 2 – Local de implantação da pesquisa



Fonte: Google Maps (2021)

A Figura 2 mostra (A) a localização da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) na cidade de Alegrete e (B) a vista aérea da UNIPAMPA, com a indicação do local da instalação dos protótipos.

3.1 Montagem e transporte e instalação dos protótipos

As células-teste foram confeccionadas em uma madeira local com a mesma área padrão ($0,25 m^2$), utilizando como matéria prima Madeirit plastificado ($12mm$). Para os protótipos com telhas foi definida a inclinação de 30° , respeitando a recomendação designada pelos fabricantes.

Para o telhado com cobertura verde foi empregado o método extensivo (Figura 3). A cobertura vegetal utilizada foi uma gramínea forrageira (*Cynodon Dactylon*) existente nos gramados da UNIPAMPA Campus – Alegrete/RS. A escolha da gramínea se justifica pelo fato de que as plantas para telhado verde no modo extensivo (adotado neste estudo) devem ser espécies de menor crescimento, para facilitar o controle e a manutenção e também devido a sua adaptação com o ambiente e ao clima da cidade de Alegrete.

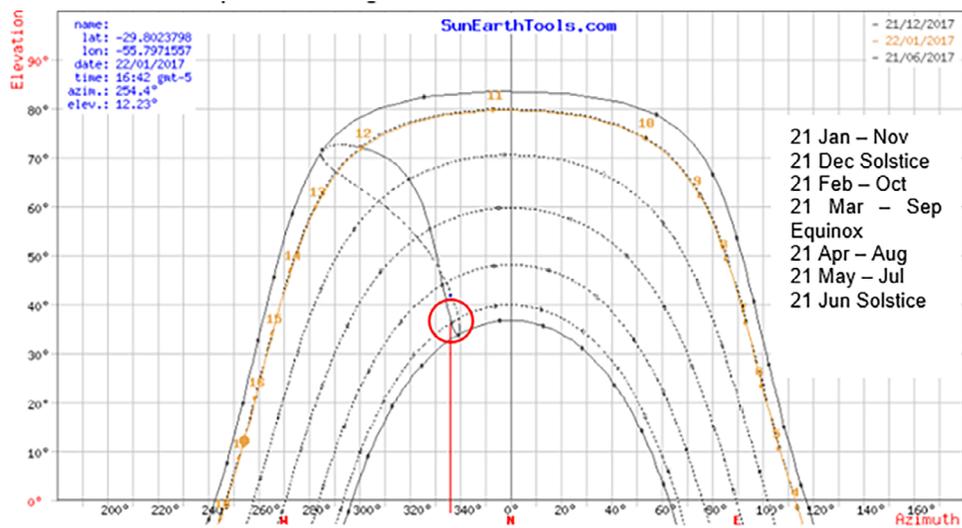
Figura 3 – Procedimento de montagem do telhado verde



Fonte: Registros da pesquisa (2021)

Após o transporte dos protótipos para o campus, os mesmos foram organizados no terreno com a “água” alinhada ao norte verdadeiro. Conforme o grupo de pesquisa Exploração Integrada de Recursos Energéticos (EIRE), seguindo as orientações do Pinho e Galdino (2014), existe uma correção na inclinação do norte magnético (visualizado na bússola), necessária para obter o norte verdadeiro (objetivando obter a maior incidência solar). A correção do ângulo de inclinação em relação ao norte magnético é de $\delta = -23,45^\circ$, como mostrado na Carta solar polar de Alegrete (Figura 4).

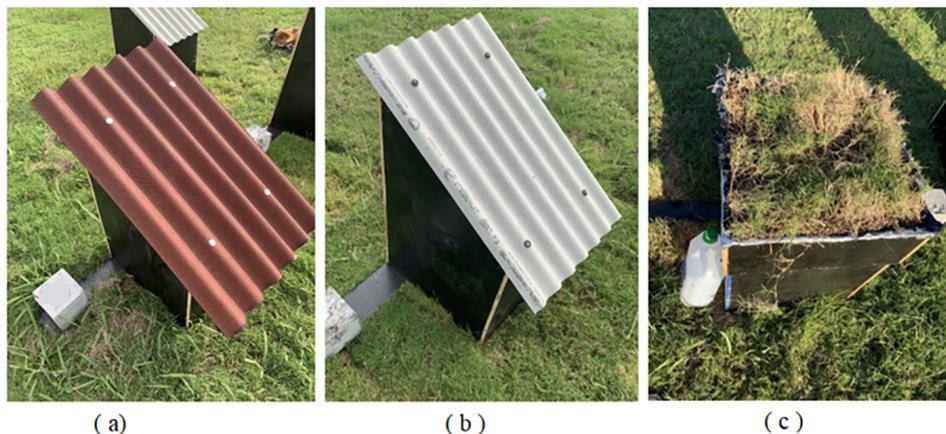
Figura 4 – Carta solar polar – Alegrete/RS



Fonte: Adaptado de Panno (2017)

A Figura 5 representa os protótipos (célula-teste) após o processo de instalação no terreno, sendo: (a) célula-teste com cobertura de telha ecológica, (b) célula-teste com cobertura de telha de fibrocimento, e (c) célula-teste com cobertura verde.

Figura 5 – Imagens dos protótipos de células-teste

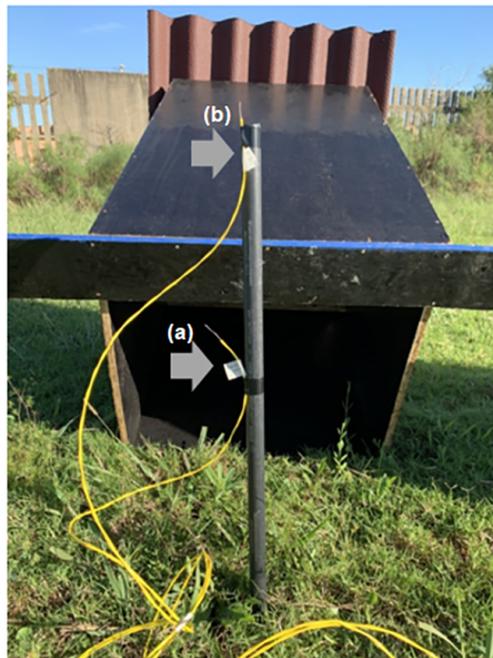


Fonte: Registros da pesquisa (2021)

3.2 Posicionamento e ligações dos sensores e equipamentos

Na montagem do sistema de coleta de dados foram utilizados além dos termopares, os equipamentos *data logger*, computador *laptop* e o programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*. Para o controle da temperatura, no interior de cada protótipo (célula-teste), foram instalados dois termopares apoiados por bastões (Figura 6 - página seguinte).

Figura 6 – Posição dos termopares dentro dos protótipos



Fonte: Registros da pesquisa (2021)

Na Figura 6 tem-se a representação da posição dos termopares dentro dos protótipos, onde: (a) termopar instalado ao centro do bastão de PVC e (b) termopar instalado próximo ao topo do tubo de PVC. O posicionamento dos termopares adotado no projeto se justifica por fornecer uma coleta de dados mais detalhada, permitindo uma melhor análise do aquecimento interno dos protótipos oriundos da estrutura de cobertura.

3.3 Coleta e tratamento dos dados

O recolhimento de dados ocorreu no período de 19/04/2021 a 18/05/2021, totalizando dezessete dias (inclusos os dias de testagem, coletas de dados falhos e as coletas de dados finais). Os dias escolhidos para a coleta respeitaram o critério de dias corridos, levando em conta as limitações impostas pelos equipamentos, ou seja, coletas de dados apenas em dias secos (nublados ou dias de sol).

O equipamento *Data Logger* foi utilizado com a função de medição

direta através de termopares, registrando temperaturas com o espaçamento de tempo de 30 minutos entre as capturas no decorrer do período de coleta. A captação de dados foi programada para iniciar aproximadamente às 09:30h da manhã e encerrar aproximadamente às 17:30h da tarde.

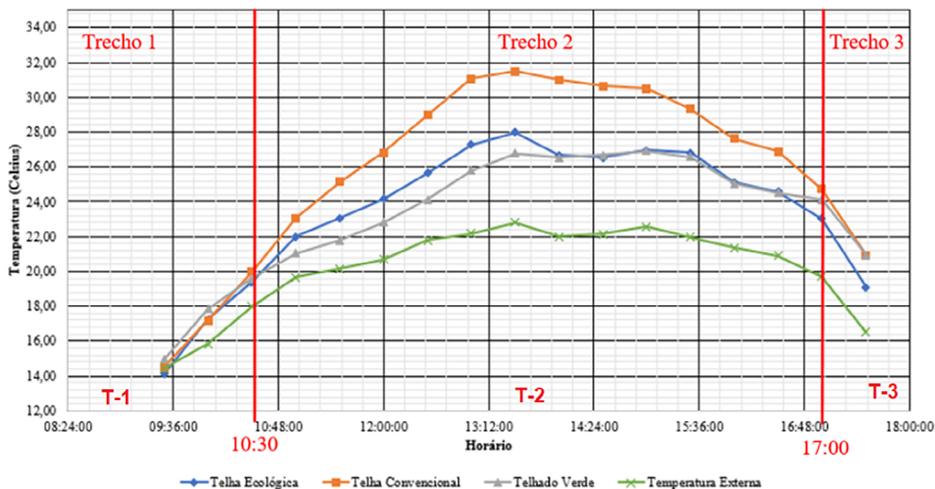
Ao final de cada dia de teste os dados ficavam armazenados em um computador com auxílio do programa *Agilent BenchLink Data Logger 3*, e o *Data Logger* era reprogramado e novamente instalado para o dia de observação seguinte. Após ajuste e testagem do sistema foram utilizados cinco dias para realizar a coleta das temperaturas internas das células-teste. A Tabela 2 e o gráfico apresentado na Figura 7 exibem os valores médios de temperatura adquiridos com o experimento.

Tabela 2 – Dados médios de temperatura interna dos protótipos (graus Celsius) e dados médios de temperatura externa – temperatura ambiente (graus Celsius)

Trecho	Horário Coleta	Telha Ecológica	Telha Convencional	Telhado Verde	Temperatura Externa
T-1	09:30:00	14,08	14,48	14,95	14,42
	10:00:00	17,26	17,18	17,84	15,84
T-2	10:30:00	19,38	19,98	19,58	18,00
	11:00:00	21,99	23,08	21,04	19,68
	11:30:00	23,07	25,16	21,80	20,15
	12:00:00	24,16	26,80	22,81	20,68
	12:30:00	25,64	28,97	24,11	21,77
	13:00:00	27,26	31,07	25,78	22,17
	13:30:00	27,98	31,49	26,78	22,82
	14:00:00	26,66	31,01	26,55	22,00
	14:30:00	26,54	30,64	26,68	22,14
	15:00:00	26,95	30,50	26,92	22,56
	15:30:00	26,82	29,34	26,55	21,95
	16:00:00	25,13	27,65	25,03	21,36
	16:30:00	24,60	26,89	24,51	20,89
17:00:00	23,04	24,72	24,14	19,68	
T - 3	17:30:00	19,09	20,95	20,95	16,50

Fonte: Elaboração própria (2021)

A Tabela 2 mostra que as análises foram realizadas em três trechos distintos, sendo o primeiro trecho (T-1) correspondente as informações coletadas entre o período de 8:30h – 10:30h, o segundo trecho (T-2) correspondendo ao período das 10:30h – 17:00h e o terceiro trecho (T-3) correspondendo ao período das 17:00h – 18:00h.

Figura 7 – Temperaturas médias das temperaturas dos tipos de cobertura

Fonte: Elaboração própria (2021)

No Trecho 1 a estrutura de cobertura da edificação precisa ter maior capacidade de reter calor, devido à baixa incidência de radiação solar. Neste trecho o telhado verde se destacou das outras estruturas de cobertura por apresentar uma temperatura interna superior de $0,87^{\circ}\text{C}$ a $0,47^{\circ}\text{C}$, em comparação a Telha Ecológica e Telha Convencional, no período das 09:30h; e de $0,58^{\circ}\text{C}$ a $0,66^{\circ}\text{C}$ em comparação a Telha Ecológica e Telha Convencional, no horário das 10:00h.

O Trecho 2 correspondeu a um período com aumento da incidência de radiação solar, elevação da temperatura interna da edificação. Logo, é desejável uma cobertura que tenha capacidade de reter a transmissão excessiva de calor para o interior da edificação. Analisando o Trecho 2 é possível observar que a cobertura verde apresentou uma temperatura interna relativamente inferior à registrada na cobertura de Telha Convencional, sendo a maior diferença registrada de $5,29^{\circ}\text{C}$, às 13:00h. Quando comparada com a cobertura de Telha Ecológica, até o período das 14:00h, a cobertura verde apresentou uma temperatura interna inferior com a máxima diferença ($1,53^{\circ}\text{C}$) no horário das 12:30h, e a partir deste horário até as 17:00h as duas telhas apresentaram temperaturas internas semelhantes.

O Trecho 3 representou um período em que a incidência de radiação

solar voltou a reduzir, resultando na queda da temperatura externa. Nesta situação é necessário que a estrutura de cobertura apresente capacidade de retenção de calor. Considerando o momento em que ocorre a queda mais brusca de temperatura externa (17:00h ⇨ 17:30h), a cobertura que apresentou a menor queda de temperatura foi a de Telhado Verde (com uma variação de temperatura de 3,19°C), seguida pela cobertura de Telha Convencional (com uma variação de 3,77°C) e, por último, a cobertura de Telha Ecológica (com uma variação de 3,95°C). Os dados mostraram novamente a cobertura de Telhado Verde em destaque.

3.4 Amplitude Térmica das coberturas

A “amplitude térmica” ou “variação de temperatura” é a diferença da maior temperatura com a menor temperatura, sendo que, quanto maior a amplitude térmica, menor a capacidade da respectiva telha de isolar a transmissão de calor entre ambientes. Coberturas que apresentam grande amplitude térmica, promovem uma mudança de temperatura mais abrupta, tornando o interior do ambiente desconfortável. Com os valores máximos e mínimos das temperaturas observadas em cada protótipo (Tabela 2) foi possível obter a amplitude térmica de cada cobertura, representada pela “Variação”, na Tabela 3.

Tabela 3 – Amplitude térmica

Tipos de coberturas	Telha ecológica	Telha convencional	Telhado verde
Valores mínimos (°C)	14,08	14,48	14,95
Valores máximos (°C)	27,98	31,49	26,92
Variação (°C)	13,90	17,01	11,96

Fonte: Elaboração própria (2021)

Nota-se que a cobertura verde apresentou a menor variação (11,96°C), seguida pela cobertura de telha ecológica (13,90°C) e pela cobertura de telha convencional de fibrocimento (17,01°C). A variação de temperatura é um importante fator para proporcionar o conforto térmico no interior das edificações e, quanto menor for a variação registrada, melhor será

a capacidade do conjunto da estrutura de cobertura de isolar a transmissão de calor entre ambientes.

3.5 Transmitância Térmica das coberturas

De acordo com a ABNT NBR 15220 (2003), os valores obtidos de transmitância térmica devem satisfazer o valor limite máximo de $2,30\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ para a zona Bioclimática em que a cidade de Alegrete/RS pertence, no entanto, o valor limite supracitado não foi respeitado para este projeto, já que, para atendê-lo, seria necessário aplicar modificações nas dimensões das células teste e projetar vedações que atendam às exigências da ABNT NBR 15220 (2003), o que elevaria os custos para a pesquisa.

A Tabela 4 traz as informações sobre a espessura da telha, condutividade e transmitância térmica (calculados com as Equações 1 a 4). Os valores do coeficiente de condutividade e transmitância térmica foram especificados de acordo com as recomendações da ABNT NBR 15220 (2003) e de estudos como é o caso da telha ecológica (SAVASTANO JR. 1996 *apud* LESSA, 2009).

Tabela 4 – Transmitância térmica

Tipos de coberturas	Espessura da Telha/ cobertura (mm)	Coefficiente de condutividade ABNT NBR 15220 (2003)	Transmitância Térmica- (U) ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
Telha de fibrocimento	4	0,65	4,626
Telha ecológica	3	0,65	4,659
Telhado verde	madeira compensada 12	0,12	1,129
	manta asfáltica 3	0,23	
	argila expandida 50	0,16	
	substrato 130	0,52	

Fonte: Elaboração própria (2021)

Para o cálculo da transmitância térmica (U) da cobertura verde algumas camadas não foram consideradas. A manta Jeans foi utilizada apenas como camada anti-raiz, com a função de servir como uma proteção mecânica (FERRAZ, 2012). A espessura e o coeficiente de condutividade da grama não foram utilizados para o cálculo devido a sua característica

refletora, comprovada por Theodosiou (2003). Segundo o autor, a função da vegetação em uma estrutura de cobertura é de proteção solar por meio do sombreamento da superfície.

3.6 Custo para a produção dos protótipos

Foi realizada a comparação de valores financeiros para a montagem das células-teste estudadas no projeto (Tabela 5), adotando-se como base valores de 0,25 m² de cobertura por célula-teste.

Tabela 5 – Custos da pesquisa

Tipo de Telhado	Custo para execução	Porcentagem em relação ao custo total
Telha de fibrocimento	R\$ 89,23	20,49%
Telha ecológica	R\$ 137,13	31,50%
Telhado verde	R\$ 209,03	48,01%
Custo total	R\$ 435,39	100,00%

Fonte: Elaboração própria (2021)

Os resultados mostram que o maior investimento foi aplicado na execução do Telhado Verde, que apresentou um custo final de 48,01% do valor total do projeto. Na sequência, o segundo maior investimento foi para a construção do telhado ecológico, com um custo de 31,50% e, por fim, o Telhado de fibrocimento, com um custo de 20,49% sobre valor total do projeto.

4. Conclusão

A realização deste estudo permitiu concluir que a seleção do material para o telhado e a escolha do tipo de cobertura a serem empregados têm importante contribuição para o conforto ambiental de uma edificação. Entre as coberturas investigadas, e considerando o período em que os dados foram coletados e analisados, observou-se que as telhas ecológica e de fibrocimento não atenderam os padrões normativos para a Zona Bioclimática 2. Ambas as telhas ultrapassaram o valor limite máximo recomendado pela ABNT NBR 15220:2003 para a região.

Por outro lado, a cobertura verde atendeu os parâmetros normativos

e foi a cobertura que apresentou a menor variação de temperatura interna no protótipo, indicando melhor capacidade do conjunto da estrutura de cobertura de isolar a transmissão de calor entre ambientes externos e internos. A cobertura verde traz ainda como vantagem o aspecto estético para uma região, além de permitir a possibilidade de execução de diferentes sistemas (extensivo e intensivo. Em contrapartida, a cobertura verde é a que apresentou maior custo dentre os sistemas que foram estudados, além de ser a que mais exige manutenção e cuidados.

Conclui-se que a cobertura verde demonstrou ser a estrutura mais promissora a ser utilizada na região de Alegrete/RS, por proporcionar um conforto térmico dentro dos padrões exigidos, além de permitir uma redução com os gastos de energia elétrica. No entanto, é importante ressaltar que os protótipos utilizados na pesquisa não foram testados com todos os seus elementos construtivos (forro, laje, paredes, revestimentos, pisos e esquadrias).

Em função do exposto, os resultados devem ser vistos com cautela. Acredita-se que os desempenhos térmicos das coberturas com as telhas de fibrocimento e ecológica possam ser otimizados caso esses sistemas sejam testados com todos os elementos construtivos.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais, Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**: Desempenho térmico de edificações, Parte 1: Definições, símbolos e unidades: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9575**: Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR**

7190: Projeto de Estrutura de Madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

AZEVEDO, Hélio Alves de. **O edifício até sua cobertura**, 2a ed. 188 p. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA., 1997. ISBN-10 852120129X. ISBN-13 978-8521201298

CASTLETON, H. F. *et al.* Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. **Energy and buildings**, v. 42, n. 10, p. 1582-1591, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004>. Acesso em: 8 mai. 2023.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2a ed. 530 p. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014.

FERRAZ, I. L. **O Desempenho Térmico de um Sistema de Cobertura Verde em Comparação ao Sistema Tradicional de Cobertura com Telha Cerâmica**. 2012. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Paulo, 2012.

FINKLER, A.; FINKLER, D. R.; CASTRO, J. L. D. S.; MILKE, T. F. Relação do crescimento econômico e consumo de energia elétrica. In: SALÃO DO CONHECIMENTO, 24., 2016, Ijuí. **Anais [...]**. Ijuí: Unijuí, 2016. Não paginado. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/7237>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

JADOVSKI, I. **Diretrizes técnicas e econômicas para usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição**. 2005. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Profissionalizante) – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Mestrado Profissionalizante, Rio Grande do Sul, 2005.

LAMBERTS, R. *et al.* **Desempenho térmico de edificações**, 7a ed. 170 p. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, CTC – Departamento de Engenharia Civil, 2016.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. OR. **Eficiência Ener-**

gética na Arquitetura, 3ª ed. 366 p. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LESSA, M.L.S. **Critérios de Sustentabilidade Para Elementos Construtivos: um estudo sobre telhas “ecológicas” empregadas na construção civil**. 2009. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola de Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana, Salvador. 2009.

LOPES, D. A. R. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. 2007. 145 p. Dissertação (Mestre em Ciências em engenharia ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, São Carlos. 2007.

MAGALHÃES, R. J. **Desempenho térmico de telhas: Um estudo comparativo entre telhas ecológicas e telhas de fibrocimento**. 2018. 53 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Faculdade Evangélica de Goianésia, Curso de Engenharia Civil, Goianésia, 2018.

ONDULINE. **Telha Ecológica Onduline Clássica**. Juiz de Fora: Onduline Industrial do Brasil, 20---. Disponível em: <https://br.onduline.com/pt-br/consumidor/produtos/telha-ecologica-onduline-classica>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

PANNO, P. **Tecnologias de arrefecimento térmico em telhados para condicionamento ambiental**. 2017. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa. Curso de Engenharia Civil, Alegrete, 2017.

POSITIVO TECNOLOGIA. **Descubra como reduzir o consumo de energia em grandes empresas**. Curitiba: Positivo Tecnologia S/A, 2019. Disponível em: <https://www.meupositivo.com.br/panoramapositivo/consumo-de-energia-em-grandes-empresas/>. Acesso em: 12 de jun. 2020.

RIBEIRO, L. P. **Conforto térmico e a prática do projeto de edificações: Recomendações para Ribeirão Preto**. 2008. 213 p. Dissertação

(Mestre em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, São Carlos, 2008.

SILVEIRA, F. M. *et al.* **Análise do desempenho térmico de edificações residenciais ventiladas naturalmente: NBR 15.575 e ASHRAE 55.** 2014. 240 p. Dissertação (Mestre em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Tecnologia e Cidade, 2014.

THEODOSIOU, T. G. **Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique.** Energy and buildings, v. 35, n. 9, p. 909-917, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00023-9). Acesso em: 8 mai. 2023.

VIVA DECORA. **Telha Ecológica: O que é, Materiais, Vantagens e Mais.** São Paulo: Viva Decora, 2020. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/arquitetura/telha-ecologica/>. Acesso em: 21 de jul. 2020.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE – BRAZIL. **Aquecimento global: desastres piores podem ser evitados,** 2007. Brasília, 2007. Disponível em: https://www.wwf.org.br/informacoes/?uNewsID=6920&gclid=Cj0KCQiAwf39BRCCARIsALXWETxlObdvbp2kp-nLuzR5Oa-EmZw7c2yxvVCitj8M-S1tauV3nnt0nMXYaAvDgEALw_wcB. Acesso em 26 de jul. 2020.

Capítulo 2 - Áreas Rurais do Município de Alegrete/RS: patologias e soluções sustentáveis em edificações de terra

Wilber Feliciano Chambi Tapahuasco*

Natália Garcez**

Vitor Charão Nunez***

Aline Mazoy Lopes****

Milena Machado Prates da Silva*****

Resumo

Este capítulo apresenta algumas soluções sustentáveis que visam a redução de patologias em edificações de estradas e de barragens de terra, localizadas em áreas rurais do município de Alegrete, RS. Para isso, inicialmente é apresentada, de forma introdutória, a relevância das edificações de terra no desenvolvimento das atividades e produção agropecuária. Seguidamente é mostrada a problemática do meio rural do município, vinculada às edificações de estradas e barragens, sendo exemplificados alguns registros de patologias e suas consequências na operacionalidade e segurança dessas superestruturas. Finalmente, visando reduzir o desenvolvimento de patologias e aumentar a segurança das estradas e de barragens de terra, são mostradas possíveis alternativas sustentáveis que podem ser aplicadas, respeitando às condições da realidade do município.

* Doutor em Geotecnia pela Universidade Federal de Brasília – UnB. Professor do curso de graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: wilbertapahuasco@unipampa.edu.br

** Estudante do curso em Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: nataliagarcez.aluno@unipampa.edu.br

*** Estudante do curso em Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: vitornunes.aluno@unipampa.edu.br

**** Bacharel em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: alinemazoy01@gmail.com

***** Estudante do curso em Engenharia Agrícola na Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: milenasilva.aluno@unipampa.edu.br

Palavras-chave: Estradas rurais. Barragens de terra. Sustentabilidade.

1. Introdução

Nas últimas décadas o agronegócio Brasileiro cresceu significativamente, posicionando o Brasil como um importante produtor e exportador de diferentes alimentos e fibras, tais como soja, milho, celulose, café, carne, entre outros produtos (JULIÃO, 2015; CONAB, 2023; CEPEA, 2023). Esse crescimento na produção agrícola tem demandado o aumento pela construção e manutenção da malha viária rural, constituída principalmente por estradas de terra, permitindo o escoamento dos produtos agropecuários das áreas rurais aos centros urbanos. Somado a isso, há também o aumento da demanda pelo uso dos recursos hídricos, sendo necessário, na maioria das vezes, a construção de barragens e açudes de terra, com o objetivo de suprir, em épocas de estiagem, as necessidades dos sistemas de irrigação e produção animal.

Essa realidade brasileira é exemplificada no município de Alegrete/RS, onde, segundo o SPGG (2021), a atividade agropecuária tem um papel relevante no desenvolvimento econômico do município e do Estado de Rio Grande do Sul. No entanto, as superestruturas das edificações de terra no município, tais como estradas, açudes e barragens, não têm conseguido acompanhar, de forma eficiente e sustentável, o aumento da produção agropecuária.

Devido à sua grande extensão territorial de aproximadamente 7.800.428 km² (IBGE, 2022), o município de Alegrete apresenta mais de 4500 km de estradas de terra que, frequentemente, são afetados pelas chuvas e pelo fluxo de veículos de cargas pesadas, dificultando e encarecendo o escoamento das safras. Além disso, pelas condições topográficas, geológicas e de ocorrência dos materiais naturais, o uso do solo como agregado de construção, tem sido uma alternativa frequente na edificação de barragens e açudes. No entanto, trabalhos de pesquisa realizados por Salinas e Tapahuasco (2018) e Lopes (2022), mostraram a precariedade na edificação dos barramentos existentes no município de Alegrete, comprometendo à segurança das barragens e dos açudes.

Tomando como base a problemática supracitada, este capítulo tem

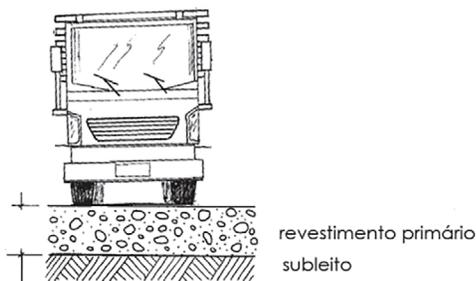
como propósito mostrar, dentro da jurisdição do município de Alegrete/RS, as principais patologias ocorrentes nas estradas rurais e, também, em barramentos de terra, objetivando, posteriormente, mostrar soluções técnicas sustentáveis que aumentem a segurança e a estabilidade dessas edificações.

2. Histórico de Patologias em Edificações de Terra – estudos de caso

2.1 Estradas de terra

As estradas rurais de terra basicamente estão constituídas por uma camada superficial de solo compactado (revestimento primário) que serve como superfície de rolamento para os veículos. Essa camada é disposta sobre o terreno natural (subleito) ou sobre o próprio terreno melhorado geotécnicamente (reforço de subleito). A Figura 1 mostra a seção típica de uma estrada de terra com revestimento primário.

Figura 1 – Seção de estrada de terra com revestimento primário



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2019)

Devido à precariedade de algumas estradas de terra no município de Alegrete, é comum a ocorrência de eventos que acabam prejudicando a trafegabilidade e segurança dos usuários. São frequentes os relatos de trechos de estradas intransitáveis, especialmente em épocas de chuvas. A Figura 2 exemplifica problemas de trafegabilidade em duas estradas do interior do município, registrados e publicados no portal AlegreteTudo (2019 e 2020).

Figura 2 – Problemas de trafegabilidade das estradas rurais no interior do Município de Alegrete/RS, A) Estrada Capão do Angico, B) Estrada Mariano Pinto



Fonte: Portal Alegrete Tudo A (2019, não paginado)

Fonte: Portal Alegrete TudoB (2020, não paginado)

Rosso (2015) e Migliorin (2019) estudaram as condições de integridade de algumas estradas não pavimentadas do interior do município de Alegrete/RS (estrada estadual ERS 566, estrada do Angico, do Silvestre, Rincão de São Miguel e, do Caverá). Com base nos resultados obtidos pelos autores pode-se dizer que a falta ou o mal dimensionamento das estradas de terra possibilita a ocorrência de patologias tais como, erosões decorrentes das chuvas e do tráfego pesado, além de marcas de trilha de rodas e desagregação de partículas do solo.

Segundo Migliorin (2019), os sistemas de drenagem inadequados ou a falta destes, podem provocar acúmulo de água na pista de rolamento ou na sarjeta. Na imagem à esquerda da Figura 3 pode ser observada a desagregação de agregados do revestimento primário, na estrada RS 566 (ROSSO, 2015, p. 64). Já na imagem à direita observa-se marcas de trilha de rodas num trecho da estrada Caverá (MIGLIORIN 2019, p. 26).

Figura 3 – Patologias registradas em estradas de terra no município de Alegrete/RS



Fonte: Rosso (2015, p. 64)

Fonte: Migliorin (2019, p. 26)

O Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada (ICRNP), proposto por Baesso e Gonçalves (2003), é o parâmetro que mede de forma quantitativa a integridade e as condições de operação da rodovia. O ICRNP pode variar de 0 para condição péssima e, pode atingir até 100 para condição excelente. A partir dos trabalhos desenvolvidos por Rosso (2015) e Migliorin (2019), na Tabela 1 são mostrados os dados de ICRNP para algumas estradas rurais do município de Alegrete. Dessa forma percebe-se que os valores de ICRNP determinados pelos autores estão abaixo de 30, recebendo classificação de Pobre a Muito Pobre.

