

TRANS VERSO

04 Edificações de interesse histórico-cultural em madeira frente às mudanças climáticas: o caso de Erechim, RS



recebido em 10/09/2025
aprovado em 02/10/2025

Edificações de interesse histórico-cultural em madeira frente às mudanças climáticas: o caso de Erechim, RS

Clarissa Sartori Ziebell

clarissa.ziebell@ufrgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Laura Beatriz Fin

fin.laurabeatriz@gmail.com

Universidade Federal da Fronteira Sul

Natália Biscaglia Pereira

natalia.pereira@uffs.edu.br

Universidade Federal da Fronteira Sul

Naahman Lima Pereira

naahman01@gmail.com

Universidade Federal da Fronteira Sul

Pedro Henrique Gonçalves

pedrogoncalves@ufg.br

Universidade Federal de Goiás

RESUMO (PT): Este estudo analisa o impacto das mudanças climáticas sobre edificações históricas em madeira na cidade de Erechim (RS), comparando o clima atual com projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para 2050. A pesquisa avalia alterações no microclima urbano, com foco na formação de ilhas de calor e nas potenciais patologias associadas à variação de temperatura e umidade. Foram utilizados dois arquivos climáticos: um baseado em dados de uma estação rural (aqui chamada de estação climática original) e outro adaptado ao contexto urbano, ambos convertidos para o cenário de 2050. Os resultados indicam que em média ocorre um aumento da temperatura próximo a 2°C e uma diminuição da umidade de 7,5% entre áreas urbanas e rurais. Ressalta-se, contudo, que a ferramenta UWG ainda necessita de melhorias com relação ao cálculo da umidade. Ainda, os dados encontrados nos arquivos climáticos para o ano de 2050 parecem indicar que as mudanças climáticas têm o potencial de agravar a degradação de edificações de valor histórico-cultural em madeira, sendo recomendada a adoção de estratégias de manutenção preventiva. Contudo, mais estudos seriam necessários para confirmar esta hipótese.

Palavras-chave: mudanças climáticas, simulação de microclima urbano, arquitetura em madeira, patrimônio cultural.

ABSTRACT (ENG): *This study analyzes the impact of climate change on historic wooden buildings in the city of Erechim (RS), comparing current climate conditions with projections from the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) for 2050. The research evaluates changes in the urban microclimate, focusing on the formation of heat islands and potential pathologies associated with temperature and humidity variations. Two climate data files were used: one based on rural station data (here called the original weather station) and another adapted to the urban context, both converted to the 2050 scenario. The results indicate an average temperature increase of nearly 2°C and a 7.5% decrease in humidity between urban and rural areas. It should be noted, however, that the UWG tool still needs improvements regarding humidity calculation. Furthermore, based on climate data for the year 2050, it was concluded that climate change may intensify the degradation of historically and culturally valuable wooden buildings, and the adoption of preventive maintenance strategies is recommended. However, further studies would be needed to confirm this hypothesis.*

Keywords: climate change, urban microclimate simulation, timber architecture, cultural heritage.

1. Introdução

O aumento da temperatura global tem se intensificado nas últimas décadas. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), a temperatura média da superfície terrestre aumentou 0,85°C entre os períodos de 1850-1900 e 1995-2014, e atingiu 1,09°C entre 2011 e 2020. O relatório também aponta uma tendência contínua de elevação das temperaturas nas últimas quatro décadas. Essas alterações impactam diretamente o microclima urbano, comprometendo o conforto térmico e acelerando os processos de deterioração das edificações.

A verticalização das cidades potencializa a degradação das edificações, em especial em se tratando de madeira. O aumento do sombreamento e a modificação do comportamento dos ventos, dificulta a evaporação da umidade em áreas específicas das construções. Em relação à temperatura, a concentração de áreas edificadas – que tem como consequência também a aglomeração humana e suas atividades que geram calor, a supressão vegetal e a redução dos ventos – intensificam a absorção, retenção e mesmo a produção de calor. Essa dinâmica contribui para o fenômeno das ilhas de calor urbanas, caracterizadas como cúpulas de ar quente que recobrem áreas urbanas ou partes do tecido construído (Gonçalves; Cardoso, 2017; Gartland, 2010).

Este artigo tem como foco analisar os impactos das mudanças climáticas no processo de conservação de edificações históricas em madeira, utilizando como estudo de caso o centro da cidade de Erechim, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As alterações climáticas representam uma ameaça adicional a essas construções, podendo desencadear novos fenômenos patológicos (Bertolin, 2019). A madeira, enquanto material construtivo, é especialmente suscetível à biodeterioração. O aumento da umidade pode provocar apodrecimento, proliferação de limo e mofo (Silva; Torres; Salamoni, 2018; Torres *et al.*, 2018). A umidade é, portanto, um dos principais agentes causadores de patologias nas edificações, favorecendo infiltrações, manchas, fungos e fissuras, que comprometem a estrutura e a materialidade, podendo ser agravadas conforme o clima local (Stolz; Wasem, 2020; Lersch, 2022; Pinto; Devitte, 2022).

Além disso, a radiação solar pode provocar alterações cromáticas nos materiais, como a madeira (Castro; Guimarães, 2022), e seu aquecimento pode causar dilatação, levando a deformações ou rupturas (Stolz; Wasem, 2020). Embora a redução da intensidade solar sobre uma edificação histórica não seja necessariamente prejudicial, é fundamental considerar e planejar as transformações no entorno construído frente às intervenções urbanas, visando à preservação desses bens de valor cultural.

Na contemporaneidade, o patrimônio cultural enfrenta desafios decorrentes do adensamento urbano e da ausência de políticas públicas eficazes de preservação. Defende-se, portanto, a importância do planejamento urbano como ferramenta para proteger edificações históricas e evitar construções que comprometam sua conservação ou habitabilidade. Para atingir o objetivo deste estudo, propõe-se a comparação entre o clima atual de Erechim e as projeções do IPCC para o ano de 2050, de forma a melhor compreender como as mudanças climáticas poderão afetar edificações de valor cultural. Além disso, busca-se avaliar os efeitos dessas mudanças – especialmente relacionados à temperatura e umidade – na formação de ilhas de calor e caracterizar possíveis patologias futuras nas construções analisadas.

