

ANÁLISE TERMOGRÁFICA DA INFLUÊNCIA DE CORES NA VARIACÃO TÉRMICA DE BRISES METÁLICOS DE EDIFÍCIO ESCOLAR NO DISTRITO FEDERAL

TIAGO REGES DA SILVA
PPG/FAU – UnB
2025



Programa de Pós-Graduação
Faculdade de Arquitetura e
Urbanismo



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA DA INFLUÊNCIA DE CORES NA
VARIAÇÃO TÉRMICA DE BRISES METÁLICOS DE EDIFÍCIO
ESCOLAR NO DISTRITO FEDERAL**

TIAGO REGES DA SILVA

ORIENTADOR: DR. CAIO FREDERICO E SILVA

MESTRADO EM ARQUITETURA E URBANISMO

Brasília | DF
FEVEREIRO - 2025

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

**ANÁLISE TERMOGRÁFICA DA INFLUÊNCIA DE CORES NA
VARIAÇÃO TÉRMICA DE BRISES METÁLICOS DE EDIFÍCIO
ESCOLAR NO DISTRITO FEDERAL**

TIAGO REGES DA SILVA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO REQUISITO OBRIGATÓRIO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

Dr. Prof. Caio Frederico e Silva, Dr. (FAU/UnB)

(Orientador)

Dra. Prof^a. Joára Cronemberger Ribeiro Silva, Dra. (FAU/UnB)

(Examinador Interno)

Dr. Prof. Leonardo Pinto de Oliveira, Dr. (DF Legal)

(Examinador Externo)

Dra. Prof^a. Cláudia Naves David Amorim, Dra. (FAU/UnB)

(Suplente)

Brasília | DF
FEVEREIRO - 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, TIAGO REGES

Análise termográfica da influência de cores na variação térmica de brises metálicos de edifício escolar no Distrito Federal

[Distrito Federal] 2025.

xi, 102 p.; 210x297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2018).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2015.

Orientação: Caio Frederico e Silva.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1. Brise. 2. Cor. 3. Termografia 4. Desempenho Térmico 5. Edificações escolares.

I. FAU/UnB. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, TIAGO REGES (2025). **Análise termográfica da influência de cores na variação térmica de brises metálicos de edifício escolar no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 133 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Tiago Reges da Silva.

TÍTULO: Análise termográfica da influência de cores na variação térmica de brises metálicos de edifício escolar no Distrito Federal.

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Tiago Reges da Silva

Tenho esperança. (...) Luto, sou um homem animoso. É possível participar das coisas e a gente não deve ter medo, mesmo que a tarefa pareça invencível.

Ariano Suassuna

Agradecimentos

O otimismo não sobrevive sem esforço. Somente nós mesmos conhecemos a profundidade das batalhas travadas e das conquistas alcançadas ao longo do caminho. No entanto, é certo que sozinho eu não teria chegado até aqui. Por isso, expresso meus mais sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para este momento tão especial.

À minha esposa, Bruna, pelo amor, paciência e apoio incondicional durante os momentos mais desafiadores. Você literalmente trouxe cores para a minha vida. Sua presença foi meu porto seguro, e suas palavras de encorajamento me deram forças para seguir em frente.

À minha filha Eva, que, mesmo antes de nascer, trouxe uma nova dimensão de alegria, inspiração e propósito para minha vida. Seu futuro é uma das minhas maiores motivações, e este trabalho é também para você.

À minha família, especialmente aos meus pais, Dilma e Elias, por todo o carinho, dedicação e exemplo de trabalho e honestidade. Vocês sempre acreditaram em mim e me ensinaram que o conhecimento é um dos bens mais preciosos que podemos conquistar. E à minha irmã, Bruna, pelo carinho de sempre.

Ao meu orientador, professor Caio, por ter aceitado este desafio comigo e por sua orientação, paciência e expertise. Suas contribuições desde a especialização Reabilita até a entrega deste mestrado foram fundamentais para o meu desenvolvimento como mestre.

Aos amigos da Diretoria de Arquitetura da Secretaria de Educação do Distrito Federal, em especial a Flávia Koshino e Raquel Fernandes, por assumirem tantas responsabilidades e enfrentarem os momentos mais desafiadores desta jornada com dedicação e parceria. E a toda a equipe pelo incentivo e pelas conversas que trouxeram inspiração e novas perspectivas ao longo desta trajetória.

Aos mestres com os quais tive o privilégio de aprender, que compartilharam seus conhecimentos com generosidade e me estimularam a crescer tanto como profissional quanto como pessoa. Especialmente aos professores que puderam contribuir diretamente para a realização desta dissertação: Joára Cronemberger, Leonardo Oliveira, João Pantoja e Gustavo Luna.

Aos meus amigos, que estiveram comigo nesta jornada, compartilhando não apenas conhecimentos, mas também risadas, desafios e apoio mútuo nos momentos difíceis.

À Universidade de Brasília, pelo ambiente acadêmico estimulante e pela oportunidade de aprofundar meus conhecimentos em uma instituição de excelência.

À Escola Classe Verde do Riacho Fundo I, na figura da Diretora Mônica e Vice-Diretora Janine, com a companhia dos vigilantes Benilson e Sarah que não mediram esforços para me receber e colaborar com a coleta de dados para esta pesquisa. Agradeço pela confiança e pela parceria.

A todos que, de alguma forma, fizeram parte deste percurso, meu profundo agradecimento. Este trabalho é também um reflexo do apoio, do incentivo e da generosidade de cada um de vocês.

Resumo

As mudanças climáticas representam um dos maiores desafios globais da atualidade, destacando a importância das decisões projetuais na mitigação de seus impactos. Nesse contexto, compromissos ambientais internacionais têm incentivado a adoção de estratégias sustentáveis, promovendo a redução dos impactos ambientais em diversos setores e influenciando diretamente o planejamento e a concepção de projetos arquitetônicos. No Brasil, uma solução de destaque é a aplicação de brises enquanto elementos de controle solar nas aberturas. Nesse sentido, percebe-se que a cor pode ter impacto no seu desempenho térmico. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar a influência das cores em brises metálicos na variação de suas temperaturas superficiais no contexto climático do Distrito Federal (DF). Partindo de uma análise de protocolos existentes e na seleção da fachada noroeste da Escola Verde, localizada na Região Administrativa do Riacho Fundo, no DF, como estudo de caso, foram realizadas análises de termogramas registrados por termografia infravermelha durante sete meses (de março a setembro de 2024), utilizando correlações e convergências que permitiram compreender a relação entre a temperatura superficial e os matizes e brilhos das cores presentes nos brises metálicos do edifício. Os dados tabulados revelam a predominância dos tons azuis com 62% das temperaturas mais altas, a estabilidade térmica dos tons amarelos correspondendo a 59% das temperaturas mais baixas e o comportamento intermediário dos tons vermelhos representando 11%. Quanto à luminosidade, 55% dos brises metálicos de alta luminosidade encontravam-se refletindo melhor o calor, e 59% dos brises metálicos com as maiores taxas de absorção de radiação eram os de baixa luminosidade. Nesse contexto, evidencia-se, como estratégia para oferecer subsídios para decisões projetuais, correlações claras entre matiz, luminosidade e as temperaturas superficiais dos brises metálicos.

Palavras-chave: Brise; Cor; Termografia; Desempenho térmico; Edificações escolares.

Abstract

Climate change represents one of the greatest global challenges of our time, highlighting the importance of design decisions in mitigating its impacts. In this context, international environmental agreements have encouraged the development of sustainable strategies, promoting the reduction of adverse environmental impacts across various sectors and directly influencing the planning and conception of architectural projects. In Brazil, a prominent solution is the application of brise-soleils as solar control elements on building openings. In this regard, it is evident that color can impact their thermal performance. Thus, the objective of this study is to analyze the influence of colors in metallic brise-soleils on the variation of their surface temperatures within the climatic context of the Federal District (FD). Based on an analysis of existing protocols and the selection of the northwest façade of Escola Verde, located in the Administrative Region of Riacho Fundo in DF, a thermographic analysis was conducted using infrared thermography over seven months (March to September 2024) as a case study. The data were analyzed through correlations and convergences to understand the relation between surface temperature and the hues and brightness levels of the colors present on the building's metallic brise-soleils. The tabulated data reveal the predominance of blue tones getting 62% of the highest temperatures, the thermal stability of yellow tones corresponding to 59% of the lowest temperatures, and the intermediate behavior of red tones representing 11%. Regarding brightness, 55% high-luminosity metallic brise-soleils were more effective at reflecting heat, while 59% of metallic brise-soleils with highest radiation absorption rates were those with low luminosity. In this context, clear correlations between hue, brightness, and the surface temperatures of metallic brise-soleils emerge as a strategy to support design decisions.

Keywords: Brise-soleil; Color; Thermography; Thermal Performance; School Buildings.

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	OBJETIVO	7
1.2.	ESTRUTURA DO TRABALHO	7
2.	PANORAMA BIBLIOMÉTRICO SOBRE TERMOGRAFIA EM EDIFICAÇÕES.	8
2.1.	COMPREENSÃO DA TERMOGRAFIA EM EDIFICAÇÕES	8
2.1.1.	<i>Análise de Coautoria</i>	10
2.1.2.	<i>Análise de Palavras-chave</i>	12
2.2.	COMPÊNDIO DE PESQUISAS	14
3.	METODOLOGIA	19
3.1.	ESQUEMA DA METODOLOGIA	20
3.2.	PROTOCOLOS	21
3.2.1.	<i>Parâmetros Termográficos</i>	21
3.2.2.	<i>Parâmetros Técnicos</i>	22
3.2.3.	<i>Parâmetros Ambientais</i>	23
3.2.4.	<i>Quadro Resumo</i>	24
3.3.	SISTEMATIZAÇÃO DOS PROTOCOLO	27
3.4.	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	33
3.5.	ESCOLHA DO ESTUDO DE CASO	36
3.6.	COLORIMETRIA APLICADA AO ESTUDO DE CASO	44
3.7.	ANÁLISES DOS TERMOGRAMAS	44
3.8.	MODELO DE RESULTADO	46
3.8.1.	<i>Dados Brutos</i>	49
3.8.2.	<i>Correlação dos Dados</i>	49
3.8.3.	<i>Convergência dos Dados</i>	51
3.8.4.	<i>Síntese das Convergências</i>	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.1.	DADOS, CORRELAÇÕES E CONVERGÊNCIAS	54
4.1.1.	<i>Março 2024</i>	56
4.1.2.	<i>Abril 2024</i>	60
4.1.3.	<i>Maio 2024</i>	64
4.1.4.	<i>Junho 2024</i>	68
4.1.5.	<i>Julho 2024</i>	72
4.1.6.	<i>Agosto 2024</i>	76
4.1.7.	<i>Setembro 2024</i>	80
4.2.	SÍNTESE	84
4.2.1.	<i>Horário 9h</i>	84
4.2.2.	<i>Horário 11h</i>	86
4.2.3.	<i>Horário 15h</i>	87
4.2.4.	<i>Horário 17h</i>	88
4.2.5.	<i>Média Geral</i>	89
4.3.	DISCUSSÃO	90
5.	CONCLUSÃO	92
	REFERÊNCIAS	97

Lista da Figuras

Figura 1 - Mapa de coautoria entre os 49 artigos selecionados	10
Figura 2 - Mapa de ocorrência das Palavras-chave entre os 49 artigos selecionados	13
Figura 3 - Esquema metodológico.....	20
Figura 4 – Registro ilustrando momentos antes de uma medição.....	29
Figura 5 - Termograma com e sem fita isolante - Método da Fita Isolante	30
Figura 6 - Imagem e Termograma para medição da temperatura refletida às 9h00 de Março na fachada Noroeste	31
Figura 7 - Foto da Câmera FLIR One Pro utilizada	33
Figura 8 - Tripé de Alumínio TEEM utilizado	34
Figura 9 - Foto da Câmera FLIR One Edge utilizada	34
Figura 10 - Foto de um dos Loggers HOBO utilizado.....	35
Figura 11 - Artefato protetor dos loggers e sua aplicação junto ao tripé	36
Figura 12 - Mapa de trecho do Distrito Federal	38
Figura 13 - Mapa de localização da Escola Classe 01 do Riacho Fundo.....	39
Figura 14 – Vista aérea da fachada noroeste da Escola Classe 01 do Riacho Fundo	39
Figura 15 - Foto de vista do Brises Fixos	40
Figura 16 - Planta Baixa do Térreo com trecho da Carta Solar.....	42
Figura 17 - Representação do Brise BV na fachada Noroeste	43
Figura 18 - Representação do Brise BPB na fachada Sudeste.....	43
Figura 19 - Representação do Brise BPA na fachada Nordeste	43
Figura 20 - Representação do Brise BV na fachada Sudoeste	43
Figura 21 – Trecho do termograma com a aplicação da ferramenta linha	46
Figura 22 - Esquema para identificação das cores dos brises	46
Figura 23 - Modelo de tabela com dados fictícios, demonstrando a estrutura organizacional dos dados brutos e suas correlações.....	48
Figura 24 - Modelo de tabela com as convergências dos dados.....	48
Figura 25 - Modelo de tabela síntese	49
Figura 26 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Março às 15h.....	56
Figura 27 - Termogramas da medição de Março às 9h e às 17h respectivamente....	57
Figura 28 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Abril às 11h.....	60
Figura 29 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Maio às 9h	64
Figura 30 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Junho às 11h	68
Figura 31 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Julho às 9h	72
Figura 32 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Agosto às 17h.....	76
Figura 33 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Setembro às 15h	80
Figura 34 – Representação simbólica dos resultados encontrados para as cores do brises metálicos no contexto do Distrito Federal	96