Tabela 1 – ICRNP para algumas estradas de terra no município de Alegrete

Estrada	Valor	Conceito
RS 566 – Município de Alegrete*	30	Pobre
Angico**	15	Muito pobre
Caverá**	11	Muito pobre
Rincão São Miguel**	18	Muito pobre
Silvestre**	16	Muito pobre

Fonte: Rosso* (2015, p. 98)

Fonte: Migliorin** (2019, p. 39)

Com base nas informações compiladas e apresentadas neste item, pode-se dizer que o estado funcional de algumas das estradas rurais, no município de Alegrete, apresenta um histórico de condições precárias,

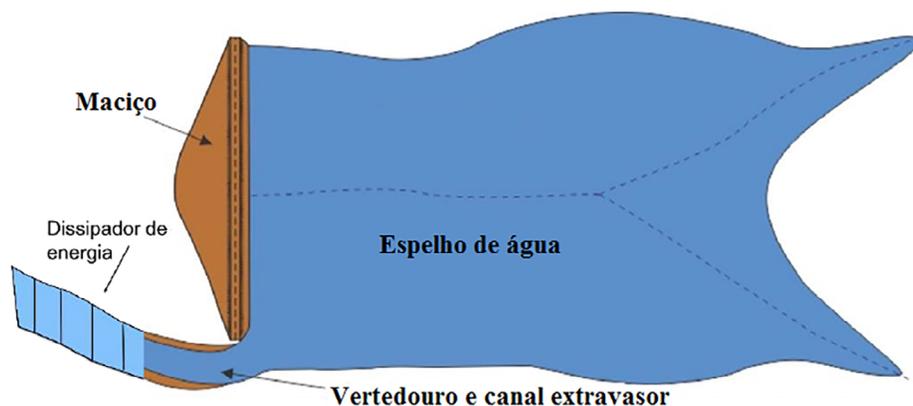
em consequência do desenvolvimento de patologias, comprometendo a eficiência do conforto à trafegabilidade dos veículos e a segurança dos motoristas.

2.2 Barragens e açudes

Visando a segurança de barramentos, neste item são realizadas abordagens das patologias que afetam as barragens e açudes de terra, edificados em áreas rurais do município de Alegrete.

Segundo a resolução do CONSEMA 323/2016, define-se barragem como uma estrutura artificial de terra ou de outros materiais, construídos em cursos de água permanente ou intermitente, para fins de contenção ou acumulação. Já a mesma resolução define açude como qualquer estrutura artificial de terra, para acumulação de águas pluviais. A Figura 4 mostra uma vista esquemática dos elementos que constituem e formam uma barragem de terra.

Figura 4 – Representação esquemática de elementos de barragem de terra



Fonte: Atlas Digital das Águas de Minas (2023, não paginado)

Salinas e Tapahuasco (2018), de forma aleatória compilaram os dados do histórico construtivo de oito barragens e açudes, utilizados para fins de irrigação no município de Alegrete. Os autores verificaram que na totalidade dos barramentos, durante a construção, não houve acompanhamento geotécnico apropriado, destacando a deficiência no processo de

compactação dos maciços e comprometendo, assim, à segurança e a estabilidade dessas estruturas. Os resultados obtidos por Salinas e Tapahuasco (2018) mostram a realidade de algumas das barragens e dos açudes construídos em propriedades agrícolas.

Lopes (2022), utilizando a ficha de inspeção de barragens de terra proposta pelo Ministério da Integração Nacional, fez o reconhecimento das principais patologias que podem afetar as barragens e os açudes nas propriedades rurais. A autora destaca como principais patologias encontradas, as erosões nos taludes de montante e jusante dos barramentos, presença de árvores e arbustos nos taludes, falta de sistema de drenagem apropriada na crista, além da presença de tocas de animais nos taludes e na crista. Finalmente a autora conclui que a falta de manutenções frequentes é um dos fatores responsáveis pelo desenvolvimento das patologias. A Figura 5 mostra algumas patologias comumente ocorrentes em barragens e açudes construídos em propriedades agrícolas.

Figura 5 – Patologias registradas em barramentos de propriedades agrícolas; vegetação em talude de montante (a); Erosão e rip-rap incompleto (b); Fuga de água e erosão no talude de jusante (c)



Fonte: Adaptado de Lopes (2022)

Um Grupo de Trabalho (GT), instituído pela Portaria SEMA nº 168/2019 (2023), desenvolveu atividades de vistorias de segurança de barragens e açudes, abrangendo as áreas rurais de vários municípios do Estado de Rio Grande do Sul. Dentro dos municípios destaca-se Alegrete. O GT, desde 2019, até 2022, fez vistorias *in-situ*, num total de 137

reservatórios (conforme consta no relatório das vistorias de nível II, p. 9), onde constatou que mais de 50% apresentaram anomalias nos barramentos. Com base no panorama geral apresentado no Relatório das Vistoria de Nível II, o GT identificou a necessidade de uma maior atenção quanto à segurança de barragens por parte dos empreendedores, principalmente com o intuito de reduzir os riscos associados às patologias existentes nos barramentos, tais como, presença de árvores e arbustos, erosões nos taludes e nos encontros de ombreiras, falha na proteção de *rip-rap* do talude de montante, além de patologias na crista e vertedouro. A Figura 6 mostra algumas patologias nos reservatórios (barragens e açudes) encontradas pelo GT – segurança de barragens (SEMA, 2023).

Figura 6 –Patologias registradas em barragens - Relatório das Vistorias de Nível II



Fonte: Adaptado da SEMA (2023)

Conforme descrito nos Itens 2.1 e 2.2, a presença de patologias em edificações de terra, tais como estradas, barragens e açudes, é muito frequente nas áreas rurais vinculada à atividade agropecuária, principalmente focando o estudo no município de Alegrete/RS. Essa problemática pode ser devido à falta de soluções técnicas apropriadas durante a construção e, também, durante a manutenção dessas edificações de terra. Em razão disso, podem ser propostas algumas técnicas sustentáveis que possam evitar e diminuir o surgimento significativo de patologias.

3. Soluções Sustentáveis em Edificações de Terra

3.1. Aplicações em estradas de terra

Com o intuito de avaliar algumas estradas de terra do município de Alegrete, sob aspectos do dimensionamento das espessuras das camadas de revestimento primário, Rosso (2015) e Migliorin (2019) aplicaram três métodos de dimensionamento (Webster & Alford, 1978¹; Giroud & Noray, 1981²; Skorseth & Selim, 2000³). Os resultados obtidos pelos autores estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Espessuras de Camadas de revestimento primário dimensionadas para estradas rurais do município de Alegrete/RS

Estrada Rural De Terra	Espessura média da Camada cm	Webster & Alford (1978) cm	Giroud & Noray (1981) cm	Skorseth & Selim (2000) cm
Angico*	16	23	23	25
Caverá*	10	54	55	33
Rincão São Miguel*	7	25	26	26
Silvestre*	18	16	16	22
ERS 566**	9	27	27	29

Fonte: Adaptado de Rosso** (2015)

Fonte: Adaptado de Migliorin* (2019)

Dessa forma, levando em consideração as características peculiares do solo, da densidade de compactação, do fluxo do tráfego de cada estrada e, focando as condições de sustentabilidade (aumento da funcionalidade, segurança e resistência), os autores verificaram que quase todas as estradas apresentaram espessuras de camadas de revestimento primário abaixo das espessuras técnicas sugeridas. A partir disso, com base nos resultados mos-

¹ GIROUD, J. P.; NOIRAY, L. Geotextille-Reinforced Unpaved Road Design. J. Of Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 107, GT9, p. 1233 – 1254, 1981.

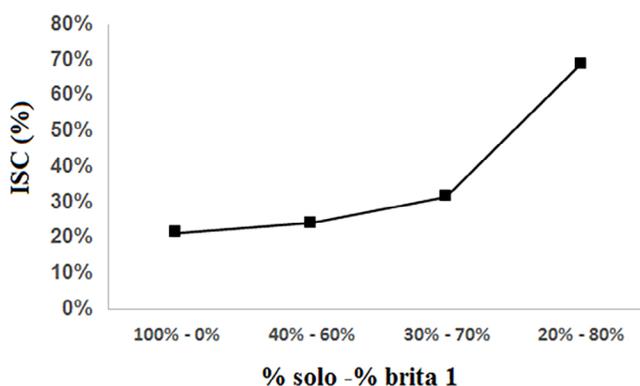
² SKORSETH, K.; SELIM, A. A. Gravel Roads: Maintenance and Design Manual. United States Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, 2000. 104 p.

³ WEBSTER, S. L.; ALFORD, S. J. Investigation of Construction Concepts for Pavements Across Soft Ground. Tech. Report S-77-1, USA Army Eng. Waterways Exp. Stn., Vicksburg, Mississippi. 1978.

trados na Tabela 2 (métodos de dimensionamento de Webster & Alford, 1978; Giroud & Noray, 1981; Skorseth & Selim, 2000), sugere-se para as estradas rurais do município de Alegrete, o uso de camadas de revestimento primário com espessuras acima de 25 cm. Também, destaca-se a importância e a necessidade do acompanhamento técnico apropriado no dimensionamento e construção das estradas de terra, propiciando assim, o aumento da sua funcionalidade e reduzindo as patologias.

Uma alternativa sustentável de aumentar a resistência e a funcionalidade das camadas de revestimento primário em estradas rurais envolve o uso de misturas de solos de diversas granulometrias. Sob essa perspectiva, Rohde (2023), utilizando um solo argiloso de baixa plasticidade e uma brita de tamanho comercial 1, estudou a correlação entre o Índice de Suporte de Califórnia – ISC (Resistência expressa em %) e a variação das proporções (% peso seco) entre os dois agregados. Conforme evidenciado na Figura 7, o autor encontrou valores mínimos de ISC em corpos de prova compactados (sob metodologia Proctor Normal) com o uso específico de agregado argiloso (100% - 0%). No entanto, à medida que a proporção da brita aumenta na mistura (% solo -% brita) há um incremento dos valores do ISC.

Figura 7 – Valores de Índice de Suporte sob variação de proporção solo fino e brita 1



Fonte: Adaptado de Rohde (2023)

O trabalho de Rohde (2023) mostra que, quanto maior o teor de brita, maiores são os valores de ISC (Figura 7). No entanto, é importante

ressaltar, que o revestimento primário é uma camada que tem como objetivo suportar as cargas dinâmicas verticais e cisalhantes do tráfego sendo necessário, para isso, que o solo utilizado esteja constituído de material granular e material fino. O material granular poderá suportar as cargas verticais dinâmicas. Já o solo fino possibilitará a liga e a melhor agregação entre as partículas granulares, evitando na camada de revestimento primário, a desagregação do solo e formações de trilhas de rodas. Portanto com base nessas observações descritas, é possível recomendar o uso da proporção solo fino – brita 1 na ordem de 20%-80%.

3.2. Aplicações em barragens e açudes

Visando diminuir as patologias e propiciando a boa funcionalidade dos barramentos, o uso de geossintéticos surge como alternativa sustentável. Segundo IGS-Brasil (2023) são produtos industrializados com pelo menos um de seus componentes fabricado com polímero sintético ou natural. Apresentam-se na forma de manta, tira, ou estrutura tridimensional, e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais, em aplicações da engenharia geotécnica e ambiental. As geomembranas são um exemplo de geossintéticos, caracterizadas por serem mantas contínuas e flexíveis, de espessuras variadas. São aplicadas para dar separação e evitar infiltração de fluidos (água, gases, entre outros) devido a sua baixíssima permeabilidade. A Figura 8 mostra a imagem de um rolo de geomembrana.

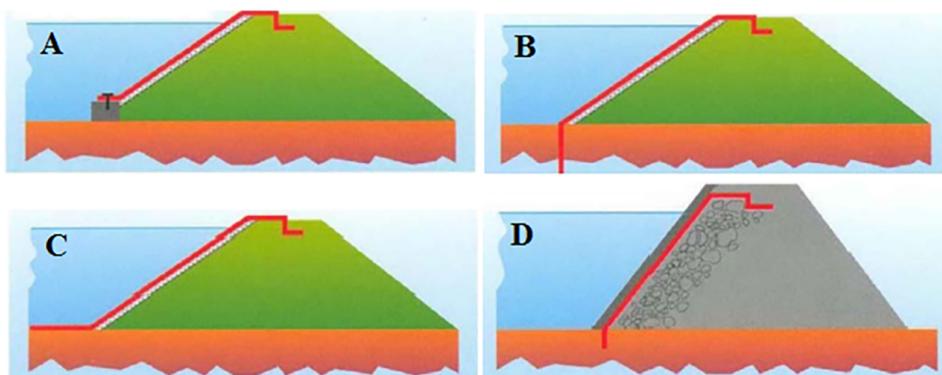
Figura 8 – Geomembrana PEAD



Fonte: DIPROTECGEO (2023, não paginado)

A Figura 9 mostra algumas possibilidades de proteção de taludes de montante em barramentos sob aplicação de geomembrana. Dessa forma, a geomembrana cumpre a função de reduzir drasticamente a infiltração da água e reduz problemas de erosão em taludes de montante, aumentando a segurança das barragens e açudes. Na Figura 9, o esquema “A” exemplifica o uso da geomembrana em aplicação exposta na face de montante, ancorada tanto na crista como na base do barramento; já o esquema “B” mostra a geomembrana exposta na face de montante e penetrando na fundação permeável (condição de *cut-off*); outra alternativa do uso da Geomembrana (Esquema C) é na proteção da face de montante, com extensão na superfície da fundação permeável do reservatório; finalmente, o esquema “D” exemplifica o uso da geomembrana na face de montante, coberta por uma fina camada de proteção. Como camadas de proteção, podem ser utilizadas geocompostos, envolvendo o uso de solo e geotêxtil (geossintético na forma de tecido), ou uso de argamassas contidas em geocélulas (geossintéticos tridimensional).

Figura 9 – Diferentes opções de aplicação de geomembrana em taludes de barragens



Fonte: Adaptado de Colmanetti (2006, p. 55)

Para as condições climáticas da região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, especificamente no município de Alegrete, onde os taludes de montante dos barramentos estão sujeitos aos impactos das on-

das de água, impactos dos ventos, variações climáticas na região (quatro estações bem marcantes), risco de danificação por atividade dos animais (passagem de gado ou ação de animais silvestres), sugere-se a aplicação de camadas finas de proteção sobre as geomembranas.

Conforme destacado no Item 2.2 deste Capítulo, embora na área rural do município de Alegre, comumente é utilizado o enrocamento como camada de proteção em taludes de montante das barragens e açudes (*rip-rap*), essa técnica não garante a segurança contra o desenvolvimento da perda de solo por erosão e, surgimento de outras patologias. Lopes (2022) realizou um levantamento comparativo de análise de custos na construção de *rip-rap* em talude de montante utilizando geomembrana ou enrocamento. A autora verificou que o custo do metro quadrado da geomembrana é menor em comparação ao custo do metro cúbico do enrocamento, podendo atingir uma diferença de 22% do valor global. Além disso, a autora destaca que muitas empresas já incluem no custo o deslocamento e a aplicação da geomembrana no empreendimento. Já para a situação do enrocamento, o custo global total poderia aumentar em função da distância entre a jazida e o local da obra, além da mão de obra para a sua disposição no talude de montante.

4. Conclusão

Este trabalho possibilitou mostrar, para as áreas rurais do município de Alegrete, as patologias que afetam algumas edificações de terra. Com base no Índice de Condição da Rodovia Não Pavimentada (ICRNP), algumas estradas rurais do município, receberam classificação de “Pobre” a “Muito Pobre” para as condições de trafegabilidade. Além disso, destaca-se a precariedade técnica das edificações de barragens e açudes para fins agropecuários, onde mais de 50% apresentam patologias que comprometem a segurança.

Para as camadas de revestimento primário, das estradas rurais do município de Alegrete, sugere-se o uso de solos estabilizados granulometricamente, envolvendo a sua compactação, no mínimo, sob energia Proctor Normal e com espessuras acima de 25 *cm*. Também, destaca-se a impor-

tância e a necessidade do acompanhamento técnico apropriado, seja no dimensionamento e/ou na construção das estradas de terra, propiciando assim, no aumento da sua funcionalidade e reduzindo as patologias.

O uso de geomembranas (geossintético) apresenta-se como uma alternativa sustentável de proteção nos taludes de montante de barragens e açudes, evitando a infiltração da água no barramento e, reduzido a erosão superficial dos solos. Além disso, pelos resultados obtidos por Lopes (2022), o custo de compra e aplicação de geomembranas em *rip-rap* resulta ser mais econômica se comparado ao do método tradicional do enrocamento.

Referências

ATLAS DIGITAL DAS ÁGUAS DE MINAS – **Exemplos práticos: roteiro básico para o dimensionamento de pequenas barragens de terra no estado de MG.** 3 Edição. Disponível em: http://www.atlasdasaguas.ufv.br/exemplos_aplicativos/roteiro_dimensionamento_barragens.html. Acesso em: 26 de Maio de 2023.

BAESSO, D. P. GONÇALVES, F.L.R. **Estradas rurais: técnicas adequadas de manutenção.** Florianópolis. DER, 2003.

PORTAL ALEGRETE TUDO. **ÔNIBUS escolar derrapa no atoleiro e sai da estrada no angico.** 2019. Disponível em: <https://www.alegretetudo.com.br/onibus-escolar-derrapa-no-atoleiro-e-sai-da-estrada-no-angico/>. Acesso em 27 de maio de 2023.

PORTAL ALEGRETE TUDO. **Caminhão atola em rua no Sepé Tiarajú e caminhoneta derrapa em estrada do interior.** 16 Jan. 2020. Disponível em: <https://www.alegretetudo.com.br/caminhao-atola-em-rua-no-sepe-tiaraju-e-caminhoneta-derrapa-em-estrada-do-interior/>. Acesso em: 28 de maio 2023.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Índice Exportação do Agronegócio:** de Janeiro a Dezembro de 2022. ESALAQ/USP. Disponível em <[https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Export_jan-dez_2022_02\(1\).pdf](https://cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_Export_jan-dez_2022_02(1).pdf)>. Acesso em: 26 de Maio de 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim de Monitoramento Agrícola, Brasília, DF, v. 12, n. 06, Jun. 2023. Disponível em <https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/47939_102ff62e7a4569f1430fb581ba8f041f> Acesso em 25/04/2023.

DIPROTEC GEO. Geomembrna PEAD. Disponível em: <<https://diprotecgeo.com.br/geomembrana/>>. Acesso 20 Jun. 2023.

IGS-Brasil – Internacional Geosynthetic Society (2023). **Material técnico, Biblioteca Virtual**. Disponível em < <https://igsbrasil.org.br/material-tecnico/>>. Acesso em 25/06/2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). **Cidades e Estados, Alegrete**, código: 4300406. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/alegrete.html>>. Acesso em: 26 de Maio de 2023.

JULIÃO, L. **Competitividade da viticultura regional e brasileira: uma análise setorial e comparativa com produtores mundiais**. 2015. 151 p. Dissertação (Mestrado em administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-17112015-142147/publico/LeticiaJuliaoOriginal.pdf>

LOPES, A. M. **Estudo de Patologias e uso de geomembranas em rip-rap em barragens e açudes de pequeno porte**. 2022. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso, (Bacharel em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Pampa. Curso de Engenharia Agrícola, Alegrete 2022. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/rii/7508>.

MIGLIORIM, V. P. **Estudo das condições geotécnicas de estradas rurais do município de Alegrete/RS**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Agrícola, Alegrete, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/handle/rii/4818>.

SALINAS, J. B.; TAPAHUASCO, W. F. C. Estudos dos Processos Construtivos e Segurança de pequenos aludes e barragens. *In*. XIX Con-

gresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica – COBRAMSEG'2018. Salvador (BH). **Anais.....** São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. 2018.

SANTOS, A. R; PASTORES, E. L; JUNIOR, F. A; MARCIO, A. C. **Estradas vicinais de terra: manual técnico para conservação e recuperação** -- 3. ed. rev. -- São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2019.

SECRETARIA do Meio Ambiente e Infraestrutura – SEMA. **Relatório de Vistorias – Barragens Nível I e Nível II.** [2022?] Segurança de Barragens. Governo de Rio Grande do Sul. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/seguranca-barragens>. Acesso em: 01 Maio de 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Conselho Estadual Do Meio Ambiente – CONSEMA. Resolução nº 323/2016 (Alterada pelas Resoluções 336/2017, 340/2017 e 372/2018). 08 set. 2016. **Secretária Adjunta do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável.** Porto Alegre, RS, Set. 2016.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão (SPGG). **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul.** 6 Ed. – Porto Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. Departamento de Planejamento Governamental, 2021. 203 p.: il. ISBN: 978-65-87878-01-0. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/inicial>. Acesso em: 15 de Maio de 2023.

ROHDE, L. L. **Análise de ensaios de suporte Califórnia: determinação de traço ótimo de solo-brita com materiais de Alegrete-RS.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil, Alegrete, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/8006>.

ROSSO. L. T. **Estudo de aplicabilidade dos métodos de dimensionamento e avaliação condicional de serventia para rodovias não pavimentadas da região da fronteira oeste do estado do Rio Grande**

do Sul. 129 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Universidade Federal do Pampa. Curso Engenharia Civil. Alegrete, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/1729>.

Capítulo 3 - Aplicação do Modelo Hand na Simulação de Inundações da Zona Urbana de Alegrete/ RS

Bruna Della Flora*

Adriana Gindri Salbego**

Resumo

Ao longo dos anos tem sido notórias as ocorrências de inundações no município de Alegrete/RS, localizado às margens do rio Ibirapuitá. A área urbana é frequentemente afetada por cheias do curso principal e de seus tributários, gerando grandes inundações. Uma das mais importantes medidas preventivas dos desastres hidrológicos é a identificação e mapeamento de áreas suscetíveis. Nesse contexto, o objetivo deste capítulo consistiu em avaliar a aplicabilidade do modelo Height Above the Nearest Drainage (HAND) para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundação no município de Alegrete. O modelo foi utilizado por meio da metodologia brasileira desenvolvida no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir do software *TerraView*, com uma extensão (*plug-in*) contendo a ferramenta “*hydrological tools*”, que normaliza o Modelo Digital do Terreno (MDT) a nível da drenagem mais próxima, possibilitando, assim, gerar simulações apenas variando a cota fluviométrica, produzindo mapas de inundações. Dessa forma, foi realizada a espacialização do risco de inundação para a área urbana a partir da modelagem digital do terreno, utilizando o software QGIS. As cotas de inundação adotadas foram classificadas em: sem risco, com risco e risco de alerta. Para avaliar a metodologia utilizada, comparou-se imagens de satélites históricas e imagens

* Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: brudellaflora@gmail.com

** Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Professora do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: adrianasalbego@unipampa.edu.br

áreas com as simulações desenvolvidas no software. Outra forma avaliada envolveu a comparação dos bairros afetados com base em levantamentos históricos realizados em outros projetos. Os resultados obtidos permitem validar o modelo *HAND* como uma ferramenta útil para mapeamento de áreas suscetíveis à inundação, principalmente em locais onde há ausência de monitoramento hidrológico.

Palavras-chave: Inundação. Modelo hidrológico. Geoprocessamento.

1. Introdução

A inundação urbana é um evento tão antigo quanto as cidades ou aglomerações urbanas. Isso é relatado desde a Antiguidade, onde o rio Nilo, no Egito, inundava as planícies de várzea, o que permitia o cultivo de alimentos em meio a um deserto. Esses desastres estão intimamente ligados à história do Homem e ao seu modo de apropriação e uso dos recursos naturais.

O desenvolvimento histórico da utilização de áreas livres explica os condicionamentos urbanos hoje existentes. Nota-se que a população com maior poder aquisitivo busca habitar locais mais seguros, enquanto que a população carente tende a ocupar áreas de risco de enchentes, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia (TUCCI; BERTONI, 2003). A ocupação das áreas impróprias pode ser evitada por meio do planejamento do uso dos solos das várzeas, o qual deve ser regulamentado no Plano Diretor Urbano das cidades.

No município de Alegrete, localizado na região sudoeste do Rio Grande do Sul, a ocorrência de inundações na zona urbana é histórica, sendo um dos municípios gaúchos mais afetados por esta tipologia de desastre natural (SILVA, 2011). Este fato, está intimamente ligado às primeiras instalações das colônias portuguesa e espanhola na América do Sul, que ocorreram às margens dos rios, o que não foi diferente às margens do rio Ibirapuitã, manancial que banha a zona urbana de Alegrete. Esta situação ainda permanece, com número elevado de moradores próximos às várzeas inundáveis do rio. Ressalta-se a condição em que o Brasil, há anos, vem

assumindo a liderança dos desastres naturais de maior destaque catastrófico.

Dentro deste contexto, a realização de um mapeamento das áreas suscetíveis a inundação na zona urbana de Alegrete/RS, consiste em um instrumento de extrema importância para o município, pois permite o controle e gestão das inundações, bem como a definição das áreas de risco.

Desta forma, o presente estudo objetivou aplicar o modelo *HAND* para mapeamento de áreas suscetíveis à inundação na zona urbana do município de Alegrete/RS, baseado em informações remotas de altimetria, utilizando técnicas de geoprocessamento. Buscou-se, também, identificar áreas inundadas em eventos históricos, com base em imagens de satélite da área de estudo. Posteriormente, foi efetuada uma análise comparativa entre as áreas suscetíveis a inundação, determinada pelo modelo *HAND* com imagens de satélites de eventos históricos. Definiu-se, ainda, as áreas suscetíveis a inundação para as cotas sem risco, com risco e de alerta.

2. Revisão da literatura

2.1 Inundações

De acordo com o Atlas Brasileiro de Desastres Naturais, entre 1991 e 2012 foram registradas 39 mil ocorrências, das quais 33% corresponderam a inundações bruscas (enxurradas) e graduais (enchentes), e 3% aos movimentos de massa e erosões (CEPED/UFSC, 2013).

As inundações em áreas urbanas são reflexos da combinação de eventos hidrológicos em áreas ocupadas sem critério, com deficiências do planejamento da ocupação do espaço urbano. Estes eventos podem ocorrer devido ao comportamento natural dos rios ou ampliados pelo efeito de alteração produzida pelo homem na urbanização pela impermeabilização das superfícies e a canalização dos rios (TUCCI; BERTONI, 2003).

Para Tucci (2007), a utilização de mapas de inundação é essencial para definir as regras de construção e ocupação das áreas de alto risco. Os mapas são ferramentas bastante úteis, uma vez que permitem espacializar as áreas de risco de modo a tornar perceptível o espaço urbano e o sistema de drenagem como um todo. Sua elaboração de forma técnica, porém, de

fácil entendimento por parte da população, funciona como suporte na política de prevenção e controle de inundações possibilitando a integração a programas de educação ambiental. Para elaboração destes mapas são necessárias algumas informações como cheias históricas; mapas de solo; fotografias aéreas; imagens de satélites; modelagem de dados sobre o comportamento hidráulico do rio; utilização de modelos digitais de terreno e níveis de água.

2.2 Geotecnologias

As imagens capturadas pelos satélites proporcionam uma visão sinóptica e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre, obtidas de forma remota a partir de sensores imageadores acoplados a satélites artificiais. Quando os sensores remotos captam a imagem, segundo a Agência Espacial Brasileira (2020), isso ocorre através da Radiação Eletromagnética (REM) natural ou emitida da superfície terrestre, ou utilizam a REM artificial, produzida por radares instalados em satélites.

2.2.1 Satélite ALOS

O satélite ALOS, foi lançado em 24 de janeiro de 2006 pela *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA), no centro espacial de Tanegashima (Japão). Entrou na fase operacional ao público em 24 de outubro de 2006 e foi desativado em 2011. Foram incorporadas características necessárias aos satélites mais modernos, de alta resolução. Através desse programa, foram fornecidas informações da cobertura terrestre com alta resolução espacial (MORAIS *et al.*, 2009).

A plataforma carrega três sensores: *Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM), com 2,5 m de resolução espacial, e que compreende três sistemas ópticos, para medição precisa das elevações; *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2* (AVNIR-2), com resolução de 10 m, para observação da cobertura e uso do solo; *Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar* (PALSAR), com resolução de 10-100 m, para observação da Terra em qualquer condição atmosférica, de dia ou de noite. Estes sensores devem adquirir imagens com posicionamento

compatível com escala 1:25.000, sem uso de pontos de controle no terreno, devido ao avançado sistema de controle de órbita e atitude do ALOS, baseado em um receptor GPS de dupla frequência e rastreador de estrelas, entre outros dispositivos. É possível estimar que a posição do satélite possa ser determinada com a precisão de 1 metro (MORAIS *et al.*, 2009).

2.2.2 Modelo Digital do Terreno – MDT

O MDT, segundo Florenzano (2011), é uma representação matemática e computacional, da distribuição de um fenômeno espacial em uma dada região da superfície terrestre. O modelo é representado por pontos distribuídos espacialmente no solo, descrevendo a topografia em um sistema arbitrário de referência. O MDT é representado por uma matriz regular de pontos com células justapostas.

Os dados do MDT são fundamentais em aplicações de geoprocessamento desenvolvidas no ambiente de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). MDT's, quando inseridos em modelos hidrológicos, permitem estimar a previsão do fluxo e da direção de escoamento da água e podem ser empregados como parâmetros para as políticas públicas para estabelecer planos de utilização para áreas com alta susceptibilidade a inundações (MENGUE *et al.*, 2016).

2.3 Modelos Hidrológicos

Para Tucci (1998), a definição de modelo hidrológico consiste em uma forma numérica utilizada para representar processos hidrológicos que ocorrem na bacia hidrológica e, através destes, conseguir prever futuras consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados.

Simplificadamente, o intuito de utilizar os modelos baseia-se na prevenção de eventos futuros que possam ser danosas à sociedade, relacionados com o regime hídrico e de grande valia para a tomada de decisões nas políticas públicas sociais. Os modelos são amplamente utilizados para prever cenários futuros por meio de simulações. De forma geral, nas úl-

timas décadas os modelos hidrológicos se desenvolveram em dois sentidos: modelos que buscam representar com maior precisão, e de forma distribuída, os processos hidrológicos; e modelos que tratam de forma empírica a distribuição dos parâmetros em áreas de grande magnitude. Essa visão está relacionada com a escala dos processos no sistema físico (ALMEIDA; SERRA, 2017).