1.1 Área de Estudo

O presente estudo tem como objeto de análise um conjunto de quadras situado na região central do município de Erechim, estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1).

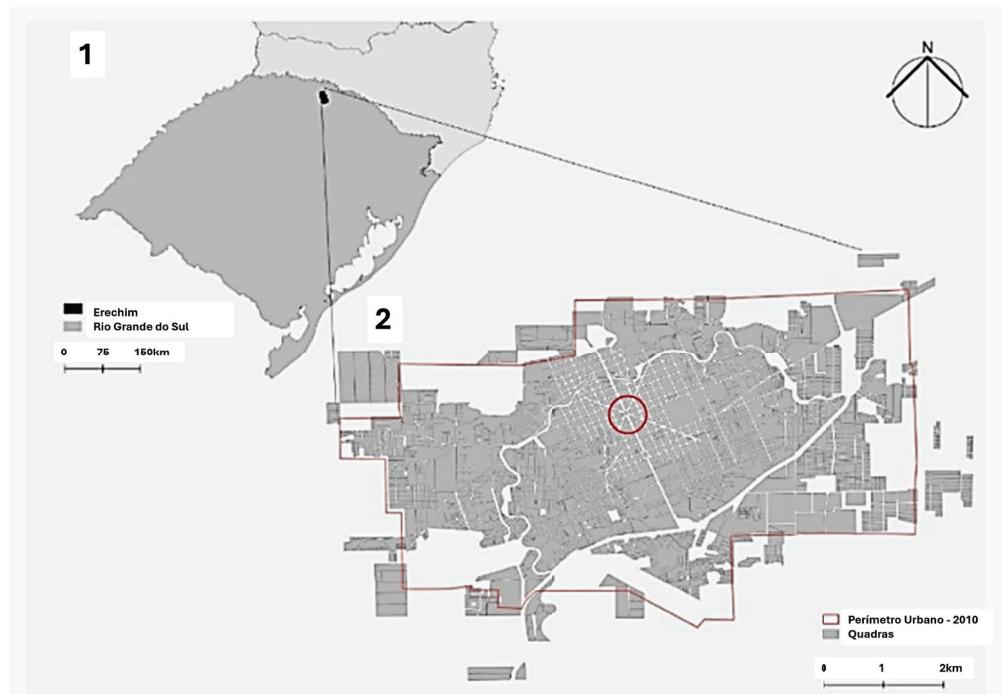


Figura 1 – Localização (1) e mapa da cidade de Erechim (2) com a delimitação da região central.
Fonte: elaborado pelos autores.

O recorte espacial selecionado compreende uma área de 420 x 420 metros, tendo como ponto central a Praça da Bandeira (Figura 2). A escolha desse perímetro justifica-se por sua inserção estratégica no tecido urbano, articulando-se com os principais eixos viários da cidade – Avenida Sete de Setembro e Avenida Maurício Cardoso – e pelo elevado grau de verticalização, que contribui para o adensamento populacional e a intensificação das alterações microclimáticas.

Essa área concentra edificações de madeira de reconhecido valor histórico-cultural, as quais apresentam maior vulnerabilidade frente aos efeitos das mudanças climáticas. Já se observam, nessas construções, sinais de degradação associados à ação do tempo e às condições ambientais do entorno. Um exemplo emblemático ocorreu em outubro de 2024, quando, após um evento de chuva intensa, a antiga Escola Professor Mantovani – primeira instituição educacional da cidade, construída aproximadamente em 1916 – sofreu colapso estrutural e veio a desabar.

Os principais exemplares remanescentes de arquitetura em madeira encontram-se dentro do perímetro analisado, destacando-se o edifício conhecido como “Castelinho” (Figura 2), considerado o mais representativo da história local e o único tombado em nível estadual. As demais edificações de interesse patrimonial são inventariadas pelo município, conforme registros da Prefeitura Municipal de Erechim (2019) (Figura 2).



Figura 2 – Área de estudo e bens culturais em madeira. Fonte: elaborado pelos autores.

A área delimitada para o estudo faz parte da Unidade Mista 1 (UM1) classificada pelo zoneamento do Plano Diretor da cidade, estabelecido pela Lei nº10 de 2019 (Prefeitura Municipal de Erechim, 2019). Este novo plano marca o início das transformações na paisagem urbana, resultando em maior densidade e negligência das leis municipais em relação às edificações históricas.

Como consequência da urbanização, os espaços livres, especialmente os com vegetação, tornaram-se raros. Além disso, o aumento das áreas sombreadas pelas edificações altas, devido à diminuição dos recuos laterais, pode alterar a direção das massas de ar e, possivelmente, a qualidade do microclima da região.

1.2 Caracterização da arquitetura em madeira e a formação urbana de Erechim (1910–1930)

A arquitetura em madeira, oriunda do processo de colonização, constituiu-se como elemento hegemônico na conformação urbana de Erechim entre os anos de 1910 e 1930. Essa predominância está diretamente relacionada à ampla disponibilidade de Araucárias na região, que impulsionou significativamente o setor madeireiro local. Na década de 1920, a madeira assumiu papel central na economia do município, sustentada por um conjunto expressivo de indústrias madeireiras.

As edificações iniciais caracterizavam-se por telhados de forte inclinação, próximos a 45°, inspirados na arquitetura europeia. Utilizavam-se telhas de madeira lascada, posteriormente substituídas por coberturas de menor inclinação e telhas cerâmicas. As paredes eram compostas por tábuas largas, com cerca de 30 cm de largura, dispostas verticalmente. As frestas entre essas tábuas eram vedadas por ripas estreitas de madeira, denominadas mata-junta, sistema que permaneceu em uso mesmo após a instalação de serrarias na cidade.