Lista da Tabela

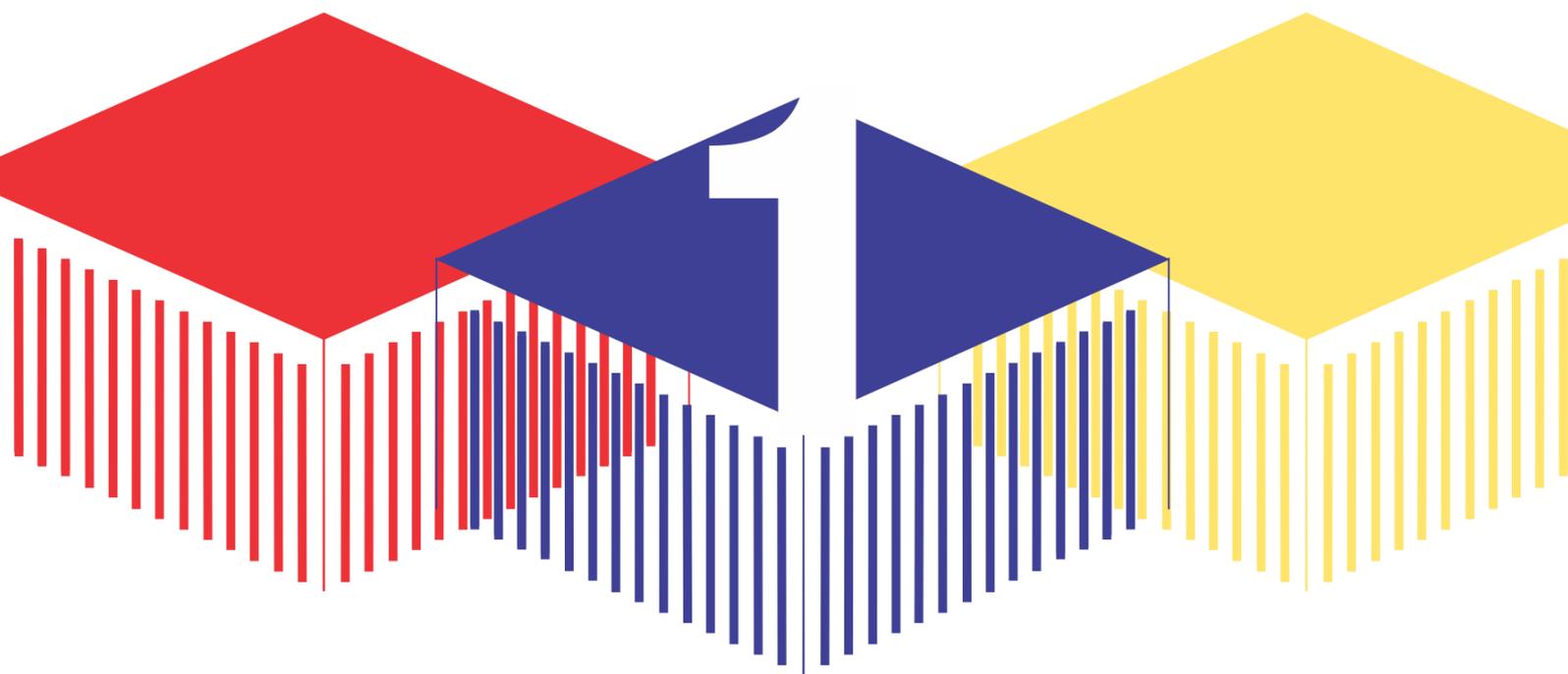
Tabela 1 – Tabela 13 da NBR 15.575-4:2021 – Transmitância térmica de referência para paredes externas.	6
Tabela 2 - Palavras-chave e seus resultados nas bases Scopus e WoS.....	9
Tabela 3 - Tabulação dos Dados e Correlações de Março	56
Tabela 4 - Convergência dos Dados às 9h de Março	58
Tabela 5 - Convergência dos Dados às 11h de Março	58
Tabela 6 - Convergência dos Dados às 15h de Março	58
Tabela 7 - Convergência dos Dados às 17h de Março	58
Tabela 8 - Tabulação dos Dados e Correlações de Abril	60
Tabela 9 - Convergência dos Dados às 9h de Abril	62
Tabela 10 - Convergência dos Dados às 11h de Abril	62
Tabela 11 - Convergência dos Dados às 15h de Abril	62
Tabela 12 - Convergência dos Dados às 17h de Abril	62
Tabela 13 - Tabulação dos Dados e Correlações de Maio	64
Tabela 14 - Convergência dos Dados às 9h de Maio.....	66
Tabela 15 - Convergência dos Dados às 11h de Maio.....	66
Tabela 16 - Convergência dos Dados às 15h de Maio.....	66
Tabela 17 - Convergência dos Dados às 17h de Maio.....	66
Tabela 18 - Tabulação dos Dados e Correlações de Junho	68
Tabela 19 - Convergência dos Dados às 9h de Junho.....	70
Tabela 20 - Convergência dos Dados às 11h de Junho.....	70
Tabela 21 - Convergência dos Dados às 15h de Junho.....	70
Tabela 22 - Convergência dos Dados às 17h de Junho.....	70
Tabela 23 - Tabulação dos Dados e Correlações de Julho.....	72
Tabela 24 - Convergência dos Dados às 9h de Julho.....	74
Tabela 25 - Convergência dos Dados às 11h de Julho.....	74
Tabela 26 - Convergência dos Dados às 15h de Julho.....	74
Tabela 27 - Convergência dos Dados às 16h de Julho.....	74
Tabela 28 - Tabulação dos Dados e Correlações de Agosto	76
Tabela 29 - Convergência dos Dados às 9h de Agosto	78
Tabela 30 - Convergência dos Dados às 11h de Agosto	78
Tabela 31 - Convergência dos Dados às 15h de Agosto	78
Tabela 32 - Convergência dos Dados às 17h de Agosto	78
Tabela 33 - Tabulação dos Dados e Correlações de Setembro.....	80
Tabela 34 - Convergência dos Dados às 9h de Setembro.....	82
Tabela 35 - Convergência dos Dados às 11h de Setembro.....	82
Tabela 36 - Convergência dos Dados às 15h de Setembro.....	82
Tabela 37 - Convergência dos Dados às 17h de Setembro.....	82
Tabela 38 - Síntese das Convergência dos Dados às 9h	84
Tabela 39 - Síntese das Convergência dos Dados às 11h	86
Tabela 40 - Síntese das Convergência dos Dados às 15h	87
Tabela 41 - Síntese das Convergência dos Dados às 17h	88
Tabela 42 - Síntese das Convergência dos Dados Média Geral.....	89

Lista da Quadros

Quadro 1 - 9 artigos com maior aderência ao tema de estudo	16
Quadro 2 - Protocolos Identificados	25
Quadro 3 - Protocolos Sistematizados	32

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Normais Climatológicas do INMET	37
---	----



1. Introdução

Segundo o Fundo das Nações Unidas para a Infância (2022) é alto o impacto das mudanças climáticas e da degradação ambiental na próxima geração, uma vez que, certamente, tanto meninos e meninas crescerão em um ambiente mais hostil e imprevisível do que as gerações anteriores. Ou ainda, segundo a Agência Internacional de Energia (2022), a mudança climática atual se apresenta como um dos maiores desafios globais, intensificando-se e causando impactos significativos em nosso planeta e na forma como vivemos. Trata-se de uma advertência dirigida a todo o mundo com forte impacto nas decisões de projetos arquitetônicos do nosso ambiente construído.

Diante desse cenário, diversas organizações internacionais e nacionais atuam para mitigar os impactos climáticos e promover o desenvolvimento sustentável. A Organização das Nações Unidas, por meio da Agenda 2030, define diretrizes globais nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como a ação climática e o planejamento urbano sustentável (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Além disso, eventos como as Conferências das Partes (COP) reúnem países para discutir estratégias, sendo a COP 28 um exemplo recente que abordou financiamento climático e inclusão (UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE, 2023a). O Acordo de Paris, firmado em 2016, estabelece metas para limitar o aumento da temperatura global, influenciando políticas ambientais (UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE, 2023b). No Brasil, iniciativas como o Fórum Brasileiro de Mudanças do Clima e o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima reforçam o compromisso nacional com a redução de vulnerabilidades (BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2016) e a adoção de estratégias sustentáveis (BRASIL, 2017). Essas ações exemplificam

esforços conjuntos para enfrentar os desafios climáticos e orientar decisões, incluindo aquelas relacionadas à arquitetura e ao ambiente construído (BRASIL, 2017).

Assim, a urgência das advertências sobre as mudanças climáticas e a degradação ambiental coloca uma responsabilidade sobre todos os setores produtivos, especialmente no campo da arquitetura e do urbanismo. O projeto arquitetônico, enquanto ferramenta essencial na conformação do ambiente construído, deve incorporar diretrizes ambientais que mitiguem os impactos negativos e promovam um futuro sustentável. Com essa perspectiva, arquitetos e engenheiros enfrentam o desafio de equilibrar funcionalidade, conforto e estética com demandas ambientais, tornando a sustentabilidade uma premissa indispensável na concepção de edifícios e espaços urbanos.

O projeto arquitetônico é concebido por meio de uma série de decisões sucessivas até o momento que seu autor o julga satisfatório (MARTÍNEZ, 2000; SGUARIO et al., 2024). No entanto, decisões projetuais na arquitetura, por vezes, são tomadas de forma arbitrária, sem embasamento técnico adequado. A arquitetura moderna propõe que, para mitigar essa arbitrariedade, as decisões sejam baseadas nas características específicas e intrínsecas de cada problema arquitetônico (MAHFUZ, 2006), estruturado em um conjunto de procedimentos que visam otimizar e racionalizar o processo projetual (DENICOL, 2018), carregada de postura consciente, considerando o impacto de suas escolhas. (SGUARIO et al., 2024)

Um dos principais desafios da produção arquitetônica contemporânea é a falta de rigor, que se manifesta tanto na escolha aleatória de soluções quanto no uso excessivo de elementos, em detrimento ao que é essencial no projeto, a depender da área de atuação, excluindo elementos que sejam acessórios ou irrelevantes deixando de fora o que for meramente secundário e irrelevante.(MAHFUZ, 2006). Nesse contexto, a definição de quais princípios devem orientar a concepção dos aspectos relevantes do problema arquitetônico estabelece as diretrizes que nortearão as soluções adotadas ao longo do processo projetual. Independentemente da área de atuação, o projeto arquitetônico deve integrar de forma consistente os princípios bioclimáticos nas suas escolhas e decisões.(BLUMENSCHHEIN, 2004)

Diante das evidências apresentadas, a implementação de estratégias bioclimáticas torna-se indispensável para alcançar um “projetar com rigor” e cumprir com os compromissos firmados pelas iniciativas globais. As estratégias bioclimáticas oferecem soluções construtivas que impactam tanto a edificação quanto seus processos e sistemas construtivos, abrangendo aspectos como a forma e os materiais utilizados (PEIXOTO, 2021) tendo a aplicação de dispositivos de sombreamento nas aberturas destaque como uma das abordagens mais relevantes no Brasil, em virtude do clima predominantemente quente que predomina na maior parte do país ao longo do ano (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997), sendo essa uma técnica passiva eficaz para o resfriamento da edificação, mitigando a entrada da radiação solar direta nos ambientes internos durante os períodos mais quentes do dia (MEDEIROS; NOME; ELALI, 2011) reduzindo a transmissão de radiação solar para o interior, ao mesmo tempo em que absorve e reflete parte dessa radiação (TOUMA; OUAHRANI, 2017).

As estratégias mais eficazes de sombreamento incluem a incorporação de brises ou proteções solares, a adoção de beirais de telhado, marquises, sacadas, persianas, venezianas ou outros dispositivos internos de proteção, além da correta orientação solar do projeto e o uso de vegetação (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997), sendo

que de acordo com Maragno (2000), entre esses, o brise-soleil tornou-se o elemento mais eficiente e mais popular no Brasil, contribuindo com uma função capital na caracterização estética e valorização plástica dos edifícios.