2.4 Modelo *HAND*

O *HAND* é um modelo hidrológico que consiste em normalizar a topografia de acordo com as alturas relativas e locais encontrados ao longo da rede de drenagem e, desta forma, apresentar a topologia dos potenciais de drenagem locais. O modelo *HAND* é um algoritmo criado sob a liderança do pesquisador Carlos Donato Nobre, por um grupo de pesquisadores do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e do INPE. O primeiro estudo, que validou o algoritmo foi na Bacia do Igarapé, em uma área experimental de 18.000 km², na parte inferior de captação do rio Negro, em Manaus/AM. No local, foram realizados trabalhos, encontrando forte correlação entre água no solo e topografia. Os resultados obtidos desta validação demonstraram sua capacidade para mapear ambientes expansivos utilizando apenas dados topográficos adquiridos remotamente como entrada (NOBRE *et. al.* 2011).

A definição do modelo reside no desnível ou na distância vertical de cada ponto em relação à drenagem mais próxima, onde é extraída a partir do algoritmo *HAND*. (RENNÓ *et al.*, 2008). A proposta do algoritmo visa ser um método barato e simplificado. Esse intuito, permite a identificação das áreas de desastres como áreas de risco de enchentes, onde dispensa deslocamento a campo para extração de informações e mapeamento das mesmas. Seus desenvolvedores definem como uma maquete digital de terreno, onde os dados inseridos podem ser alta ou baixa resolução e destes produtos são gerados MDT's das áreas de estudo. O algoritmo utiliza informações topográficas dos MDT's para extrair as informações hidrológicas das áreas. O sistema do software calcula propriedades de alagamento e de outros desastres naturais. O software compreende que desníveis relativos de até 5 m são áreas de maior probabilidade de inundação.

Áreas com desníveis relativos entre 5 e 15 m são compreendidos como de risco médio (SANTOS, 2015a).

Silva *et al.* (2013) apresentaram os resultados da aplicação do modelo *HAND* para mapeamento de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias na bacia do rio Paraíba do Sul. O objetivo do trabalho foi de comparar a mancha de áreas inundável obtida com o *HAND*, com os resultados obtidos de um modelo hidráulico-hidroológico. O modelo *HAND* mostrou ser um método promissor na indicação de áreas suscetíveis às cheias, porém, não foi possível fazer uma relação direta entre as classes *HAND* e as curvas dos diversos tempos de recorrência obtidas pelo modelo hidráulico-hidroológico. Mesmo assim, a maior porcentagem da classe indicadora de inundação foi incluída nos limites das curvas.

Mengue *et al.* (2016) desenvolveram estudos na utilização do modelo *HAND* para mapeamento de áreas mais suscetíveis à inundação em uma área do Rio Uruguai e afluentes, próximo à cidade de Itaqui, Estado do Rio Grande do Sul, utilizando como base um evento de inundação ocorrido em 26/10/1997. Observou-se que as áreas norte e oeste da cidade de Itaqui são as mais suscetíveis à inundação, concordando com os resultados de Saueressig (2012). Também foi possível notar que se recomenda a utilização de Modelos Digitais do Terreno, ao invés de Modelos Digitais de Superfície, visto que dados topográficos, como o SRTM, coletam informação de toda a superfície do terreno, como edificações e cobertura vegetal, comprometendo os dados do modelo *HAND* para simulações, principalmente em áreas urbanas e ao longo de cursos d'água com vegetação arbórea.

Momo *et al.* (2016) apresentaram os resultados do estudo no desempenho do modelo *HAND* no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. O estudo concluiu que o rendimento do modelo *HAND* pode ser considerado adequado no traçado das áreas suscetíveis à inundação, para modelos digitais de terreno de alta resolução espacial. Assim, considera-se que constitui uma ferramenta que pode ser empregada no traçado das áreas suscetíveis a inundação no estado de Santa Catarina, onde os municípios têm levantamentos planialtimétricos obtidos com imagens aerofotogramétricas de alta resolução (1m).

O algoritmo *HAND* foi utilizado também para o estudo de caso do município de Porto Alegre–RS. Milanese, Quadros e Lahm (2017) apresentaram resultados quando a delimitação do terreno sujeito a inundação, através do modelo, onde também foi possível identificar o perfil social da população em situação de vulnerabilidade, neste caso, com base numa base cartográfica em escala cadastral de 1:1.000 e resolução espacial de 1 metro.

2.5 Estudos de Caso

Alguns trabalhos acadêmicos desenvolvidos pela Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete, no que tange as inundações e a sua problemática, os quais serviram como instrumento de estudo para comprovar a veracidade da simulação pelo *software HAND* no presente estudo.

Exemplificando esses estudos, encontra-se na literatura o trabalho de Knierim e Tapahuasco (2015), que trata sobre a compilação de eventos históricos de enchentes, inundações e alagamentos no município de Alegrete. Por meio dos órgãos locais e de entrevistas, foi possível determinar os bairros que apresentam maior suscetibilidade a estes eventos. A partir do estudo de Knierim e Tapahuasco (2015), Santos (2015b) idealizou-se um mapa no qual estão sinalizadas as faixas que caracterizam os bairros mais afetados.

3. Metodologia da Pesquisa

O estudo foi desenvolvido na zona urbana do município de Alegrete, localizado na região sudoeste do Estado do Rio Grande do Sul, na latitude de 29° 47' 01,63" Sul e longitude 55° 47' 27,54" Oeste, com altitude média de 102 metros acima do nível do mar. A zona urbana apresenta, frequentemente, problemas de inundações ocasionadas pelo rio Ibirapuitã, manancial que banha a cidade. O rio Ibirapuitã é considerado o maior tributário da margem esquerda do rio Ibicuí, principal curso d'água da bacia hidrográfica.

3.1 Dados hidrológicos

A estação automática hidrológica de referência (código 76750000) utilizada no estudo, possui registros históricos desde 1940, com significativos intervalos apresentando ausência de dados. Possui uma área de drenagem de 5.965 km² e se localiza à jusante da zona urbana de Alegrete. Os dados de nível da água e vazão do curso d'água são atualizados diariamente às 7 e 17 horas, estando disponibilizados na Plataforma HidroWeb ou no site da ANA (Agência Nacional das Águas).

3.2 Levantamento de dados históricos de inundações e estudos

A zona urbana de Alegrete encontra-se circundada pelo rio Ibirapuitã, apresentando constantes inundações com potencial destrutivo, provocadas pela elevação do nível do canal do rio Ibirapuitã. Dentro do contexto comportamental e natural que o rio apresenta, é histórica a ocorrência de inundações. A ocupação das várzeas inundáveis, crescimento acelerado e falta de planejamento da área urbanizada tornou a cidade de Alegrete um dos municípios gaúchos mais afetados por esta tipologia de desastre natural.

Estudos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2018), demonstram que o caso de enchentes é histórico no município. A cheia do ano de 2019 é a segunda mais intensa já registrada desde que teve início o monitoramento no local, na década de 1940.

Outra fonte de informações de inundações, em Alegrete, refere-se aos registros históricos da 6^a Regional da Defesa Civil (2018), a qual indica a cota de 8,54m para o transbordamento da calha principal do rio Ibirapuitã, atingindo as moradias mais próximas ao rio, situadas em cotas mais baixas.

3.3 Aplicação do modelo *HAND*

Para realizar a delimitação do terreno sujeito à inundação, através da modelagem hidrológica, fez-se necessário o modelo digital do terreno (MDT), que são utilizados como arquivos de entrada (*input*) em *sof-*

twares hidrológicos. Neste trabalho, foi utilizado o MDT proveniente do satélite ALOS, sensor PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros, datadas de 16/01/2011, disponibilizadas no endereço eletrônico <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. Com relação ao sistema de referência, a referida imagem está sob o sistema de coordenadas UTM, Datum Horizontal SIRGAS2000, zona 21S.

A altimetria caracterizada pela imagem do satélite ALOS é representada através do MDT, compondo o dado principal de entrada (*input*) do modelo *HAND*, o qual foi utilizado para a simulação das áreas de inundação da zona urbana do município de Alegrete/RS. O algoritmo do modelo *HAND* baseia-se no princípio que a água percorre o trajeto mais curto em relação aos terrenos mais baixos. Desta forma, as diferenças de nível entre o relevo e o talvegue das redes de drenagens superficiais (NOBRE *et al.*, 2011).

Para realizar o processo de modelagem *HAND*, o INPE desenvolveu uma extensão (*plug-in*) dentro de outros softwares, como no *TerraHidro*, contendo a ferramenta “*Hydrological Tools*”. Este *plug-in* foi integrado no software livre *Terra View* desenvolvido pelo próprio INPE. O *plug-in* *TerraHidro*, atualmente na versão 4.5, permite que sejam gerados dados hidrológicos como rede de drenagem, bacias hidrográficas e o próprio *HAND*, todos a partir de um MDT (MILANESI; QUADROS; LAHN, 2017).

O resultado da simulação do *HAND* é estreitamente relacionado com a qualidade (resolução) do dado topográfico. Seguindo os procedimentos executados pelo algoritmo *HAND* (RENNÓ *et al.*, 2008), a partir do dado de entrada são executadas três etapas no Software TerraView:

- a) correção do MDT topográfico e direção do fluxo de drenagem (DFD),
- b) Obtenção da rede de drenagem,
- c) aplicação do modelo *HAND*.

Segundo a classificação de Nobre *et al.* (2011), a imagem *HAND* foi zoneada em 03 (três) classes, que representam áreas potenciais de risco à inundação, sendo elas: sem risco, com risco e risco de alerta. As alturas

adotadas para fazer o zoneamento, são referentes a cota fluviométrica do rio analisado.

Para a situação considerada “sem risco”, foi considerada a cota 8,53m, que se refere a cota inferior à registrada pela Defesa Civil (8,54m), que identifica o início da inundação. Para a situação “com risco” de inundação, refere-se as cotas entre 8,54 – 14,02m, correspondendo a cota desde que inunda as primeiras residências até a cota da segunda maior inundação ocorrida no município, conforme relata nos dados do CPRM. Por último, a “cota de alerta” de inundação – 7,50m, é referente a 1,03 m abaixo da cota mencionada pela Defesa Civil, com o intuito de introduzir uma medida preventiva com base no mapa simulado como, por exemplo, um alerta às famílias que residem nas áreas críticas.

Com base em Milanesi, Quadros e Lahn (2017), e observados os procedimentos anteriores, o software *TerraView* foi utilizado para produzir as seguintes modelagens hidrológicas para a delimitação de terrenos que estão sujeitos a inundações: mapa de fluxo da drenagem (*.GEO TIFF), mapa de área de contribuição (*.GEO TIFF), mapa de rede de drenagem (*.GEO TIFF), mapa de trechos de drenagem (*.SHP), mapa de microbacias (*.GEO TIFF e *.SHP), e o HAND (*.GEO TIFF).

Os procedimentos metodológicos para a realização do estudo foram divididos em etapas, a seguir:

- ***Etapas 1: correção do MDT topográfico e direção do fluxo de drenagem (DFD)***

Foram realizadas correções de incoerências altimétricas no MDT adicionado. Esses passos de correção do MDT e DFD foram realizados no *TerraView* versão 0.4.5, a partir das ferramentas *Hydrological Tools*, busca-se a ferramenta *Flow Extraction*. A correção é gerada junto com Fluxo de drenagem na primeira etapa.

- ***Etapas 2: Obtenção da Rede de Drenagem***

Nesta etapa foi utilizado o Software *TerraView*, sendo calculada a área de contribuição com o auxílio da ferramenta *Contributing Area*. Posteriormente, foi extraída a rede de drenagem utilizando a ferramenta *Drai-*

nage Extration, a partir de um limiar de 1000 estabelecido pelas autoras, sendo que nesta etapa o DFD é utilizado na geração de um mapa de drenagem. O MDT original foi processado pelo *HAND*, resultando o mapa de drenagem, onde sua referência é a topografia da região trabalhada e não o nível médio dos mares.

- ***Etapa 3: Obtenção dos mapas de segmento de drenagem e microbacias***

Nesta etapa foram gerados mapas que ajudam a identificar por onde a água irá escoar e acumular na superfície. O “mapa de segmento de drenagem”, converte a rede de drenagem em segmentos que serão classificadas pela ordem de *Stharaler* e, posteriormente, é convertido em linhas vetoriais. O mapa é gerado pela ferramenta *Segments* do software *TerraView*. O mapa das microbacias foi gerado pela Ferramenta *Mini Basins* no *TerraView*.

- ***Etapa 4: Obtenção do Mapa HAND e classificação das áreas de inundação a partir do software QGIS***

Com a ferramenta *HAND* do software *TerraView* foi gerado o mapa *HAND* da área de estudo (*.TIFF). Com base neste arquivo foi exportado para o software QGIS, através da ferramenta “*r.recorde*”, sendo reclassificado as zonas como: sem risco, com risco e cota de alerta de inundação.

- ***Etapa 5: Análise comparativa entre as manchas de inundação***

Nesta etapa foi realizada uma análise comparativa entre as manchas de inundação determinadas através do modelo *HAND* e imagens de satélite (alta e média resolução espacial), datadas da ocorrência de eventos históricos.

4. Análise dos Resultados e Discussões

4.1 Geração dos mapas temáticos

Primeiramente foi gerado o MDT da área de estudo, proveniente do

satélite ALOS – sensor PALSAR, seguido pelo mapa de fluxo de drenagem, no qual, origina uma grade regular definindo as direções de fluxo, adotando por base a linha de maior declividade do terreno. Em seguida, gerou-se o mapa das áreas de contribuição, contendo os respectivos valores de acúmulo de água dentro de cada pixel. Na sequência foi gerado o mapa de rede de drenagem, que é representado pelas células cuja acumulação seja maior que um limiar definido.

Posteriormente, foi elaborado o mapa referente aos segmentos da rede de drenagem, ou seja, durante o processo de criação desse mapa todos os segmentos da rede de drenagem são categorizados pela sua ordem e, posteriormente, são convertidos em linhas vetoriais. Essa categorização ocorreu por meio da ordem de *Strahler* ou do número de *Horton–Strahler*. Em seguida, foi gerado o mapa das microbacias, a partir da rede de drenagem, segundo os segmentos e o fluxo. Por último, gerou-se o mapa do modelo *HAND*. Nessa imagem (.tif), o nível de referência deixa de ser fixo em relação ao nível do mar e passa a ser relativo à rede de drenagem mais próxima.

4.2 Simulação das imagens no modelo *HAND*

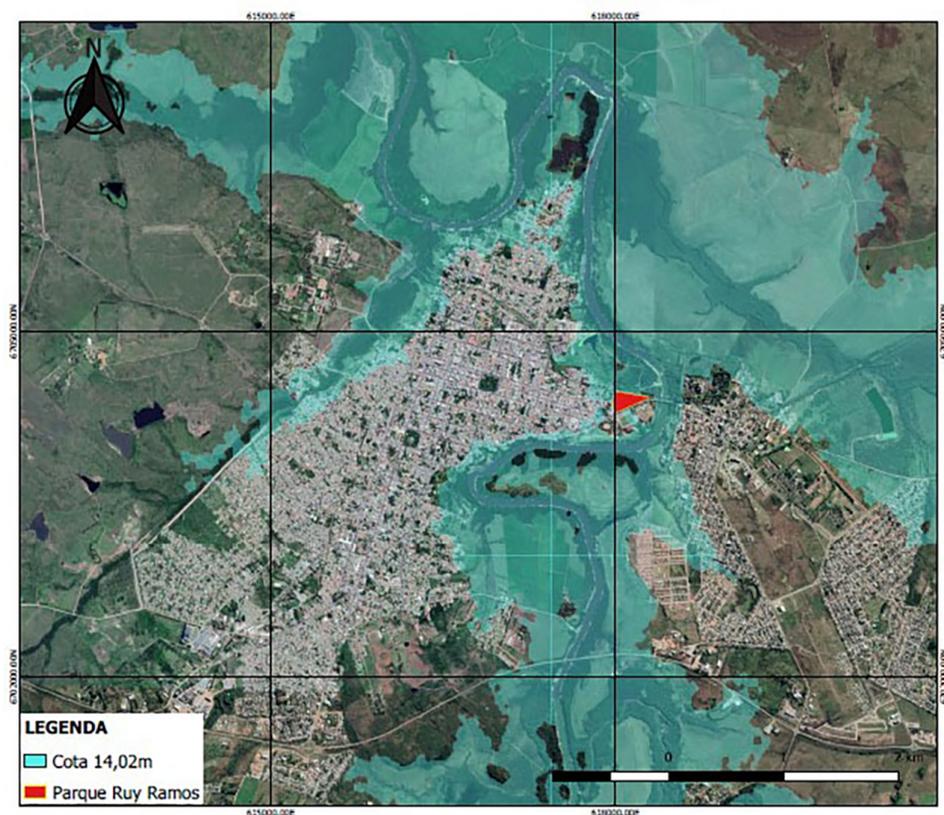
Nesta etapa são apresentados os resultados das simulações obtidas pelo modelo *HAND* para as cotas de inundação, consideradas: sem risco, com risco e cota de alerta. Ao longo da geração dos mapas, foram identificados pontos específicos para maior veracidade na discussão dos resultados, visto que, são pontos comumente inundáveis, ou que foram registrados por terem sido inundados. Como exemplo, cita-se o Parque Ruy Ramos (Praça dos Patinhos):

a) Cota sem risco de inundação (0 – 8,53 m): a mancha na cota sem risco de inundação (0 a 8,53m), compreende uma superfície de 6,83 hectares. Esta cota foi simulada com 1 cm inferior a cota que inicia a inundação nas primeiras casas, segundo a Defesa Civil. Após simulação da cota 8,53 m no modelo *HAND*, foi possível analisar as áreas possivelmente afetadas pela mancha de inundação. Embora tenha sido simulado um valor de cota inferior ao informado pela Defesa Civil (8,54 m), ao qual

foi atribuído RISCO ZERO, visto que em valores numéricos está abaixo do nível para atingir as primeiras famílias, a cota de inundação 8,53m atinge uma pequena área dos bairros Vila Nova, Macedo, Canudos e Rui Ramos. Esta diferença é aceitável visto que se trabalha na escala de centímetros.

b) Cota com risco de inundação (8,54 – 14,02 m): a mancha na cota com risco de inundação, compreende uma superfície de 45.414 hectares. Esta cota está representada pela inundação ocorrida em 12 de janeiro de 2019, afetando 23 (vinte e três) bairros e o Parque Ruy Ramos, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Mapeamento da inundação com cota fluviométrica de 14,02m sobre imagem do Google Earth



Fonte: Autoria própria

Um fator importante a ser analisado, se refere a precipitação registrada pelo instituto CEMADEN durante o período que antecede a data que a cota de 14,02m foi atingida. O acumulativo pluvial atingiu 541,4 mm em 12 dias, equivalente a 401,03% de chuva superior à média mensal (30 dias) de 135mm esperada para o município de Alegrete, segundos dados do CEMADEN. Estes dados, justificam a cota que o canal do rio Ibirapuitã atingiu.

Outro fator importante é o conhecimento das precipitações na cidade de Santana do Livramento – RS, onde nasce o rio Ibirapuitã. Por meio de metodologias conhecidas para calcular o tempo de concentração para bacias hidrográficas rurais, Silveira (2005) desenvolveu uma série de estudos quanto ao desempenho das fórmulas de tempo de concentração de bacias hidrográficas, tanto rurais ou urbanas. Em seu trabalho ficou constatado que, para bacias hidrográficas, rurais com área até 12.000 Km², as fórmulas de “*Corps of Engineers*”, “*Vem te Chow*” e “*Kirpich*” apresentam ótimo desempenho. Observa-se que a bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã possui uma área de 5.965km². Com auxílio das equações citadas, foi determinado o tempo de concentração da bacia do rio Ibirapuitã, conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Tempo de concentração na bacia do rio Ibirapuitã

MÉTODO	Tempo de Concentração (tc)	
	horas	dias
CORPS OF ENGINEERS	40,37	1,68
VEM TE CHOW	42,51	1,77
KIRPICH	54,75	2,28

Fonte: Autoria Própria

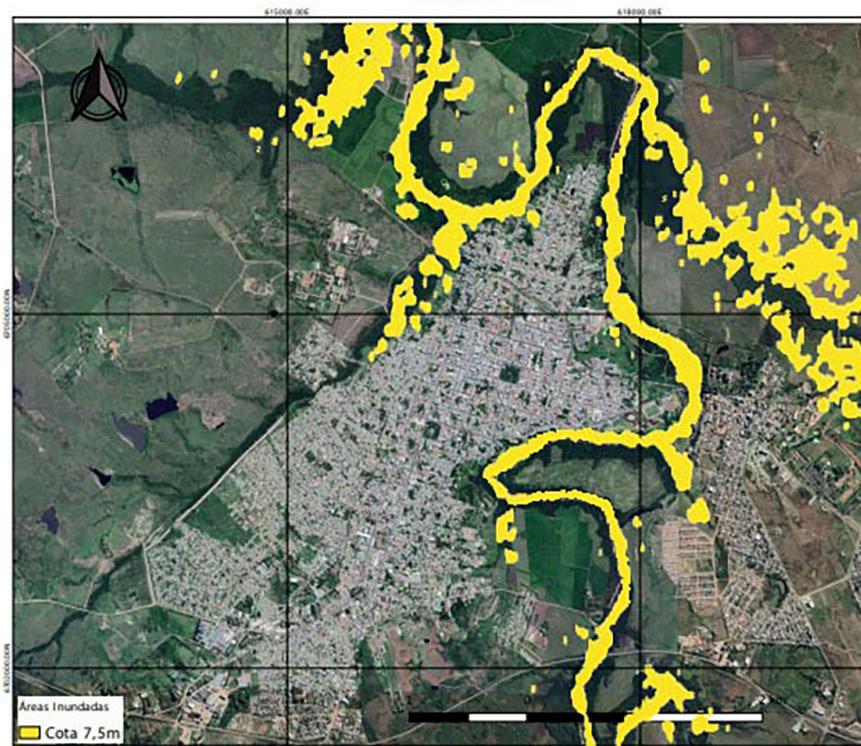
Observa-se que as precipitações que ocorrem na cidade de Santana do Livramento levam em torno de 2 (dois) dias para elevar o nível do rio na zona urbana de Alegrete. Nesse contexto, buscou-se dados meteorológicos disponibilizados pelo INMET, quanto a precipitação do município

de Santana do Livramento até 2 (dois) dias antes a marcação da segunda maior cota fluviométrica do rio Ibirapuitã, datado em 12/01/2019. Verificou-se que no período de 10 dias ocorreu uma precipitação de 230,4mm, o dobro da média esperada para o mês de janeiro, segundo dados do INMET.

c) Cota para alerta (7,50m)

A terceira cota simulada refere-se a uma possível política de prevenção a ser utilizada no município, de forma a sinalizar às famílias que a inundação se aproxima de suas moradias, ou seja, um sistema de alerta que possa ser emitido quando a cota fluviométrica do rio atingir 7,50m, uma vez que nenhuma casa é atingida até este limite (Figura 2). Os primeiros bairros que são atingidos com o aumento da cota fluviométrica são: Vila Nova, Macedo, Canudos e Rui Ramos.

Figura 2 – Mapa de inundação simulado na cota fluviométrica 7,50m: cota de alerta



Fonte: Autoria Própria

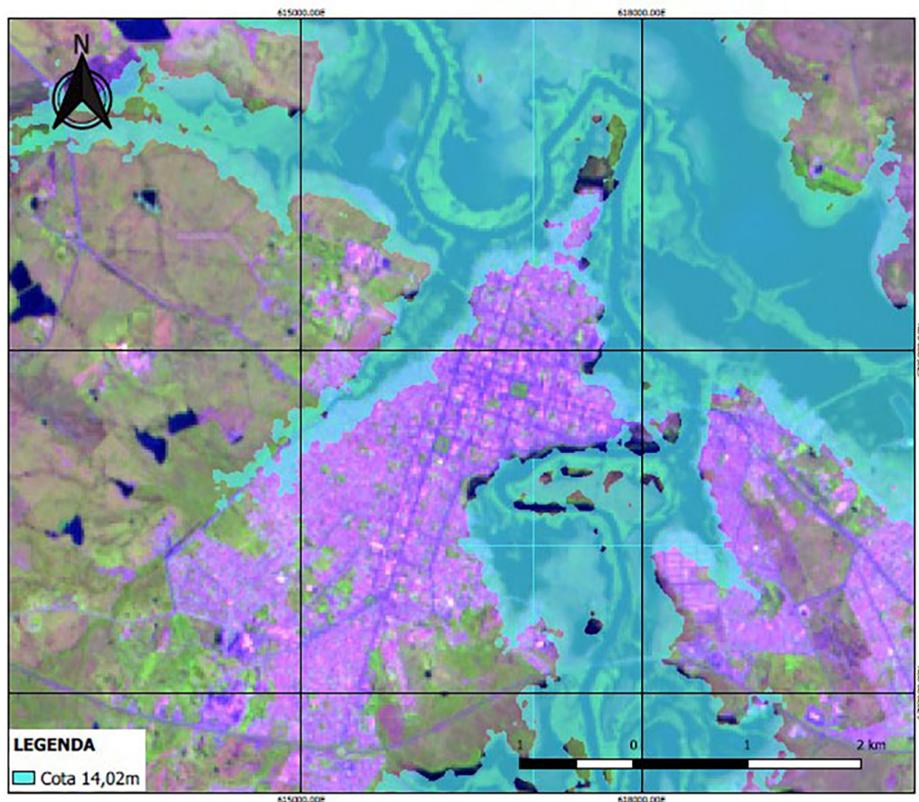
4.3 Análise comparativa de “simulação” versus “imagem real”

Para o dado de entrada no HAND foi utilizado o satélite ALOS PAL-SAR. Porém, esse satélite parou de operar no ano de 2011. Com isso, buscou-se utilizar o satélite SENTINEL – 2 para, assim, manter a resolução espacial inferior a 12,5 m. Entretanto, a busca das imagens não alcançou sucesso, visto que as precipitações se estenderam até o dia 19/01 e, com isso, as imagens encontradas eram de péssima qualidade, com alta porcentagem de cobertura de nuvens. Buscou-se imagens entre os dias 20 a 22/01, visto que, não se obteve precipitação durante esse período. Com isso, foram utilizadas as imagens do dia 22/01/2019 (10 dias após a cota de 14,02m), que pertence ao satélite RESOURCESAT – 2 (LISS3)¹, com resolução espacial de 24m, formada pela composição das bandas espectrais 543, onde demonstra em fundo azul escuro os corpos hídricos e o rio Ibirapuitá, ou seja, observa-se que, mesmo após 10 dias, a inundação se estende sobre a área urbana do município.

Com o intuito de comprovar a confiabilidade da simulação, analisou-se eventos reais com os dados que o estudo forneceu. Na Figura 3 (página seguinte) pode-se observar a projeção da inundação simulada, utilizando a cota da segunda maior enchente, conforme relata nos dados do CPRM, ocorrida no município, em 12/01/2019, a qual gerou uma cota de 14,02m, sobre a imagem do satélite RESOURCESAT – 2, datada de 22/01/2019.

¹ INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais. RESOURCESAT 1 e 2 - Indian Remote Sensing Satellite. 2011? Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/resourcesat>>. Acesso em: 10 out., 2019.

Figura 3 – Comparação “simulação” versus “imagem de 22/01/2019”



Fonte: Autoria Própria

Analisando a Figura 3 é possível afirmar que, mesmo passados 10 (dez) dias após a cota que simulou a mancha azul, a inundação continuava intensa. Isso tornou-se uma característica desse evento, visto que se passaram 4 (quatro) dias sem precipitação e a cota fluviométrica apresentou pouquíssima redução.

No intuito de validar o modelo *HAND* utilizado no presente estudo, bem como a dificuldade em obter imagens de satélite nas datas em que ocorreu os registros de níveis máximos no rio Ibirapuitã, utilizou-se fotografias obtidas em voo panorâmico na ocasião das inundações (Figura 4 - página seguinte).

Figura 4 – Comparação Imagem 12/01/2019 durante a inundação (a) versus simulação do modelo HAND (b)



Fonte: Adaptado de Defesa Civil (2018)

Na Figura 4 pode-se comparar as áreas inundáveis que o modelo simula para a segunda maior cota registrada até a atualidade (14,02m), com uma imagem real da inundação ocorrida em 12/01/19. Na imagem (a)   possível observar a área inundada pelas águas do rio Ibirapuit . Na imagem (b) a mancha azul representa a área inundada simulada no modelo *HAND* com cota de inundação de 14,02m. Analisando a Figura 4, percebe-se que a área inundada na imagem (a) coincide com a área que

o modelo simula como inundada na cota escolhida na imagem (b). Com base na análise exposta, verifica-se que o modelo utilizado no presente estudo apresentou confiabilidade na modelagem.

5. Considerações Finais

O uso do modelo *HAND* demonstrou ser adequado para mapear o evento de inundação ocorrido em Janeiro de 2019 na bacia do rio Ibirapuitã. O uso da cota diária da estação de Alegrete no rio Ibirapuitã permitiu ajustar e avaliar a simulação de inundação gerada pelo modelo *HAND*, sendo um parâmetro de referência fundamental para o resultado encontrado.

Uma das limitações da precisão dos resultados do modelo *HAND* está condicionada à qualidade da resolução das imagens, quanto mais alta a resolução, melhor a modelagem. O modelo apresenta grande potencial de aplicação desde que estejam disponíveis dados de superfície para mapeamento de áreas inundáveis ou para simular possíveis cenários futuros.

Os mapas gerados nas simulações com risco de inundação possibilitaram identificar os 23 (vinte e três) bairros afetados, os quais estão listados em trabalhos anteriores como áreas de risco a inundação. Percebe-se, também, que as áreas ocupadas e sujeitas a inundações, que compreendem porções mais extensas, estão junto ao arroio Regalado, nos bairros Canudos, Santo Antônio, Macedo, Izabel, Joaquim Fonseca Milano, Restinga, Sepé Tiaraju, Vera Cruz, na margem leste e Boa Vista, na margem oeste. Na porção mais a montante os bairros Grande, Prado e Progresso estão associados a processos menos severos, embora recorrentes, não pela cheia do rio, mas pela alta precipitação, gerando alagamentos que, sem condições para escoar, unem-se a inundação.

Na porção norte do Rio Ibirapuitã, posterior a desembocadura do arroio Regalado, são observadas áreas significativas nos bairros Rui Ramos e Vila Nova. Na porção Oeste do Rio Ibirapuitã pode-se perceber os bairros Tancredo Neves, Centro, Independência, São João e algumas residências do bairro Medianeira. Situada a margem leste do Ibirapuitã, nota-se os Bairros Ibirapuitã, Oswaldo Aranha, Promorar, Segabinazzi, Honório

Lemes e Airton Senna. As áreas localizadas próximo ao Arroio Jararaca também são caracterizadas como área de risco, tais como os bairros Centenário, Capão do Angico, Sant Pastous e algumas residências do Bairro Ulisses Guimaraes. Mais isolados, e ao sul, estão os bairros Renascer e o Balneário Caverá, próximo ao Arroio Caverá, tornando-se áreas de risco à inundação.