O traçado urbano de Erechim, marcado por acentuados desníveis topográficos, influenciou diretamente a implantação das residências. Como solução arquitetônica, adotou-se o uso de porões altos em alvenaria, elemento que se consolidou como parte integrante da tecnologia construtiva em madeira, inclusive em fases posteriores (Figura 3). As residências mais antigas apresentavam configuração tripartida: porão, pavimento térreo e sótão. O porão, construído em pedra ou tijolos, desempenhava função térmica, sendo utilizado para armazenagem de alimentos como queijos, salames e vinhos.



Figura 3 – Residência já demolida, com tripartição e uso de porão. Fonte: autores, 2014.

Na década de 1930, observa-se uma transição estética nas construções em madeira, com a incorporação de detalhes ornamentais refinados, especialmente os lambrequins nos beirais e peitoris, que conferiam às fachadas um rendilhado de notável beleza. Esse elemento tornou-se símbolo distintivo da arquitetura local nesse período. A técnica construtiva foi gradualmente aperfeiçoada, e os antigos casarões de aspecto simples evoluíram para chalés com formas curvas, janelas envidraçadas e peitoris trabalhados, evidenciando uma valorização crescente da estética e do acabamento.

1.3 A conservação do patrimônio edificado em madeira e o impacto das mudanças climáticas

O patrimônio edificado em madeira possui uma grande diversidade mundial, podendo englobar conhecimentos e práticas construtivas regionais, associando-se ao patrimônio intangível, como o saber-fazer de carpinteiros e construtores. De acordo com o Comitê Internacional da Madeira do ICOMOS (IIWC, 2017), por seu significado cultural, tal patrimônio pode incluir diferentes valores, entre os quais: estético, antropológico, arqueológico, cultural, histórico, científico e tecnológico.

Em se tratando do patrimônio construído em madeira, um dos documentos internacionais mais importantes é o "*ICOMOS Principles for the Conservation of the Wooden Built Heritage*". Este documento, que desenvolve os princípios para a preservação das estruturas históricas em madeira, resultou das atividades

do Comitê Internacional da Madeira do ICOMOS (IIWC). Em 15 de dezembro de 2017, na 19ª Assembleia Geral do ICOMOS em Delhi, foi oficialmente lançada a versão mais atualizada do documento, substituindo a anterior, de 1999.

Ambas as versões, de 1999 e de 2017, reconhecem como um dos princípios: "Reconhecer a vulnerabilidade das estruturas feitas total ou parcialmente de madeira em condições ambientais e climáticas variáveis, causadas (entre outras coisas) por flutuações de temperatura e umidade, luz, ataques de fungos e insetos, desgaste, incêndios, terremotos ou outros desastres naturais, e ações destrutivas humanas." (IIWC, 2017 p. 2, tradução nossa).

Na seção do documento intitulada "Materiais e tecnologias contemporâneas", dois novos itens foram adicionados na nova versão de 2017: o primeiro, alerta para que os serviços de intervenção respeitem o significado material e imaterial da estrutura ou do sítio; o segundo, que estes serviços "não produzam mudanças nas condições ambientais relevantes, como a temperatura e a umidade". (IIWC, 2017 p. 5, tradução nossa).

A partir da leitura do documento, fica evidente a existência de uma correlação entre os aspectos ambientais e climáticos e a conservação do patrimônio construído em madeira.

De acordo com Kherais, Csébfalvi e Len (2020), as variações climáticas trazem mudanças de temperatura, umidade, entre outras condições que resultam em diferentes cenários ambientais, como o aumento do nível do mar, que pode levar a efeitos devastadores como tornados, inundações e chuvas intensas. A interação da madeira com as variações climáticas está relacionada às mudanças de temperatura e umidade, sendo que a resistência e a durabilidade da madeira são os principais fatores afetados pelas condições climáticas. Os mesmos autores acrescentam que o crescimento de fungos é resultado do aumento do teor de umidade, que pode ser causado pela combinação de alta umidade e altas temperaturas associadas às mudanças climáticas.

Condições ambientais como a umidade relativa, bem como a temperatura do ambiente, nunca permanecem constantes por longos períodos. Essas condições variam com o tempo, resultando em situações favoráveis ou desfavoráveis ao crescimento de fungos, que levam ao surgimento de mofo na madeira.

Conforme Larsen e Marstein (2000), em ambientes externos, as superfícies de madeira sofrem com o intemperismo, uma série de mudanças causadas principalmente pela combinação de radiação solar e umidade. Como resultado a madeira perde a coesão superficial, à medida que os vínculos das paredes celulares se enfraquecem nas camadas mais externas. As superfícies tornam-se ásperas devido ao levantamento dos veios (grãos) da madeira, ocorrem fissuras, que podem evoluir para rachaduras.

Além disso, os veios podem se soltar, e as tábuas podem empinar, torcer e se desprender dos fixadores. A superfície áspera muda de cor e acumula sujeira, podendo criar condições propícias para o surgimento de biodeterioração. A exposição frequente da superfície da madeira a mudanças rápidas de umidade, ou seja, repetidos ciclos de molhamento e secagem, é uma das principais causas do intemperismo nesse material.

De acordo com o 2º artigo da recém-lançada Carta Brasileira do Patrimônio Cultural e Mudanças Climáticas (ICOM BRASIL, 2025, p. 5), "a identificação de riscos climáticos sobre o patrimônio cultural deve ser realizada com base em análises situadas, respeitando as especificidades territoriais e as características próprias de cada bem cultural. Essa abordagem personalizada,

que considera fatores como o tipo de bem, seu contexto ambiental, seu valor simbólico e sua interação com a comunidade, é essencial para orientar estratégias eficazes de preservação, salvaguarda e mitigação". Nesse sentido, a monitorização contínua e o estudo pormenorizado do bem cultural, de acordo com suas especificidades e características construtivas e materiais, como no caso das edificações em madeira, é de suma importância para mitigar efeitos climáticos e prolongar a sua vida útil.