Na década de 1930, Le Corbusier introduziu o conceito de “brise-soleil”¹, explorando soluções de sombreamento arquitetônico para otimizar o conforto térmico em climas tropicais. No Brasil, segundo Maragno (2000) um dos primeiros exemplos marcantes foi o Ministério da Educação e Saúde, que incorporou um sistema móvel de sombreamento para melhor controle da iluminação natural, estratégia que marcou o início da arquitetura moderna brasileira, conhecido como Escola Carioca, que adotou amplamente elementos de sombreamento, tanto por razões funcionais quanto estéticas, consolidando-os como parte da identidade arquitetônica nacional e conferindo reconhecimento internacional ao movimento.

Maragno (2000) destaca que o brise-soleil possui identidade construtiva própria e sua eficiência é maximizada quando integrado ao conjunto arquitetônico. Ele pode ser fixo ou móvel, disposto na vertical ou horizontal, e fabricado em diversos materiais, cujas cores influenciam no desempenho térmico. Além de sua função no controle solar, os brises ampliam as possibilidades formais e estéticas dos projetos, desde que respeitem os ângulos adequados para sombreamento eficiente.

Dessa forma, Maragno (2000) ressalta que, embora os brises sigam normas técnicas para o bloqueio da radiação solar, há ampla liberdade para exploração criativa na integração com a fachada e na composição arquitetônica. Inicialmente pesados e integrados à escala do edifício, os brises evoluíram com o uso de lâminas metálicas industrializadas, tornando-se mais leves e elegantes. Essa transformação aprimorou a estética das fachadas e consolidou os brises como uma solução difundida na arquitetura brasileira, especialmente devido ao clima predominantemente quente.

Complementando essa perspectiva, Lamberts; Dutra e Pereira (1997) discutem que a implementação de recursos de sombreamento deve ser priorizada em situações em que a análise bioclimática identifica a predominância de calor intenso por períodos prolongados. Nessa perspectiva, o sombreamento de janelas e paredes é eficaz na mitigação da radiação solar direta, especialmente nas fachadas norte, que são as mais afetadas pelo pico de radiação.

Ainda, os elementos de sombreamento podem influenciar tanto os ganhos quanto as perdas térmicas, tornando-se um fator importante que pode impactar na quantidade de energia necessária para manter o ar de um ambiente em condições desejáveis. Em outras palavras, eles podem impactar na gestão de carga térmica (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997), o que faz da absorvância à radiação solar um aspecto projetual importante para a redução de consumo energético. (KAMIMURA et al., 2020)

Esse fator é relevante quando consideramos o impacto direto que a mudança climática pode ter em setores vitais, como o da educação, onde as edificações escolares necessitam de atenção especial para garantir um ambiente seguro e saudável para as crianças, como exposto adiante. A autora Doris Kowaltowski, em seu livro “Arquitetura

¹ Após enfrentar problemas de calor excessivo na Cité de Refuge, Le Corbusier passou a adotar soluções estruturais que protegiam as superfícies verticais da radiação solar, criando uma camada filtrante que controlava a entrada de luz em seus projetos habitacionais para Barcelona e o norte da África. (MARAGNO, 2000)

escolar: o projeto do ambiente de ensino”, explica que a integração do processo arquitetônico projetual nas discussões sobre a qualidade do ensino público brasileiro emerge como uma abordagem relevante, especialmente ao se considerar a influência do ambiente físico sobre o desempenho acadêmico e o bem-estar da comunidade escolar

Iniciativas apoiadas pelo UNICEF visam tornar as edificações educacionais mais resistentes a eventos climáticos e ambientais, reforçando a resiliência de meninas e meninos diante de futuros desafios, como também diminuindo a probabilidade de que as desigualdades atuais se agravem devido às mudanças climáticas (IPCC, 2022). A criação de edificações com padrões ideais ambientalmente promove a saúde dos ocupantes, como destacado por Zivelongui, e Giuseppi (2023) no caso recente de pandemia que demonstrou que a qualidade interna de ar é essencial e necessária para garantir segurança e salubridade ao ambiente escolar.

A mudança climática representa uma ameaça direta ao potencial de sobrevivência, crescimento e prosperidade de uma criança.(UNICEF, 2022) A qualidade espacial das edificações escolares influencia diversos aspectos na comunidade local, desde a segurança pública até o sistema de transporte (LACKNEY, 1994). Neste contexto, garantir condições adequadas de projeto é essencial para proporcionar boas experiências de aprendizado na escola, favorecendo a saúde e o bem-estar de seus usuários (DELIBERADOR; KOWALTOWSKI, 2011).

Em relação às pesquisas que associam clima a produtividade, pode-se citar que Olgyay (2019), Gonzalo (2015), relacionam que, em dias de calor demasiado, existe uma redução nas atividades humanas devido a estafa, e em dias de frio rigoroso temos letargia quanto a realização de tarefas. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) e Romero (2013) relacionam essa mudança ao gasto de energia ativado por mecanismos termorreguladores responsáveis por aumentar ou diminuir a temperatura interna do corpo humano. Assim, os efeitos do clima irão influenciar diretamente na energia e disposição que o ser humano realiza suas tarefas. Batiz et al. (2009) e Wargocki, Wyon (2007) demonstram que na condição neutra de temperatura e conforto térmico, os alunos de escolas apresentam bom desempenho. No entanto, em situações adversas de frio ou calor excessivo, os desempenhos já não condiziam com os alcançados em condições de conforto.

A relação entre o espaço construído e a eficiência do processo educacional revela a necessidade de incorporar ao processo de projeto arquitetônico dados que auxiliem nas principais tomadas de decisão, permitindo sua adaptação às demandas educacionais e às condições ambientais em transformação. Sendo assim, este estudo não pretende medir ou classificar o desempenho acadêmico ou o contexto do usuário.

Kowaltowski (2011), buscando auxiliar no processo de projeto arquitetônico escolar, apresenta 32 parâmetros de projeto específicos para o contexto brasileiro, variando entre parâmetros que abordam conceitos projetuais, funcionais, ergonômicos, identidade e ainda de aprendizado. Há também, alguns parâmetros que abordam conceitos ambientais, tais como transparência, iluminação natural, ventilação natural e elementos de sustentabilidade, onde são tratados temas como luz natural, vistas para o exterior, ventilação natural cruzada, troca de ar, arquitetura bioclimática, exigências térmicas, forma, orientação e critérios de insolação, estrutura térmica dos edifícios, métodos de proteção, controle de insolação e dispositivos de sombreamento.

Um dos fatores que impactam nos parâmetros de projeto citados acima é a radiação

solar, uma vez que todos os materiais têm a capacidade de absorvê-la e assim aumentar a sua temperatura. O estudo da absorptância à radiação solar revela que materiais claros absorvem menos radiação solar, aquecendo-se parcialmente e reemitindo parte para fora e parte para o ambiente interno (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 1997; ROMERO, 2013). O controle das temperaturas internas pela radiação solar varia de acordo com a absorptância das superfícies externas da edificação (GIVONI, 1998).

Dornelles (2008) aponta que limitando o ganho de calor solar através da envoltória seria estudando a intensidade da radiação solar e a capacidade da superfície externa em absorver essa radiação, que é diretamente afetada pela escolha das cores externas.

Os materiais emitem a radiação infravermelha de acordo com a sua temperatura sempre que aquecidos e essa radiação só é vista por meio de equipamentos próprios para tal fim (MÖLLMANN; VOLLMER, 2007; OCAÑA; GUERRERO; REQUENA, 2004; USAMENTIAGA et al., 2014), sendo que quanto maior a temperatura de um objeto, mais radiação infravermelha ele emite (BALARAS; ARGIRIOU, 2002).

Para analisar o comportamento térmico de materiais com diversas texturas e cores, uma abordagem possível envolve o uso de imagens térmicas geradas a partir da detecção da radiação infravermelha. Isso é realizado por meio de câmeras especiais – termógrafos - que possibilitam o mapeamento preciso dos gradientes de temperatura na superfície dos objetos analisados (SOUZA; LUIS; LAMBERTS, 2010). A termografia passiva, por ser uma técnica não invasiva capaz de capturar a radiação infravermelha a longas distâncias, apresenta vantagens tanto na análise do desempenho térmico de fachadas quanto na detecção de patologias estruturais em edificações (ALMEIDA; ORNELAS; CORDEIRO, 2020; COSTA; PITARMA, 2022).

A monotonia de cores nos ambientes escolares é um dos fatores que prejudicam a humanização e a personalização desses espaços, elementos essenciais para aumentar o nível de satisfação dos usuários, e diversas pesquisas evidenciam os efeitos positivos do uso de cores no ambiente escolar, mostrando que cores vibrantes e alegres não apenas embelezam o espaço, mas também exercem uma influência positiva no comportamento humano, promovendo um ambiente mais estimulante e agradável (KOWALTOWSKI et al., 2001).

Esse é um dos fatores que tornam os ambientes escolares um dos que mais utilizam cores na concepção dos espaços, pois as cores têm uma influência expressiva na aprendizagem, afetando cognição e emoções, estimulando o cérebro (ENGELBRECHT, 2003). Barrett et al. estudou o grau em que o “clima de cor” é apropriado para a aprendizagem e o ensino demonstrando que o fator cor é significativo no progresso da Leitura e Escrita.

Atualmente, a educação básica no Brasil é norteadada por documentos como a Lei nº 9.394, que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), as Diretrizes Curriculares Nacionais e o Plano Nacional de Educação, aprovado em 2014. Esse aspecto ganha relevância quando se considera que os estudantes passam, em média, 7,2 mil horas no ambiente escolar ao longo dos nove anos do ensino fundamental, o que equivale a cerca de 4 horas diárias durante os 200 dias letivos anuais (OECD, 2023). Com a expansão da educação integral no país, esse tempo pode chegar a até 7 horas diárias (BRASIL, 2023).

A relação entre as cores das envoltórias e seu desempenho térmico também é abordada na NBR 15.575 – Norma de Desempenho, que estabelece requisitos para o edifício e seus sistemas com foco no comportamento em uso, sem prescrever métodos construtivos. Na Parte 4 da norma, são definidos os critérios para os sistemas de vedações verticais internas e externas, incluindo os valores de transmitância térmica das paredes externas com base na absorvância à radiação solar, ou seja, na capacidade das cores de absorverem a radiação solar. Esses parâmetros também levam em consideração a localização do edifício, de acordo com a zona bioclimática apresentada e são apresentados na Tabela 13 da norma, e demonstrada a seguir para referência.

Transmitância térmica de paredes (U_{par}) W/(m ² .K)		
Zona bioclimáticas 1 e 2	Zonas bioclimáticas 3 a 8	
$U_{par} \leq 2,7$	$\alpha_{par}^a \leq 0,6$	$\alpha_{par}^a > 0,6$
	$U_{par} \leq 3,7$	$U_{par} \leq 2,5$

Tabela 1 – Tabela 13 da NBR 15.575-4:2021 – Transmitância térmica de referência para paredes externas.
Fonte: ABNT NBR 15.575-4:2021

A norma utiliza “ α_{par} ” como a absorvância à radiação solar da superfície externas da parede, recomendando ainda considerar a degradação do desempenho da superfície, conforme a parte 1 da mesma norma.

Oliveira (2020) em seus estudos sobre métodos de projetos arquitetônicos defende que o desenvolvimento de projetos arquitetônicos exige uma abordagem criteriosa e informada, onde a coleta e análise de dados auxiliam na formação projetual, abrangendo uma visão holística que considera o projeto, a construção e a operação do empreendimento de forma integrada. Para que essa integração seja efetiva, Oliveira (2020) cita que é essencial que os profissionais da arquitetura disponham de dados que permitam uma compreensão profunda, como por exemplo, das condições ambientais, climáticas e bioclimáticas às quais a edificação estará sujeita. A ausência de tais dados pode comprometer sua capacidade de se adaptar e responder de maneira adequada ao ambiente circundante. Uma vez que cada decisão tomada no processo projetual pode impactar direta ou indiretamente o meio ambiente, a utilização de metodologias que incorporam dados ambientais detalhados auxilia em um projeto com seu impacto mínimo preservação dos recursos naturais, como exemplo a metodologia ecológica do arquiteto malásio Ken Yeang, citado no livro de Oliveira.

Dessa forma, considerando a importância do tema, e tendo em vista que, como aponta Dornelles (2008), a escolha de cores nas edificações é frequentemente baseada apenas na percepção visual dos profissionais, sem suporte de dados sobre as diferentes tonalidades, reforçado por Mahfuz, (2006) quanto a arbitrariedade das decisões projetuais, este estudo investiga a relação entre as cores de brises metálicos e a variação de suas temperaturas superficiais por meio da termografia infravermelha, visando fornecer dados técnicos para decisões projetuais.