Com este estudo foi possível obter informações para o planejamento e gestão do uso e ocupação de áreas e apoiar na regulamentação de Leis do município, por meio do mapeamento de áreas de riscos ou de áreas de preservação permanente, como também estabelecer limites e estratégias de ações estruturais ou não estruturais. Considerar que novas habitações podem ser introduzidas em áreas de baixo risco ou sem, torna uma alternativa à essas pessoas que vivem em vulnerabilidade socioeconômica e à mercê de inundações em suas cidades. Em aderência a isto, para que as inundações em Alegrete sejam menos impactantes, é preciso o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento das áreas onde o risco está consolidado.

Referências

AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Imagens de satélites**. Disponível em: <<https://www.gov.br/aeb/pt-br/programa-espacial-brasileiro/aplicacoes-espaciais/imagens-de-satelites>>. Acesso em: 14 dez. 2020.

ALMEIDA, L.; VALDÉS SERRA, J. C. V. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. **Revista FAE Curitiba**, [S. l.]. v. 20, n. 1, p. 129-137, jan./jun. 2017. Disponível em: <https://revistafae.fae.edu/revistafae/article/view/113>. Acesso em: 23 out. 2018.

CORTES, J. M. **Sistemática de auxílio a decisão para a seleção de alternativas de controle de inundações urbanas**. 2009. 316p. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

CPRM SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. CPRM, 2018 Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br>>

gov.br/publicue/Hidrologia/Apresentacao/RedeHidrometeorologica-Nacional---RHN-304.html >. Acesso em: 23 out. 2018.

DEFESA CIVIL – Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Defesa Civil. **Notificações e Decretos**. 2018. Disponível em: <<http://www.defesacivil.gov.br>>. Acesso em: 12 set 2018.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto de imagens de satélite para estudos ambientais**. 3. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico, 1940, 1980, 2000 e 2010**. Disponível em : <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23 out. 2018.

KNIERIM, L. S. ; TAPAHUASCO, W. F. C. . **Levantamento das áreas críticas suscetíveis a enchentes, inundações e alagamentos no município de Alegrete/RS**. *In*: SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, VII, 2015, Alegrete/RS. **Anais...** Alegrete/RS: UNIPAMPA, 2015.

MENGUE, V. P. *et al.* Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai. **Pesquisas em Geociências**, [S. l.]. v. 43, n. 1, p. 41-53, 2016. DOI: 10.22456/1807-9806.78191.

MILANESI, J.; QUADROS, E. L. L. de; LAHM, R. A. Utilização do modelo hand no reconhecimento dos terrenos sujeitos a inundação – Porto Alegre / RS . **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.]. v. 69, n. 4, 2017. DOI: 10.14393/rbcv69n4-44327.

MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. Desempenho do modelo *HAND* no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.]. v. 21, n. 1, p. 200-208, jan./mar. 2016. DOI: 10.21168/rbrh.v21n1.p200-208.

MONTEIRO, L.R., KOBİYAMA, M. 2013. Proposta de metodolo-

gia de mapeamento de perigo de inundação. **REGA**, [S. l.]. v. 10, n. 2, p. 13-25, jul./dez. 2013. DOI: 10.21168/reg.v10n2.p13-25.

MORAIS, R.P.; MIRANDA, C. S.; LIMA, D.L.; ANACHE, J.A.A.; STANIESKI, J.; PARANHOS, A.C. Uso dos Sensores AVNIR2 e PRISM do ALOS na identificação das Áreas de Preservação Permanente. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIV, 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009, p. 5315-5320.

NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C.D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height Above the Nearest Drainage - a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, [S. l.]. v.404, n. 1-2, 2011. p.13-29 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.03.051>. Acesso em: 23 out. 2018.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. HAND. A new terrain descriptor using SRTM-DEM; mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.]. v. 112, n. 9, p. 3469-3481, sep. 2008. DOI: 10.1016/j.rse.2008.03.018.

SANTOS, K. A. **Utilização de modelo hidrodinâmico para mapeamento de áreas de inundação**. 2015a. 89p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente), Escola de Engenharia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

SANTOS, S. A. **Estudo de áreas urbanas suscetíveis a fenômenos de inundações, enchentes e alagamentos na cidade de Alegrete – RS**. 2015b. 115p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil). Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

SAUERESSIG, S. R. **Zoneamento das áreas de risco a inundação da área urbana de Itaqui, RS**. 2012. 100p. Dissertação (Mestre em Geografia e Geociências). Programa de Pós-graduação em Geografia e Geociências da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

SILVA, C. B. Mapeamento das áreas de inundação do Rio Ibirapuitã em Alegrete RS. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria. v.15, n.3, set./dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5902/223649947347>

SILVA, W. F.; MOLLERI, G. S. F.; PINTO, M. B. P.; JÚNIOR, G. J. L. D. de A. Análise do modelo HAND para a indicação de áreas suscetíveis a eventos críticos de cheias. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMO, TO, 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: INPE, 2013, p. 7001-7008.

SILVEIRA. A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. l.]. v. 10, n.1, p.5-23, jan./mar. 2005. DOI: 10.21168/rbrh.v10n1.p5-29.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas: impactos da urbanização**. Porto Alegre: Ed. ABRH/RHAMA, 2007, p.87-124.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 1. Ed. Porto Alegre: UFRGS, 1998.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. Porto Alegre: ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

CEPED/UFSC – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES/UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 104 p.

Capítulo 4 - Entupimento do Concreto Permeável: métodos de manutenção e seus efeitos na estrutura de poros

Fernanda Bianchi Pereira da Costa*

Jonathan Duarte Oliveira**

Tayara Petronio Guerim***

Simone Dorneles Venquiaruto****

Resumo

Pavimentos permeáveis estão suscetíveis ao fenômeno de colmatção dos poros, prejudicando sua funcionalidade hidráulica ao longo de sua vida útil. Este capítulo aborda como desempenho hidráulico e a estrutura de poros do concreto permeável são afetados pelo processo de entupimento com sedimentos de areia, em ciclos de indução. Os resultados de desempenho hidráulico obtidos por meio dos métodos de limpeza com jato d'água e compressor de ar foram comparados aos obtidos em placas com ausência de manutenção e sem o entupimento induzido. A placa com a limpeza por compressor de ar obteve um melhor desempenho, apresentando taxa de infiltração superior em relação a que sofreu limpeza por jato de água.

Palavras-chave: Pavimento permeável. Escoamento pluvial. Chuvas.

* Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora do curso de graduação em Engenharia Civil e Pós-Graduação em Engenharia (PPEng) da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fernandacosta@unipampa.edu.br

** Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: jonathanoliveira.aluno@unipampa.edu.br

*** Estudante de Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: tayaraguerim.aluno@unipampa.edu.br

**** Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professora do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: simonevenquiaruto@unipampa.edu.br

1. Introdução

O pavimento de concreto permeável é uma alternativa que pode ser usada para reduzir os efeitos do escoamento de águas pluviais de superfícies pavimentadas, como estradas e estacionamentos, permitindo que parte da chuva penetre no pavimento e no solo subsequente (HASELBACH; VALAVALA; MONTES, 2006). Outros benefícios do concreto permeável incluem a redução do ruído rodoviário, melhorando a derrapagem, além de minimizar o efeito de ilhas de calor em grandes cidades (FERGUSON, 2005; TENNIS; LEMING; AKERS, 2004; YANG; JIANG, 2003). Sua estrutura interna apresenta de 15% a 35% de macroporos interconectados (ACI, 2010; YAHIA; KABAGIRE, 2014), e uma permeabilidade que pode variar de 0,1 a 2,0 cm/s (CHANDRAPPA; BILIGIRI, 2016; HASELBACH; VALAVALA; MONTES, 2006).

A porosidade e permeabilidade do concreto permeável está diretamente ligada ao método de compactação. Além disso, é preciso juntamente controlar as proporções de mistura e propriedades, como a densidade projetada (COSTA *et al.*, 2018; IBRAHIM *et al.*, 2014; PEREIRA DA COSTA; HASELBACH; DA SILVA FILHO, 2021). É importante mencionar que os métodos utilizados para o adensamento de concretos convencionais (hastes e vibradores) não são recomendados para misturas de concreto permeável, no intuito de evitar aglomeração da mistura e, assim, preservar sua porosidade. A compactação do concreto permeável, *in loco*, requer métodos alternativos conforme indicado em manuais de aplicação, tais como ACI (2010) e *Permeable Pavements: Recommended Design Guidelines* (ASCE, 2013), por meio da compactação com rolo aplicado na última camada do pavimento. Este método de compactação é indicado já que o concreto permeável apresenta abatimento (*slump*) próximo de zero. No entanto, apesar de gerar uma superfície plana, compacta e adequada para o tráfego, o uso do rolo é responsável pela variação da porosidade vertical do pavimento. Assim, obtém-se uma estrutura de poros mais fechada no topo e mais aberta à medida que o concreto se aproxima da camada de base.

O efeito da variação da porosidade vertical do pavimento torna-se

interessante quando há a possibilidade de entupimento e colmatção dos poros. Sendo os poros mais fechados no topo e abertos na base, os sedimentos terão maior dificuldade em penetrar na superfície e maior facilidade para percolar pelo pavimento, depositando-se, dessa forma, na base do pavimento. Por outro lado, o efeito da variação da porosidade vertical acarreta em variações significativas na resistência do pavimento de concreto permeável, já que sua resistência decresce com o aumento da porosidade (CHINDAPRASIRT *et al.*, 2008; HOOTON *et al.*, 2003; IBRAHIM *et al.*, 2014).

A perda de funcionalidade do pavimento permeável está, portanto, precisamente relacionada ao efeito de entupimento dos poros e a perda da capacidade de infiltração. O entupimento pode ser causado por sedimentos presentes no ambiente, tais como argila, silte, areia e sujeira urbana dos mais variados tipos (MATA; LEMING, 2012; MERTEN *et al.*, 2022). Adicionalmente, o problema é agravado dependendo do local onde o pavimento está situado, como de outras áreas ou sistemas de drenagem próximos, além das características do clima, como chuva e vento da região. Embora o pavimento esteja em locais de pouca vegetação ou sujeiras urbanas, o intemperismo naturalmente causa seu entupimento devido a sua ampla área exposta, prejudicando a capacidade de infiltração de água no solo e a capacidade hidráulica de armazenamento do material (SANDOVAL *et al.*, 2020a). Isso ocorre porque ao longo de sua vida útil, o pavimento de concreto permeável pode ter sua estrutura de poros preenchida parcial ou totalmente com sedimentos, tornando cada vez mais difícil a sua retirada por meio dos processos de manutenção.

A manutenção de pavimentos de concreto permeável é essencial para estender sua vida útil em relação as propriedades hidráulicas e deve ser realizado periodicamente. Comumente, os procedimentos de manutenção envolvem técnicas de aspiração, limpeza/varrimento de superfície, água pressurizada, jato de ar comprimido ou a até mesmo a combinação de todos eles (SINGH; SAMPATH; BILIGIRI, 2020; VANCURA; MACDONALD; KHAZANOVICH, 2011). Em termos de periodicidade, tais limpezas podem ser realizadas apenas uma ou duas vezes ao ano (DRAKE; BRADFORD, 2013; HENDERSON, 2012). No entanto, a quantidade

de bibliografia a respeito da manutenção hidráulica do concreto permeável ainda é restrita, o que limita seu uso e divulgação. Além disso, quase todos os estudos não consideraram o efeito do processo de entupimento periódico na eficácia da limpeza.

Diante o exposto, neste capítulo são apresentadas técnicas de manutenção em placas de concreto permeável colmatadas em dois ciclos de entupimento com areia. As amostras extraídas das placas após o processo foram avaliadas quanto a densidade e porosidade. O objetivo do estudo consistiu em verificar qual foi método mais eficiente na manutenção das propriedades hidráulicas do concreto permeável, além de como o processo de colmatação afeta a estrutura de poros do pavimento.

2. Revisão da Literatura

O concreto permeável apresenta uma alta permeabilidade se comparado aos diferentes tipos de solo. Além disso, mantém uma estrutura estável que permite que água seja armazenada em sua estrutura interna, servindo como um reservatório. Apesar de alta, a permeabilidade do concreto permeável deve ser preservada por processos de manutenção, uma vez que os resíduos tendem a ficar presos em sua estrutura de poros interconectada.

Balbo (2020) considera três tipos essenciais de manutenção, isto é, manutenção de rotina (para remover folhagens de tamanho razoável depositadas na superfície, que não penetrariam imediatamente pelos poros), manutenção preventiva (para remover detritos que se acumulam nos poros próximos à superfície, como areia) e manutenção corretiva (para remover detritos depositados na estrutura porosa). A manutenção corretiva deve ser evitada, embora o método de aspiração dos resíduos seja recomendado pela eficácia na recuperação da permeabilidade (ACI, 2010; WINSTON *et al.*, 2016). Tal fato se deve ao dispendioso custo e tempo associado ao processo de sucção dos resíduos, ressaltando a necessidade de maquinários adequados e a larga extensão do pavimento. Além disso, a eficiência do método está condicionada as características variadas do concreto permeável, o que pode apresentar diferentes resultados para pavimentos com diferentes estruturas e conexões entre poros (MERTEN

et al., 2022). Adicionalmente, o tipo de sedimento (silte, argila, areia ou sujeira urbana) responsável pela colmatação dos poros também apresenta relação direta com a eficiência do método de manutenção/limpeza utilizado. No entanto, não é possível recomendar o método mais eficiente para cada tipo de sedimento ou periodicidade de limpeza que permita aumentar, em termos hidráulicos, a vida útil do concreto permeável (KIA; WONG; CHEESEMAN, 2017; LI, KAYHANIAN; HARVEY, 2013).

No trabalho de Sandoval *et al.* (2020), o objetivo foi estabelecer um método eficiente de limpeza dependendo de cada tipo de sedimento responsável pelo entupimento dos vazios do concreto permeável, além de recomendar a periodicidade da manutenção. Para isso, a colmatação dos poros foi simulada com três tipos de sedimentos (areia, argila e areia+argila) com uma concentração máxima de 1,27 g/cm² (representando uma exposição de 20 anos). A recuperação da permeabilidade foi realizada com a aplicação de três diferentes métodos de manutenção (limpeza superficial, limpeza com jato de ar e limpeza com jato de água). Como resultado, para o entupimento com sedimentos finos (argila e areia+argila), a limpeza com água mostrou-se mais efetiva devido à quebra da força de tração entre os sedimentos, facilitando sua expulsão. Para sedimentos como areia, a limpeza com jato de ar foi o método escolhido, dado a maior facilidade de expulsão. Em relação a periodicidade, foram testados dois períodos chamados de “Média periodicidade” (simulando uma limpeza a cada 10 anos) e “Alta periodicidade” (simulando uma limpeza a cada 2 anos). De maneira geral, a periodicidade média foi igualmente eficiente a periodicidade alta. Em relação aos sedimentos de areia, os autores notaram que quanto mais limpezas eram feitas, mais o concreto permeável perdia sua eficiência hidráulica. Cabe ressaltar que os dados obtidos pelos autores são relativos à estrutura do pavimento (altura das camadas) utilizada e às características do concreto permeável (isto é, traço, porosidade, tipo e distribuição dos agregados). Pesquisas e dados a respeito são constantemente necessários para complementar as informações acerca da manutenção de pavimentos permeáveis de características diversas.

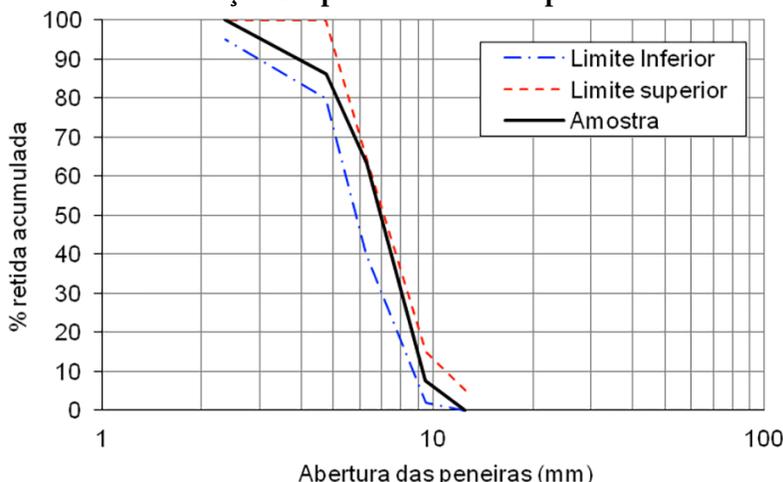
3. Metodologia de Pesquisa

O estudo consistiu na moldagem de placas de concreto permeável a serem submetidas a ciclos de entupimento e manutenção. Para tanto, foi utilizada a dosagem desenvolvida por Pereira da Costa (2019), nas proporções 1:4 (cimento:agregado) e uma relação água de 0,26. Com essas proporções, estima-se uma porosidade de 25% e uma densidade de, aproximadamente, 1800 kg/m³.

O agregado graúdo utilizado foi a brita 0, com diâmetro máximo nominal de 12,5 mm e módulo de finura igual à 5,85, determinados conforme a NBR 17054 (ABNT, 2022a). Para concretagem, a fração de material friável inferior a 2,36 mm foi removida mediante peneiramento. O Gráfico 1 ilustra a curva granulométrica do agregado, em conjunto com os limites normativos prescritos pela NBR 7211 (ABNT, 2022b).

As propriedades de massa específica e absorção de água, estabelecidas em concordância com a NBR 16917 (ABNT, 2021), possuem valor de 2,79 g/cm³ e 0,56 %, respectivamente. O cimento Portland tipo CP V-ARI foi utilizado para fabricação do concreto permeável, cuja massa específica fornecida pelo fabricante é de 3,00 g/cm³. No intuito de melhorar a reologia do concreto, favorecendo sua aplicação e acabamento, foi utilizado o aditivo o V-MAR[®]3.

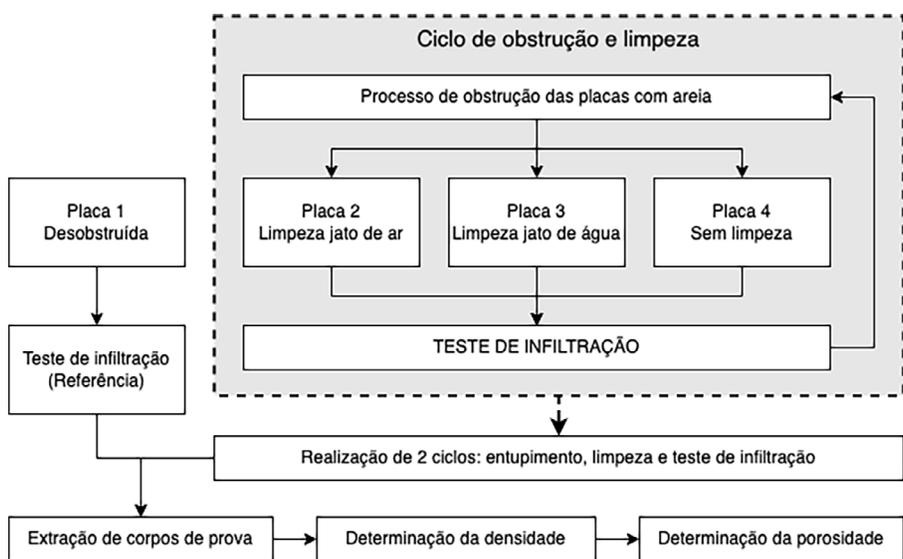
Gráfico 1 – Curva granulométrica do agregado graúdo (brita 0) utilizado para confecção das placas de concreto permeável



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

O procedimento de mistura também seguiu a ordem indicada por Peireira da Costa (2019), assim como a verificação táctil visual, que consiste em pressionar uma porção da mistura com a mão e examinar se há união adequada da pasta e agregado. Foram moldadas um conjunto de quatro placas de concreto permeável de dimensões 45 x 45 x 20 cm (comprimento x largura x altura), compactadas com rolo de 50 kg em uma única camada. A quantidade de passadas do rolo foi condicionada à quantidade de massa necessária para o atingimento da densidade projetada. Os elementos foram desmoldados após 48 horas e curados por 28 dias em temperatura ambiente e umidade relativa de 50 ± 5 %. A Figura 1 apresenta o fluxograma da pesquisa.

Figura 1 – Estrutura do delineamento da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Das quatro placas de concreto permeável moldadas, uma delas manteve-se desobstruída (Placa 1), de modo a estabelecer valores de referência, enquanto as outras três sofreram processo de colmatagem mediante a inserção de areia fina (Placas 2, 3 e 4). Sequencialmente, os três elementos obstruídos foram submetidos a cenários distintos, sendo executada lavagem com água de alta pressão na Placa 2, limpeza com jato de ar com-

primido na Placa 3 e ausência de manutenção na Placa 4. Em seguida, foi aplicado o ensaio de taxa de infiltração em todas as placas fabricadas, assim, oportunizando a realização de análise aprofundada sobre os efeitos ocasionados pelo fenômeno de entupimento.

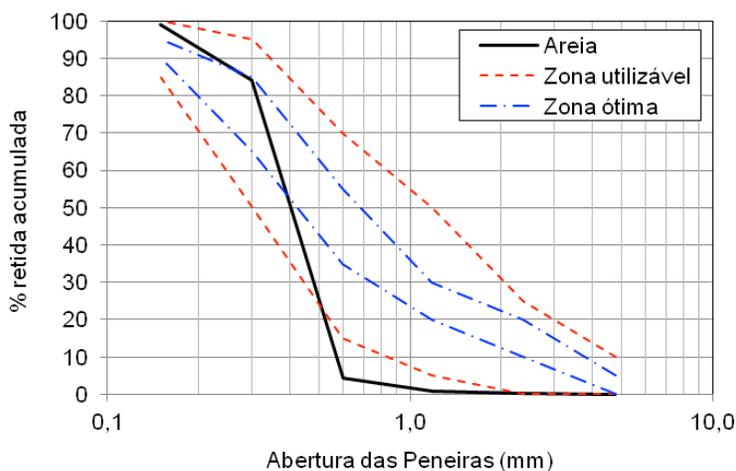
Posteriormente, repetiu-se o ciclo de entupimento/manutenção nas Placas 2, 3 e 4. Logo após, o ensaio de taxa de infiltração foi novamente exercido nos elementos colmatados, com o propósito de avaliar a eficiência das técnicas de manutenção depois da adição de uma nova concentração de sedimentos. Por fim, foram extraídos quatro corpos de prova cilíndricos (10 cm de diâmetro x 20 cm de altura) de cada uma das placas confeccionadas, os quais serviram para a efetuação dos ensaios de densidade e porosidade.

3.1 Ciclo de entupimento, limpeza e capacidade de infiltração

A concentração de areia utilizada para o entupimento das placas de concreto permeável foi de 1,27 g/cm², a qual foi fixada mediante as considerações concedidas pela *United States Environmental Protection Agency* (US EPA), com a intenção de simular 20 anos de exposição a natureza (vento e chuvas). Esta concentração foi utilizada por Sandoval *et al.* (2020a, 2020b) e adaptada por Mata e Leming (2012), o qual utilizou 100 g de sedimento para corpos de prova de 10 cm de diâmetro.

O material empregado no procedimento foi areia fina de diâmetro máximo nominal de 0,6 mm e módulo de finura igual à 1,93. A curva granulométrica desse agregado está inserida na Gráfico 2, juntamente com os intervalos estabelecidos na NBR 7211 (ABNT, 2022b). As etapas do ciclo de entupimento, manutenção e limpeza estão representadas na Figura 2 (página seguinte).

Gráfico 2 – Curva granulométrica do agregado miúdo (areia) utilizado para entupimento das placas de concreto permeável



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 2 – Ciclo de entupimento, manutenção e limpeza



**(a) Entupimento:
adição de areia**

**(b) Limpeza
com jato de ar**

**(c) Limpeza com
jato de água**

**(d) Ensaio de
infiltração**

Fonte: Acervo dos autores (2022)

Observa-se que a concentração sedimentar foi introduzida em toda a extensão superior da estrutura (Figura 2a), por meio de movimentos sincronizados com a peneira de 4,75 mm, com o propósito de garantir uma boa distribuição da mesma nos poros. A partir disso, foi possível comparar a variação, em relação a uma placa padrão desobstruída, dos

seus desempenhos hidráulicos e mecânicos. Cabe lembrar que o ciclo de entupimento foi realizado duas vezes, intermediado pelas técnicas de manutenção e pelo ensaio de infiltração.

Logo após a inserção do material arenoso, as placas de concreto permeável foram submetidas aos métodos de limpeza com jato de ar comprimido e lavagem com água de alta pressão. A limpeza com jato de ar comprimido foi executada com um compressor de ar (Figura 2b), enquanto a lavagem com água de alta pressão foi realizada com o emprego de um lava jato (Figura 2c).

A taxa de infiltração foi medida nas placas de concreto permeável, na idade de 7 dias, atendendo as recomendações descritas pela norma ASTM C1701 (2016). Para tanto, foi posicionado um anel de infiltração plástico (300 mm de diâmetro x 50 mm de altura) no centro da placa, o qual teve sua borda inferior fixada na superfície da placa com massa de calafetar (Figura 2d). Anteriormente ao processo de entupimento, foi realizado um teste de pré-molhagem com 3,6 kg de água nas placas, conservando-se uma coluna d'água padrão no interior do anel. A contagem do tempo começou no momento em que a água atingiu a superfície da placa e terminou quando ocorreu o completo desaparecimento da água na superfície do concreto permeável. O tempo obtido no pré-teste serviu para estabelecer a quantidade de água que foi empregada no ensaio. Sendo o tempo de pré-molhagem menor que 30 segundos, utiliza-se um total de 18 kg de água no teste, caso contrário, segue-se usando uma porção de 3,6 kg. Após o pré-teste, indução do entupimento e manutenção, o ensaio de infiltração foi realizado com um total de 18 kg de água, embora as placas estivessem colmatadas, mantendo-se padrão a quantidade de água para todas as placas. O ensaio de infiltração foi executado três vezes, com a pretensão de coletar um tempo médio para a determinação da taxa de infiltração. A taxa de infiltração (I) é encontrada por meio da Equação 1:

$$I(mm/h) = \frac{K * M}{D^2 * t} \# \dots (1)$$

Onde:

K = fator de conversão dos dados na unidade SI, com valor de

4583666000;

M = massa de água infiltrada (kg);

D = diâmetro de infiltração (mm);

t = tempo necessário para a infiltração da água (s).

3.2 Determinação da densidade de porosidade

Após a realização dos ciclos de entupimento, limpeza e testes de infiltração, foram extraídos 4 corpos de prova cilíndricos de dimensões 10 x 20 cm (diâmetro x altura) de cada placa de concreto permeável (Figura 3a). Observa-se, a partir da Figura 3b, a diferença de porosidade vertical do corpo de prova extraído, compactado apenas na última camada.

Figura 3 – Ciclo de entupimento, manutenção e limpeza



(a) Extração de corpos de prova



(b) Perfil do corpo de prova extraído

Fonte: Acervo dos autores (2022)

Após a extração, a densidade e porosidade de cada corpo de prova foi medida de acordo com a ASTM C1754 (2012) na idade de 28 dias. Para tanto, as massas das amostras foram aferidas na condição seca, submetendo-as à temperatura de 38 ± 3 °C em um intervalo de 24 ± 1 h, até alcançar constância de massa. A densidade, em kg/m^3 , foi determinada dividindo a massa dos corpos de prova pelo seu volume, que fora obtido com o auxílio de um paquímetro. Na sequência, os corpos de prova foram submersos em água por um período de 30 minutos. Em seguida, as massas na condição submersa foram coletadas, com o emprego de uma balança hidrostática. A porosidade (P) foi calculada conforme a Equação 2.

$$P (\%) = \left[1 - \left(\frac{M_d - M_s}{\rho_w * V} \right) \right] * 100 \# \dots (2)$$

Onde:

M_d = massa na condição seca da amostra (g);

M_s = massa na condição submersa da amostra (g);

ρ_w = densidade da água (g/cm^3);

V = volume da amostra (cm^3).

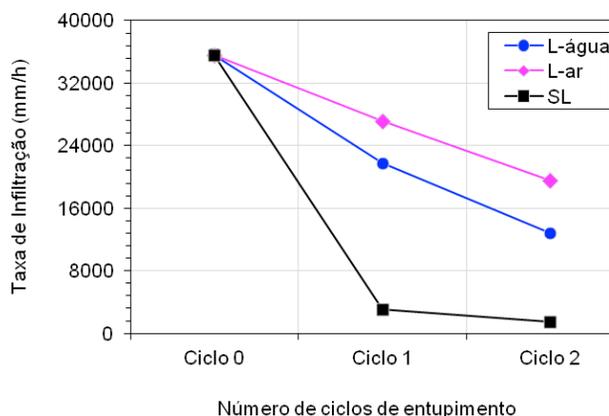
4. Resultados e Discussão

A taxa de infiltração obtida nas placas de concreto permeável oscilou no intervalo de aproximadamente 35625 mm/h a 1480 mm/h. O Gráfico 3 apresenta a média dos resultados encontrados referentes à taxa de infiltração pelo número de ciclos de entupimento, o qual associa as metodologias de manutenção aos diferentes cenários de colmatação. Cabe lembrar que cada ciclo representa 20 anos de exposição à natureza sem qualquer limpeza superficial. O desvio-padrão contido no gráfico para cada média não se encontra visível devido à baixa variabilidade entre os resultados de repetição.

Com a ausência de técnicas de manutenção, representado pela linha SL no gráfico, fora observado um decréscimo acentuado na capacidade de

infiltração da placa quando exposta aos ciclos de entupimento, comprometendo drasticamente a sua funcionalidade. No caso do elemento submetido a lavagem com água de alta pressão (L-água), foi possível conservar 61% do seu desempenho hidráulico no primeiro ciclo de entupimento/limpeza e 36% durante o segundo ciclo. Por outro lado, no decorrer dos ciclos 1 e 2, o emprego da limpeza com jato de ar comprimido (L-ar) assegurou preservações de 76% e 55%, respectivamente, na capacidade drenante da placa.