1.4 Caracterização climática do município de Erechim (RS)

O município de Erechim, situado no estado do Rio Grande do Sul, na região Sul do Brasil, apresenta estações do ano bem definidas e regime pluviométrico distribuído de forma relativamente homogênea ao longo dos meses (Gráfico 1). De acordo com a classificação proposta por Rossato (2011), o clima local enquadra-se na categoria Subtropical IV – Muito Úmido.

Essa tipologia climática é caracterizada por verões intensamente quentes, com temperaturas elevadas e altos índices de umidade relativa do ar, resultando em sensação térmica abafada. Durante o inverno, observa-se maior influência das massas de ar frio, o que favorece a ocorrência de frentes frias e aumento da umidade atmosférica, contribuindo para a redução das temperaturas médias.

Segundo dados da Embrapa (2012), o mês de janeiro corresponde ao período mais quente do ano, com temperaturas médias mensais máximas de 27,9 °C e mínimas de 17,3 °C. Por outro lado, julho é o mês mais frio, apresentando médias máximas de 18,2 °C e mínimas de 8,9 °C.

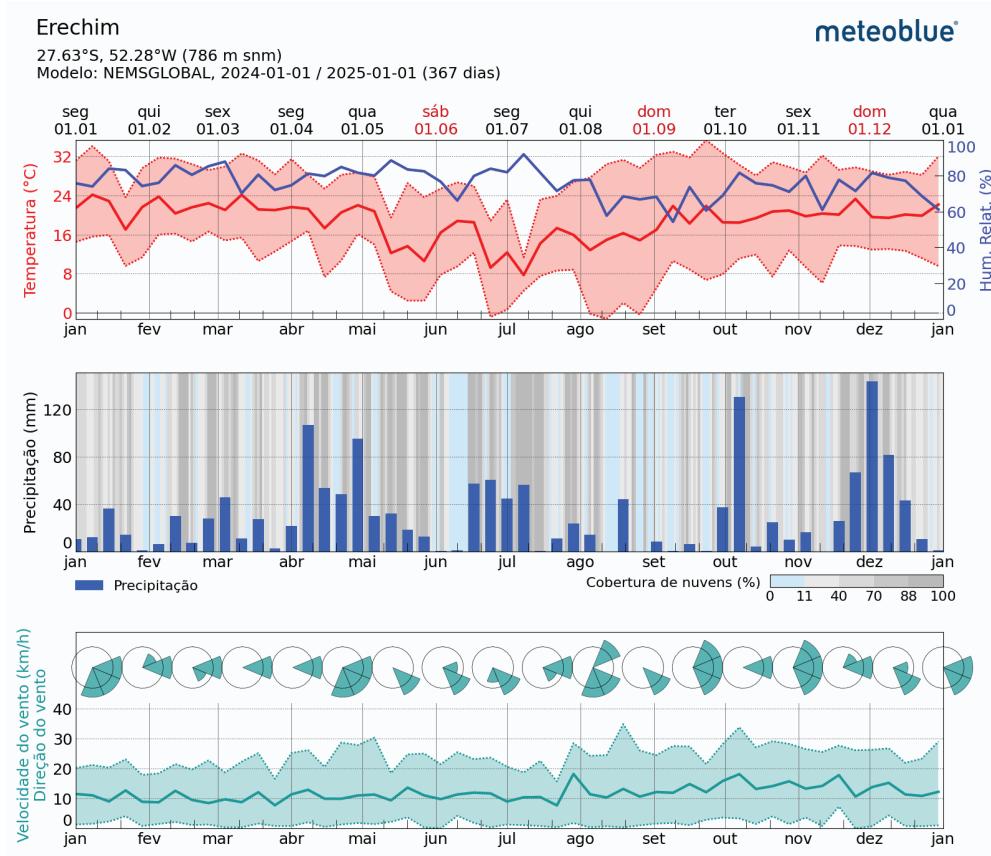


Gráfico 1 – Gráfico das temperaturas, precipitações e ventos de 2024. Fonte: MeteoBlue, 2025.

2. Procedimentos metodológicos

A presente pesquisa tem como objetivo analisar o impacto das mudanças climáticas sobre edificações históricas em madeira na cidade de Erechim, no estado do Rio Grande do Sul, comparando o clima atual com projeções do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para 2050. A análise é orientada pela investigação dos impactos das mudanças climáticas sobre o microclima em que se inserem edificações em madeira de valor histórico e patrimonial.

2.1 Elaboração do modelo de simulação

Inicialmente, foi definida a área de abrangência do estudo, conforme apresentado no item 1.1. A área selecionada foi modelada tridimensionalmente utilizando o software *Rhinoceros*, com vistas à simulação ambiental. Paralelamente, foi selecionado um arquivo climático representativo da região, denominado neste artigo como “arquivo climático original”, proveniente de uma estação localizada em meio rural. Este arquivo, intitulado “BRA_RS_Erechim.869540_INMET.epw”, foi obtido por meio da plataforma *EnergyPlus* (2022).

Com base no arquivo climático original, foi gerado um segundo arquivo climático por meio do plugin *DragonFly*, utilizando a ferramenta *Urban Weather Generator* (UWG), a fim de representar o microclima urbano específico da área modelada. Em seguida, foi produzido um terceiro arquivo climático, correspondente ao ano de 2050, ainda sem considerar as modificações microclimáticas urbanas. Para essa etapa, empregou-se a ferramenta *CCWorldWeatherGen*.

Posteriormente, foi gerado um quarto arquivo climático, também por meio da ferramenta UWG, agora com base nas projeções para 2050, incorporando as variáveis do microclima urbano. A Figura 4 (a) apresenta o fluxo metodológico adotado e destaca os quatro cenários climáticos resultantes.