1.1. Objetivo

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a influência de cores na variação térmica superficial de brises metálicos por meio da termografia infravermelha, no contexto climático do Distrito Federal

Para tal, o estudo apresenta como objetivos específicos:

- Avaliar a termografia infravermelha passiva como ferramenta de identificação das temperaturas superficiais de brises metálicos;
- Estruturar e sistematizar protocolos para medições termográficas quantitativas e passivas com foco em identificar as temperaturas de envoltórias;
- Identificar padrões térmicos de cores em brises metálicos quanto ao seu matiz e luminosidade, em função do horário do dia;
- Fornecer subsídios técnicos para o processo de tomada de decisão em projetos arquitetônicos que utilizem brises metálicos.

1.2. Estrutura do Trabalho

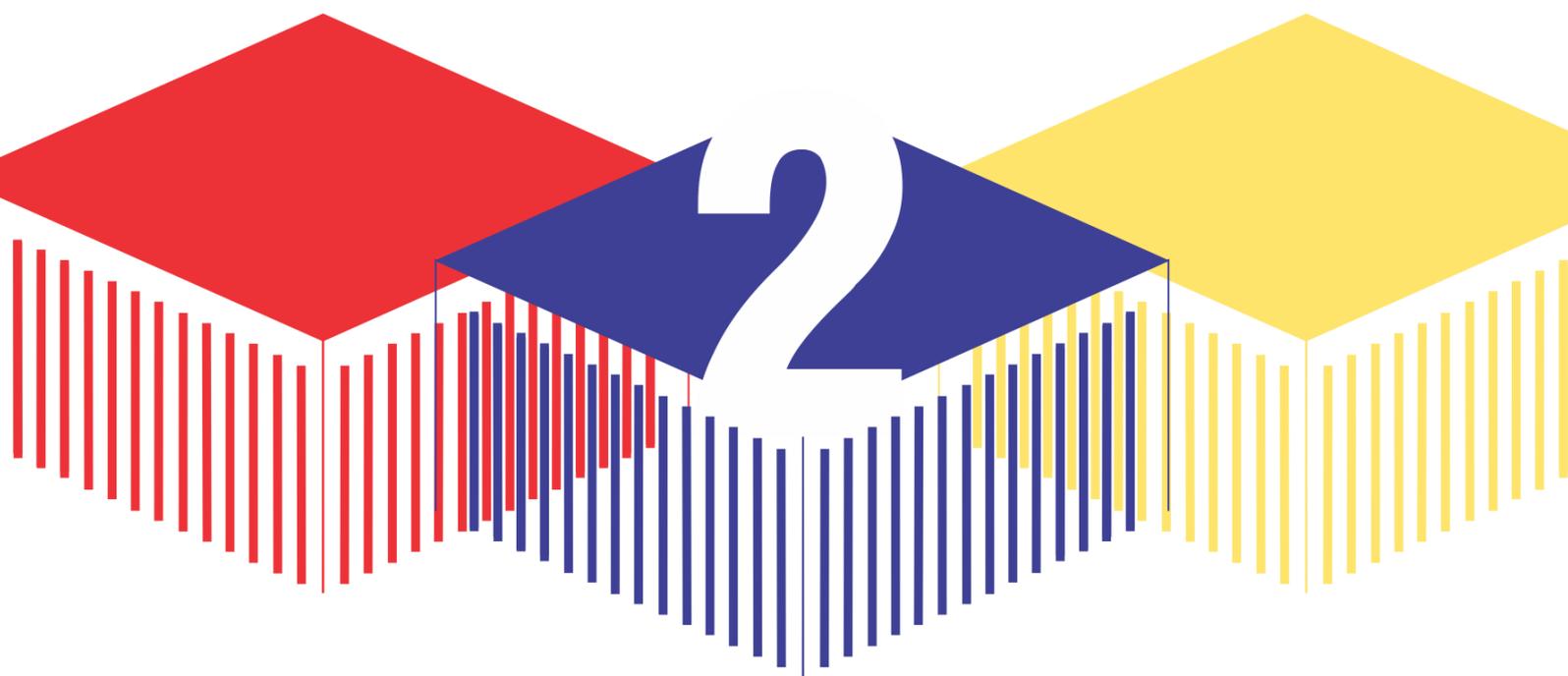
Este trabalho está organizado em cinco capítulos principais. O primeiro capítulo é dedicado à introdução, onde são apresentados o contexto e a problematização do tema, oferecendo uma visão geral da pesquisa (tópico 1). Em seguida, são delineados o objetivo geral e os específicos do estudo (tópico 1.1), findando com uma explicação da estrutura do trabalho (tópico 1.2).

No segundo capítulo, é realizada a revisão bibliográfica, dividida em dois tópicos principais que fornecem a base teórica como meio para esta pesquisa. O primeiro tópico (tópico 2.1) discute a aplicação da termografia em edificações com foco na influência das cores, abordando tanto aspectos amplos quanto específicos, como a relação entre coautoria (tópico 2.1.1) e palavras-chave (tópico 2.1.2). O capítulo é concluído com uma síntese das principais pesquisas relevantes ao tema (tópico 2.2).

O terceiro capítulo detalha a metodologia adotada, dividida em três etapas. A primeira etapa (tópico 3.2) abrange a análise dos protocolos utilizados em pesquisas, seguida pela estruturação de um protocolo específico (tópico 3.3) e os equipamentos utilizados para tal (tópico 3.4). A segunda etapa descreve o estudo de caso (tópico 3.5), sua colorimetria (tópico 3.6) e medição prévia (tópico **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Finalmente, a última etapa (tópicos 3.7 e 3.8) apresenta a forma como as análises e os resultados serão alcançados.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados e discussões, organizados em três tópicos principais apresentando os dados, correlações e convergências realizadas ao longo dos meses (tópico 4.1), uma síntese das observações (tópico 4.2) presentes no tópico anterior e por fim a discussão (tópico 4.3).

O último capítulo concentra-se na conclusão da dissertação. Ao final, são incluídas as referências bibliográficas.



2. Panorama bibliométrico sobre termografia em edificações

Esse capítulo aborda o panorama bibliométrico sobre termografia em edificações, explorando a identificação de estudos semelhantes e os possíveis protocolos existentes quanto às análises de imagens termográficas a fim de dar suporte para alcançar o objetivo desta pesquisa. A principal discussão desta etapa é o entendimento de como aplica-se a termografia de forma eficaz nas edificações, destacando as lacunas de conhecimento e os desafios encontrados na literatura atual.

2.1. Compreensão da termografia em edificações

Inicialmente foi realizada uma análise bibliométrica considerando a termografia em edificações para identificação de estudos semelhantes e enumeração dos possíveis protocolos existentes quanto às análises de imagens termográficas. Neste primeiro momento, a análise bibliométrica concentrou-se primordialmente na interseção entre termografia, edificações e cores, explorando uma abordagem específica que investiga tanto os aspectos quantitativos quanto os qualitativos da literatura existente.

Dessa forma, observa-se uma limitação desta pesquisa ao não aprofundar a análise da relação entre cores e absorção de calor de forma independente da termografia, sem explorar as variações do comportamento térmico dos materiais conforme diferentes faixas do espectro solar (ultravioleta, visível e infravermelho). Essa limitação deve ser considerada na interpretação dos resultados.

Ainda assim, ao restringir a análise à interseção entre cores, termografia e edificações, verificou-se que, mesmo nesse recorte, existem lacunas significativas a serem estudadas, evidenciando a necessidade de aprofundamento na influência da matiz e luminosidade sobre a variação térmica de brises metálicos.

Buscou-se medir e analisar pesquisas em campo científico, permitindo compreender sua estrutura e tendências. Ainda os resultados dessa busca geram recursos como mapas visuais para representar informações de forma compreensível. Dessa forma, a análise bibliométrica, que é baseada em resultados de bancos de dados, buscou minimizar o viés subjetivo, permitindo resultados consistentes em estudos similares posteriormente.

Para a análise bibliométrica, utilizou-se o VOSviewer 1.6.20, uma ferramenta que não exige conhecimento de programação e é facilmente acessível por meio de uma interface gráfica intuitiva. Além disso, o VOSviewer é capaz de lidar com arquivos provenientes de diferentes bancos de dados, o que o torna uma opção versátil e acessível para análise de dados científicos.

Realizou-se uma investigação por meio de consultas em bases de dados científicas, a saber, Scopus e Web of Science - WoS, estas as bases de dados mais relevantes para assuntos relacionados à engenharia. Dada a abrangência considerável do termo “termografia” que engloba predominantemente tópicos relacionados à saúde, e também assuntos correlatos a termografia em edificações, mas com o escopo voltado não para coloração de fachadas, mas sim para manutenção e patologias das estruturas, os documentos primários adquiridos nas referidas bases de dados apresentam uma diversidade de informações, nem todas diretamente correlacionadas ao escopo ou pertinente à área de pesquisa em questão. Assim, foi necessário realizar uma análise e subsequente filtragem dessas informações.

Essa etapa da pesquisa foi realizada tendo como *strings* – palavras-chave a serem buscadas nas bases de dados – os termos “thermography”, “buildings” e “colors” na busca de pesquisas que associem ao mesmo tempo esses tópicos. Como critérios de inclusão, foram consideradas todas as categorias de publicações disponíveis, com exceção das *conferences review* em virtude do seu caráter irrestrito. Ainda, implementou-se um filtro referente à área de aplicação, especificamente a esfera da “engenharia” como a mais abrangente. Em relação ao recorte temporal, optou-se por não restringir a busca a um período específico, uma vez que a inclusão de artigos de diferentes anos permite uma visão mais ampla da evolução do tema. Assim, consideraram-se publicações desde os primeiros registros disponíveis nas bases de dados até o presente, garantindo uma abordagem abrangente e sem viés temporal que pudesse limitar a identificação de tendências relevantes.

Palavra-chave	Base de dados	Número de resultado	Intervalo de Tempo
“thermography” AND “buildings” AND “colors”	Scopus	39	Sem restrição
	Web of Science	32	Sem restrição

Tabela 2 - Palavras-chave e seus resultados nas bases Scopus e WoS
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Efetou-se a contagem e subsequente exclusão de artigos duplicados, consolidando todas as bases de dados pertinentes, resultando em um total de 62 artigos para análise. Na sequência, realizou-se uma revisão dos resumos dos artigos selecionados para a exclusão de estudos que não estivessem alinhados com os objetivos e escopo da pesquisa, restando um total de 44 artigos. Adicionalmente, para garantir uma abordagem ampla, foram feitos acréscimos de 05 artigos por meio de uma pesquisa exploratória, expandindo assim o conjunto de dados a ser analisado, totalizando 49 artigos e possibilitando uma visão mais completa do panorama atual das pesquisas em termografia de cores em edificações.

A avaliação dos resultados foi conduzida por meio da aplicação do software VOSviewer 1.6.20, o qual emprega técnicas de mapeamento de visualização de semelhanças e dimensionamento de redes. Esta ferramenta proporcionou uma abordagem robusta para a análise exploratória e interpretação dos padrões encontrados nos dados obtidos, conferindo maior exatidão e clareza às conclusões extraídas.

2.1.1. Análise de Coautoria

A análise de coautoria, ilustrada na Figura 1, proporcionou a identificação de 308 conexões distintas, distribuídas em 40 *clusters*, entre os 160 autores identificados. Ademais, por meio deste mapeamento, torna-se perceptível a dinâmica temporal subjacente aos grupos de cientistas, desde aqueles que apresentam contribuições mais antigas, evidenciados pela tonalidade azul, até os mais recentes, representados pela tonalidade amarela. Destaca-se, ainda, a relevância de cada coautor, discernida pelos tamanhos dos rótulos e dos círculos, conferindo uma visão estratificada da colaboração científica em tela.