Gráfico 3 – Taxa de infiltração versus número de ciclos de entupimento



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

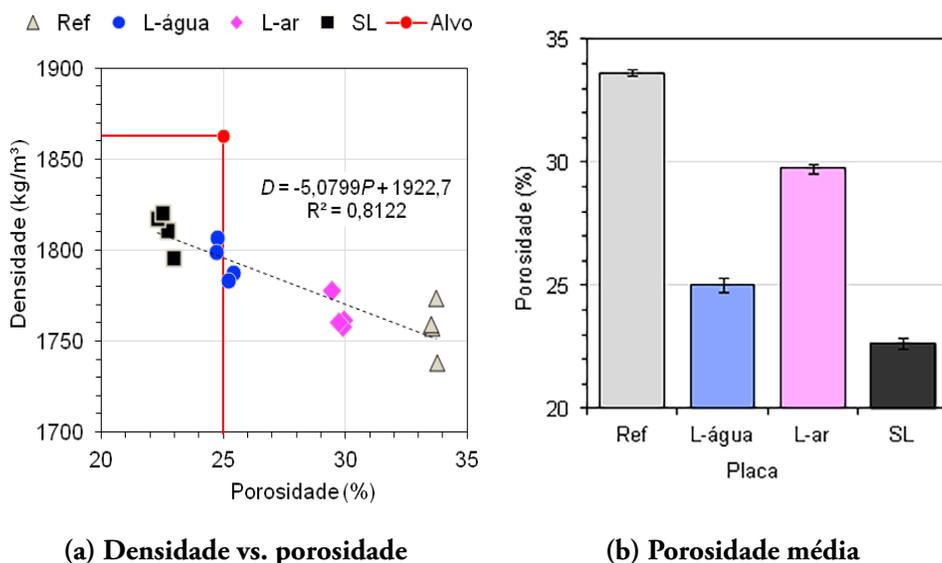
Em concordância com o estudo organizado por Sandoval *et al.* (2020), o método de limpeza com jato de ar comprimido, na comparação com a lavagem com água de alta pressão, demonstrou-se mais eficiente para a manutenção de elementos colmatados com areia. Esse comportamento é justificável, pois o compressor de ar consegue expelir as partículas alojadas nos poros internos e superficiais da estrutura, ao passo que a alta pressão de água tem como efeito a condução de grãos de areia para as camadas mais profundas da placa, apesar de realizar a remoção de uma parcela significativa dos mesmos.

Levando em consideração os valores atingidos, constatou-se que ambas metodologias de manutenção foram satisfatórias, tendo em vista que

proporcionaram uma taxa de infiltração superior à maioria dos solos. Adicionalmente, é importante observar que a limpeza com jato de ar proporciona um espalhamento das partículas de areia para o entorno da placa. Neste sentido, considerando um pavimento contínuo e de maior largura, é possível que o método acarrete no transporte e concentração dos sedimentos para outras regiões do pavimento, gerando pontos de maior colmatção. Desta forma, tal fato pode ocasionar uma distribuição não uniforme da limpeza superficial.

Os resultados de densidade e porosidade obtidos auxiliam na compreensão dos danos causados na estrutura de poros das placas de concreto permeável. O Gráfico 4 (a) apresenta os resultados adquiridos para cada corpo de prova extraído a partir das quatro placas produzidas, ao final do último ciclo. Neste contexto, verificou-se que a relação entre a densidade e a porosidade é influenciada pela concentração sedimentar retida na estrutura permeável. O comportamento mais próximo ao da placa padrão desobstruída (Ref.) foi constatado no elemento submetido a limpeza com jato de ar comprimido, em razão dessa técnica possuir a melhor eficiência na desobstrução dos poros.

Gráfico 4 – Propriedades dos corpos de prova extraídos



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

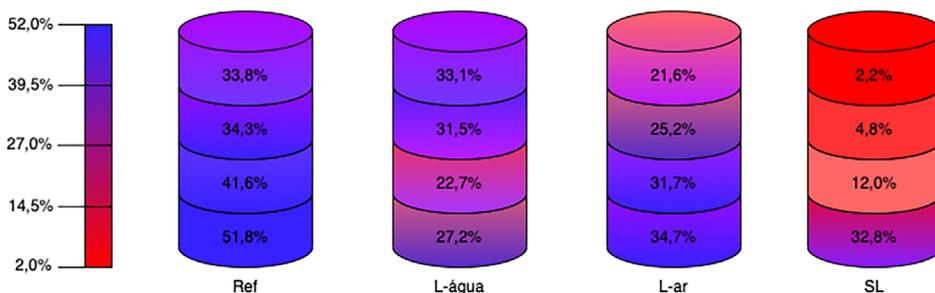
Os valores de densidade e porosidade da placa de referência ficaram distantes dos valores projetados de 1800 kg/m³ e 25%, respectivamente. Conforme mencionado por Costa *et al.* (2018), a densidade (e consequentemente porosidade) são mais fáceis de serem obtidas quando a compactação ocorre em mais camadas, como é o caso de corpos de prova moldados em laboratório, ao invés de extraídos. A compactação com rolo para obtenção exata da massa projetada pode ser um problema dependendo da altura da placa, visto que maiores pressões e uma quantidade elevada de passadas do rolo podem ser necessárias para atingir a densidade projetada, causando quebra de agregados, danificando a resistência do material e aumentando a variação da porosidade vertical, deixando a superfície mais impermeável. De todo modo, ressalta-se a importância da verificação dos danos gerados após o entupimento, para placas com porosidade de referência mais baixa.

Para melhor visualização, o Gráfico 4 (b) exibe os valores de porosidade média e desvio padrão obtidos nesse experimento. Como a compactação acontece exclusivamente na superfície superior do elemento, é presumível que os valores de desvio-padrão obtidos sejam efeito da falta de uniformidade no adensamento de suas camadas inferiores, bem como da variação da porosidade vertical.

Na sequência, o Gráfico 5 mostra como a porosidade se distribui ao longo do corpo de prova para cada técnica de manutenção em comparação à placa de referência (não colmatada) e à placa com ausência de manutenção. Os resultados médios foram obtidos a partir da extração de novos três corpos de prova de cada placa, fatiados em 4 camadas de igual altura. Os resultados corroboram para o entendimento de como as técnicas de manutenção funcionam. A limpeza com jato de água (L-água) tende a empurrar a os sedimentos para a base da placa, enquanto a limpeza com jato de ar (L-ar) tende a expelir as partículas superficiais, concentrando os sedimentos em maior quantidade próximos à superfície.

5. Conclusão

Este artigo apresenta o efeito da manutenção em placas de concreto permeável submetidas ao entupimento com sedimentos de areia. Este

Gráfico 5 – Taxa de infiltração vs. número de ciclos de entupimento

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

trabalho procurou, além de examinar a variação de desempenho hidráulico do concreto permeável, sugerir metodologias apropriadas para a manutenção da estrutura. Assim, em relação a eficiência das metodologias de manutenção, verificou-se que as duas técnicas são adequadas para a limpeza de elementos obstruídos com areia, pois asseguram valores de taxa de infiltração superiores à maior parte dos solos para as placas com as características estudadas. No decorrer do experimento, a limpeza com jato de ar comprimido apresentou melhor eficiência, conservando 76% do desempenho drenante no primeiro ciclo de entupimento/limpeza e 55% no segundo ciclo.

A estrutura submetida a limpeza com jato de ar comprimido obteve, em termos de porosidade, o desempenho mais próximo ao da placa padrão desobstruída. Somente o elemento com ausência de manutenção atingiu porosidade média abaixo dos índices recomendados na literatura, os quais são necessários para proporcionar características hidráulicas satisfatórias ao concreto permeável. Portanto, a realização de manutenções periódicas é extremamente importante para o correto funcionamento do elemento.

Referências

ACI. Report on Pervious Concrete. ACI 522R-10. **American Concrete Institute**, p. 1–42, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1701/C1701M-09. Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete. **ASTM International**, West Conshohocken, PA, p. 1–3, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C1754/C1754M-12. Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. **ASTM International**, West Conshohocken, PA, p. 1–3, 2012.

ASCE. **Permeable Pavements: Recommended Design Guidelines**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917 - Agregado graúdo - Determinação da densidade e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054 - Agregados - Determinação da Composição granulométrica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2022 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211 - Agregados para concreto - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2022 b.

BALBO, J. T. **Pavimentos de concreto permeáveis: uma visão ambiental da tecnologia sustentável emergente**. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. E-book.

CHANDRAPPA, A. K.; BILIGIRI, K. P. Pervious concrete as a sustainable pavement material – Research findings and future prospects : A state-of-the-art review. **CONSTRUCTION & BUILDING MATERIALS**, v. 111, p. 262–274, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.02.054>

CHINDAPRASIRT, P. *et al.* Cement paste characteristics and porous concrete properties. **Construction and Building Materials**, v. 22, n. 5, p. 894–901, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2006.12.007>

COSTA, F. B. P. *et al.* Best practices for pervious concrete mix design

and laboratory tests. **IBRACON Structures and Materials Journal**, v. 11, n. 5, p. 1151–1159, 2018.

DRAKE, J.; BRADFORD, A. Assessing the potential for restoration of surface permeability for permeable pavements through maintenance. **Water Science & Technology**, v. 68, n. 9, p. 1950–1958, 2013.

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**. CRC Press ed. Boca Raton, 2005. E-book.

HASELBACH, L. M.; VALAVALA, S.; MONTES, F. Permeability predictions for sand-clogged Portland cement pervious concrete pavement systems. **Journal of Environmental Management**, v. 81, n. 1, p. 42–49, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.019>

HENDERSON, V. **Evaluation of the Performance of Pervious Concrete Pavement in the Canadian Climate**. 2012. 292p. Thesis (Doctor of Philosophy in Civil Engineering). University of Waterloo, Waterloo, 2012.

HOOTON, R. *et al.* Measuring the Effective Air Void Content of Portland Cement Pervious Pavements. **Cement, Concrete and Aggregates**, v. 25, n. 1, p. 11229, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1520/CCA10516J>

IBRAHIM, A. *et al.* Experimental study on Portland cement pervious concrete mechanical and hydrological properties. **Construction and Building Materials**, v. 50, p. 524–529, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.022>

KIA, A.; WONG, H. S.; CHEESEMAN, C. R. Clogging in permeable concrete: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 193, p. 221–233, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.018>

LI, H.; KAYHANIAN, M.; HARVEY, J. T. Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. **Journal of Environmental Management**, v. 118, p. 144–152, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jen->

[vman.2013.01.016](https://doi.org/10.21909/vman.2013.01.016)

MATA, L. A.; LEMING, M. L. Vertical distribution of sediments in pervious concrete pavement systems. **ACI Materials Journal**, v. 109, n. 2, p. 149–155, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.14359/51683701>

MERTEN, F. R. M. *et al.* Clogging and maintenance evaluation of pervious concrete pavements with recycled concrete aggregate. **Construction and Building Materials**, v. 342, n. June, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127939>

PEREIRA DA COSTA, F. B. **Análise e desenvolvimento de misturas de concreto permeável para aplicação em pavimentação**. 2019. 181p. Tese (Doutora em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

PEREIRA DA COSTA, F. B.; HASELBACH, L. M.; DA SILVA FILHO, L. C. P. Pervious concrete for desired porosity: Influence of w/c ratio and a rheology-modifying admixture. **Construction and Building Materials**, v. 268, p. 121084, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121084>

SANDOVAL, G. F. B. *et al.* Proposal of maintenance methodology for pervious concrete (PC) after the phenomenon of clogging. **Construction and Building Materials**, v. 248, p. 118672, 2020 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118672>

SANDOVAL, G. F. B. *et al.* Assessing the phenomenon of clogging of pervious concrete (Pc): Experimental test and model proposition. **Journal of Building Engineering**, v. 29, n. January, 2020 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101203>

SINGH, A.; SAMPATH, P. V.; BILIGIRI, K. P. A review of sustainable pervious concrete systems: Emphasis on clogging, material characterization, and environmental aspects. **Construction and Building Materials**, v. 261, p. 120491, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120491>

TENNIS, P. D.; LEMING, M. L.; AKERS, D. J. **ervious Concrete**

Pavements. Technical report, EB302.02. Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004, 32p.

VANCURA, M.; MACDONALD, K.; KHAZANOVICH, L. Structural Analysis of Pervious Concrete Pavement. **Journal of the Transportation Research Board**, v. 2226, n. 1, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3141/2226-02>

WINSTON, R. J. *et al.* Maintenance measures for preservation and recovery of permeable pavement surface infiltration rate - The effects of street sweeping, vacuum cleaning, high pressure washing, and milling. **Journal of Environmental Management**, v. 169, p. 132–144, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.026>

YAHIA, A.; KABAGIRE, K. D. New approach to proportion pervious concrete. **Construction and Building Materials**, v. 62, p. 38–46, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.03.025>

YANG, J.; JIANG, G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 381–386, 2003.

Capítulo 5 - Frequência das Enchentes do Rio Ibirapuitã Associadas às Cotas Atingidas e Áreas Alagadas

Pablo George da Silva Freitas*

Marília Ferreira Tamiosso**

Resumo

Um dos problemas decorrentes da urbanização desordenada é a ocorrência de enchentes em áreas ribeirinhas, as quais causam diversos transtornos para a população residente. Este capítulo mostra um estudo de caso para a área urbana do município de Alegrete, localizado no estado do Rio Grande do Sul (RS), com a aplicação de uma metodologia sequencial que visa obter as áreas alagadas para os eventos de enchentes que ocorrem com determinada frequência. As etapas consistem em coletar dados históricos de vazões, aplicar distribuições de probabilidade a estes, estimar níveis e cotas máximas com a equação da curva-chave e a topografia do terreno, para determinar a influência das áreas alagadas sobre a área urbana do município, auxiliando o planejamento urbano e a verificação simplificada de segurança da ponte Borges de Medeiros sobre o rio Ibirapuitã. Observou-se que as regiões são afetadas pelas enchentes de maior magnitude quando o rio atinge o nível de 12m acima do leito do rio. Em relação a ponte que divide a área urbana, evidenciou-se que para maior segurança sua cota deveria estar acima da cota atual.

Palavras-chave: Vazões máximas. Planejamento urbano. Pontes.

* Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: pablo.george4@gmail.com

** Doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Professora do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: mariliatamiosso@unipampa.edu.br

1. Introdução

O conhecimento, a análise e a interpretação das variáveis hidrológicas de precipitação, vazão e escoamento superficial são de suma importância para dimensionamento de projetos hidráulicos. As obras de arte especiais (OAE), como pontes sobre cursos d'água, por exemplo, estão sujeitas ao impacto de massas de água que, quando em eventos extremos de cheias, podem levar a ruína das estruturas de suporte, prejuízo socioeconômico e, até mesmo, fatalidades.

É essencial ainda conhecer as cotas atingidas em eventos de cheias e relacioná-las com sua vazão, área alagada e a frequência de ocorrência. Estes dados são necessários à concepção do projeto estrutural da OAE, como posicionamento dos pilares de sustentação, altura que deve ser construído o tabuleiro, distância da margem do rio a que devem ser feitos os acessos dos veículos e pedestres, entre outras normativas específicas deste tipo de estrutura.

O estudo das cotas atingidas e respectivas áreas alagadas em eventos de enchentes também é fundamental para o planejamento urbano, evitando que a população se edifique próximo às margens do rio e seja negativamente afetada. Mesmo para a população já consolidada nessas regiões e que sofrem com as enchentes, as informações sobre estes eventos e sua frequência permitem conhecimento prévio dos impactos e possibilita medidas mitigadoras, assim como auxiliam o órgão público no suporte e na tomada de decisão frente a este problema.

Segundo Tucci (1995), as enchentes em áreas ribeirinhas normalmente ocorrem em bacias grandes ($>1000 \text{ km}^2$) e em decorrência de processo natural, onde o rio ocupa seu leito maior, com média de tempo de retorno superior a dois anos. Nestes casos, a defesa civil é acionada para proteger a população atingida. Com isso, o órgão público precisa gerenciar esta importante questão, transferir essa população a uma área segura e evitar o alojamento de outros no mesmo local.

A existência de uma política de uso e ocupação do solo, planejamento de medidas de curto, médio e longo prazo; existência de uma entidade que domine as técnicas de planejamento, projeto, execução e comuni-

cação social são ferramentas que podem auxiliar no gerenciamento do problema. Além disso, a fiscalização por parte do órgão público e a mobilização social dos envolvidos se tornam essenciais para efetividade às ações citadas frente aos eventos de enchentes.

No município de Alegrete o rio Ibirapuitã passa pela sua área urbana, fazendo com que a população ribeirinha enfrente problemas frequentes de enchentes. Nesse sentido, Menezes (2018, p. 154-155) cita (com base na série histórica de vazões) que ocorreram 211 eventos de enchentes, no período de 1941 a 2014, quando o nível do rio Ibirapuitã ultrapassou a cota de extravasamento e, com isso, iniciando os processos de danos aos arredores.

Cabe dizer que a ponte Borges de Medeiros, sobre o rio Ibirapuitã, faz a ligação entre os dois lados da área urbana de Alegrete e, consequentemente, acaba, por alguns períodos, sendo interditada para segurança da população, quando o rio atinge cotas próximas ao seu tabuleiro.

Diante o exposto, este trabalho tem como objetivo analisar as cotas atingidas e as áreas alagadas em eventos de enchentes, visando dar subsídios ao planejamento urbano, assim como, avaliar, de forma simplificada, a segurança da ponte que transpõe o rio Ibirapuitã na área urbana do município de Alegrete.

2. Revisão da literatura

Nesta seção estão apresentadas definições básicas sobre os tópicos abordados no trabalho, visando a contextualização.

2.1 Variável hidrológica de vazão

Segundo Tucci (2001, p. 527), a vazão máxima de um rio pode ser entendida como o valor associado com um risco probabilístico de ser igualado, ou superado, dado um evento extremo de precipitação. Distintas metodologias podem ser aplicadas para determinar a vazão máxima, tal como a análise estatística, na qual são utilizadas distribuições de probabilidade aos dados de vazão que foram observados ao longo do tempo. Associado a esta metodologia, tem-se o conceito de tempo de retorno

(TR), definido como o inverso da frequência, ou seja, a probabilidade da variável hidrológica ser igualada ou superada, pelo menos uma vez, num ano qualquer e de forma independente.

O TR varia de acordo com a importância da análise ou da estrutura a ser projetada de forma conseguinte. Tomando como exemplo, um sistema de microdrenagem pode ser dimensionado utilizando um TR de 2 a 10 anos, enquanto, em locais com perda de vidas humanas, este valor deve ser elevado para 100 anos, ou mais, dependendo da vida útil da estrutura (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015, p. 278).

Como mencionado, distribuições de probabilidade são parte de uma metodologia muito útil quando se faz necessária determinar variáveis hidrológicas máximas ou mínimas, tais como vazão e precipitação. As distribuições para valores máximos mais utilizadas são: Gumbel, Log-normal de 2 e 3 parâmetros, *Pearson e Log-Pearson tipo III*, e Generalizada de Valores Extremos (GEV, do inglês, *Generalized Extreme Values*). Também, frequentemente, são utilizados os testes de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* e *Anderson-Darling* para verificar se a distribuição representa os dados de forma significativa (MACHADO *et al.*, 2010, p. 2), (MARTINS; ULIANA; REIS, 2011, p. 4), (BACK, 2018, p. 3), (DUARTE; BLANCO; SANTANA, 2021, p. 7), (NOBRE; PEREIRA; CAMPOS, 2021, p. 4). A descrição das distribuições e testes citados pode ser encontrada em Naghettini e Pinto (2007, p. 127).

2.2 Acidentes em OAE devido à aspectos hidráulico-hidrológicos

Os autores Wardhana e Hadipriono (2003, p. 4) estudaram as falhas em pontes nos Estados Unidos da América, analisando o período compreendido entre os anos de 1989 e 2000, e concluíram que 52,88%, de um total de 503 casos, foram causados por falhas hidráulicas e, deste valor, 32,80% foram devidos a eventos de enchentes.

Vitório (2007, p. 1) apresenta um trabalho analisando 18 casos de acidentes e danos estruturais graves em pontes de rodovias estaduais e municipais no estado de Pernambuco, ocorridos entre os anos de 1990 e 2005. Em 8 casos relata que a cheia do rio que as OAE transpõem é a principal causa do acidente estrutural, demonstrando, assim, a importân-

cia que deve ser dada ao projeto hidrológico nas etapas de concepção da estrutura.

Nesse sentido, os estudos hidrológicos devem abranger os fatores desencadeantes de enchentes críticas que podem ser danosas às estruturas, como: a intensidade da precipitação, sua duração, quantidade total, variação temporal e espacial, condições climáticas, topografia e cobertura do terreno, a capacidade da rede de drenagem conduzir o escoamento superficial e influência das marés (LEBBE *et al.*, 2014, p. 2).

2.3 Zoneamento urbano em áreas alagáveis

Conforme Chow, Maidment e Mays (1988, p. 517), uma planície de inundação é a área adjacente a rios, córregos e lagos que são inundadas durante eventos de enchentes, tendo sua causa mais comum o transbordamento destes corpos hídricos. Para realizar a análise de uma planície de inundação, deve ser realizada a coleta de dados topográficos, fluviométricos (ou pluviométricos na ausência destes) e seções transversais da região em estudo.

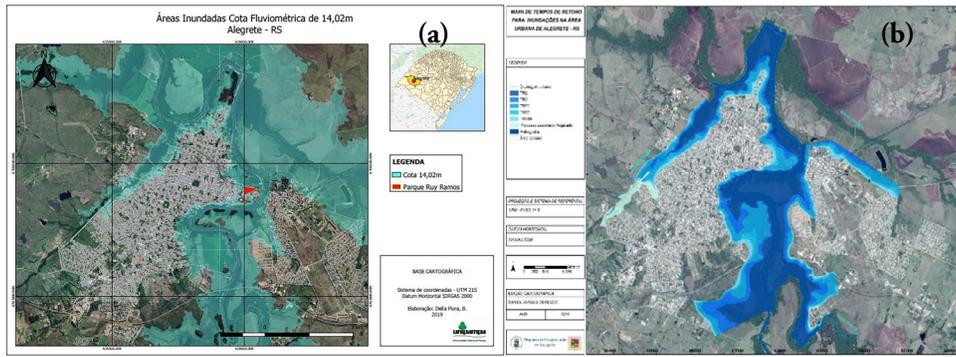
Diversos trabalhos foram produzidos analisando as planícies de inundação e as áreas alagadas decorrentes de eventos de enchentes para áreas urbanas de municípios de todo o país. Para o município de Alegrete, destaca-se o trabalho de Della Flora (2019, p. 67-72), que realizou o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações utilizando o modelo *HAND*¹, encontrando que, até o nível² de 8,54 m (valor cedido pela Defesa Civil do município) existe nenhum ou baixo risco de inundação. No entanto, foi simulado até o nível de 8,53 m e, para este valor, as áreas alagadas atingem uma pequena fração de alguns bairros, já para os níveis com risco de inundação, o intervalo é entre 8,54 m e 14,02 m. Destaca-se também o trabalho de Menezes (2018, p. 175-185), que realizou a análise das áreas alagadas associadas ao tempo de retorno, grau de perigo a inundações e

¹ *HAND* é sigla, em inglês, para Height Above the Nearest Drainage, e em português, altura acima da drenagem mais próxima.

² Considera-se aqui o nível em relação ao leito do rio.

índices de vulnerabilidade. Na Figura 1 estão os mapas de áreas alagadas produzidos pelos trabalhos.

Figura 1 – Áreas alagadas em Alegrete/RS por (a) Della Flora e (b) Menezes



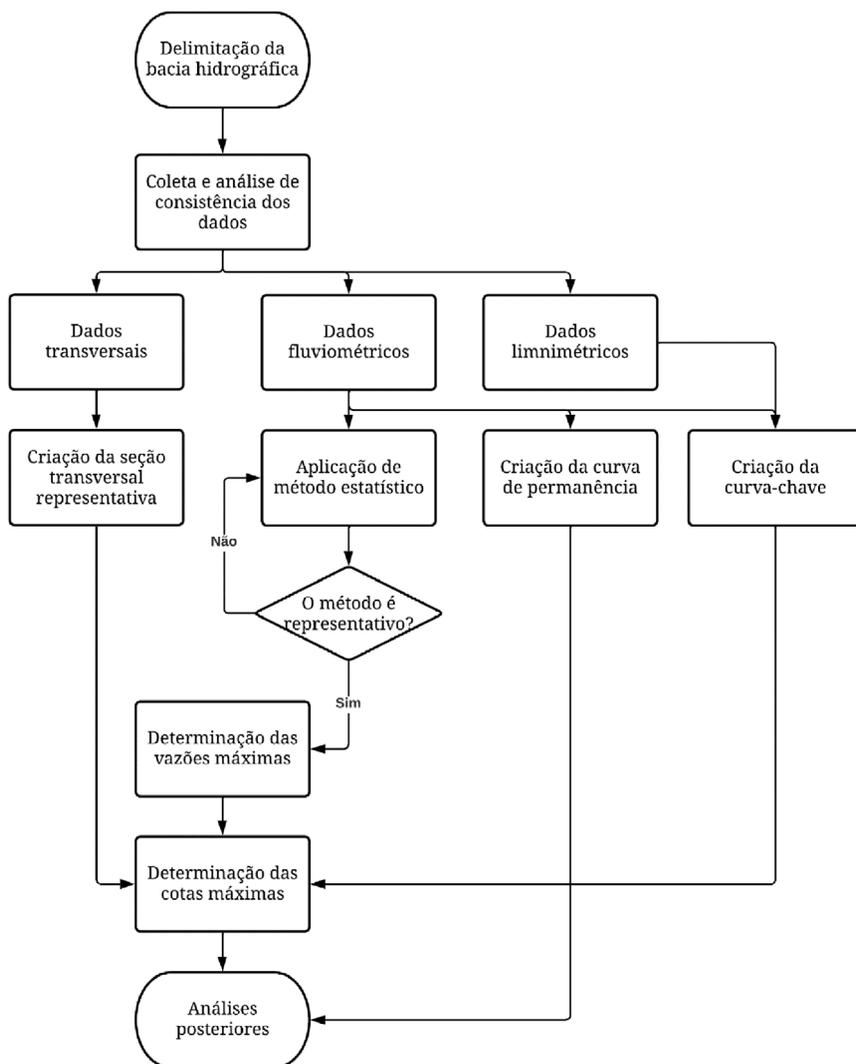
Fonte: (a) Della Flora (2019, p. 72); (b) Menezes (2018, p. 175)

Na Figura 1a a área alagada é referente à quando o nível do rio atinge 14,02 m, enquanto, na Figura 1b, as áreas alagadas estão apresentadas em diferentes tonalidades para demonstrar o aumento do alcance de acordo com o tempo de retorno, sendo que, para $TR \geq 50$ anos, o nível atingido é de 14,40 m.

3. Metodologia de pesquisa

Nesta seção, estão apresentadas todas as etapas de elaboração deste trabalho, as quais podem ser melhor compreendidas observando a Figura 2 (página seguinte).

Figura 2 – Fluxograma de etapas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

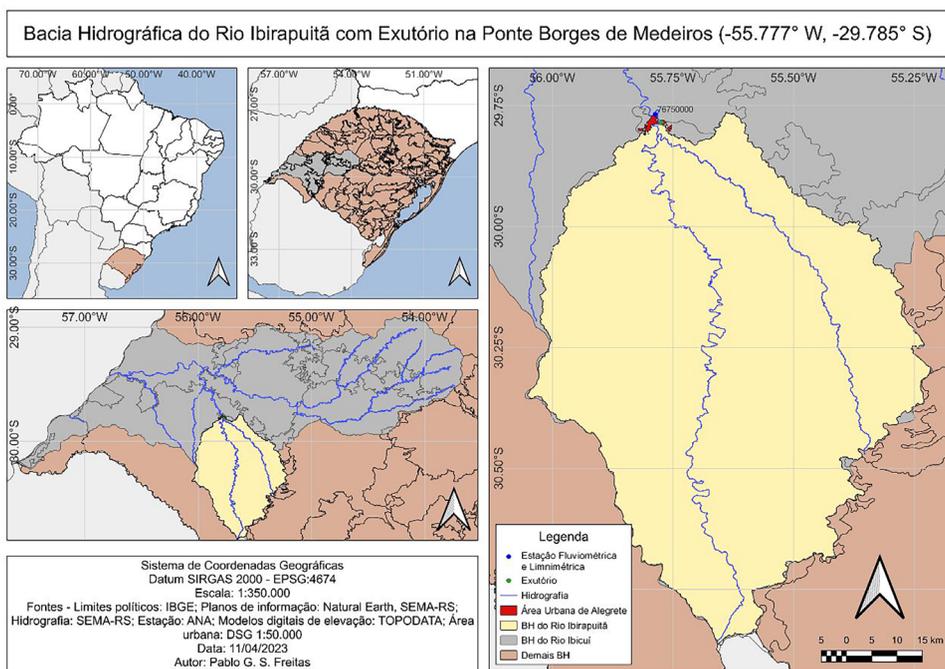
3.1 Área de estudo

Tratando-se de um estudo de caso do rio Ibirapuitã e tomando como exutório a Ponte Borges de Medeiros, localizada no município de Alegrete – RS, foi realizada a delimitação da área da bacia de contribuição, a

fm de obter suas principais características. A Figura 3 ilustra a localização da área de estudo e sua área de contribuição. A bacia possui uma área de 5820 km², comprimento do rio principal de 214 km e declividade média de 0,00221 m/m.

O rio divide a área urbana do município em duas regiões, interligadas por uma ponte rodoviária e uma ponte ferroviária, como observa-se na Figura 4. Fica evidenciada a importância da ponte para a população residente no município, tanto de forma econômica quanto social. Ocorridos eventos críticos de chuva, o nível do rio eleva-se, causando danosas inundações, além de desabrigar a população que reside próximo às margens do rio, estando sempre suscetível a estes acontecimentos.

Figura 3 – Bacia hidrográfica do rio Ibirapuitá com exutório na ponte Borges de Medeiros



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Para delimitação da bacia hidrográfica e definição das características físicas foram obtidos planos de informação disponibilizados pela Secreta-

Figura 4 – Vista panorâmica das pontes rodoviária e ferroviária Borges de Medeiros



Fonte: Hartmann (2018, não paginado)

ria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Rio Grande do Sul (SEMA-RS, 2021) e modelos digitais de elevação (MDE) do projeto TOPODATA com resolução espacial de 30 m. O geoprocessamento dos dados foi realizado utilizando como ferramenta o software livre QGIS (2023).

3.2 Obtenção das séries históricas

Para os dados fluviométricos foram obtidos os dados da estação fluviométrica código 76750000 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2021). A estação apresenta dados no período compreendido entre 01/01/1941 a 31/12/2020. Os dados apresentam pouquíssimas falhas, sendo assim, foi possível utilizar todo o período de 80 anos de dados para as análises. Esta estação localiza-se poucos metros à jusante da ponte em estudo e sua localização pode ser conferida na Figura 3, com área de contribuição de 5867 km². Dessa forma, pode-se dizer que os dados da estação são representativos da seção em análise, visto que a diferença de área de contribuição é desprezível (menor que 1%).