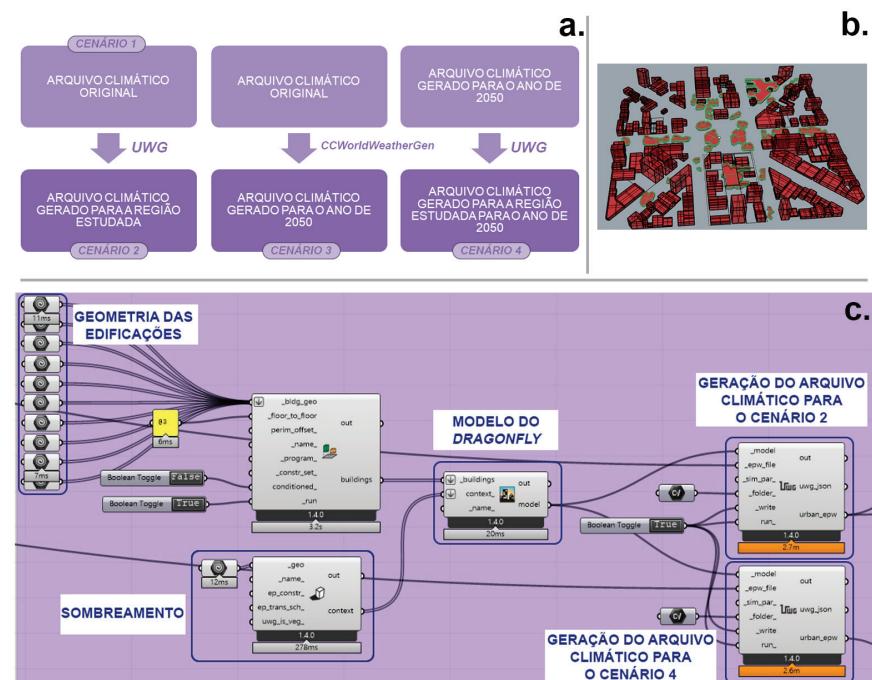


Figura 4 – Processo metodológico. (a) Geração dos quatro diferentes cenários; (b) Modelo tridimensional gerado no *Rhinoceros*; (c) Algoritmo gerado no *Grasshopper*. Fonte: elaborado pelos autores.

Por fim, foram analisadas as variáveis de temperatura do ar e umidade relativa em cada um dos cenários simulados, com o propósito de compreender os possíveis efeitos das alterações climáticas sobre a deterioração das edificações históricas em madeira presentes na área urbana de Erechim.

O *Urban Weather Generator (UWG)* é uma ferramenta computacional desenvolvida com o propósito de estimar a temperatura do ar em ambientes urbanos, a partir de dados climáticos obtidos em estações meteorológicas. O modelo considera as interações recíprocas entre edificações e o clima urbano, permitindo simulações mais precisas do comportamento térmico em áreas densamente construídas (Bueno *et al.*, 2012). Com base nos parâmetros inseridos, o *UWG* calcula os fluxos de calor sensível, bem como a temperatura e a umidade do ar no interior dos cânions urbanos, ou seja, nas zonas delimitadas por edificações e vias públicas (Bueno *et al.*, 2012).

O *UWG* está incorporado ao *plugin DragonFly*, o qual pode ser instalado no ambiente paramétrico *Grasshopper*, vinculado ao *software Rhinoceros*. A principal vantagem do uso do *UWG* reside na capacidade de reduzir as discrepâncias entre os dados meteorológicos obtidos em estações localizadas fora dos centros urbanos e as condições reais observadas em áreas urbanizadas, onde o efeito de ilha de calor é mais pronunciado.

Para a presente pesquisa, a geometria tridimensional da área de estudo foi modelada incluindo as edificações e a massa de vegetação existente. No *UWG*, foi definido que as edificações não possuem climatização artificial, a fim de preservar a fidelidade das simulações ao contexto local. Como limitação metodológica, não foram considerados os materiais das vias públicas nem a densidade de tráfego veicular, uma vez que tais informações demandam levantamento específico. Assim, esses parâmetros foram mantidos conforme os valores padrão definidos pelo programa. A geometria da área estudada e o algoritmo desenvolvido no *Grasshopper* estão representados na Figura 4 (b e c, respectivamente).

Conforme mencionado anteriormente, o arquivo climático correspondente ao ano de 2050 foi gerado por meio da ferramenta *Climate Change World Weather File Generator (CCWorldWeatherGen)*, desenvolvida pela Universidade de Southampton. Essa ferramenta utiliza projeções baseadas no modelo HadCM3 A2, adotado no *Terceiro Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas* (IPCC, 2021; UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON ENERGY & CLIMATE CHANGE, 2020).

O processo de geração do arquivo climático através da ferramenta *CCWorldWeatherGen* é composto por quatro etapas: (i) seleção do arquivo climático original, que neste estudo corresponde ao "BRA_RS_Erechim.869540_INMET.epw", obtido na plataforma *EnergyPlus* (2022); (ii) definição do ano de projeção desejado, entre as opções 2020, 2050 ou 2080; (iii) execução do processo de transformação climática; e (iv) exportação do novo arquivo no formato ".epw". Seguindo esse procedimento, foi obtido o arquivo climático projetado para o ano de 2050, utilizado nas simulações subsequentes.

3. Resultados

O Gráfico 2 apresenta os resultados referentes à temperatura e à umidade relativa do ar em quatro cenários climáticos distintos. Inicialmente, foram agrupados os dados do cenário 1 (arquivo climático original – estação rural) e do cenário 2 (microclima da área urbana estudada). A comparação entre esses dois cenários evidencia a discrepância entre os dados obtidos em estação meteorológica convencional e aqueles simulados para o ambiente urbano específico, revelando um acréscimo médio de 1,6 °C na temperatura e uma redução de 7,5% na umidade relativa do ar. No período de inverno, o mês de agosto apresentou a maior elevação na temperatura média mensal, com variação de 1,7 °C.