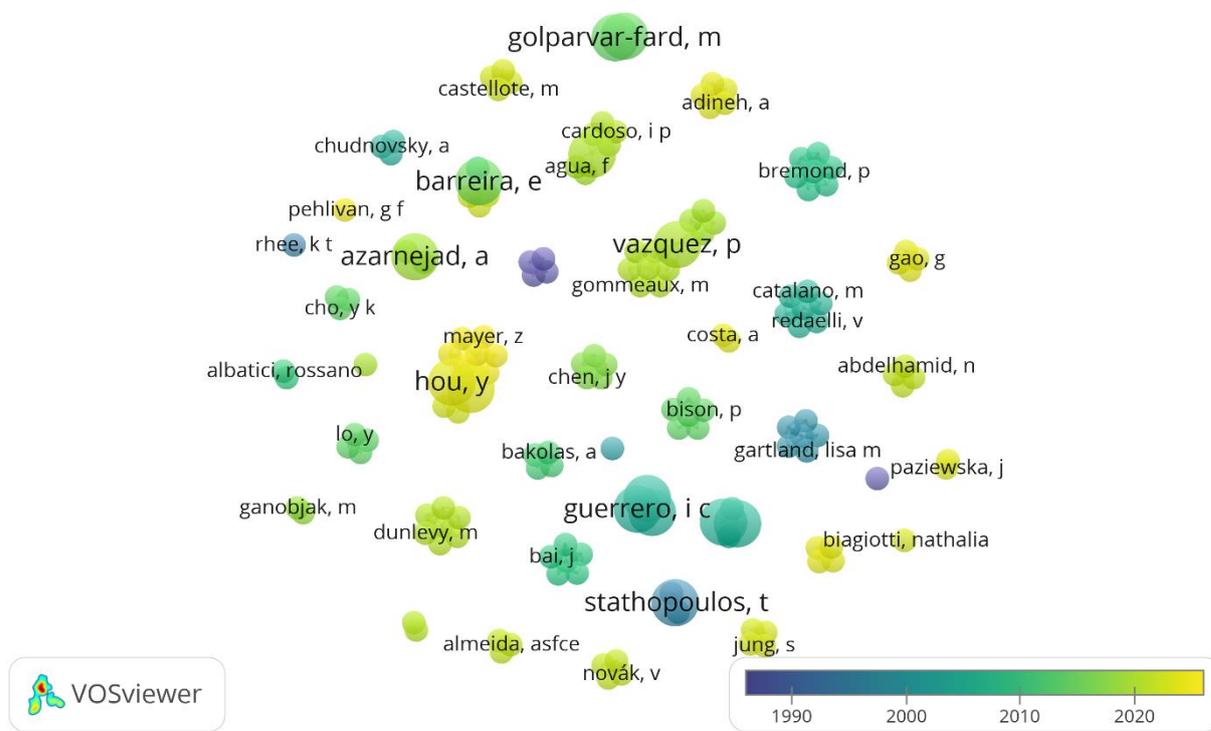


Figura 1 - Mapa de coautoria entre os 49 artigos selecionados
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024

Notou-se que a pesquisa de termografia em edificações em relação à cores é um campo relativamente novo, com o primeiro artigo publicado em 1979. No entanto, o campo cresceu rapidamente nos últimos anos, tendo os co-autores mais importantes se concentrando em pesquisas recentes. Tal análise implica em perceber que há novas aplicações disponíveis para a termografia em edificações, devendo sempre buscar as últimas pesquisas na área.

Inicialmente, os autores como Hou, Y, Guerrero, I C, Stathopoulos, T, e Azarnejad, A aparecem como figuras centrais, indicando que são produtivos e bem conectados. Hou, Y, em particular, mostra uma atividade contínua e recente na pesquisa, evidenciada pela cor amarela de suas conexões.

Destaca-se a disseminação dos *clusters* de forma praticamente desvinculada entre si, caracterizando uma ausência de conexões evidenciada pelos números – quase que um *cluster* por artigo - 1,22. Alguns autores, como Almeida, Asfce e Novák, V, aparecem isolados, indicando menos colaborações e conexões. Em contraste, autores como Vazquez, P, Cardoso, I P, e Bison, P têm múltiplas conexões, sugerindo participação em várias redes de coautoria. A análise temporal das colaborações revela que autores como Paziewska, J e Pehlivan, G F têm conexões mais antigas, enquanto aqueles com conexões amarelas, como Hou, Y e Golparvar-fard, M indicam atividade recente.

Desde o primeiro artigo publicado, há um intervalo temporal de 45 anos para a obtenção dos artigos pesquisado, resultando em uma média de aproximadamente 1,08 artigos por ano. Entretanto, é notável que antes do ano 2000, apenas cinco artigos foram identificados, sugerindo que o tema era uma novidade naquela época. Em contrapartida, observa-se que 30,6% dos artigos (15 artigos) apresentam relevância atual, com pesquisas realizadas nos últimos 4 anos (a partir do ano de 2020 até a data atual). Tal constatação evidencia a contemporaneidade e a relevância em curso do tema explorado.

Os dois maiores *clusters* destacam-se pela relevante participação de autores nas pesquisas, com o *cluster* 1 apresentando 12 autores (liderado por Vazquez, P.) e o *cluster* 2 apresentando 11 autores (liderado por Hou, Y.). Ambos os *clusters* aparecem como pesquisas recentes, sendo o grupo de Vazquez com pesquisas entre 2016 e 2019, e o grupo de Hou entre os anos de 2021 e 2023.

O artigo “Observação térmica por infravermelho da perda de calor em edificações e seu impacto na população de Joliette (Quebec, Canadá)” é o mais antigo, datado do ano de 1979, dos co-autores Bonn, Ferdinand J., Audet, Herve, Forgues, Ginette e Asselin, Suzanne. Esse artigo buscou analisar a efetividade da termografia aérea na identificação de problemas de isolamento em edifícios residenciais (identificou cerca de 80% das casas com problemas de isolamento), demonstrando seu potencial como ferramenta para auxiliar na conservação de energia.

Já os artigos mais recentes datam de 2023 em um total de 3 artigos:

- Análise de Condição e Caracterização do Patrimônio Cultural do Século XX por Meios de Ensaios Não Destrutivos (NDT): O caso da oficina de metalúrgica da Escola Industrial de Sivas na Turquia, do autor Pehlivan, G F, publicado no jornal *Heritage Science* em 28 de março de 2023;
- Avaliação Experimental e Validação do Comportamento Higrotérmico de uma Parede Inovadora em Light Steel Frame (LSF) com Sistema de Monitoramento,

- dos co-autores Jerónimo, R, Gonçalves, M, Furtado, C, Rodrigues, K, Ferreira, C e Simoes, N, publicado no jornal *Buildings* em 03 de outubro de 2023;;
- Pontes Térmicas em Telhados de Edifícios, dos co-autores Mayer, Z, Kahn, J, Götz, M, Hou, Y, Beiersdörfer, T, Blumenröhr, N, Volk, R, Streit, A e Schultmann, F, publicado no jornal *Scientific Data* em 10 de maio de 2023.

Esses artigos apresentam diversas abordagens da termografia. Enquanto o primeiro estudo utiliza a termografia infravermelha na investigação de materiais em conjunto com outras técnicas para identificar anomalias e deterioração em materiais antigos, como pedras de calcário, para caracterização e conservação do patrimônio cultural, o segundo estudo avalia o desempenho higrotérmico em um inovador sistema de paredes LSF, demonstrando por meio da aplicação da termografia infravermelha a inexistência de falhas ou defeitos no sistema.

Já o terceiro estudo, realizado na cidade de Karlsruhe, apresenta uma temática muito semelhante ao primeiro estudo, conduzido na cidade de Joliette em 1979. Ambos utilizaram sensoriamento remoto para identificar pontes térmicas em telhados de edificações, sendo que, em ambos os casos, a termografia infravermelha foi a principal técnica utilizada. Isso demonstra que, atualmente, a termografia aérea é um instrumento eficaz na detecção de problemas de isolamento. As diferenças entre esses dois estudos residem na escala e qualidade das imagens, nos objetivos, na análise e na disponibilidade dos dados. No estudo de Joliette, foram analisadas cerca de 7.000 edificações, mas com imagens de baixa qualidade. Essas imagens, embora limitadas, foram suficientes para, manualmente, auxiliar os proprietários na identificação de problemas de isolamento. Em contraste, no estudo de Karlsruhe, foram analisadas cerca de 120 edificações com alta qualidade de imagem, dividida em diversos canais de dados. Além disso, todos os dados e análises técnicas computacionais foram disponibilizados publicamente para download, criando um dataset público.

Essa análise do recorte dos polos temporais identificados demonstra a continuidade e a evolução da técnica ao longo dos anos, além de destacar a ampliação do uso da termografia em diversos temas, como a conservação de patrimônios culturais. Isso evidencia que há uma grande variedade de pesquisas sobre termografia e suas aplicações em edificações.

2.1.2. Análise de Palavras-chave

Para complementar a análise sobre o que tem sido pesquisado sobre o tema, foi feita uma análise de frequência de ocorrência das palavras-chave utilizada, ilustrada na Figura 2. A fim de melhor orientar essa análise, dentre as 355 palavras-chave encontradas, foram desconsideradas aquelas com frequência única, ou seja, as que não se repetiram em dois ou mais artigos. A análise findou por identificar 561 conexões, separadas em 7 *clusters*, entre as 72 palavras-chave encontradas. Ainda, por meio do mapa, é possível perceber a variação temporal entre os grupos de temas pesquisados, partindo dos que apresentam estudos mais antigos, representados pela tonalidade azul, até os mais recentes na tonalidade amarela. Também se observa a relevância de cada tema, ponderado pelos tamanhos do rótulo e círculo.

recentes em verde. Essa mudança sugere uma adaptação contínua da pesquisa para abordar questões práticas e tecnológicas emergentes no campo da construção sustentável e eficiência energética.

A análise da transição de temas revela a interconexão e a evolução das abordagens de pesquisa. Por exemplo, a integração de "eficiência energética" com "consumo de energia" e "modelos 3D de edifícios" demonstra um movimento em direção a soluções holísticas e multidisciplinares, onde a termografia não é apenas uma ferramenta de diagnóstico, mas também uma componente crítica no planejamento e otimização de edificações inteligentes. Essa evolução temática reflete a necessidade crescente de abordagens mais sofisticadas e integradas para enfrentar os desafios contemporâneos, como a mudança climática e a sustentabilidade urbana. Assim, a transição de temas no mapa de co-ocorrência de palavras-chave não só destaca as áreas emergentes de pesquisa, mas também sublinha a importância da adaptação contínua das metodologias e objetivos científicos para acompanhar as demandas e avanços tecnológicos do setor.

A proximidade das palavras-chave indica uma forte relação entre os tópicos principais dessa dissertação: envoltórias do edifício, temperatura da superfície e desempenho térmico. Essa proximidade sugere uma interconexão robusta, onde estudos focados no desempenho térmico frequentemente utilizam a temperatura da superfície como um indicador chave para avaliar a eficácia do envelope do edifício. No entanto, apesar de serem temas recentes e altamente relevantes, não parecem estar integralmente interligados a outros temas contemporâneos e igualmente importantes, como eficiência energética, modelagem 3D e nuvem de pontos. Essa falta de integração pode indicar uma oportunidade de pesquisa para desenvolver abordagens mais holísticas que combinem essas áreas. **No contexto desta dissertação, essa lacuna se reflete na necessidade de compreender a influência de cores na variação térmica das superfícies de brises metálicos.** Por exemplo, a utilização de modelagem 3D e nuvem de pontos poderia aprimorar a análise das envoltórias do edifício, fornecendo dados mais precisos e detalhados sobre a temperatura da superfície e, conseqüentemente, sobre o desempenho térmico. Além disso, integrar esses temas com estudos de eficiência energética pode proporcionar uma visão mais completa e prática para a otimização de construções, potencializando tanto a sustentabilidade quanto o conforto térmico.

2.2. Compêndio de Pesquisas

Dentre os 49 artigos selecionados, destacam-se 9 estudos que apresentam maior relevância e alinhamento com a busca de protocolos que possam contribuir com a pesquisa. Este tópico oferece uma análise sintética desses trabalhos, organizados conforme seus autores, ano de publicação, título e objetivos. A seleção desses estudos é baseada em suas contribuições para o entendimento do uso da termografia como método de avaliação térmica em edificações, fornecendo ao leitor uma breve compreensão das pesquisas.