A referida estação também possui disponíveis dados das seções transversais no período compreendido de 1981 a 2014. Realizou-se o descarte dos dados do ano de 2013, pois os mesmos geravam uma seção transversal

incompleta e discrepante das demais. Restaram assim dados para elaborar 22 seções transversais.

De forma similar, foram obtidos da mesma estação os dados de nível e vazão correspondente, referentes ao período de 1941 à 2021, para a criação da curva-chave, com dados de 329 medições em dias distintos e não contínuos.

3.3 Utilização das séries históricas fluviométrica e limnimétrica

Em posse da série histórica diária de vazões, obtiveram-se as vazões máximas anuais utilizando o recurso de tabela dinâmica no Excel, então, estas foram organizadas em ordem decrescente, ordenadas e a posição de plotagem foi calculada com a fórmula de Weibull (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015, p. 214). Esta estimativa da frequência empírica foi utilizada em todas as distribuições, desta forma, para uma série de 80 anos, a vazão de ordem 1 possui como probabilidade de superação $F \approx 1,23\%$, ou então, $TR = 81$ anos.

Foram testadas as distribuições de Fréchet, Gama, GEV e Gumbel. Aplicou-se o método dos momentos para calcular os parâmetros estatísticos de cada distribuição e utilizada a sua função de quantis para obter as vazões máximas para diversos tempos de retorno. Já o erro absoluto máximo aceitável entre a frequência empírica e a estimada foi determinado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (KS).

Utilizando a série fluviométrica diária completa sem realizar preenchimento de dados, mas agora para a criação da curva de permanência, as vazões foram organizadas em ordem decrescente, ordenadas e calculadas as suas posições de plotagem com a fórmula de Weibull.

Já com os dados de nível e vazão correspondente foi ajustada uma equação para representar a curva-chave, sendo que segundo Chevallier (2001, p. 510), esta é representada de forma exponencial, conforme Equação (1):

$$Q = a \cdot (h - h_0)^n \quad \dots(1)$$

Foi então ajustada a Equação (1) com uma estimativa inicial de a , n e h_0 , calculando o erro quadrático total e utilizado o complemento *Solver*

no Excel para realizar a otimização dos parâmetros da equação, aferindo também que o parâmetro h_0 deve ser menor ou igual ao nível mínimo observado, que foi de $h_{\min} = 0,60$ m.

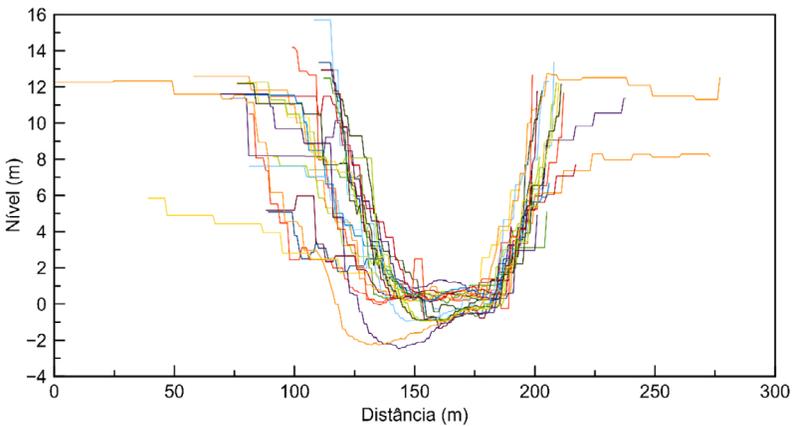
Com a curva-chave definida, pode-se então fazer uma estimativa do nível atingido para uma determinada vazão, onde pode-se explicitar a variável h na Equação (1) para obter a Equação 2:

$$h = \left(\frac{Q}{a}\right)^{\frac{1}{n}} + h_0 \quad \dots(2)$$

3.4 Utilização da série histórica de seção transversal

As seções são medidas a partir de um marco de referência localizado fora do rio, então, avança-se margem adentro para realizar as medições de profundidade. Plotando todas as 22 seções sobrepostas tem-se a Figura 5.

Figura 5 – Seções transversais sobrepostas



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

É possível observar, na Figura 5, que mesmo as seções tendo uma representação diferente para o leito do rio, a calha principal mantém-se relativamente na mesma posição, devido às medições serem todas feitas com base no mesmo ponto de referência inicial. Então, para cada distân-

cia horizontal, foi realizada a média das profundidades das 22 seções, de forma a criar uma seção representativa.

3.5 Determinação das áreas alagadas

A partir da distribuição com melhor ajuste e escolhida como representativa foi possível definir as vazões para cada período de retorno (TR). Com a vazão utiliza-se a curva-chave e define-se o nível atingido acima do leito do rio. Com o dado do nível atingido a cada TR, com a seção transversal média e com o modelo do terreno foram definidas as áreas alagadas.

4. Resultados

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos da aplicação dos diversos elementos abordados na metodologia.

4.1 Obtenção da curva de permanência e da curva-chave

No entendimento de Tucci (2001, p. 603), a curva de permanência pode ser utilizada em estudos para geração de energia hidrelétrica, navegação, qualidade da água, dentre outros. Neste estudo de caso, a curva de permanência foi utilizada para caracterizar o comportamento hidrológico da seção quanto ao fluxo normal de escoamento e quais valores de vazão eram mais predominantes em maior parte do período observado, o qual foi compreendido entre os anos de 1941 a 2020. Então, a partir da curva de permanência, foram obtidas as vazões representativas $Q_{50} = 32,88 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{90} = 5,56 \text{ m}^3/\text{s}$.

Em relação à curva-chave, os parâmetros ajustados nas Equações (1) e (2) foram os seguintes:

$$Q = 11,86 \cdot h^{1,75} \quad \dots(3)$$

$$h = \left(\frac{Q}{11,86} \right)^{\frac{1}{1,75}} \quad \dots(4)$$

Nas Equações (3) e (4), Q deve ser utilizada em m^3/s e h em m.

4.2 Obtenção das vazões máximas

A Tabela 1 apresenta a série de vazões máximas observadas na estação fluviométrica 76750000 e suas características estatísticas.

Tabela 1 – Vazões máximas anuais na estação fluviométrica 76750000

Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)	Ano	Vazão (m³/s)	Param. Estat.	Valor
1941	1054,70	1961	1189,92	1981	783,32	2001	1179,15	Média	906,53
1942	1095,15	1962	1013,53	1982	1001,71	2002	1194,55	D. Padrão	290,14
1943	475,47	1963	1197,64	1983	1046,88	2003	944,53	Variância	84.181,54
1944	1130,78	1964	404,75	1984	1073,46	2004	544,91	C. Assim.	-0,41
1945	592,61	1965	866,43	1985	977,25	2005	566,92		
1946	1036,72	1966	1144,83	1986	1283,75	2006	375,27		
1947	1194,55	1967	643,27	1987	1250,61	2007	595,20		
1948	1053,81	1968	471,28	1988	686,84	2008	577,23		
1949	1162,59	1969	682,28	1989	269,49	2009	1291,69		
1950	665,66	1970	773,16	1990	1199,18	2010	1013,29		
1951	616,08	1971	629,95	1991	1298,06	2011	332,50		
1952	854,59	1972	1051,67	1992	1349,40	2012	1101,77		
1953	1032,88	1973	1247,47	1993	1224,02	2013	1070,49		
1954	951,39	1974	380,50	1994	944,53	2014	744,31		
1955	491,11	1975	557,06	1995	577,46	2015	1096,81		
1956	592,61	1976	804,84	1996	1022,02	2016	1099,77		
1957	720,88	1977	1074,94	1997	1127,35	2017	1080,58		
1958	1173,01	1978	1017,65	1998	1288,52	2018	691,92		
1959	1401,48	1979	1039,55	1999	387,63	2019	1332,21		
1960	936,07	1980	933,24	2000	902,48	2020	639,48		

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Realizada a aplicação das distribuições de probabilidade aos dados observados de vazão e a verificação de aderência com o teste KS, foi assumida a distribuição GEV como representativa dos dados, por apresentar o melhor ajuste, conforme resultados ilustrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Teste de aderência das distribuições de probabilidades ajustadas à série

	Distribuições de probabilidade testadas			
	Fréchet	Gama	GEV	Gumbel
ERM	0,258	0,171	0,107	0,198
SE	10,002	5,425	3,114	6,694
ERMCM com $\alpha = 0,05$			0,152	

ERM = Erro residual máximo = módulo da probabilidade amostral menos a probabilidade calculada;
ERMCM = Erro residual máximo crítico; SE = Somatório do erro

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

As vazões máximas foram então calculadas para diferentes tempos de retorno com a distribuição GEV para serem utilizadas nos passos posteriores e podem ser observadas na Tabela 3.

4.3 Estimativa dos níveis, cotas máximas e áreas alagadas

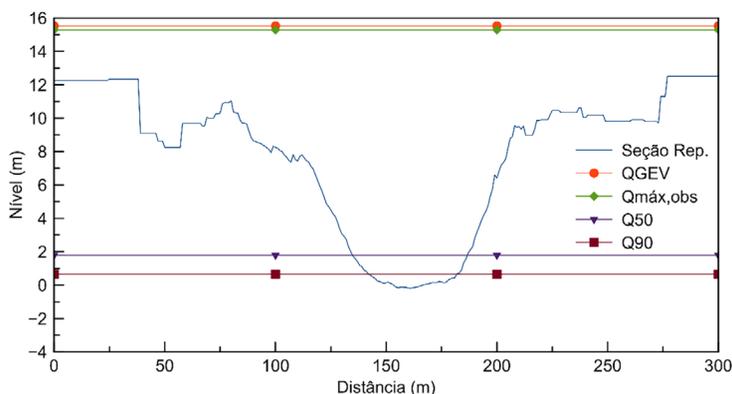
Obtidas as vazões máximas para cada tempo de retorno e a equação da curva-chave, realizou-se a estimativa do nível máximo atingido com a Equação (4) e, então, para determinar a cota máxima atingida, os níveis são somados à cota do leito do rio de 66 m (cota da estação fluviométrica), conforme temos na Tabela 3. Na Figura 6 está ilustrada a seção média representativa analisada.

Tabela 3 – Vazões, níveis e cotas relacionadas ao período de retorno

TR (anos)	Vazão (m ³ /s)	Nível estimado (m)	Cota Atingida (m)
1,01	164,45	4,5	70,5
1,10	501,84	8,5	74,5
1,95	917,60	12,0	78,0
10	1271,22	14,5	80,5
25	1365,02	15,1	81,1
50	1414,12	15,4	81,4
81	1440,54	15,5	81,5
100	1450,47	15,6	81,6

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Figura 6 – Seção média representativa e níveis estimados atingidos na calha do rio



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

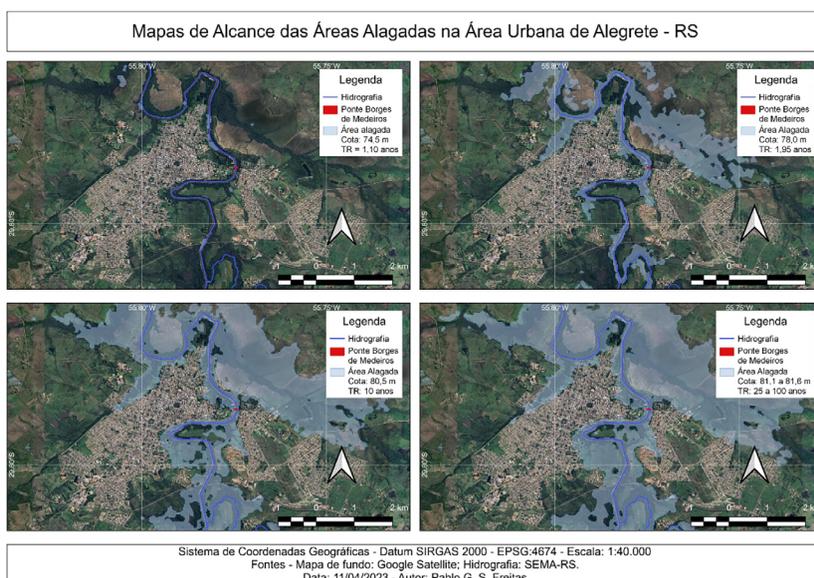
Na Figura 6 é possível observar que, quando o rio atinge o nível de aproximadamente 8,5 m, conforme já analisado por Della Flora (2019, p. 67-72), ocorre o extravasamento da calha menor do rio, enquanto que, quando o rio atinge o nível de aproximadamente 12 m, é quando ocorre o extravasamento da calha maior do rio, portanto, quando ocorrem as maiores enchentes. Na Tabela 3 foi destacado este evento onde, a partir da cota de extravasamento, calculou-se a respectiva vazão e seu período de retorno, resultando em TR = 1,95 anos e vazão de 917,60 m³/s. Este valor vai ao encontro com os eventos ocorridos na região, mostrando o quão frequente estes eventos ocorrem.

Já a vazão máxima observada na série histórica é $Q_{\text{máx,obs}} = 1401,48 \text{ m}^3/\text{s}$, e tem seu nível estimado em 15,29 m, com TR= 81 anos. A partir da distribuição de probabilidades, o valor de vazão referente a este TR é de 1440,54 m³/s, mostrando um bom ajuste da distribuição.

Em relação às vazões de base, destacadas na Figura 6, nota-se que para a vazão $Q_{90} = 5,56 \text{ m}^3/\text{s}$, o nível estimado é de 0,65 m, enquanto para a vazão $Q_{50} = 32,88 \text{ m}^3/\text{s}$, seu nível estimado é de 1,79 m.

A partir da Tabela 3 e dos MDE, foi realizada a delimitação das áreas alagadas na área urbana, que pode ser observada na Figura 7.

Figura 7 – Áreas alagadas na área urbana



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

O quadrante superior esquerdo da Figura 7 apresenta a cota de escoamento quando o rio atinge o nível máximo da calha menor (até nível 8,5m), não gerando grande risco para a população ribeirinha, mas podendo já ter atingido alguma edificação ali presente. No quadrante superior direito está a área alagada quando o rio atinge o nível de 12m, ou seja, sua calha maior. Nesse caso algumas edificações já estão afetadas, principalmente na região dos bairros Tancredo Neves, Vila Nova e Centenário.

No quadrante inferior esquerdo está apresentada a área alagada atingida com TR de 10 anos (nível 14,5m). As regiões mais atingidas se concentram ao longo das margens do canal do rio e de seus afluentes, onde, além dos bairros já citados, atinge também os bairros Canudos, Santo Antônio, Porto dos Aguateiros e São João. No quadrante inferior direito da Figura 7 está apresentada a área alagada associada a um TR de 25 a 100 anos (nível acima de 15m). Quando esta cota é atingida, uma grande parte da população é afetada devido às enchentes, ampliando as áreas alagadas nas regiões já citadas. Neste último caso, uma mesma área alagada foi apresentada para diferentes TR, pois, como a área alagada é maior nessas situações de enchente, um aumento de vazão gera um pequeno aumento de cota, sendo esta diferença pequena frente a escala da base de dados para representação.

4.4 Análise da Ponte Borges de Medeiros

A ponte Borges de Medeiros está destacada na Figura 7, localizada em uma região de vale mais encaixado e, portanto, em pequenas cheias, a mesma não é atingida. Não foi possível a obtenção da real cota do tabuleiro da ponte, mas estima-se que este esteja próximo da cota 81m (aproximadamente 15 m acima do leito do rio), pois, nas enchentes de maiores proporções o trânsito na ponte e em seus arredores é interdito para evitar catástrofes, isolando os dois lados da área urbana e, conseqüentemente, afetando também indiretamente as áreas não alagadas. Esta avaliação indica que a cota da ponte seja aproximadamente correspondente a vazões entre 10 e 25 anos de período de retorno, enquanto o recomendado para este porte de estrutura seria atender às cheias de pelo menos 100 anos de período de retorno.

5. Considerações finais

De forma geral, o município de Alegrete sofre com enchentes em curtos intervalos de tempo, com frequência quase que anual, acarretando em diversos danos para a população. Há uma considerável população atingida, mostrando a importância de um planejamento, controle e fiscalização do crescimento da área urbana. No entanto, as áreas já consolidadas representam um grande desafio de gerenciamento para o poder público, onde as questões históricas, humanas e culturais também influenciam o comportamento das pessoas afetadas, no sentido de aceitação e conscientização para remoção das mesmas do local. Na convivência com as enchentes, é importante que o planejamento leve em consideração também questões de preservação das áreas verdes e das margens dos rios, sistemas de alerta, planos de contingência e gerenciamento de crise, assim como orientação da população sobre os riscos das enchentes e como agir em caso de emergência, como a evacuação das áreas de risco e o uso de equipamentos de proteção individual.

Percebe-se também a necessidade de uma adequação da ponte, onde a elevação da mesma traria uma maior segurança frente aos eventos de enchentes. Além disso, a ponte deve ser alvo de cuidados, pois, como trata-se de construção com idade avançada, requer manutenção de patologias e reforços estruturais de modo a garantir sua segurança e de quem as utiliza. Nesse sentido, a prefeitura do município já anunciou o projeto de uma nova ponte em andamento, em cotas mais altas, facilitando a circulação da população quando em eventos críticos de enchentes.

Em relação à metodologia adotada, a integração de todos os elementos apresentados é uma forma relativamente simples e adequada para determinar a área alagada em um evento de enchente, fornecendo subsídios para o planejamento urbano. No entanto, ressalva-se que as áreas alagadas são uma estimativa e podem não representar a realidade de uma inundação de maneira completamente fidedigna. Ao ocorrer o transbordamento da calha do rio, ocorre a dissipação do volume em uma área maior, logo, resultando em um menor aumento do nível atingido. Essa área alagada maior não possui levantamento topográfico em escala suficiente, assim

como a curva-chave construída e a seção transversal não abrangem a vazões com maiores períodos de retorno. Fica assim evidenciada a necessidade de levantamentos mais detalhados, principalmente planialtimétricos, para subsidiar os estudos do município.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Séries históricas das estações**. Brasília, DF: ANA, 2005. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 19 out. 2021.

BACK, Á. J. Análise de frequência de vazões máximas para projetos de drenagem. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 1-14, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18616/civiltec.v1i2.5065>. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/engcivil/article/view/5065>. Acesso em: 18 jun. 2022.

CHEVALLIER, P. Aquisição e processamento de dados. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, ABRH, 2001. 943 p.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. 2. ed. Nova Iorque: McGraw Hill, 1988. 572 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015. 336 p.

DELLA FLORA, B. **Simulação de inundações através do modelo HAND. Estudo de caso: zona urbana de Alegrete-RS**. 2019. 98 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Curso de Engenharia Civil, Alegrete, 2019.

DUARTE, J. M.; BLANCO, C. J. C.; SANTANA, L. R. Estimativa de vazão máxima para projetos de barragem na bacia hidrográfica do rio Uraim em Paragominas/PA. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 10, n. 1, p. 262-281, 2021. DOI: <https://doi.org/10.19177/rgsa.v10e12021262-281>. Disponível em: <https://portaldeperiodicos>.

animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8615. Acesso em: 19 jun. 2022.

HARTMANN, D. A. Ponte Borges de Medeiros. 2018. Disponível em: https://www.google.com.br/maps/@-29.7845955,-55.7750015,3a,90y,213.24h,63.28t/data=!3m8!1e1!3m6!1sAF1QipPVfUMNzOAK3ToDUTSDgb0_LfkCVnv1nnOhovFg!2e10!3e11!6shhttps:%2F%2F5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipPVfUMNzOAK3ToDUTSDgb0_LfkCVnv1nnOhovFg%3Dw203-h100-k-no-pi-0-ya60.41695-ro-0-fo100!7i10000!8i5000. Acesso em: 18 fev. 2022.

LEBBE, M. F. K.; LOKUGE, W.; SETUNGE, S.; ZHANG, K. Failure mechanisms of bridge infrastructure in an extreme flood event. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFRASTRUCTURE FAILURES AND CONSEQUENCES, 1., 2014, Melbourne. **Anais [...]**. Melbourne: Marriott Hotel, 2014.

MACHADO, E. F. do P.; PINTO, L. C.; PEREIRA, M. C.; SILVA, A. M. da. Distribuição de probabilidade para determinação de vazões máximas para o rio Itapemirim – Espírito Santo. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 19., 2010, Lavras. **Anais [...]**. Lavras: UFLA, 2010.

MARTINS, C. A. S.; ULIANA, E. M.; REIS, E. F. Estimativa da vazão e precipitação máxima utilizando modelos probabilísticos na bacia hidrográfica do rio Benevente. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 7, n. 13, p. 1130-1142, 2011. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/4200>. Acesso em: 18 jun. 2022.

MENEZES, D. J. **Proposta metodológica para análise espaço-temporal de inundações: aplicação na área urbana de Alegrete – RS**. 2018. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Geografia e Geociências, Santa Maria, 2018.

NAGHETTINI, Mauro; PINTO, Éber José de Andrade. **Hidrologia estatística**. 1. ed. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NOBRE, M. R. P.; PEREIRA, M. S.; CAMPOS, R. Estudo de va-

zões máximas de projeto usando uma distribuição de Gumbel. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 12, p. e140101220098, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20098>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20098>. Acesso em: 19 jun. 2022.

QGIS Development Team. **QGIS**. Versão 3.28.4. [S. l.], 2021. On-line. Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/. Acesso em: 21 mar. 2023.

SEMA - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E INFRAESTRUTURA (Rio Grande do Sul). **U050 - bacia hidrográfica do rio Ibicuí. Rio Grande do Sul, RS, 2021**. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/u050-bh-ibicui>. Acesso em: 04 dez. 2021.

TUCCI, C. E. M. (org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, ABRH, 2001. 943 p.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. La L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995.

VITÓRIO, J. A. P. Acidentes estruturais em pontes rodoviárias: causas, diagnósticos e soluções. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS, 2., 2007, Rio de Janeiro. **Anais** [...]. Rio de Janeiro: 2007.

WARDHANA, K.; HADIPRIONO, F. C. Analysis of recent bridge failures in the United States. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 144-150, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3828\(2003\)17:3\(144\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3828(2003)17:3(144)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%-290887-3828%282003%2917%3A3%28144%29>. Acesso em: 25 ago. 2021.

Capítulo 6 - Gestão de Resíduos da Madeira: estudo de caso em empresa da construção civil

Caroline Neves de Lima*

Nirlene Fernandes Cechin**

Fladimir Fernandes dos Santos ***

Resumo

O presente capítulo traz um estudo realizado em uma empresa da construção civil, localizada em São Gabriel, RS, com o objetivo de analisar a gestão dos resíduos de madeira da construção civil, considerando: a) identificação e caracterização dos resíduos de madeira gerados no canteiro de obras; b) identificação e caracterização das fontes geradoras destes resíduos; c) caracterização da gestão destes resíduos quanto aos dispositivos legais e técnicos. As estratégias de pesquisas utilizadas foram as consultas em bibliografias científicas e o estudo de caso exploratório. Os dados foram dispostos na forma de textos e de quadros constituídos de textos explicativos. Nas obras da empresa foram gerados resíduos madeireiros como cavacos, serragem, de construção e de demolição. As fontes geradoras de resíduos de madeira são a serra manual, a serra circular (maior fonte geradora de resíduos), a plaina, a lixadeira e a furadeira. A empresa possui um Sistema de Gerenciamento de Resíduos no canteiro de obras, porém, há interesse em integrar um plano de gerenciamento de resíduos da madeira, uma vez que boa parte dos resíduos são originados na marcenaria de uso da empresa e não na obra. A destinação final dos resíduos de madeira gerados no canteiro de obras consiste na reutilização

* Bacharela em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA. E-mail: carolneveslima@gmail.com

** Dra. em Engenharia Florestal, Professora Associada da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus São Gabriel. E-mail: nirlenecechin@unipampa.edu.br

*** Dr. em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Professor Associado da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fladimirsantos@unipampa.edu.br

em outras obras da própria empresa ou como lenha domiciliar. A empresa gerencia adequadamente os resíduos nos seus canteiros de obras, estando em conformidade com a legislação e as normas vigentes. Assim, possui uma significativa parcela de contribuição com a preservação ambiental e com o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Canteiro de obras. Projetos construtivos. Resíduos sólidos.

1. Introdução

A madeira é um tipo de matéria-prima de origem vegetal que, após ser submetida a um processo produtivo, torna-se um produto que possui diversas finalidades. Por ser um material que possui melhor proporção entre peso e resistência, uma maior resistência à flexão e a mesma resistência à compressão que o concreto, na construção civil a madeira é frequentemente utilizada para fins estruturais e na sustentação de construções.

Os resíduos da construção civil são originados nas diversas etapas das obras, sendo estes constituídos por embalagens de produtos (papalões, papéis e plásticos), materiais construtivos e de acabamentos (restos de madeiras, metais, vidros, gessos, cerâmicas, argamassas e de concretos), resíduos perigosos (tintas, solventes, óleos, amianto e produtos contaminados), bem como os restos de reformas, reparos e demolições.

A destinação inadequada dos resíduos da construção civil pode ocasionar impactos ambientais negativos que, na maioria das vezes, são irrecuperáveis. Tais impactos contribuem com a degradação da qualidade ambiental, uma vez que os resíduos descartados de forma irregular ocasionam a obstrução de vias e de logradouros públicos, afetam a paisagem visual do local, causam a proliferação de vetores e o assoreamento de córregos e rios, entre outros impactos.

A Lei nº 12.305/2010, referente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a NBR 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), são dispositivos legais e técnicos que tratam de questões específicas sobre os resíduos sólidos. No entanto, as diretrizes, os

critérios e os procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil estão estabelecidos na Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002).

Os resíduos da construção civil podem ser reaproveitados ou reciclados a partir do gerenciamento adequado destes resíduos, considerando o cumprimento de políticas públicas e educativas que incentivam a adequada classificação de suas origens. Entretanto, tanto os rejeitos quanto os resíduos perigosos devem ser destinados para aterros adequados, de acordo com a sua classificação legal.

A classificação dos resíduos da construção civil e das suas fontes geradoras são muito importantes, pois possibilitam a análise e o diagnóstico dos tipos de resíduos mais gerados, além de colaborar na segregação dos mesmos segundo a sua origem, bem como na tomada de decisão mais adequada para a sua destinação e disposição final ambientalmente adequadas.

Diante o exposto, o estudo teve por objetivo analisar a gestão dos resíduos de madeira da construção civil em uma empresa da construção civil localizada no município de São Gabriel – RS, considerando: a) identificação e caracterização dos resíduos de madeira gerados no canteiro de obras; b) identificação e caracterização das fontes geradoras destes resíduos; c) caracterização da gestão destes resíduos quanto aos dispositivos legais e técnicos.

2. Revisão de literatura

2.1 Construção civil

O setor da construção civil apresenta um constante estado de crescimento, devido às contínuas demandas por construções, desde residências até estradas e indústrias, apresentando um papel essencial na vida da população em geral, no desenvolvimento das cidades e na economia do país (SANTO *et al.*, 2014). Nesse sentido, Pinto *et al.* (2015) apontam que o setor da construção civil é importante no desenvolvimento do país, por ser responsável pela criação de novas tecnologias e por ser um grande gerador de empregos e renda.

Além disso, a construção civil está intrinsecamente conectada aos indicadores de qualidade de vida da sociedade em geral, uma vez que o setor aponta soluções de urbanismo e tem como principal função produzir as estruturas imprescindíveis ao bem-estar e ao progresso da população (ALENCAR; SANTANA, 2010).

Conforme o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2014), na década de 70 a construção civil brasileira passou por uma reconfiguração, resultado de uma política de urbanização extensiva e intensiva focada em suprir o déficit habitacional do país. Cabe dizer que isso levou a utilização e ocupação problemática do solo, causando muitos impactos socioambientais.

De acordo com Vazquez (2001), devido aos efeitos irreversíveis causados ao meio ambiente, surgiu o conceito de construção sustentável, o qual é fundamentado, além de outros fatores, na prevenção e na redução de resíduos sólidos, com a utilização de tecnologias limpas e de materiais recicláveis e reutilizáveis. As questões sustentáveis incorporam as três dimensões da sustentabilidade – social, ambiental e econômica (BREEAM, 2016). No que se refere a dimensão Ambiental, Elkington (1994) destaca que ela aborda as condutas de impactos no meio ambiente, das demandas de racionalização dos recursos naturais, da preservação de ecossistemas e da minimização de geração de resíduos.

Em estudo realizado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), em São Paulo, sobre a valorização de imóveis certificados^{1,2,3}, ficou comprovado que as edificações comerciais com certificação Leadership in Energy and

¹ O selo BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method – Método de Avaliação Ambiental do Estabelecimento de Pesquisa de Edifícios) é considerado como o pioneiro no âmbito das construções sustentáveis. Criado em 1990, no Reino Unido, se tornou o mais conhecido sistema de avaliação de desempenho ambiental (BALDWIN *et al.*, 1998)

² O sistema Alta Qualidade Ambiental (AQUA) é o primeiro sistema brasileiro de certificação ambiental de edifícios para o setor da construção civil. Foi adequado para a realidade brasileira, em 2007, pela Fundação Vanzolini, e tem como base o método francês Haute Qualité Environnementale (HQE®) (AULICINO, 2008).

³ A Caixa Econômica Federal também apresentou, no ano de 2010, uma proposta para estimular a construção sustentável no Brasil. O método de avaliação do sistema proposto, conhecido por “Selo Azul”, pode ser aplicado a todos os tipos de projetos habitacionais financiados ou repassados pela Caixa (JOHN; PRADO, 2010).

Environmental Design (LEED™)⁴ obtiveram uma valorização do aluguel de até 8% por metro quadrado (GBC BRASIL, 2019). Isso deixa evidente o quanto “um sistema de gestão ambiental é importante para que as empresas possam alcançar seus objetivos ambientais e econômicos” (CAMPOS; MATOS; BERTINI, 2015, p.1104).

2.2 Resíduos da construção civil

O setor da construção civil ocupa posição de destaque na economia nacional, devido à significativa parcela do Produto Interno Bruto (PIB) do país, pela qual é responsável e, também, pelo contingente de pessoas que, direta ou indiretamente, emprega (JOHN, 2000).

Os resíduos da construção civil (RCCs) contêm muitos materiais passíveis de reciclagem ou de reutilização. Conforme Kourmpanis *et al.* (2008), a caracterização dos resíduos gerados pela construção civil é importante, pois auxilia na análise e no diagnóstico dos tipos de resíduos gerados no canteiro de obras e na decisão dos métodos e dos equipamentos que podem ser utilizados para reciclagem dos RCCs.

Lima e Lima (2009) enfatizam que a caracterização deve ocorrer durante as fases da obra, para relacionar os tipos de RCCs gerados de acordo com o cronograma, assim, facilitando o planejamento das decisões a serem tomadas.