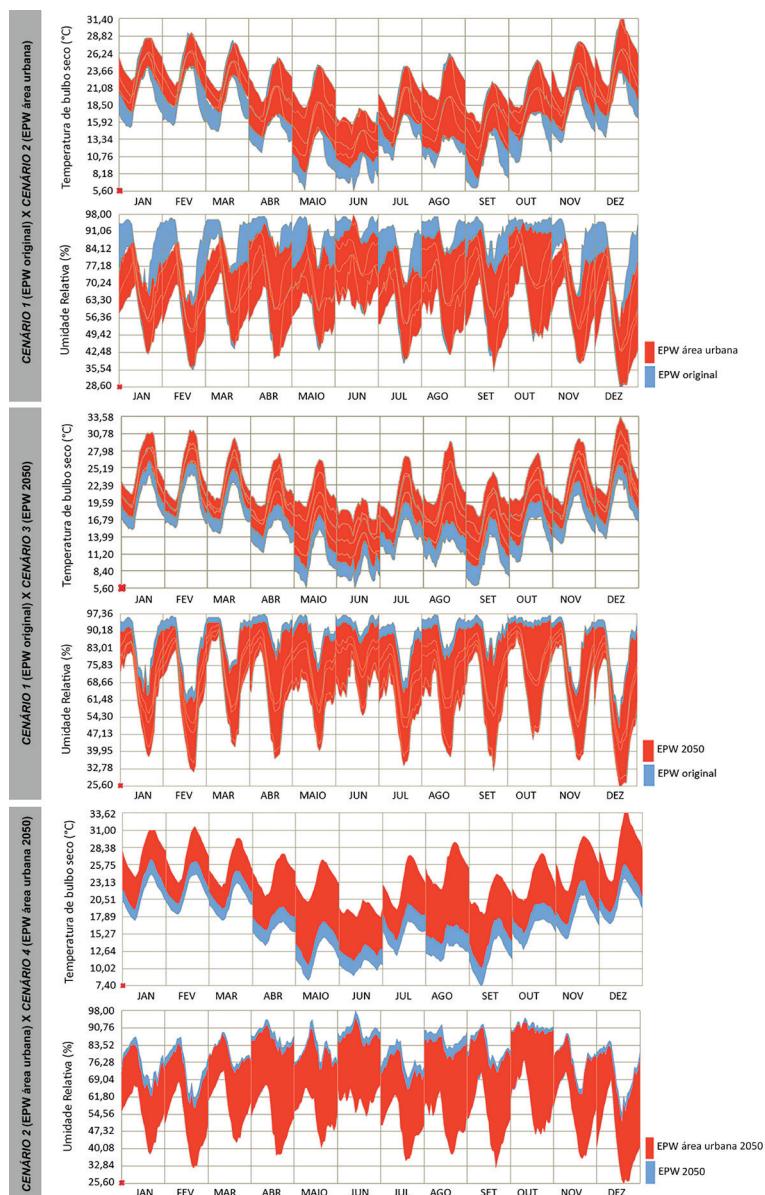


Gráfico 2 – Comparação dos resultados. Fonte: elaborado pelos autores.

Na sequência, os dados do cenário 1 foram comparados com os do cenário 3, correspondente ao ano de 2050, sem considerar as especificidades do microclima urbano. Observou-se um aumento médio de 2,3 °C nas temperaturas mensais, além da ocorrência de médias superiores a 20 °C em cinco dos doze meses do ano, enquanto no arquivo climático original esse

valor foi registrado em apenas quatro meses. A umidade relativa apresentou redução média de 3%, resultado esperado diante das projeções climáticas.

Por fim, foi realizada a comparação entre os cenários 2 e 4, ambos representando o microclima urbano, sendo o segundo projetado para o ano de 2050. Os resultados indicam um acréscimo médio de 2,3 °C nas temperaturas mensais, com nove meses apresentando médias superiores a 20 °C, em contraste com os cinco meses observados no cenário atual. A redução da umidade relativa foi menos acentuada, com média de 2,5%, o que reforça a importância de considerar o contexto urbano nas análises climáticas voltadas à conservação de edificações históricas.

4. Discussões

A madeira, quando exposta a condições de elevada umidade ou em contato direto com o solo, torna-se mais suscetível ao ataque de organismos xilófagos, como fungos e térmitas (Barillari, 2002). Segundo Ritter e Morrell (1990), a faixa ideal de temperatura para o desenvolvimento de agentes biodeterioradores situa-se entre 21 °C e 29 °C. Com base nas projeções para o ano de 2050, observa-se um aumento significativo na frequência de temperaturas dentro dessa faixa, o que favorece a proliferação desses organismos. Além disso, apesar da redução da umidade relativa do ar, os valores apresentados ainda tendem a ultrapassar 80% em todos os meses do ano, mantendo as condições que podem levar à degradação da madeira.

A variação do teor de umidade influencia diretamente as propriedades físicas e mecânicas da madeira, tornando-a mais vulnerável à ação de fungos, especialmente em ambientes com umidade superior a 95% e temperaturas entre 20 °C e 40 °C, conforme simulado para o cenário futuro. A ação de fungos provoca alterações na composição química da madeira, redução da resistência estrutural, perda de massa, alteração da coloração natural, aumento da permeabilidade, diminuição da capacidade acústica, elevação da inflamabilidade e maior propensão ao ataque de insetos, comprometendo sua qualidade e inviabilizando seu uso tecnológico (Santos, 1992).

Cruz (2001) destaca que o contato prolongado com água ou ambientes com elevada umidade é uma das principais causas de manifestações patológicas na madeira. Embora a umidade, isoladamente, não provoque degradação, ela potencializa o risco de deterioração por agentes biológicos, que somente atacam o material quando seu teor de umidade atinge níveis críticos. A simulação realizada demonstrou variações significativas na umidade relativa ao longo do ano, com picos entre 25% e 95% (Figura 5).