Autor	Ano	Título	Objetivo
Albatici, R; Tonelli, A	2010	Técnica de termovisão infravermelha para a avaliação do valor de transmitância térmica de elementos opacos	Propor uma nova metodologia experimental utilizando a técnica de termovisão infravermelha para obter dados

		de construção no local.	quantitativos sobre as transmitâncias térmicas reais do envelope do edifício em condições quase estacionárias.
Ocaña, S; Guerrero, I; Requena, I	2004	Levantamento termográfico de duas construções rurais na Espanha.	Avaliar a utilidade da termografia infravermelha na detecção do desempenho térmico de edifícios, evitando erros causados pela radiação solar direta e medindo as temperaturas internas e externas para uma análise detalhada.
Azarnejad, A	2017	Impacto da cor das fachadas dos edifícios no design de edifícios e urbanismo.	Investigar os efeitos da refletância visual da fachada nos aspectos e conforto térmicos e de desempenho.
Karlen, C	2018	Termografia infravermelha para diagnóstico térmico confiável com alta replicabilidade e baixo custo de residências em Mendoza, Argentina	Avaliar a utilidade da termografia infravermelha para um diagnóstico rápido e confiável do comportamento térmico do conjunto dos edifícios existentes, detectando os aspectos principais e fornecendo critérios que orientem inspeções sucessivas de monitoramento com micro-adquisidores.
Biagiotti, N	2021	Câmera termográfica como ferramenta de caracterização do comportamento térmico de fachadas	Analisar o potencial de uso da câmera termográfica como ferramenta para avaliar a temperatura superficial das fachadas e caracterizar seu comportamento térmico.
Synnefa, A; Santamouris, M; Livada, I	2006	Um estudo do desempenho térmico de revestimentos refletivos para o ambiente urbano	Investigar o efeito dos revestimentos refletivos na redução das temperaturas superficiais de edifícios e outras superfícies do ambiente

			urbano, e testar sua adequação para baixar as temperaturas ambientes e combater o efeito ilha de calor.
Palomar, T; Agua, F; Gómes-Heras, M	2018	Avaliação comparativa de materiais de vitrais por termografia infravermelha	Caracterizar in situ materias de vitrais por meio de análises de imagens termográficas infravermelha
Barreira, E; de Freitas, V	2007	Avaliação de materiais de construção utilizando termografia infravermelha	Avaliar como as medições de imagens termográficas infravermelhas são influenciadas pela emissividade, condições ambientais, cor e refletividade.
Lee, K; Park, J; Jung, S et al	2021	Avaliação de telhados baseada na cor em regiões frias usando uma câmera termográfica infravermelha montada em um UAV	Conhecer a cor mais eficaz para um telhado quente de acordo com as diferenças de cores.

Quadro 1 - 9 artigos com maior aderência ao tema de estudo

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

O trabalho de Albatici e Tonelli (2010) explora o uso da termografia infravermelha para avaliar a transmitância térmica de elementos opacos das envoltórias de edifícios. Embora tradicionalmente utilizada como método qualitativo para detectar falhas térmicas, a técnica foi analisada quantitativamente, permitindo mensurar a transmitância térmica diretamente no local. Os resultados apontaram discrepâncias significativas entre os valores calculados e os valores reais medidos, indicando a necessidade de ajustes em modelos preditivos. Essa abordagem reforça a importância da emissividade das superfícies na precisão das medições, um aspecto essencial para a análise térmica de brises metálicos neste estudo.

Ocaña, Guerrero e Requena (2004) utilizam a termografia infravermelha para avaliar o desempenho térmico de duas edificações rurais na Espanha, uma tradicional e outra moderna. Os resultados indicaram que a edificação tradicional, com paredes de alta inércia térmica, manteve temperaturas mais estáveis ao longo do dia, enquanto a edificação moderna apresentou maior perda de calor ao amanhecer, evidenciada pelas imagens térmicas nas regiões de janelas e persianas. Essas observações destacam o papel da inércia térmica na eficiência térmica das edificações e reforçam a necessidade de estudos sobre o impacto de materiais e superfícies na absorção e dissipação de calor, como investigado nesta dissertação para brises metálicos.

Em um contexto semelhante, Karlen (2018) explora a termografia infravermelha como uma ferramenta acessível e confiável para o diagnóstico térmico de edificações em Mendoza, Argentina, focando em sua replicabilidade e baixo custo. O estudo demonstra que, ao registrar imagens termográficas em momentos específicos, como

no início da manhã e ao entardecer, é possível identificar padrões térmicos e gradientes de temperatura que destacam o desempenho térmico dos materiais de construção. Os resultados indicam que edificações com alta inércia térmica apresentam respostas térmicas diferenciadas ao longo do dia, evidenciando variações de dissipação de calor. A pesquisa sugere que a termografia infravermelha, quando realizada com um protocolo adequado, pode revelar com precisão a distribuição do calor e os pontos de perda térmica em edificações de alta inércia térmica, oferecendo um método viável para diagnósticos rápidos em certificações térmicas de edifícios. Esses achados são relevantes para este estudo, pois reforçam a possibilidade de estruturar um protocolo para a medição térmica de brises metálicos, considerando a variação das superfícies ao longo do dia.

Azarnejad (2017) amplia essa abordagem para o contexto urbano, investigando o impacto das cores das fachadas na performance térmica dos edifícios e no conforto térmico urbano. O estudo revela que superfícies de fachada com alta refletância visual tendem a ter temperaturas mais baixas, o que pode diminuir a demanda de resfriamento dos edifícios e melhorar o conforto térmico em áreas urbanas densas. Usando termografia infravermelha, foram mensuradas as temperaturas das superfícies de fachadas de diferentes cores em condições de radiação solar variada. A análise mostra que fachadas com cores mais escuras e isoladas afetam a temperatura média radiante nas áreas próximas, impactando o conforto térmico de pedestres. Esses dados fornecem uma base para simulações paramétricas, que indicam uma relação direta entre a refletância visual da fachada e a necessidade de refrigeração, especialmente em climas quentes, demonstrando que a escolha da cor dos brises metálicos pode influenciar diretamente o comportamento térmico das superfícies e, conseqüentemente, o desempenho térmico de edificações.

Avançando para os revestimentos reflexivos, Synnefa, Santamouris e Livada (2006) investigam a eficiência térmica desses revestimentos aplicados em superfícies urbanas, visando à mitigação do efeito de ilha de calor. Utilizando termografia infravermelha e sensores de temperatura, o estudo analisou tipos de revestimentos em concreto, medindo a refletância e a emissividade dos materiais. Os resultados demonstraram que revestimentos claros reduzem as temperaturas de superfícies. Este efeito de resfriamento é particularmente útil em ambientes urbanos, podendo diminuir a necessidade de refrigeração e reduzir o consumo energético, além de contribuir para o conforto térmico e a qualidade do microclima urbano. Essa relação entre a luminosidade da cor (claro e escuro) e temperatura superficial reforça a importância de sua escolha na composição das envoltórias, aspecto abordado nesta pesquisa no contexto dos brises metálicos.

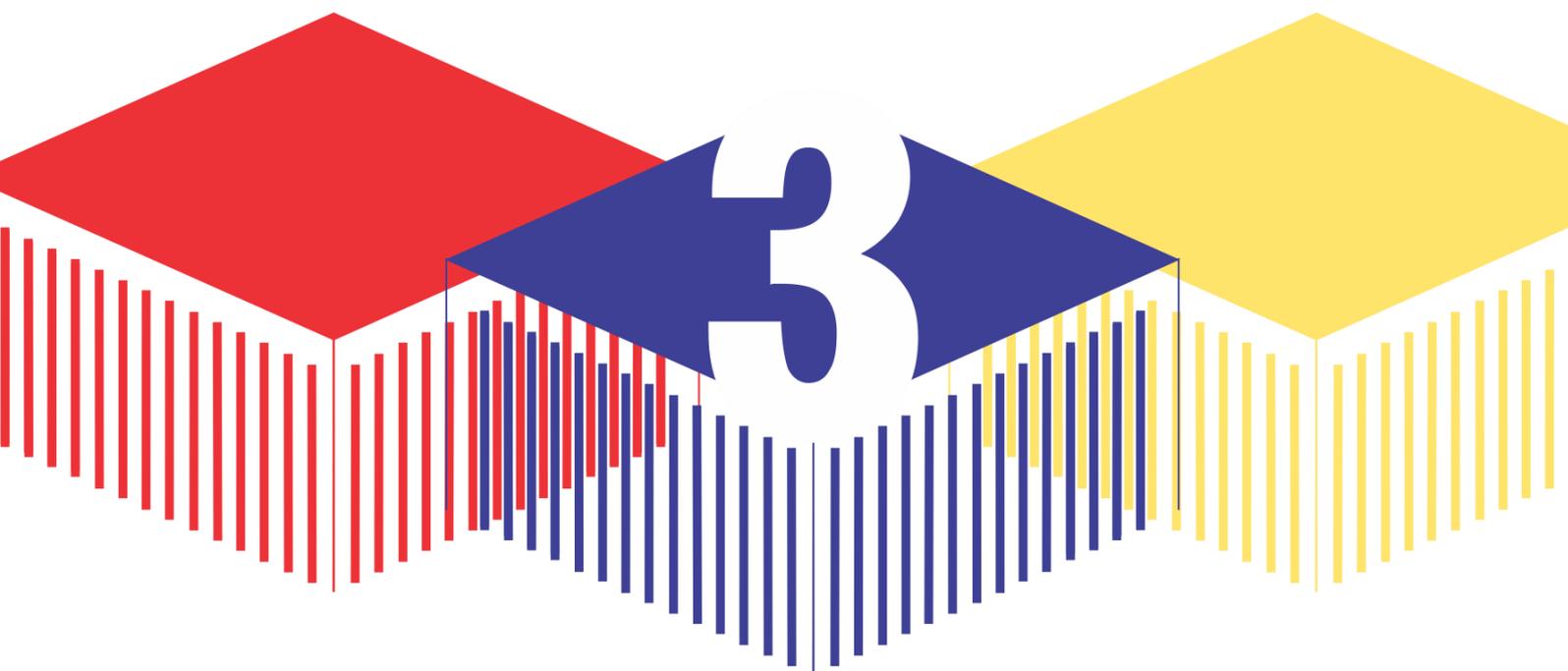
Quando se considera o desempenho de materiais específicos, Palomar et al. (2018) conduzem uma análise comparativa de materiais em vitrais por meio de termografia infravermelha, com foco em identificar as respostas térmicas de diferentes materiais, como vidros coloridos, esmaltes e estruturas de chumbo. O estudo utilizou tanto modos de transmissão quanto de reflexão, destacando que os vidros apresentam aumento progressivo de temperatura aparente quando aquecidos, seguido de um resfriamento gradual. Esmaltes exibiram variações térmicas consideráveis, especialmente em camadas mais espessas e com cores escuras, devido à maior absorção de radiação. A termografia permitiu também a identificação de defeitos, como bolhas no vidro, demonstrando ser uma técnica eficaz para avaliar o estado de conservação dos vitrais sem intervenção física. Embora esse estudo foque em materiais distintos dos brises metálicos, sua metodologia reforça o uso da termografia como ferramenta para análise

térmica de superfícies, sendo uma abordagem relevante para esta dissertação.

Seguindo essa linha de investigação em fachadas, a pesquisa mais concisa dentre as selecionadas, realizada no Brasil, Biagiotti (2021) investiga o uso de câmeras termográficas para caracterizar o comportamento térmico de fachadas em edifícios comerciais em Ribeirão Preto, onde altas temperaturas são comuns. O estudo contribui para a ampliação da aplicação da termografia no contexto nacional, explorando sua eficácia na avaliação de fachadas com diferentes orientações solares. A pesquisa compara essas fachadas utilizando tanto câmeras termográficas quanto termômetros infravermelhos para medir as temperaturas superficiais. Os resultados demonstraram que a cor da fachada influencia diretamente a temperatura superficial, sendo que fachadas de tons escuros apresentaram um aumento de até 4°C em relação às de tons claros. Além disso, observou-se variação térmica significativa entre as diferentes orientações solares das fachadas, sendo que as faces oeste e sudoeste apresentaram maior absorção térmica devido à incidência solar ao longo do dia. A pesquisa também destacou a eficiência da termografia na detecção de fenômenos térmicos, como pontes térmicas, ganho de calor e absorvância, ressaltando a importância da materialidade e da composição da envoltória na regulação do desempenho térmico das edificações. Dessa forma, essa investigação fortalece a relevância da termografia como ferramenta aplicada à realidade climática e construtiva do Brasil, corroborando a hipótese de que a escolha da cor dos brises metálicos pode afetar significativamente a absorção e dissipação de calor nas envoltórias de edificações.

Barreira e Freitas (2007) também utilizam a termografia para avaliar materiais de construção, especificamente abordando aspectos como absorção, secagem e conforto térmico de revestimentos internos. O estudo conduz experimentos para avaliar como fatores como emissividade, condições ambientais, cor e refletividade afetam as medições termográficas. Os resultados indicam que a termografia é eficaz para identificar variações superficiais de temperatura associadas ao processo de evaporação, essencial para mapear áreas úmidas e secas em materiais como o concreto celular. Além disso, o estudo explora o uso da termografia para comparar o conforto térmico de diferentes revestimentos de piso, destacando a influência da difusividade e efusividade térmica na sensação de conforto dos usuários. Essas observações reforçam a importância de considerar fatores como cor e emissividade ao interpretar dados termográficos, um aspecto essencial para esta dissertação ao avaliar a influência da matiz e luminosidade na absorvância térmica dos brises metálicos.