A geração de resíduos na construção civil pode ocorrer nas diferentes fases do empreendimento. Na fase de construção, a geração está relacionada às perdas nos processos construtivos, onde parte dessas perdas é incorporada nas construções e parte se converte em resíduos. Na fase de manutenção e reformas, a geração de resíduos está relacionada às ações corretivas nas edificações, reformas ou modernizações de parte ou de toda a edificação e do descarte de componentes que atingiram o final de sua vida útil (JOHN; AGOPYAN, 2000).

A classificação dos resíduos consiste na identificação do processo ou

⁴ O desenvolvimento do LEED™ iniciou em 1996, nos Estados Unidos, visando facilitar a transferência de conceitos de construção ambientalmente responsável para profissionais e indústrias de construção americanas (U.S. GREEN BUILDING COUNCIL, 1996).

atividade que lhes deu origem, de seus constituintes e das suas características. A comparação destes constituintes é realizada a partir das listagens de resíduos e das substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004).

Para que um resíduo tenha destino adequado, é necessário que ele seja classificado de acordo com as normas brasileiras. A NBR 10.004 – Classificação de resíduos (ABNT, 2004) classifica os resíduos em três classes: classe I – perigosos; classe II – não-inertes; classe III – inertes. A classificação se baseia na presença de certas substâncias perigosas, relacionadas na norma, e em testes laboratoriais complementares, nos quais vários parâmetros químicos são analisados nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos.

De acordo com a norma NBR 10.004 (ABNT, 2004), os resíduos da construção civil são classificados na classe II b – Inertes, e são definidos como:

Quaisquer resíduos que, quando amostrados de forma representativa, submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme teste de solubilização, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor. Como exemplo destes materiais, podem-se citar rochas, tijolos, vidros e certos plásticos e borrachas que não são decompostos prontamente (ABNT, NBR 10.004, 2004).

De acordo com a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002), os resíduos da construção civil são classificados em: Classe A, B, C e D. Na Classe B constam os resíduos recicláveis para outras destinações como, por exemplo, a madeira compensada e outros tipos de madeiras.

Observa-se assim que, para a gestão dos resíduos gerados, é necessário, primeiramente, a compreensão das diferentes classes de resíduos, para que se possa dar a destinação e ou a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos e dos rejeitos.

2.3 Gerenciamento de Resíduos Sólidos

No Brasil, as primeiras iniciativas para a definição de diretrizes legais relacionadas aos resíduos sólidos surgiram no final da década de 1980. Entretanto, foi na década de 1990 que foram, realmente, registradas as ações relativas à construção da Política Nacional de Resíduos Sólidos (LOPES, 2006).

No âmbito da sociedade civil, a partir da década de 2000, foram estabelecidos diversos debates de caráter nacional, como o Fórum Nacional Lixo e Cidadania. O Fórum Social Mundial também organizou diversos debates, criando em 2003 a Articulação por uma Política Nacional de Resíduos Sólidos (GRIMBERG, 2007).

Em 2002 entrou em vigor a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2002), que estabeleceu os critérios e as diretrizes para procedimentos de gestão de resíduos da construção civil e, em 2010, a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelecendo a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos (BRASIL, 2010).

Araújo *et al.* (2006) enfatizam que esta legislação estabeleceu procedimentos, diretrizes e critérios para a gestão dos resíduos da construção civil, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais, e tornando obrigatória a criação de Planos Integrados de Gerenciamento dos Resíduos nos municípios, incluindo a questão dos resíduos de construção civil e de demolição.

Machado e Prata Filho (1999) salientam que a gestão de resíduos consiste num conjunto de estratégias de níveis técnico, político e administrativo. Tais estratégias são utilizadas no gerenciamento dos resíduos visando a preservação da saúde pública, a proteção e a melhoria da qualidade de vida urbana em quase todo o território brasileiro.

Conforme a Resolução nº 307 do Conama, o gerenciamento de resíduos é um sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar os resíduos, incluindo o planejamento, as responsabilidades, as práticas, os procedimentos e os recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (BRASIL, 2002).

Sanches (2000) identifica os modelos de gerenciamento quanto à

abordagem da questão ambiental pelas empresas. Primeiramente, ela é vista em termos de custos operacionais extras, constituindo, então, um limite à expansão dos negócios ou dos ganhos da empresa. Posteriormente, é vista como uma oportunidade de ganhos, caso em que se enquadram as empresas ambientalmente proativas, cujos mecanismos de desenvolvimento e controle de processos ambientais melhoram a imagem no mercado.

Vale destacar que, diariamente, quantidades significativas de resíduos são produzidas em consequência das atividades humanas. Portanto, é necessário o gerenciamento adequado dos resíduos, de modo que estes sejam eficientemente tratados para que ocorra a redução dos impactos ambientais negativos.

3. Metodologia

O estudo foi realizado em uma empresa do setor da construção civil, localizada no município de São Gabriel, Rio Grande do Sul. A empresa realiza serviços de construção civil (projeto e execução), plano de prevenção e proteção contra incêndios (PPCI), projetos elétricos, laudos técnicos, entre outros.

As estratégias de pesquisas utilizadas neste estudo foram as consultas realizadas em bibliografias científicas especializadas no tema proposto, para auxiliar na fundamentação teórica e o estudo de caso exploratório, com o intuito de obter algumas informações sobre os resíduos gerados pela referida empresa durante as atividades inerentes aos projetos de construção civil.

De acordo com Vergara (2000), o estudo de caso é limitado a uma ou poucas unidades de análise, podendo ser representadas por uma pessoa, uma família, um produto, uma empresa, um órgão público, uma comunidade ou até mesmo um país.

O estudo de caso foi realizado a partir da aplicação de um questionário previamente estruturado, com questões abordando a identificação e a classificação dos resíduos de madeira gerados no canteiro de obras da empresa, a identificação e a classificação das fontes geradoras destes resíduos e sobre a gestão dos mesmos.

Os dados coletados foram analisados e, posteriormente, dispostos na

forma de textos e de quadros constituídos de textos explicativos. Com base em Nascimento (2002), que entende que a escolha e a aplicação dos modos de analisar dados é determinada por três grandes princípios de análise, que são o teórico, o histórico e o temporal, foi utilizado na pesquisa a análise teórica, sendo realizada com base na fundamentação teórica que sustentou o estudo.

4. Resultados e discussão

Nesta seção estão apresentados os resultados e as discussões referentes a gestão dos resíduos de madeira oriundos das obras de uma empresa prestadora de serviços no setor da construção civil.

A empresa é classificada como uma microempresa que atua no setor de construção civil desde o ano de 2003, possuindo no seu quadro laboral 26 colaboradores. Os projetos realizados pela empresa são residenciais, comerciais, industriais, de prevenção contra incêndio, elétricos e de sistema solar fotovoltaico conectado na rede.

Nos projetos da empresa a madeira é utilizada como madeira roliça *in natura*, madeira serrada *in natura*, painéis de madeira compensada, caibros e ripas, conforme pode ser visualizado no Quadro 1.

Quadro 1 - Produtos madeireiros utilizados nos projetos da empresa

Produtos	Caracterização
Madeira roliça <i>in natura</i>	Prozida em unidades industriais, as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente cilíndrica em peças quadrangulares ou retangulares de menor dimensão.
Madeira serrada <i>in natura</i>	É o produto com menor grau de processamento da madeira, sendo este processo realizado nas serrarias. É utilizada em forma de tronco, servindo como estacas, escoramentos, postes e colunas.
Painéis de madeira compensada	Tipo de madeira feito de finas lâminas de madeira maciça. Suas camadas são coladas umas às outras com resina e pressão.
Caibros	Peça de madeira que serve para sustentar as ripas dos telhados ou dos pisos. Nos telhados, os caibros assentam nas cumeeiras, nas terças e nos frechais e no piso ficam apoiados nos barrotes.
Ripas	Peça de madeira fina, estreita e comprida que serve para apoiar as telhas.

Fonte: Dados da pesquisa

Cabe dizer que, na empresa a aplicação da madeira pode variar desde

peças com pouco ou nenhum processamento, podendo ser madeira bruta e roliça ou peças com alto nível de beneficiamento, como lâminas e madeira tratada com preservativos.

Nos projetos de construção civil da empresa a madeira também é utilizada como marcação de obras, fôrmas para estruturas de concreto, confecção de aberturas e confecção de estruturas de coberturas (Quadro 2).

Quadro 2 - Finalidades da madeira utilizada nos projetos da empresa

Finalidades	Caracterização
Marcação de obra	Consiste em medir e assinalar no terreno, o desenho da construção. A marcação é fundamental para localizar as colunas, fundações, valas, construir o alicerce e a primeira fiada de alvenaria.
Fôrmas de estrutura para concreto	Molde provisório que serve para dar ao concreto fresco a geometria e a textura desejada, até que o mesmo atinja a resistência suficiente para autossuportar os esforços.
Confecção de aberturas	Todo e qualquer "rasgo" na construção, seja para dar lugar a portas ou janelas, seja para criar frestas ou vãos.
Confecção de coberturas de estruturas	Seja em madeira, metal ou concreto, o material usado na estrutura serve para sustentação da cobertura de determinados projetos de construção.

Fonte: Dados da pesquisa

A madeira é um dos principais constituintes presentes na estrutura e na sustentação das edificações, estando presente em quase todas as etapas das obras de construção civil. Por sua versatilidade de aplicação, a madeira pode ser utilizada tanto na parte interna quanto na parte externa da construção.

Por ser um material essencial nos projetos de construção, devido à variedade de produtos oriundos da madeira e das suas respectivas utilizações, a escolha de determinado produto madeireiro dependerá da finalidade de sua utilização. Assim, é necessário que sejam avaliados e prognosticados com eficiência o ciclo de vida e o desempenho das estruturas em madeira.

Almeida *et al.* (2021) enfatizam que a madeira pode ter diferentes finalidades nos projetos construtivos, seja de modo temporário (em escoramentos, formas para concreto, andaimes) ou definitivo (em vigas, caibros, terças, pilares, mobiliário, fundações, forros, pisos, entre outros).

É importante destacar, de acordo com Souza (2016), que na sua utilização, a madeira deve ter o consumo máximo do material no projeto,

visando minimizar os cortes e aproveitar as sobras em outras atividades na obra.

Dentre os resíduos gerados na construção civil estão os de madeira que, segundo a NBR 10004, são classificados como “Resíduos da Classe B”, que são os recicláveis para outras destinações (ABNT, 2004). No Quadro 3 estão apresentados os tipos de resíduos gerados nos projetos de construção civil da empresa investigada.

Quadro 3 – Tipos de resíduos de madeira gerados na empresa.

Resíduos	Caracterização
Cavacos	São fragmentos de madeira produzidos pelas sobras de madeiras nas serrarias, sendo aproveitados os pedaços pequenos, as madeiras tortas, as lascas, as costaneiras e outras peças.
Serragens	Trata-se de resíduos de madeira quando esta foi serrada, sendo dividida em partes menores. Normalmente, o excedente das peças é serrado. A serragem é constituída por pequenas lascas ou pó de madeira que ficam acumulados na zona de trabalho.
Construção e Demolição	Refere-se as madeiras nobres de lei como o ipê, o jacarandá, o carvalho, entre outras, que são reaproveitadas das obras e demolições. Algumas das peças são antigas, mas que podem ser utilizadas em projetos novos, porém, com aspecto e uso totalmente diferentes dos originais.

Fonte: Dados da pesquisa

O responsável pela empresa comentou que teve um ano em que foram utilizados, aproximadamente, 25 m³ dessa matéria-prima. Outro dado apontado foi que, em relação ao produto inicial, a porcentagem de resíduos de madeira gerados ao final do projeto foi, em torno de 8%, sendo que a principal causa de geração de resíduos madeireiros em obras provém da utilização da madeira em formas de concreto.

Quando perguntado ao proprietário da empresa sua opinião sobre a importância do reaproveitamento de resíduos, considerando uma escala de 0 - 10, foi respondido que sim, tendo a valorização da resposta como 8.

De acordo com a resposta, a empresa considera importante o reaproveitamento de resíduos pelo fato deste diminuir o custo da obra, pois, muitas vezes, este custo não está no resíduo em si; mas nos custos diretos de transporte e confecção de alguns tipos de madeira necessários no canteiro de obras, que se buscados em outro lugar teriam um custo maior. Também foi considerada a proteção ao meio ambiente, pois a empresa, além de possuir uma cultura voltada à preservação do meio ambiente, por

utilizar madeiras de reflorestamentos, também trabalha com energia solar.

Na geração é muito importante identificar a fonte geradora dos resíduos, pois tal ação possibilita determinar o local mais adequado para o armazenamento destes resíduos, definir a periodicidade ideal para a coleta dos mesmos, o que contribui com organização do local e reduz o risco de acidentes. Ademais, o mapeamento correto da fonte geradora de resíduos é considerado uma ferramenta importante na redução de custos do processo produtivo, por possibilitar quais fontes desperdiçam mais matéria-prima e quais alternativas devem ser adotadas para reduzir a geração de resíduos.

O Quadro 4 apresenta as fontes geradoras de resíduos de madeira nos projetos de construção civil da empresa, sendo a serra circular a maior fonte geradora de resíduos de madeira no canteiro de obras da empresa.

Quadro 4 – Caracterização das fontes geradoras de resíduos nos projetos

Fontes	Caracterização
Serra manual	Ferramenta utilizada para cortar madeira, metal, pedra, entre outros materiais.
Serra circular	Equipamento elétrico que possui um disco ou lâmina de metal que é usado para cortar madeira ou outros materiais como o acrílico.
Plaina	Ferramenta manual utilizada para aplainar, desbastar e alisar a madeira.
Lixadeira	Equipamento elétrico utilizado para lixar e polir a madeira.
Furadeira	Equipamento elétrico utilizado para perfurar a madeira, o metal, a pedra, entre outros materiais.

Fonte: Dados da pesquisa

Entende-se, conforme Costa e Formoso (1998), que na indústria da construção civil alguns fatores contribuem negativamente para o aumento no volume de resíduos gerados, dentre os quais a inserção de máquinas em pequena escala, o patamar tecnológico ou à técnica construtiva adotada pela empresa, o uso de trabalho manual como base da atividade produtiva e a organização do trabalho em torno de especializações.

Ademais, as perdas de resíduos que tendem causar desperdícios de materiais estão diretamente relacionadas ao gerenciamento inadequado das obras, ao manuseio inadequado dos equipamentos e a utilização dos materiais em quantidades superiores as necessárias (PUCCI, 2006).

5. Gestão dos resíduos de madeira gerados nos projetos da empresa

Segundo informações obtidas na pesquisa, a empresa possui um Sistema de Gerenciamento de Resíduos no canteiro de obras, no entanto, tem interesse em integrar um plano de gerenciamento de resíduos de madeira, uma vez que boa parte dos resíduos são originados na marcenaria de uso da empresa e não na obra.

Isso é muito importante, pois a Resolução nº 307 do CONAMA estabelece que o gerenciamento de resíduos consiste num sistema de gestão que tem como finalidade a redução, a reutilização ou a reciclagem dos resíduos, incluindo o planejamento, as responsabilidades, as práticas, os procedimentos e os recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos (BRASIL, 2002).

No canteiro de obra, o descarte de resíduo madeireiro é separado por tipo e tamanho, ou seja, as escoras e ripas de até 50 cm, as tábuas para pontaletes e as tábuas de pinus das tábuas de eucalipto.

Na coleta e no transporte dos resíduos no canteiro de obras não há a necessidade de recipientes para armazenagem de escoras, ripas e tábuas, pois os resíduos gerados não possuem tamanho para carga. Por outro lado, os resíduos de menor tamanho são a serragem e o cavaco de madeira proveniente de cortes, nos quais são armazenados em recipientes separados.

A destinação final de todo o resíduo de madeira gerado no canteiro de obras consiste na reutilização em outras obras da própria empresa ou uso como lenha domiciliar. Isso está de acordo com alguns objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), tais como:

- não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;
- incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e recicla-

dos;

- incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético.

A reciclagem, em diversos estudos, é citada como uma alternativa para a redução da quantidade de resíduos dispostos nos aterros, além de ser uma proposta sustentável para a destinação dos RCCs (JOHN, 2000; CARNEIRO; CASSA; BRUM, 2011). Apesar das citações com relação à estas práticas, as iniciativas públicas e privadas na adoção das mesmas precisam ser sempre valorizadas, visto que atendem aos princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), que são:

- o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico;
- o desenvolvimento sustentável.

6. Considerações finais

De acordo com as informações obtidas neste estudo, foi possível constatar que a empresa possui um sistema de gestão de resíduos nos canteiros de obras, podendo ser considerada uma alternativa geradora de lucros devido a destinação ambientalmente adequada que é dada aos resíduos gerados.

No geral, tratando-se de uma quantidade elevada de resíduos gerados em obras de construção civil, diversas são as alternativas que podem ser adotadas para proporcionar um manejo melhor dos resíduos, minimizar os impactos ambientais, realizar uma correta destinação e reutilização dos mesmos. Neste sentido, é possível obter maior rentabilidade nos serviços realizados, bem como tornar o setor da construção civil mais sustentável, uma vez que estes resíduos deixam de ser “jogados no lixo”.

A identificação dos resíduos nos canteiros de obras permite o correto manejo dos materiais com potencial para reutilização, diminuindo os

custos por dispensar a aquisição de novos materiais, além de evitar custos desnecessários para remoção destes resíduos.

Neste sentido, foi possível concluir que a empresa está gerenciando adequadamente os resíduos nos seus canteiros de obras, estando, portanto, em conformidade com a legislação e as normas vigentes. Sendo assim, a mesma possui uma significativa parcela de contribuição para a preservação ambiental, devido a construção civil se tratar de um setor que necessita contribuir com mudanças na maneira como são explorados e utilizados os recursos naturais, com a aplicação de um gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, visando, assim, contribuir para com o desenvolvimento sustentável.

Referências

ALENCAR, L. H., SANTANA, M. H. Análise do Gerenciamento de Múltiplos Projetos na Construção Civil. **Revista de Gestão e Projetos**, v. 1, p. 74 – 92, 2010.

ALMEIDA, D. C.; MACEDO, L. C.; MELO, M. F. O.; WAGNER, V. S.; BRAATZ, L. B. M.; SILVA, W. Uso da madeira como material construtivo. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Aplicadas FAIT**, dez. 2021. Disponível em: http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/7YgW0SdwBtcCtTz_2022-11-15-13-50-22.pdf. Acesso em: 10 de set. 2020.

ARAÚJO, N. M. C.; NÓBREGA, C. C.; MEIRA, A. R.; MEIRA, G. R. Gestão para os resíduos de construção e demolição (RCDs): uma proposta para a grande João Pessoa (Paraíba – Brasil). In: SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, XII SILUBESA, 2006, **Anais** eletrônicos... Figueira da Foz: APRH, 2006. Disponível em: <http://jararaca.ufsm.br/websites/ces/download/S2-3.PDF>. Acesso em: 10 de set/2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004 resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, Brasil, 2004. disponível em: <https://www.segurancadotrabalhoacz.com.br/nbr-10004-cla>

[sificacao-dos-residuos-solidos/](#). Acesso em: 09 de ago. 2020.

AULICINO, P. **Análise de métodos de avaliação de sustentabilidade do ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção de Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008.

BALDWIN, R.; YATES, A.; HOWARD, N.; RAO, S. **BREEAM 98 for offices: an environmental assessment method for office buildings**. Garston: Construction Research Communications, 1998.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução Conama 307**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 23 mai. de 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 2010.

BREEAM. **BREEAM International New Construction 2016 – Technical Manual**. 2016. Disponível em: <<https://hbreavis.com/wp-content/uploads/2017/06/BREEAM-International-New-Construction-2016.pdf>> Acesso em: 21 set. de 2020.

CAMPOS, V. R.; MATOS, N. S.; BERTINI, A. A. Sustentabilidade e gestão ambiental na construção civil: análise dos sistemas de certificação LEED e ISSO 14001. **Revista Eletrônica Gestão & Saúde**. Brasil. v. 6, n. 2, p. 1104-1118, abr. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/rgs/article/view/2876>>. Acesso em: 22 ago. 2020.

CARNEIRO, A. P.; CASSA, J. C. S.; BRUM, I. A. S. **Reciclagem de entulho para a produção de materiais de construção: projeto entulho bom**. Salvador: EDUFBA: Caixa Econômica Federal, 2011.

COSTA, A.L.; FORMOSO, C.T. Perdas na construção civil: uma proposta conceitual e ferramentas para prevenção. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7º, 1998, **Anais** eletrônicos... Florianópolis: ANTAC, 1998, v. 2, p. 1-7.

ELKINGTON, J. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business strategies for sustainable development. **California Management Review**, v. 36, n. 2, 90-100. 1994. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2307/41165746>>. Acesso em: 10 de out. 2020.

GBC BRASIL. Anuário GBC BRASIL 2019. 2019. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/anuario-gbc-brasil-2019/>. Acesso em: 20 de ago. 2020

GRIMBERG, E. **Política Nacional de Resíduos Sólidos: o desafio continua.** Instituto Pólis: São Paulo, out. 2007. Disponível em: <http://www.polis.org.br/uploads/571/571.pdf>. Acesso em: 09 de ago/2020.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. Reciclagem de resíduos da construção. 2000, **Anais...** 2000. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente / Cetesb, 2000. Disponível em: www.reciclagem.pcc.usp.br. Acesso em: 10 set. 2020.

JOHN, V.M. **Reciclagem de Resíduos na Construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento.** São Paulo, 2000. 102p. Tese (livro docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. **Boas Práticas Para Habitação Mais Sustentável: Selo Azul da Caixa.** São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

KOURMPANIS B. *et al.* An integrated approach for the management of demolition waste in Cyprus. **Waste Management & Research**, n.26, p.573-581, 2008.

LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. **Guia para elaboração de projeto de gerenciamento de resíduos da construção civil.** Série de Publicações Temáticas do Crea-PR. Curitiba: Crea, 58p. 2009.

LOPES, L. **Gestão e gerenciamento integrado de resíduos sólidos: alternativa para pequenos municípios.** 2006. 113 f. Dissertação (Mestrado) – São Paulo: Programa de Pós-graduação em Geografia Humana, USP. São Paulo.

MACHADO, A. V. M.; PRATA FILHO, D. A. Gestão de resíduos

sólidos em Niterói/RJ. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20, 1999, **Anais** eletrônicos... Rio de Janeiro, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999. p.2055-2080.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Dinâmica populacional, urbanização e meio ambiente: Subsídios para a Rio+20**. Brasília, 2014.

NASCIMENTO, D. M. **Metodologia do trabalho científico**: teoria e prática. Rio de Janeiro: Forense, 2002.

PINTO, J. S.; OLIVEIRA, A. C.; COSTA, H. S.; VILHENA, J. P. Análise de viabilidade econômica de um imóvel na cidade de Macapá (AP) através do programa habitacional minha casa minha vida. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXXV, 2015, **Anais** eletrônicos... Fortaleza, ABEPRO, 2015. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_208_233_28298.pdf. Acesso em: 20 de set. 2020.

PUCCI, R.B. **Logística de resíduos da construção civil atendendo à Resolução CONAMA 307/2002**. Dissertação (Mestrado). 2006. 137p. Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2006.

SANCHES, C. S. Gestão ambiental proativa. **Revista de Administração de Empresas (RAE)**, v. 40, n. 1, p. 7687, 2000.

SANTO, J. O. *et al.* Resíduos da indústria da construção civil e o seu processo de reciclagem para minimização dos impactos ambientais. Cadernos de Graduação - **Ciências exatas e tecnológicas**, Maceió, v. 1, n.1, p. 73-84, maio 2014.

SOUZA, A. C. **Gerenciamento de Resíduos na Construção Civil**. 2016. 50f. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

U.S. Green Building Council. (1996). **LEED Leadership in Energy and Environmental Design – Environmental building rating system criteria**. San Francisco: USGBC, April 1996. (Third Ballot Draft, Appendix 1: Scoring Statements & Related Information for Sub-Criterion).

VAZQUEZ, E. Aplicación de nuevos materiales reciclados en la cons-

trucción civil. *In*: SEMINÁRIO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 4, 2001, **Anais** eletrônicos... São Paulo: IBRACON. 2001.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2000. p. 92.

Capítulo 7 - Aplicação de Práticas Sustentáveis: projetos executados por empresas de administração de obras

Isadora de Oliveira Leão*

Fladimir Fernandes dos Santos**

Nirlene Fernandes Cechin***

Resumo

Este capítulo traz os resultados de uma pesquisa que buscou verificar se as obras realizadas por engenheiros de empresas de administração de obras, apresentaram projetos de execução que empregavam práticas sustentáveis. Para isso, foi aplicado um questionário que teve como base as diretrizes estabelecidas nos métodos de certificações ambientais para edificações. O questionário foi aplicado a engenheiros civis de duas empresas de médio porte situadas em Brasília, Distrito Federal. Foi possível verificar que algumas práticas já estão sendo aplicadas, tanto pelas empresas responsáveis pelos projetos executivos quanto pelas responsáveis pela execução dos mesmos, tais como: estratégias de paisagismo, conforto térmico, disposições arquitetônicas elaboradas para melhor aproveitamento térmico, utilização de iluminação natural, sistemas de aquecimento solar, fontes alternativas de energia, aproveitamento de águas pluviais, além de algumas práticas referentes à qualidade urbana e uso de materiais.

Palavras-Chave: construção civil, edificações sustentáveis, métodos de avaliação ambiental, selos verdes.

* Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: isadoraleao.engdesign@gmail.com

** Dr. em Engenharia e Gestão do Conhecimento, Professor Associado da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus Alegrete. E-mail: fladimirsantos@unipampa.edu.br

*** Dra. em Engenharia Florestal, Professora Associada da Universidade Federal do Pampa – UNIPAMPA, Campus São Gabriel. E-mail: nirlenecechin@unipampa.edu.br

1. Introdução

A cadeia produtiva da construção civil tem desempenhado um papel importante no desenvolvimento do país, ainda mais ao observar a preocupação ambiental dos seus consumidores. Além disso, ainda há o interesse por parte das empresas em sustentar uma imagem corporativa que seja considerada positiva, por meio de ações que evidenciem a sua responsabilidade ambiental e social.

As boas práticas de atividades da construção civil, promovidas pelas certificações ambientais, podem contribuir com o cumprimento de dezesseis, das 169 metas propostas no documento “Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, organizado pelo Fórum Político de Alto Nível da Organização das Nações Unidas – ONU (FISHER, 2018).

Para tal propósito, torna-se necessária a promoção do desenvolvimento sustentável, atingindo os diversos âmbitos da sustentabilidade, de forma multidisciplinar no setor. Isto, exige mudanças na concepção de uma edificação, envolvendo todas as fases do ciclo de vida do empreendimento: proprietários, projetistas, fornecedores de materiais, operários, usuários, todos com papel fundamental neste processo.

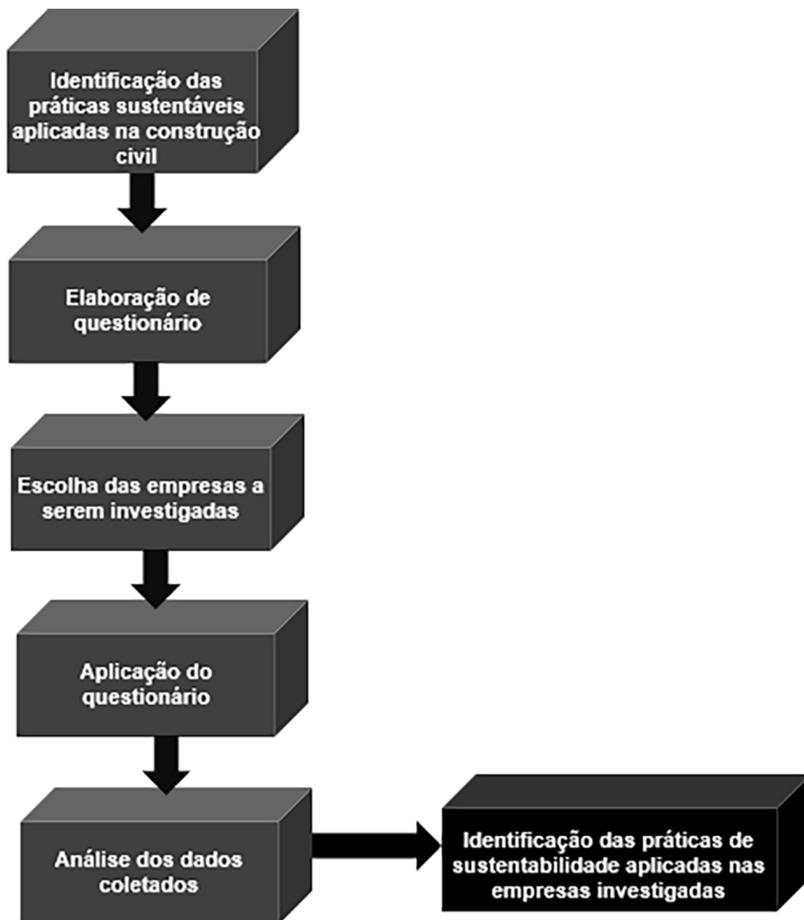
A proposta desta pesquisa envolve mostrar se as obras realizadas, por engenheiros de empresas de administração de obras, apresentaram projetos de execução que empregavam práticas sustentáveis. Para tal, se fez necessário o conhecimento dos princípios e ações que promovem uma construção sustentável.

Cabe destacar que a pesquisa realizada se baseou em diretrizes amplamente difundidas pelos métodos de avaliação e certificação de edificações sustentáveis, conhecidos como selos verdes, nas quais ainda demandam estudos que demonstrem a adoção efetiva de tais práticas.

2. Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos utilizados estão organizados conforme as etapas evidenciadas na Figura 1.

Figura 1 – Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Elaboração própria

A primeira etapa consistiu na identificação das práticas sustentáveis utilizadas pelas empresas de construção civil. Para a base do conhecimento das práticas consideradas sustentáveis valeu-se das diretrizes propostas pelos métodos de avaliação e certificação. Com base no exposto, foi possível partir para a próxima etapa e elaborar um questionário com perguntas fechadas (Quadro 1), composto por oito categorias e trinta itens relacionados as práticas de sustentabilidade aplicadas.

A etapa supracitada abrangeu a adaptação do questionário aplicado por Sehen (2015), assim como as certificações *Haute Qualité Environ-*

mentale (HQE®)¹, *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM)², *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEEDTM)³ e Selo Azul da Caixa⁴.

As próximas etapas da pesquisa consistiram na aplicação do questionário e análise dos resultados. Cabe dizer que a amostra estudada nesta pesquisa é composta de empresas de administração de obras e construção civil de edificações, situadas em Brasília, Distrito Federal. De forma a preservar o anonimato das empresas, optou-se por caracterizá-las em Obras A, B, C, D, E, F, G e H.