Além dos agentes bióticos, a deterioração da madeira pode ser agravada por fatores abióticos. Brito (2014) aponta que a variação no teor de umidade também contribui para processos físicos de degradação. Machado *et al.* (2009) ressaltam que a anisotropia do material lenhoso, associada às tensões de secagem, pode provocar empenamentos, rachaduras e fissuras, decorrentes do desequilíbrio entre a taxa de evaporação superficial e a circulação interna de água.

As mudanças climáticas, amplamente reconhecidas pela comunidade científica, afetam diretamente o microclima urbano, elevando a temperatura do ar e reduzindo a umidade relativa. Como mencionado anteriormente, a redução da umidade tende a ser benéfica para a preservação da madeira, ao retardar sua degradação, porém, a redução não é significativa a ponto de efetivamente levar a uma melhora na condição de sua manutenção, tendo

em vista que os valores de umidade indicados na projeção ainda são altos, levando em consideração que o teor de umidade acima de 20% já é um fator para a proliferação de fungos. Para além, sabe-se que a combinação de alta umidade com temperaturas elevadas (até 40°C) favorece o desenvolvimento de fungos. Atualmente, o risco de ataque fúngico ocorre em cinco meses do ano; em 2050, esse risco se estenderá a nove meses, exigindo estratégias contínuas de manutenção preventiva.

Cabe destacar que a contínua exposição da superfície da madeira às variações bruscas de condições ambientais de umidade relativa e temperatura são potenciais causadores de deteriorações na madeira, como em situações de exposição com reumidificações frequentes. Como a madeira é um material higroscópico, com capacidade de reagir às condições termo higrométricas e ambientais, busca sempre manter um teor de equilíbrio. Por isso, quando mantidas sem variação de umidade, e sem oxigênio, como no caso das madeiras totalmente submersas, tem durabilidade natural com duração indefinida.

5. Considerações Finais

Este estudo teve como propósito analisar os impactos das mudanças climáticas sobre edificações em madeira de valor histórico-cultural, com foco na sustentabilidade do ambiente construído. A metodologia adotada envolveu a geração de quatro cenários climáticos distintos, com o objetivo de avaliar as condições ambientais que influenciam a preservação de edificações patrimoniais. Os dados obtidos indicam que:

O aumento médio da temperatura entre o arquivo climático original e o projetado para 2050 é de aproximadamente 2,3 °C, tanto na estação meteorológica (rural) quanto no microclima urbano, cujos dados foram encontrados através da ferramenta *UWG*, por meio do *Dragonfly*. Embora as temperaturas urbanas sejam mais elevadas, a variação entre os cenários permanece equivalente. A mesma tendência é observada na redução da umidade relativa do ar.

A utilização da ferramenta *DragonFly* para simulação do microclima urbano impacta significativamente os resultados das análises climáticas, especialmente no que se refere à temperatura e à umidade relativa, parâmetros essenciais para a conservação da madeira.

Como a maioria dos agentes biodeterioradores da madeira sobrevive e se desenvolve na faixa de temperatura entre 21°C a 29°C, embora possam sobreviver a uma ampla variação de intervalo, podendo algumas espécies tolerantes desenvolverem-se até 40°C (Ritter e Morrell, 1990), e considerando que Mendes e Alves (1988, p. 9) ponderaram que com uma média de umidade na madeira acima de 20% há a possibilidade de ataque fúngico, ou seja, a elevada umidade relativa é prejudicial à preservação de edificações em madeira, torna-se imprescindível levar em consideração as características do microclima onde o projeto de manutenção preventiva está sendo desenvolvido, o que passa pela escolha do arquivo climático mais adequado a ser utilizado nas avaliações.

A previsão de cenários climáticos futuros permite antecipar os níveis dos fatores que agravam a degradação da madeira como a temperatura, a umidade e a falta de ventilação. A ferramenta *UWG* pode servir como auxílio à detecção dos futuros riscos relacionados à temperatura e umidade. Ao identificar esse risco devem ser formuladas estratégias de conservação e manutenção preventiva, tanto do ponto de vista dos materiais, das

edificações e do seu contexto urbano. Essa abordagem reduz a necessidade de intervenções restauradoras, mantendo a originalidade do patrimônio, reduzindo os custos das iniciativas e o consumo de materiais. Assim, é necessário conhecimento técnico e atenção dos profissionais como arquitetos, engenheiros e urbanistas, bem como de políticas que produzam um Plano Diretor condizente com as necessidades da preservação de seu patrimônio histórico. Como em outras áreas, é necessária uma atuação conjunta da população, do poder público e dos especialistas com atenção à sustentabilidade, de forma que ocorra o equilíbrio de aspectos econômicos, sociais (incluindo políticos e culturais) e ambiental.

Entre as limitações do estudo, destaca-se a ausência de dados sobre a materialidade das vias urbanas e o tráfego de veículos, cuja inclusão demandaria levantamento prévio. Ademais, a configuração construtiva das edificações foi mantida conforme os padrões estabelecidos pelo *DragonFly*, o que implica que o algoritmo ainda não está plenamente adaptado à realidade local. No entanto, como os parâmetros foram uniformemente aplicados em todas as simulações, acredita-se que as conclusões obtidas não foram significativamente comprometidas. Ajustes metodológicos serão incorporados nas etapas subsequentes da pesquisa. Ainda, ressalta-se que existem limitações do *UWG* frente ao cálculo da umidade, visto que atualmente nem todos os componentes latentes foram caracterizados de forma precisa na ferramenta (Mao e Norford, 2021).

Por fim, ressalta-se que a ferramenta *CCWorldWeatherGen* não utiliza os dados do relatório mais recente do IPCC (*Sixth Assessment Report*). Todavia, sua gratuidade representa uma vantagem significativa, ampliando o acesso a pesquisadores e profissionais interessados na análise de cenários climáticos futuros.