Adentrando no contexto de telhados, Lee et al. (2021) conduzem uma avaliação do desempenho térmico de telhados em regiões frias, analisando o impacto de diferentes cores na retenção de calor, usando câmeras infravermelhas montadas em drones. O estudo destaca que telhados escuros, como o preto, absorvem mais calor solar em comparação com telhados de cores mais claras, resultando em uma grande diferença de temperatura na superfície entre o preto e outras cores, além de um impacto na temperatura interna considerável. Essas medições mostram que, em regiões frias, telhados de cor escura podem reduzir a necessidade de aquecimento e minimizar o consumo de energia em períodos de inverno, contribuindo para um ambiente urbano mais confortável e menos dependente de fontes artificiais de calor. Os resultados encontrados reforçam a importância da escolha de cores em superfícies expostas ao sol e se conectam ao presente estudo ao demonstrar que a absorvância térmica de superfícies metálicas pode influenciar diretamente no desempenho térmico das edificações quando analisadas.



3. Metodologia

Este capítulo descreve a metodologia empregada na pesquisa, analisando os protocolos utilizados em estudos anteriores, seguidos pela sistematização de protocolos específicos para este trabalho e a apresentação dos equipamentos empregados na coleta de dados. Detalha-se ainda o estudo de caso, abrangendo aspectos como colorimetria e os procedimentos adotados para conduzir as análises e obter os resultados esperados. O capítulo é centrado na forma como os dados térmicos dos brises são organizados, correlacionados e analisados, bem como são exploradas as estratégias de sistematização dos resultados.

A pesquisa foi conduzida por meio de medições termográficas em brises verticais fixos de metalon, localizados na fachada noroeste da Escola Classe Verde do Riacho Fundo, no Distrito Federal. Para garantir a padronização das medições, foi selecionado um único trecho da fachada, onde estão dispostas todas as 15 colorações de brises, permitindo uma análise comparativa eficiente. Essa área analisada possui aproximadamente 9m², com 3m de largura e 3m de altura, configuração que se repete ao longo da fachada.

As medições foram realizadas em sete dias distintos ao longo de sete meses (março a setembro de 2024), um dia por mês, considerando o período mais crítico da seca na região. Para capturar diferentes condições térmicas, os registros foram feitos em quatro horários estratégicos (9h, 11h, 15h e 17h), selecionados conforme a variação da radiação solar e a rotina escolar. Os termogramas foram obtidos com uma câmera termográfica posicionada sobre um tripé a 1,50m de altura do solo e a uma distância fixa de 2,50m do alvo, garantindo um ângulo de 90° em relação à fachada, conforme

recomendações para minimizar variações de emissividade. A emissividade do material foi determinada experimentalmente pelo método da fita isolante, resultando no valor de 0,60. Além disso, foram registradas variáveis ambientais como temperatura de bulbo seco, umidade relativa e temperatura refletida, utilizando data loggers protegidos contra radiação direta. Como o objetivo da pesquisa não envolve o conforto térmico dos usuários, as medições ocorreram em dias sem atividades escolares (feriados, pontos facultativos e finais de semana), evitando interferências na captura dos termogramas e garantindo que os dados refletem exclusivamente o comportamento térmico dos brises e sua interação com a envoltória da edificação.

3.1. Esquema da Metodologia

A metodologia utilizada foi estruturada em quatro momentos, conforme Figura 3.



Figura 3 - Esquema metodológico
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Em um primeiro momento, a Identificação de Protocolos pretendeu-se coletar dados por meio de uma análise bibliográfica para expandir e complementar a pesquisa, permitindo obter dados sobre outros estudos e pesquisas existentes a fim de entender a aplicação da termografia e seus fins relacionados, além de coletar as formas e protocolos aplicados as diversas pesquisas na área. O protocolo é mais do que um instrumento pois também reúne procedimentos e regras que deverão ser seguidos. Essa abordagem buscou listar e identificar procedimentos usuais, processos não replicáveis, estratégias atuais, protocolos disponíveis, estabelecendo critérios para a seleção do melhor protocolo a ser utilizado para esse estudo. A coleta de dados resultou em um mapeamento dos protocolos, fornecendo uma base para a aplicação de dados subsequente.

No momento da Escolha do Estudo de Caso, realizou-se a seleção de uma edificação escolar – em virtude da maior probabilidade do uso de cores e impactos significativos - para estudo de caso que melhor atenderia às necessidades do projeto, como semelhança entre as fachadas, para que a comparação e relação entre elas pudesse ocorrer por meio da imagem termográfica quanto a orientação solar e caracterização do clima, além da presença evidente de cores, bem como a capacidade de replicabilidade do estudo, caso a edificação seja replicada ou replicável.

Em seguida, a Aplicação do Estudo de Caso com base no protocolo e edificação mais adequados à pesquisa, envolve a coleta de dados *in loco* para atender às necessidades de comparação esperadas no estudo, a fim de o que o caso contribua para a compreensão do fenômeno como um todo, em vez de se limitar à análise isolada da edificação estudada.

Superados esses momentos, encaminhou-se para a análise e resultados, buscando perceber se foi possível e de que forma a aplicação da termografia infravermelha como forma de verificação da influência de cores nas temperaturas superficiais das envoltórias do estudo de caso.

3.2. Protocolos

Nesta etapa, foi realizada uma análise de diversas pesquisas que utilizaram imagens termográficas para coleta de dados. O objetivo dessa análise foi compreender os procedimentos adotados nesses estudos, permitindo a obtenção de informações sobre as metodologias utilizadas. A definição de critérios orienta a escolha do protocolo mais adequado à pesquisa proporcionando uma base metodológica sólida, garantindo a consistência e a confiabilidade das análises subsequentes.

A partir de uma revisão bibliométrica inicial sobre o uso da termografia em edificações, foram selecionados 49 estudos com temas semelhantes. Após uma leitura dinâmica e análise dos resumos desses artigos, identificaram-se 06 estudos que apresentavam características compatíveis com a medição termográfica de envoltórias de edificações. Estudos que envolviam medições com outros equipamentos, como drones, ou que se concentravam em planos horizontais ou áreas urbanas, em vez dos planos verticais da edificação, foram excluídos por utilizarem protocolos distintos ou inadequados ao objetivo da pesquisa em andamento.

Para facilitar a comparação e identificação de padrões metodológicos, utilizou-se o Quadro 2, o que permitiu destacar as correlações entre os estudos de forma clara e objetiva. Na análise dos 06 estudos selecionados, identificaram-se alguns parâmetros comuns que orientaram a definição dos critérios de análise. Esses parâmetros incluíram: finalidade da medição termográfica, tipo de termografia utilizada, fontes de calor, distância e altura da câmera em relação ao alvo, horário dos registros, angulação da câmera, emissividade, além das variáveis ambientais como temperatura de bulbo seco do ar, umidade relativa e velocidade do vento.

3.2.1. Parâmetros Termográficos

Finalidade da Medição Termográfica

A termografia, segundo Balaras e Argiriou (2002) e Kirimtat e Krejcar (2018), tem sido amplamente utilizada para o diagnóstico de edificações, com a finalidade de detectar falhas nas envoltórias e identificar patologias térmicas, como pontes térmicas, infiltrações de ar e problemas de umidade. Essas anomalias afetam diretamente a eficiência energética e o conforto térmico das construções. A técnica permite identificar áreas de perda de calor e outros defeitos estruturais sem a necessidade de intervenções invasivas, oferecendo uma forma eficaz de monitorar o desempenho energético e estrutural do edifício.

Além da identificação de problemas térmicos, a termografia é usada para avaliar a eficácia dos materiais e componentes da envoltória. Conforme destacam ambos os

autores, essa técnica é fundamental para a análise e manutenção de edificações, especialmente em projetos de retrofit e conservação de energia. Assim, identificou-se que a termografia é capaz de atender objetivos quanto a análise de patologias da edificação, quanto a análise da envoltória quanto caracterização térmica e ainda quanto a identificação de necessidade de manutenção das edificações.

Tipos de Termografia

Balaras e Argiriou (2002) e Kiritat e Krejcar (2018) citam que os registros de câmeras térmicas em fachadas de edifícios são analisados por dois métodos de medição diferentes: quantitativo e qualitativo. Enquanto o primeiro é aplicado para determinar isolamento térmico, o segundo é mais apropriado para detectar variações amplas nas propriedades térmicas dos componentes da envoltória. O método quantitativo envolve medições de temperatura em cada pixel da imagem térmica, permitindo comparações precisas entre valores de referência. Por outro lado, o método qualitativo baseia-se em avaliações visuais dos padrões térmicos, sem a necessidade de identificação numérica das temperaturas. Ambos os métodos identificam irregularidades na distribuição térmica das superfícies, seja visualmente ou numericamente.

Fontes de Calor

Segundo Balaras e Argiriou (2002) e Kiritat e Krejcar (2018), a termografia pode ser classificada em ativa e passiva, dependendo da necessidade de uma fonte de calor externa para gerar contraste térmico. A termografia passiva é ideal em situações em que o contraste térmico natural é suficiente, aproveitando as condições climáticas para identificar anomalias térmicas. Esse método é amplamente utilizado em superfícies externas, onde a diferença entre as temperaturas interna e externa cria um contraste adequado para a inspeção.

Por outro lado, a termografia ativa emprega uma fonte de calor adicional, sendo indicada em inspeções que demandam uma visualização de defeitos profundos, como nas camadas internas de uma parede ou em materiais de baixa condutividade térmica. Ambos os autores destacam que o método ativo é especialmente eficaz em casos complexos, onde o calor ambiente não oferece contraste suficiente para identificar os problemas estruturais

3.2.2. Parâmetros Técnicos

Distância da Câmera ao alvo

Balaras e Argiriou (2002) e Kiritat e Krejcar (2018) ressaltam que a distância entre a câmera e o alvo é um fator crucial para a precisão das medições termográficas. Não há uma distância fixa ideal, pois a escolha depende do tamanho e da área do alvo a ser analisado. Uma distância muito curta pode limitar o campo de visão, impedindo a captura completa da área de interesse, enquanto uma distância muito longa pode reduzir a precisão dos detalhes térmicos. Assim, a distância deve ser ajustada conforme a necessidade de inspeção de detalhes específicos ou a abrangência da área a ser estudada.

Dentre os seis estudos selecionados, Freitas (2013), Biagiotti (2021) e Azarnejad (2017) utilizaram diferentes distâncias de acordo com as características de seus objetos de estudo, variando entre 10m e 5m, 4m e 5m, e ainda 10m, respectivamente. Esses valores demonstram que a adequação da distância está diretamente relacionada ao tamanho e às particularidades do alvo, e não a um parâmetro fixo e universal.

Altura da Câmera

A altura da câmera é um parâmetro relevante para garantir uma visão completa das áreas a serem inspecionadas. Conforme Balaras e Argiriou (2002) e Kiritmat e Krejcar (2018), em edifícios altos, a câmera precisa ser posicionada em uma altura que permita a visualização de pontos como janelas e paredes superiores. Em alguns casos, o uso de plataformas elevadas ou drones pode ser necessário para realizar a inspeção de áreas de difícil acesso.

Horário dos registros termográficos

Os horários das medições termográficas também são discutidos por Balaras e Argiriou (2002) e Kiritmat e Krejcar (2018). Eles citam que na busca de patologias, a maioria das medições é realizada ao entardecer ou à noite, quando a influência da radiação solar é mínima. Esse cuidado evita que o aquecimento superficial causado pelo sol mascare as anomalias térmicas.

Durante o dia, a radiação solar é ressaltada nas leituras térmicas, especialmente em superfícies externas, reforçando que esse tipo de análise não é utilizado para os fins de busca de patologias, mas sim para estudos de envoltórias bioclimáticas, conforme destacado por Biagiotti (2021) que sugere que para fins de mapeamento das condições térmicas as medições devem ser realizadas em intervalos regulares ao longo do dia para capturar as variações térmicas.

Angulação da Câmera

Segundo Balaras e Argiriou (2002) e Kiritmat e Krejcar (2018), a angulação da câmera é importante para evitar distorções nas leituras térmicas e maximizar a precisão dos dados. Recomenda-se posicionar a câmera em um ângulo perpendicular à superfície, o que proporciona uma medição direta da temperatura e reduz o risco de erros de perspectiva. Nos casos em que isso não é possível, ajustes na angulação são necessários para cobrir toda a área de interesse.

Emissividade

A emissividade, parâmetro elencado como propriedade térmica dos materiais, segundo Balaras e Argiriou (2002), Kiritmat e Krejcar (2018) e Biagiotti (2021) determina a capacidade de uma superfície em emitir radiação térmica. Cada autor destaca a importância do ajuste do valor de emissividade conforme o tipo de material e suas condições de superfície para evitar erros nas leituras de temperatura. Balaras e Kiritmat apontam que a emissividade é especialmente relevante em medições quantitativas, onde variações nesse valor podem impactar os resultados. Ambos recomendam que esse parâmetro seja ajustado individualmente para cada material da envoltória do edifício, considerando fatores ambientais e variações nas condições climáticas durante o dia.