A classificação de porte das empresas utilizou a base criada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 2020) conforme a Receita Operacional Bruta (ROB) Anual da empresa, sendo todas as empresas definidas como de porte médio, com receita operacional bruta anual maior que R\$ 4,8 milhões e menor ou igual a R\$ 300 milhões.

A aplicação do questionário serviu como instrumento exploratório e contribuiu para verificar o comportamento das obras com relação a responsabilidade ambiental, econômica e social, proporcionando identificar quais as práticas de sustentabilidade as empresas utilizaram, como também, correlacionar os resultados obtidos com estudos que abordaram a aplicação de práticas sustentáveis adotadas por empresas da construção civil.

¹ A metodologia francesa de avaliação de desempenho para projeto sustentável Demarché HQE® (Haute Qualité Environnementale) foi adaptada no Brasil pela fundação Vanzolini, em 2007, e resultou na certificação Alta Qualidade Ambiental (AQUA) (SALGADO; CHATELET; FERNANDEZ, 2012).

² O selo BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method – Método de Avaliação Ambiental do Estabelecimento de Pesquisa de Edifícios), criado em 1990, no Reino Unido, foi o pioneiro no âmbito das construções sustentáveis e se tornou o mais conhecido sistema de avaliação de desempenho ambiental (BALDWIN et al., 1998).

³ O LEEDTM (Leadership in Energy and Environmental Design), criado em 1999, nos Estados Unidos, pela United States Green Building Council (USGBC), chegou no Brasil em 2007 (GBC BRASIL, 2019).

⁴ No ano de 2010 a Caixa Econômica Federal apresentou o Selo Azul, o qual pode ser aplicado a todos os tipos de projetos habitacionais financiados ou repassados pela Caixa, sendo uma proposta para estimular a construção sustentável no Brasil (JOHN; PRADO, 2010).

Quadro 1 – Questionário aplicado

PRÁTICA SUSTENTÁVEL AVALIADA	Utiliza	Raramente utiliza	Não utiliza
1. Saúde e conforto			
Paisagismo – Estratégias de Verão			
Paisagismo – Estratégias de Inverno			
Flexibilidade de projeto			
Local para Coleta Seletiva			
2. Eficiência energética			
Desempenho Térmico - Aberturas			
Desempenho Térmico - Vedações			
Desempenho Térmico – Disposição Arquitetônica			
Iluminação Natural de Áreas Comuns e Banheiros			
Dispositivos Economizadores			
Sistema de Aquecimento Solar			
Fontes de Alternativas de Energia			
3. Uso da água			
Medição Individualizada			
Dispositivos Hidroeconômicos			
Aproveitamento de Águas Pluviais			
Infiltração de Águas Pluviais			
Áreas Permeáveis			
4. Uso de materiais			
Coordenação Modular			
Qualidade dos Materiais			
Componentes Industrializados/Pré-fabricados			
Fôrmas e Escoras Reutilizáveis			
Pavimentação com RCD			
5. Uso do solo			
Adequação às Condições Físicas do Terreno			
6. Qualidade urbana			
Qualidade do Entorno			
Melhorias no Entorno			
Disponibilidade de Áreas Livres			
Disponibilidade de Serviços Básicos			
7. Poluição			
Gestão de RCD			
Soluções Alternativas de Transporte			
8. Práticas sociais			
Inclusão de Trabalhadores Locais			
Capacitação Profissional dos Empregados			

Fonte: Adaptado de Sehen (2015)⁵

A aplicação do questionário, com os engenheiros civis das empresas, foi feita de forma eletrônica, sendo o mesmo respondido pelo responsável

⁵ Informações sobre as práticas sustentáveis podem ser encontradas em: BRASIL (2002); U.S. Green Building Council (2009); John e Prado (2010); FCAV e CERQUAL (2013); Sehen (2015); Santos *et al.* (2019); Santos *et al.* (2020); SGBC e BRE Global (2023).

técnico da área de gerenciamento e execução de obras.

O processo de análise de dados foi realizado com auxílio de planilhas do *software* Excel, sendo que a análise destes foi apresentada em forma de gráficos. Vale ressaltar que a presente pesquisa possui um caráter descritivo e que, na sua última etapa, buscou identificar a utilização de práticas sustentáveis nas empresas da construção civil que foram investigadas.

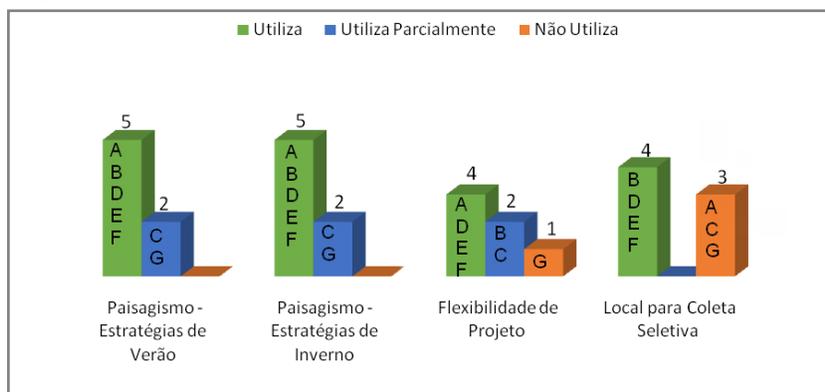
3. Resultados e discussão

A realização da pesquisa foi viabilizada pela aplicação do questionário com trinta perguntas fechadas referentes a oito categorias de práticas de sustentabilidade no setor da construção civil. O questionário foi aplicado em duas empresas situadas em Brasília – Distrito Federal, onde, sete engenheiros civis responderam pelas obras que os mesmos são responsáveis. Os resultados obtidos no estudo estão demonstrados na sequência.

3.1 Saúde e Conforto

A categoria tem como abordagem a preocupação com o ambiente interno e externo das edificações visando proporcionar, de forma sustentável, conforto e qualidade de vida aos seus ocupantes. O Gráfico 1 representa a situação das obras analisadas quanto às subcategorias referentes à saúde e conforto.

Gráfico 1 – Análises das obras referente à categoria saúde e conforto



Fonte: Elaboração Própria

Observa-se, no Gráfico 1, que a maioria das obras utilizam as práticas de paisagismo, tanto as estratégias de verão quanto as de inverno, e que apenas duas obras demonstraram utilizar de ambas as estratégias de forma parcial.

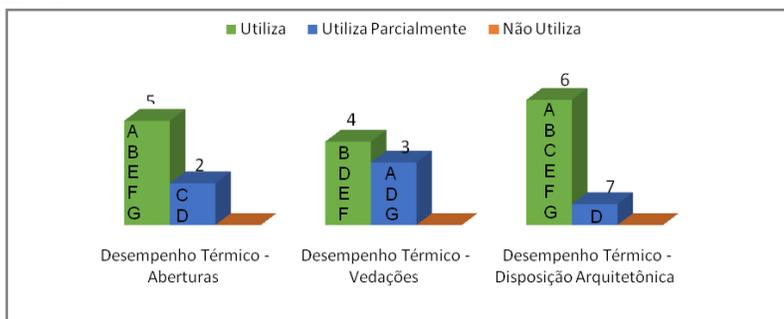
Na análise de flexibilidade do projeto arquitetônico, quatro obras relataram possuir projetos com *layout* passível de alterações futuras, enquanto duas obras responderam pela situação parcial da prática e uma demonstrou não possuir um projeto flexível. Por último, na categoria de saúde e conforto, verificou-se a existência de um espaço para depósito e triagem de resíduos. Nessa questão, quatro obras responderam obter um local para coleta seletiva, enquanto três assumiram não possuir do mesmo.

Tanto os resultados positivos em relação à aplicação de prática de paisagismo no empreendimento quanto a necessidade de melhorias no planejamento das edificações, como práticas relacionadas ao planejamento dos empreendimentos gerando flexibilidade nos projetos e presença de coleta seletiva corroboram o pesquisado por Santos *et al.* (2020).

3.2 Eficiência Energética

A categoria averigua se o conforto higrotérmico dos usuários nas edificações é proporcionado por meio de fontes alternativas de energia e estratégias sustentáveis. O Gráfico 2 demonstra as respostas relacionadas aos quesitos de desempenho térmico.

Gráfico 2 – Análise das obras referente aos requisitos de desempenho térmico da categoria de eficiência energética

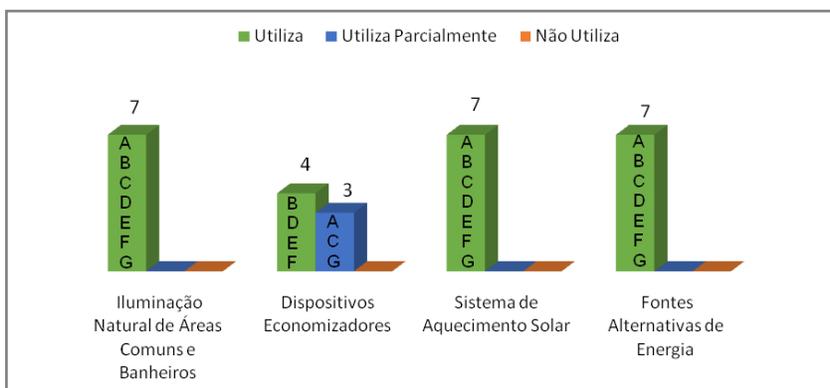


Fonte: Elaboração Própria

Fica evidente, no Gráfico 2, que todas as alternativas de desempenho térmico presentes na categoria são utilizadas nas obras, de forma total ou parcial. Das práticas analisadas, a mais empregada é a que se refere à disposição arquitetônica, na qual apenas a obra D utiliza parcialmente dessa prática. Já o restante das obras possui uma concepção arquitetônica que se beneficia ao máximo de radiação solar e ventilação natural para proporcionar conforto térmico nos empreendimentos.

Complementando a análise da categoria de eficiência energética, está apresentado o Gráfico 3.

Gráfico 3 – Análise das obras referente à categoria de eficiência energética



Fonte: Elaboração Própria

Como pode ser observado, no Gráfico 3, todas as amostras estudadas demonstraram utilizar das práticas abordadas. A adesão das práticas de forma integral é exercida pelos sete componentes da amostra nos requisitos de iluminação natural de áreas comuns e banheiros, na utilização de sistema de aquecimento solar e de outras fontes alternativas de energia (painéis fotovoltaicos, gerador eólico, entre outros).

A única prática que recebeu respostas de utilização parcial foi a referente ao emprego de dispositivos economizadores no estabelecimento, sendo que três obras demonstraram utilizar parcialmente dessa prática, enquanto o restante da amostra utiliza da mesma em sua totalidade.

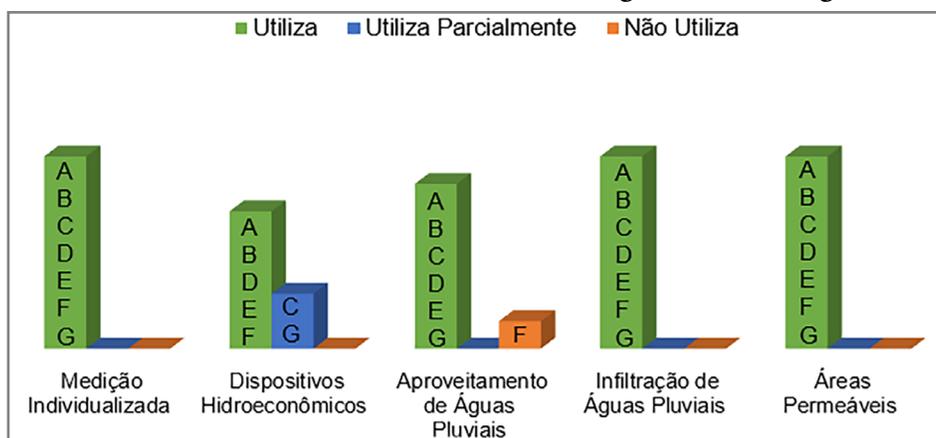
Os resultados se dão de forma contrária ao exposto pela pesquisa de

Aulicino (2008), na qual o autor constatou um baixo índice de incorporação de medidas de utilização de fontes de energia renovável.

3.3 Uso da Água

A categoria aborda critérios de verificação quanto às estratégias de consumo de água projetadas e executadas para as edificações, de modo que elas possibilitem um consumo hídrico consciente. O Gráfico 4 exibe as respostas obtidas referente às questões de uso da água nas edificações.

Gráfico 4 – Análise das obras referente à categoria de uso da água



Fonte: Elaboração Própria

O Gráfico 4 compila os resultados de forma que é possível observar a utilização de medição individualizada, infiltração de águas pluviais e existência de áreas permeáveis presente em todas as obras investigadas.

Já no quesito de aproveitamento de águas pluviais, dentre as sete obras analisadas, seis demonstraram utilizar dessas práticas. Por fim, a utilização de dispositivos hidroeconômicos é presente em todas as obras, porém, em duas delas se apresenta de forma parcial.

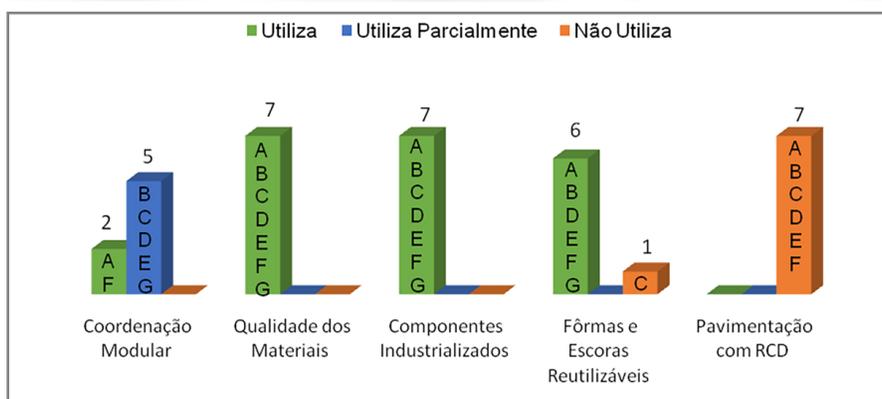
Assim como a aderência por dispositivos de energia renovável, a aderência por alternativas de aproveitamento de águas pluviais se diferencia do exposto nas pesquisas de Aulicino (2008), onde apresenta baixa adesão pelas mesmas. Vale ressaltar que na pesquisa do supracitado autor, a

análise contemplou conjuntos habitacionais de interesse social brasileiros, sendo constado baixo consumo hídrico e elétrico. Este fato difere muito da realidade da amostra da presente pesquisa, na qual compreende residências de alto padrão, com alta demanda de consumo hídrico e elétrico, bem como alta capacidade financeira para adquirir equipamentos.

3.4 Uso de Materiais

A presente categoria busca refletir se as obras utilizam, em diversas etapas da construção, a aplicação adequada e racional dos materiais necessários, por meio da análise da escolha, dos mesmos em diversos processos da obra. O Gráfico 5 apresenta a análise das práticas da categoria.

Gráfico 5 – Análise das obras referente ao uso de materiais



Fonte: Elaboração Própria

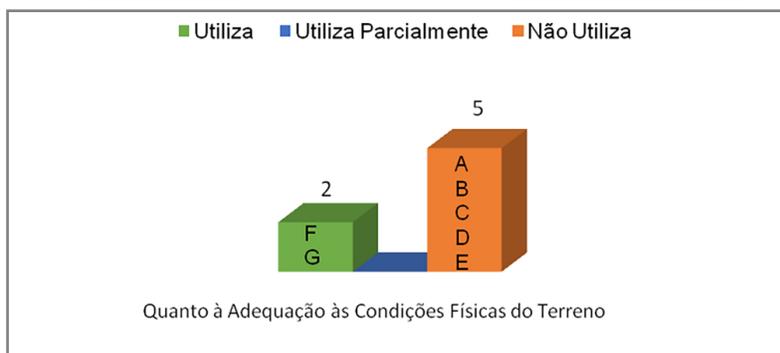
O Gráfico 5 aponta que todas as obras utilizam materiais de qualidade certificada e adequados ao uso, e que as mesmas também prezam pela utilização de materiais industrializados ao invés de fabricá-los in loco.

Em contrapartida, todas as obras responderam não utilizar resíduos da construção para pavimentação. Em relação a utilização de coordenação modular no projeto, duas obras possuem essa prática e o restante demonstrou utilizar dela parcialmente.

3.5 Uso do Solo

A categoria de uso do solo conta com apenas uma subcategoria, que aborda se a implantação da edificação é projetada e executada de modo a diminuir a movimentação de terra e deterioração da vegetação do terreno. O Gráfico 6 elucida as respostas obtidas.

Gráfico 6 – Análise das obras referente ao uso do solo

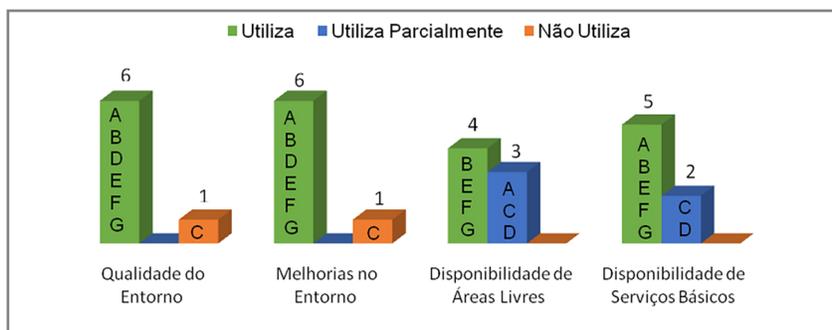


Fonte: Elaboração Própria

Pelo Gráfico 6 é possível constatar que duas obras utilizaram das declividades do terreno de forma correta, enquanto o restante das obras analisadas demonstrou não utilizar dessa prática.

3.6 Qualidade Urbana

A categoria de qualidade urbana aborda práticas relacionadas ao entorno da edificação, como a análise da qualidade e melhorias do mesmo e a presença de áreas livres e serviços básicos próximos ao empreendimento. O Gráfico 7 (página seguinte) expressa a situação do entorno das obras analisadas.

Gráfico 7 – Análise das obras referente à qualidade urbana

Fonte: Elaboração Própria

Com a análise global da amostra em estudo é possível verificar que, em sua maioria, a qualidade urbana é prezada no entorno das obras. A prática referente a qualidade do entorno, que analisa, por exemplo, a inexistência de ruídos, odores e poluições excessivas, juntamente à categoria que interroga sobre ações positivas no entorno, demonstraram ser as mais aplicadas em sua totalidade nas obras estudadas, sendo que somente uma obra demonstrou não possuir ambas as questões em análise no seu entorno.

Por fim, as práticas referentes à disponibilidade de áreas livres e de serviços básicos próximos aos empreendimentos são utilizadas em todas as amostras estudadas, no entanto, em algumas, de forma parcial.

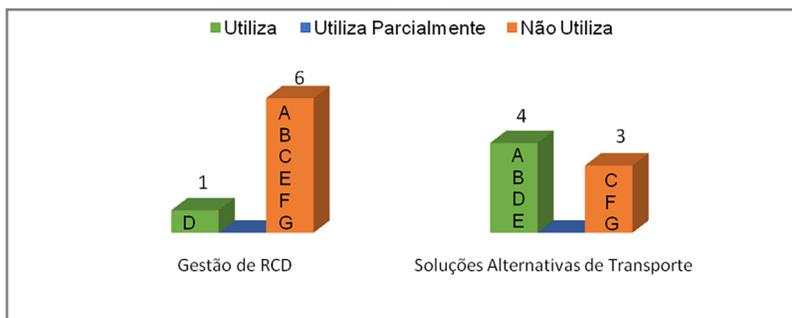
Todas as obras analisadas possuem caráter de edificação residencial, portanto não se trata de empreendimentos de grande porte no quesito de número de funcionários e futuros moradores. Comparados a um empreendimento de grande porte, como uma edificação predial ou um condomínio, as amostras estudadas possuem pouca influência de mudança no seu entorno.

3.7 Poluição

A presente prática diz respeito a utilização de estratégias de diminuição da poluição por meio da redução do uso de automóveis e do manejo

adequado dos resíduos gerados no canteiro de obras. O Gráfico 8 apresenta os resultados gerais referente a categoria de poluição.

Gráfico 8 – Análise das obras referente à poluição

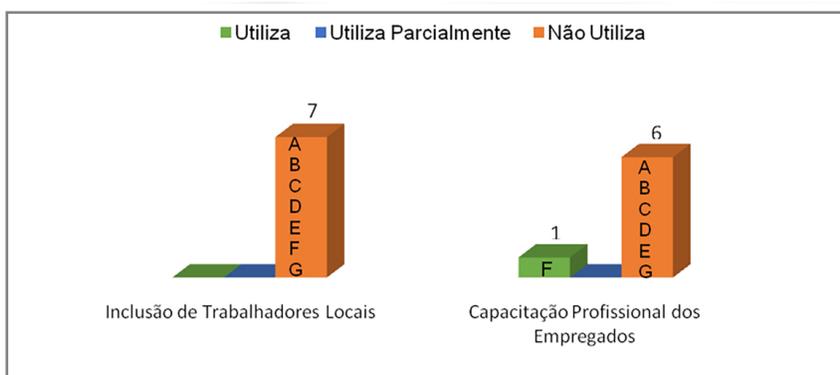


Fonte: Elaboração Própria

Os resultados apresentados no Gráfico 8 permitem observar que a maioria das obras não possuem um Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, tendo apenas uma resposta positiva quanto a esse quesito. No que se refere às soluções alternativas de transporte, quatro obras possuem ao menos um ponto de transporte coletivo distante, ao máximo, 600m da entrada do empreendimento, enquanto três obras não possuem dessa alternativa.

3.8 Práticas Sociais

A categoria de práticas sociais diz respeito a ações positivas relacionadas à comunidade presente no entorno do empreendimento e aos colaboradores durante a concepção do mesmo. No Gráfico 9 (página seguinte) é possível observar os resultados das amostras quanto às práticas sociais.

Gráfico 9 – Análise das obras referente às práticas sociais

Fonte: Elaboração Própria

Pelos resultados apresentados no Gráfico 9 é possível constatar a baixa adesão das práticas sociais analisadas. Não há inclusão de moradores locais durante a construção ou manutenção do empreendimento por nenhuma das obras analisadas. No que se refere às ações de capacitação profissional dos colaboradores da construção do empreendimento, apenas uma obra respondeu pela adesão da prática.

Fica evidente o contraste dos resultados com o obtido por Aulicino (2008), na qual o autor constatou a adesão de moradores locais como colaboradores na construção do empreendimento como uma das principais práticas aplicadas.

No entanto, vale ressaltar que todas as obras estudadas se encontram na área mais nobre de Brasília. Este fato pode ser o responsável pela baixa inclusão de trabalhadores locais nos empreendimentos.

4. Considerações finais

Para esta pesquisa foi estabelecido como objetivo geral verificar se as obras realizadas, por engenheiros de empresas de administração de obras, apresentaram projetos de execução que empregavam práticas sustentáveis.

Destaca-se que a realização da revisão bibliográfica proporcionou identificar os principais critérios de sustentabilidade avaliados pelas certificações e estabelecer um quadro com as principais práticas sustentáveis

aplicadas na construção civil.

Na pesquisa ficou evidente que a literatura evidencia que uma construção é sustentável quando consegue manter uma harmonia com o ambiente onde a mesma está inserida, diminuindo o impacto ambiental em todas as fases de sua vida útil, além de estimular a igualdade econômica e social. Pode-se ainda notar que os principais selos de certificação ambiental aplicados nacionalmente são BREEAM, LEEDTM, AQUA e CASA AZUL, sendo estes os abordados nesta pesquisa para elaboração das categorias e subcategorias analisadas.

Ademais, as principais práticas sustentáveis empregadas pelo setor da construção civil são agrupadas em 8 categorias, abrangendo saúde e conforto, eficiência energética, uso da água, uso de materiais, uso do solo, qualidade urbana, poluição e práticas sociais.

Ficou constatado que as oito categorias englobam práticas sustentáveis relativas a: paisagismo, flexibilidade de projeto, local para coleta seletiva, desempenho térmico, iluminação natural de áreas comuns e banheiros, dispositivos economizadores, sistema de aquecimento solar, fontes alternativas de energia, medição individualizada, dispositivos hidroeconômicos, aproveitamento de águas pluviais, infiltração de águas pluviais, áreas permeáveis e coordenação modular.

Ademais, abrangem práticas sustentáveis relacionadas a qualidade dos materiais, aos componentes industrializados/pré-fabricados, a fôrmas e escoras reutilizáveis, a pavimentação com RCD, a adequação às condições físicas do terreno, a melhorias no entorno, a disponibilidade de áreas livres e de serviços básicos, a gestão de RCD, as soluções alternativas de transporte, a inclusão de trabalhadores locais e capacitação profissional.

Com base nos resultados expostos pode-se afirmar que algumas práticas sustentáveis foram adotadas nas obras executadas pelas empresas participantes desta pesquisa, tais como: a implementação de paisagismo como estratégia de conforto térmico e as concepções arquitetônicas que se beneficiam ao máximo da radiação solar e ventilação.

Destaca-se a grande aderência de práticas da categoria eficiência energética, como a utilização de iluminação natural em áreas comuns e ba-

nheiros, implementação de sistemas de aquecimento solar e outras fontes de energia.

Além da categoria de eficiência energética, a categoria de uso da água também obteve bons resultados, demonstrando que as obras possuem medidores individuais de água, utilizam de dispositivos hidroeconômicos, do aproveitamento e infiltração de águas pluviais e possuem áreas permeáveis.

No contexto de uso dos materiais, ficou constatada a utilização de materiais de qualidade nas obras, assim como componentes industrializados e fôrmas e escoras reutilizáveis. A coordenação modular não é muito utilizada. Esse fato pode se dar pelo caráter residencial das obras, onde não se costuma projetar de forma modular, no entanto, é uma questão que pode se tornar diretriz nos projetos.

Quanto a qualidade urbana, constatou-se uma grande adesão das práticas da categoria, mesmo que de forma parcial. A pesquisa demonstrou que as obras analisadas não são projetadas com o propósito de aproveitar as declividades do terreno e diminuir movimentações de terra (categoria de uso do solo). Nota-se, aqui, mais uma questão que pode ser inserida no escopo dos projetistas.

Cabe citar uma outra questão que deve ser melhor analisada pelo setor: estratégias de diminuição de poluição, principalmente no que diz respeito à gestão de resíduos da construção civil.

Por fim, analisando as práticas sociais, pode-se concluir a total ausência de moradores locais no quadro de colaboradores do empreendimento e a falta de ações de capacitação profissional dos empregados. O primeiro item se justifica por serem obras de alto padrão. Já o segundo item demonstra uma conduta a ser reavaliada pelas empresas de execução de obras, visto que investir em capacitação dos colaboradores pode significar retorno nos resultados quanto à qualidade das obras.

Analisando a resposta dos engenheiros atuantes nas empresas pode-se constatar que a demanda de projetos a serem executados, assim como a demanda das empresas que elaboram os mesmos, apresenta diversos requisitos formadores de edificações sustentáveis.

Pelas categorias analisadas, no que se refere à demanda dos clientes, pode-se notar que alternativas que geram uma economia financeira e

conforto possuem maior adesão. Ressalta-se a utilização de soluções para aproveitamento de águas pluviais, dispositivos hidroeconomicos, estratégias de paisagismo (para proporcionar maior conforto térmico), utilização de sistema de aquecimento solar e outras fontes alternativas de energia.

Vale, mais uma vez, destacar que a amostra estudada é composta por obras de alto padrão, tendo assim clientes de alto poder aquisitivo e que as práticas citadas anteriormente, muitas vezes, demandam um investimento financeiro inicial, asseguradas de que geram economia financeira a longo prazo.

Referências

AULICINO, P. **Análise de métodos de avaliação de sustentabilidade do ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção de Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo, 2008.

BALDWIN, R.; YATES, A.; HOWARD, N.; RAO, S. **BREEAM 98 for offices: an environmental assessment method for office buildings**. Garston: Construction Research Communications, 1998.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. 2020. **Porte de empresa – Classificação de porte dos clientes**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/guia/porte-de-empresa>>. Acesso em: 23 mai. de 2023.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução Conama 307**. Brasília, 2002. Disponível em: <<http://conama.mma.gov.br/atos-normativos-sistema>>. Acesso em: 23 mai. de 2023.

FCAV (Fundação Carlos Alberto Vanzolini); CERQUAL (Certification Qualité Logement). (2013). **Referencial Técnico de Certificação AQUA HQE™**. – Sistema de Gestão do Empreendimento SGE para Edifícios em Construção. Disponível em: <<https://vanzolini.org.br/wp-content/uploads/2021/07/RT-SGE-14-03.pdf>>. Acesso em: 23 mai. de 2023.

FISCHER N. K. M. Análise da contribuição das certificações ambientais aos desafios da Agenda 2030. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 27 - 46, jun. 2018.

JOHN, V. M.; PRADO, R. T. A. **Boas Práticas Para Habitação Mais Sustentável**: Selo Azul da Caixa. São Paulo: Páginas & Letras, 2010.

SALGADO, M. S.; CHATELET, A.; FERNANDEZ, P. Produção de edificações sustentáveis: **Desafios e alternativas**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v.12, n. 4, p. 81-99, out./dez. 2012.

SANTOS, F. F. dos.; SEHEN, D. F. P.; SOUSA, M. A. B. de ; CECHIN, N. F. Práticas de sustentabilidade na construção civil: um estudo em empresas construtoras de edificações. **Organizações e Sustentabilidade**, v. 8, p. 34-53, 2020.

SANTOS, F. F. dos; SEHEN, D. F. P; SOUSA, M. A. B. de; CECHIN, N. F. **Práticas de Sustentabilidade Adotadas na Europa por Três Empresas Construtoras de Edificações** In: SANTOS, Fladimir Fernandes dos; CECHIN, N. F.; SOUSA, Marco Aurélio Batista de. Estudos Científicos com Enfoque no Desenvolvimento Sustentável - volume II. 2 ed. Bagé: Faith, 2019, v.2, p. 100-112

SEHEN, D. F. P. **Práticas de sustentabilidade na construção civil: um estudo em empresas construtoras de edificações**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

SGBC; BRE Global. **BREEAM-SE New Construction v6.0** – Technical Manual 1.1. Disponível em: <https://www.sgbc.se/app/uploads/2023/01/Manual_BREEAM-SE-v6_EN_230119.pdf>. Acesso em: 23 mai. de 2023.

U.S. Green Building Council. (2009). **LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction** – with global alternative compliance paths. Disponível em: <https://www.usgbc.org/sites/default/files/LEED%202009%20RG%20BD%2BC-Supplement_GLOBAL_10_2014_Update.pdf>. Acesso em: 23 mai. de 2023.