Referências

- ARQUIVO meteorológico Erechim. **Meteoblue**. 2025. Disponível em: https://www.meteoblue.com/pt/tempo/historyclimate/weatherarchive/erechim_brasil_3464073?fcstlength=ly&year=2024&month=9. Acesso em: 25 set. 2025.
- BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero Pinus tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) — Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- BERTOLIN, Chiara. Preservation of Cultural Heritage and Resources Threatened by Climate Change. **Geosciences**, [s. l.], v. 9, n. 6, p. 250, jun. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences9060250>.
- BRITO, L. D. **Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação**. 2014. Tese (Departamento de Engenharia de Estruturas) — Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
- CARTA Brasileira do Patrimônio Cultural e Mudanças Climáticas. **ICOM Brasil**, 2025. Brasília: Ministério da Cultura, set. 2025. Disponível em: <https://www.icom.org.br/conheca-a-versao-oficial-da-carta-brasileira-do-patrimonio-cultural-e-mudancas-climaticas/>. Acesso em: 29 set. 2025.
- CASTRO, Vinícius Gomes de; GUIMARÃES, Pompeu Paes. Agentes Deterioradores Abióticos. In: CASTRO, Vinícius Gomes de; GUIMARÃES, Pompeu Paes. **Deterioração e Preservação da Madeira**. Mossoró: Edufersa, 2018. Disponível em: <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2019/02/deterioracao-e-preservacao-da-madeira002.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2022.
- CLIMATE Change World Weather File Generator for World-Wide Weather Data — CCWorldWeatherGen. **University of Southampton energy & climate change**, 2020. Disponível em: <https://energy.soton.ac.uk/climate-change-world-weather-file-generator-for-world-wide-weather-data-ccworldweathergen/>. Acesso em maio de 2022.
- CRUZ, H. (2001). Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. In: II CURSO LIVRE INTERNACIONAL DE PATRIMÔNIO. **Anais** [...]. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico — Fórum UNESCO Portugal. Santarém, 2001.
- GARTLAND, Lisa. **Ilhas de Calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Trad. Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- IIWC, 2017: Princípios para la conservación del patrimônio construído em madera. In: 19ª ASSEMBLEIA GERAL ICOMOS, 2017, Delhi. **Anais** [...]. Delhi, 2017. Disponível em: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Charters/GA2017_6-3-4_WoodPrinciples_ESP_adoptados-15122017.pdf. Acesso em 15 jan. 2019.
- Intergovernmental Panel on **Climate Change (IPCC)**. **Climate Change 2021 — The Physical Science Basis**: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2023.

KHERAIS, M.; CSÉBFALVI, A.; LEN, A. The climate impact on timber structures. **International Journal of Optimization in Civil Engineering**, v. 11, n. 1, p. 143—154, 2020.

LARSEN, Knut Einar; MARSTEIN, Nils. **Conservation of Historic Timber Structures**: An Ecological Approach. Oxford: Elsevier Science & Technology Books, 2000.

LERSCH, Inês Martina. **Contribuições para a identificação dos principais fatores e mecanismos de degradação em Edificações do Patrimônio Cultural de Porto Alegre**. 2003. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/3674>. Acesso em: 12 ago. 2022.

MACHADO, J. S.; DIAS, A.; CRUZ, H.; CUSTÓDIO, J.; PALMA, P. **Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Madeira**. 1^a ed. Portugal: Editora Verlag Dashöfer, 2009.

MAO, Jiachen; NORFORD, Leslie K. Urban Weather Generator: physics-based microclimate simulation for performance-oriented urban planning. **Urban Microclimate Modelling For Comfort And Energy Studies**, [s. l.], p. 241-263, 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-65421-4_12.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/LPF, 1988. 56p. Disponível em: <https://www.gov.br/florestal/pt-br/centrais-de conteudo/publicacoes/publicacoes-diversas/Adegradaodamadeiraesuapreservao.pdf>. Acesso em: 29 set. 2025.

PINTO, Thayná Fructuoso Moreira; DEVITTE, Alessandra. Plano diretor versus preservação: sua relação com o surgimento de patologias em edificações históricas de itajaí/sc. In: **Estudos Brasileiros sobre Patrimônio**. Belo Horizonte: Poisson, 2020. Disponível em: <https://www.poisson.com.br/livros/patrimonio/volume4/>. Acesso em: 12 ago. 2022.

PREFEITURA de Erechim. **Prefeitura de Erechim**, 2022. Disponível em: <https://www.pmerechim.rs.gov.br>. Acesso em: 31 maio 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ERECHIM. Inventário de Bens Culturais Municipais. **Bens Edificados**, Erechim, [s. n.], 2019.

RITTER, M. A.; MORRELL, J. J. Bridge Inspection for Decay and Other Deterioration. In: **Timber Bridges**: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. United States Department of Agriculture - USDA. USA: Forest Service, 1990.

ROSSATO, M.S. Os **Climas do Rio Grande do Sul**: variabilidade tendências e tipologia. Porto Alegre: PPGEA/UFRGS, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/32620>. Acesso em: 28 jan. 2023.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill Maiden em ensaios de laboratório**. 1992. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)—Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

SILVA, Mariana Estima; TORRES, Ariela da Silva; SALAMONI, Isabel Tourinho. Análise da influência de porões ventilados no estado de conservação de edificações históricas com novos usos na cidade de Pelotas/RS. **Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 204-215, nov. 2017. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v14i1.45982>.

STOLZ, Carina Mariane; WASEM, Karen Schardong. Manifestações patológicas em edificação histórica no Vale dos Sinos/RS. **Revista Tecnologia e Tendências**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 37-52, set. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.25112/rtt.v11i1.2189>.

WREGE, M. et al. **Atlas climático da região sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília, DF: EMBRAPA, 2012. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202005/13110041-atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2023.

WEATHER Data. **Energyplus**, 2022. Disponível em: <https://energyplus.net/weather>. Acesso em maio de 2022.