3.2.3. Parâmetros Ambientais

Neste estudo, a irradiação solar não foi medida diretamente, pois o foco esteve na variação térmica dos brises em função de sua coloração e na análise das temperaturas superficiais registradas por termografia. A temperatura refletida foi utilizada como parâmetro de correção para minimizar interferências da radiação ambiente nos termogramas, garantindo maior precisão nos registros. No entanto, a medição direta da irradiância solar global ou da radiação direta e difusa poderia fornecer informações adicionais para aprofundar a correlação entre a radiação incidente e o comportamento térmico das superfícies analisadas. Essa abordagem poderá ser considerada em

investigações futuras que busquem ampliar a compreensão dos fatores que influenciam a resposta térmica das envoltórias arquitetônicas. Assim, essa limitação deve ser considerada na análise dos resultados.

Temperatura de Bulbo Seco

A temperatura de bulbo seco é uma variável que deve ser considerada nas medições termográficas, como discutem Balaras e Argiriou (2002) e Kiritat e Krejcar (2018). Em inspeções externas ou internas, variações na temperatura ambiente influenciam diretamente o contraste térmico sendo recomendável monitorar a temperatura de bulbo seco do ambiente antes e durante as medições para ajustar as interpretações e considerar a influência do ambiente no comportamento térmico. Ainda, o conhecimento das temperaturas é essencial para evitar interferências na avaliação da temperatura superficial e na precisão dos termogramas coletados, como detalhado por Biagiotti (2021).

Umidade Relativa do Ar

A umidade do ar, segundo Balaras e Argiriou (2002) e Kiritat e Krejcar (2018) pode impactar as leituras termográficas, especialmente em regiões onde a condensação pode ocorrer na superfície da edificação. Um alto nível de umidade interfere nas leituras, dificultando a identificação dos detalhes das imagens. A presença de umidade na superfície pode alterar a transferência de calor e, portanto, influenciar a qualidade dos dados.

Biagiotti (2021) aborda que a umidade influencia diretamente na precisão das medições termográficas, principalmente no método quantitativo, onde variações podem impactar a emissividade da superfície analisada.

Velocidade do Vento

A velocidade do vento também é um parâmetro discutido por Balaras e Argiriou (2002) e Kiritat e Krejcar (2018), pois pode afetar a dissipação de calor nas superfícies das edificações, especialmente em medições com fins de identificação de anomalias. Ventos fortes aceleram a perda de calor nas superfícies, podendo dificultar a visualização das patologias, especialmente em inspeções externas.

3.2.4. Quadro Resumo

Considerando as observações realizadas na análise dos protocolos, foi elaborada o Quadro 2 que reúne as 06 pesquisas exploratórias selecionadas, as quais utilizaram diferentes protocolos para a coleta de imagens termográficas.

Título	Autor	Ano	Parâmetros Termográficos			Parâmetros Técnicos e Propriedade Térmica do Alvo					Parâmetros Ambientais		
			Finalidade	Tipos de Termografia	Fontes de Calor	Distância	Altura	Horário	Angulação	Emissividade	Temp. de Bulbo Seco	Umidade Relativa do Ar	Velocidade do Vento
Potencialidade da termografia na detecção de manifestações patológicas associadas à umidade accidental	Fernando Wulff Al Alam	2016	Patologias	Qualitativo	Ativa/ Passiva	Indiferente	1,50m	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Considerado	Considerado	Indiferente
Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura	Juliana Gomes de Freitas	2013	Patologias	Quantitativo	Passiva	10m, 5m	Indiferente	8h, 15h, 21h	90°	Considerado	Indiferente	Indiferente	Indiferente
Uso da Termografia Como Ferramenta Não Destrutiva Para Avaliação de Manifestações Patológicas Ocultas.	Mauro Mario	2011	Patologias	Qualitativo	Passiva	Indiferente	1,50m	Indiferente	Considerado	0,95 (teste da fita isolante)	Considerado	Indiferente	Indiferente
Câmera termográfica como ferramenta de caracterização do comportamento térmico de fachadas	Nathalia Biagiotti	2021	Envoltória	Quantitativo	Passiva	4m, 5m	1,30m	a cada 30min	90°	Indiferente	Considerado	Considerado	Considerado
Termografia Infrarroja Para El Diagnóstico Térmico Confiable Con Alta Replicabilidad Y Bajo Costo De Viviendas En Mendoza, Argentina	Carolina Ganem Karlen	2018	Envoltória	Quantitativo	Passiva	Indiferente	2m	7h, 20h	90°	0,95	Considerado	Indiferente	Indiferente
Impact of Building Façades' Color on Building and Urban Design	Araz Azarnejad	2017	Envoltória	Quantitativo	Passiva	10m	Indiferente	Indiferente	90°	0,93	Considerado	Considerado	Indiferente

Quadro 2 - Protocolos Identificados
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024



Como identificado no Quadro 2, diversos estudos demonstram a versatilidade da termografia infravermelha como ferramenta de diagnóstico e análise em construções, abordando desde a detecção de patologias até a avaliação do desempenho térmico de fachadas. A potencialidade da termografia para identificar manifestações patológicas associadas à umidade acidental foi explorada em pesquisas como a de Fernando Wulff Al Alam (2016), que utilizou uma câmera termográfica Testo 875-2, equipada com uma lente convencional e resolução de 640x480 pixels, com tratamento de imagem realizado no software IRSoft. A abordagem qualitativa adotada neste estudo destacou-se pela flexibilidade de aplicação sem a necessidade de condições ambientais rigorosas. O enfoque no tipo de termografia qualitativa permite uma aplicação prática e flexível em diversas situações sem a necessidade de controle rigoroso de variáveis como distância e altura. Entretanto, na abordagem quantitativa adotada nesta dissertação, a ausência de critérios específicos para altura e distância pode gerar distorções nos resultados. Dessa forma, o estudo de Al Alam evidencia a importância da padronização de protocolos para garantir a confiabilidade e a reprodutibilidade das medições termográficas.

Por outro lado, a precisão e a replicabilidade dos dados são essenciais em estudos quantitativos, como os conduzidos por Juliana Gomes de Freitas (2013) e Carolina Ganem Karlen (2018). Freitas utilizou um Termômetro digital infravermelho Modelo InfraTerm da marca IncoTerm e uma Termocâmera Modelo Ti10 da Fluke, com faixa de detecção de temperatura de -20 °C a 250 °C e precisão de ± 2 °C. Karlen, por sua vez, utilizou a Câmera Termográfica FLIR i3 e Data Loggers LASCAR EL-USB-TC-LCD configurados para medir a cada 15 minutos. Freitas utilizou a termografia para avaliar fissuras em fachadas, especificando distâncias e horários para as medições, o que garantiu a precisão dos dados coletados. Similarmente, Karlen focou no diagnóstico térmico confiável e de baixo custo em habitações, com medições detalhadas em alturas e horários variados, assegurando a robustez e a replicabilidade dos resultados. Essa abordagem reforça a necessidade de controle dos horários de medição, um critério essencial para a metodologia desta pesquisa na análise do comportamento térmico dos brises metálicos.

A caracterização do comportamento térmico de fachadas é outra aplicação importante da termografia, como demonstrado por Nathalia Biagotti (2021). Este estudo, realizado em Ribeirão Preto, Brasil, empregou uma Câmera Termográfica Testo 870, um Termômetro Infravermelho Fluke 62 e um Data Logger Testo 176 T4 para registrar as temperaturas internas e externas ao longo do tempo. O rigor metodológico, com medições a intervalos regulares e consideração de variáveis ambientais como temperatura e umidade relativa do ar, permitiu obter dados sobre o desempenho térmico das fachadas para compreender o desempenho térmico das fachadas em condições climáticas específicas. Os resultados mostraram que as condições climáticas específicas influenciam a resposta térmica das fachadas, o que evidencia a importância de considerar variações sazonais e a influência do contexto climático local—aspectos também essenciais para esta dissertação.

Além disso, Mauro Mario (2011) investigou a termografia como ferramenta não destrutiva para a avaliação de patologias ocultas em edificações. Ele empregou uma Câmera termográfica FLIR T400, com faixa de temperatura de -20 °C a 1200 °C, destacando a importância da emissividade e a precisão das medições, utilizando um termômetro pontual como suporte. Outras variáveis, como distância e altura, foram tratadas de forma indiferente, refletindo uma abordagem prática e aplicável em diversas situações. Tal qual a pesquisa de Al Alam, a ausência de parâmetros técnicos na abordagem de Mauro Mario reforça a necessidade de sistematização de protocolos

para garantir a precisão e a reprodutibilidade das medições termográficas.

No contexto de cores e desempenho térmico, Araz Azarnejad (2017) conduziu um estudo quantitativo realizado em Viena, Áustria, utilizando uma Câmera Termográfica FLIR B335 com precisão de ± 2 °C e um medidor de Luminância Konica Minolta LS-100, além de Sensores Almemo para medir a irradiância global, iluminância e condições ambientais com Data Loggers Almemo 2590/2890. Esse estudo mostrou como a escolha das cores pode influenciar tanto a estética quanto a funcionalidade térmica das construções, considerando fatores como emissividade e condições ambientais para fornecer alguns esclarecimentos sobre protocolos.

Entre os autores estudados, apenas Alam e Freitas não utilizaram nenhum tipo de artefato de proteção para os termômetros com o intuito de evitar a exposição direta à radiação solar, medida essa que visa garantir a confiabilidade das medições térmicas. Biagiotti (2021), por outro lado, detalha que os registradores de dados foram colocados dentro de recipientes plásticos revestidos com fita adesiva aluminizada para minimizar as interferências da radiação externa. Além disso, esses recipientes foram perfurados para permitir a troca de calor com o ambiente, contribuindo para a precisão dos dados coletados. O posicionamento desse artefato de medição seguia o mesmo posicionamento da câmera para registrar as temperaturas e umidades e também do lado oposto ao material de foco da medição, mas sem um critério estabelecido, uma vez que nesse caso não havia a possibilidade de se pendurar o artefato do lado externo da edificação. Então ela utilizou da janela existente e as medições foram feitas no parapeito com a janela aberta. Já Karlen sugere que os artefatos devam ficar suspensos e quando possível longe de estruturas de massas térmicas. Essas estratégias reforçam a necessidade de um controle das condições de medição para garantir a confiabilidade dos dados termográficos obtidos nesta pesquisa.

3.3. Sistematização dos Protocolo

Esses estudos ilustram a diversidade de abordagens metodológicas na utilização da termografia infravermelha e mostram que alguns parâmetros são importantes para a coleta de imagens termográficas, enquanto outros, apesar de menos significativos, podem ser considerados. Dessa forma, para o presente estudo, que busca verificar características da envoltória, será adotado um modelo quantitativo sob uma fonte de calor passiva, utilizando como parâmetros fixos a distância, altura, horário, angulação, emissividade, temperatura de bulbo seco e umidade do ar, descartando apenas a velocidade do vento, mencionada em apenas um dos estudos.

Testes realizados com a câmera termográfica a ser utilizada na pesquisa apresentaram resultados satisfatórios de interpretação de imagens em horários específicos, como no início da manhã, por volta das 8h00, e o período próximo ao final da tarde, entre 15h00 e 16h00. Essa constatação coincide com as recomendações de outros autores, que indicam horários de início e final do dia para medições com a câmera termográfica (OCAÑA; GUERRERO; REQUENA, 2004).

E, uma vez que a edificação a ser utilizada como estudo de caso trata-se de uma escola, considerando a maior probabilidade de utilização de diferentes cores e os potenciais impactos relevantes para a pesquisa, foram levados em consideração os horários de aula praticados no Distrito Federal e na escola em questão. No Distrito Federal não existe uma legislação que obrigue as aulas iniciarem ou finalizarem em um determinado horário, mas a Estratégia de Matrícula 2024 (GOVERNO DO

DISTRITO FEDERAL, 2023) cita que os horários podem variar de acordo com a modalidade de ensino e o programa educacional. No entanto, o documento restringe o funcionamento da instituição aos turnos matutino, vespertino, noturno ou integral. Na escola do estudo de caso, verificou-se que no período matutino, o horário usual é iniciar às 7h30 e encerrar às 12h30, enquanto no turno vespertino iniciar às 13h30 e encerrar às 18h30.

Portanto, a seleção dos horários de medição não é aleatória, mas sim planejada para capturar diferentes condições ambientais e atividades escolares. A escolha desses horários está relacionada tanto com a dinâmica da radiação solar quanto com a rotina das atividades escolares. As medições se deram com início às 9h, 11h, 15h e 17h.

As medições foram realizadas em quatro horários estratégicos: às 9h e 15h, momentos que representam, respectivamente, o período médio de menor e maior radiação diária no Distrito Federal (INMET, 2024) além de apresentar um fluxo significativo de alunos e atividades escolares, e às 11h e 17h, períodos próximos ao término das aulas de cada turno. Embora as medições tenham sido feitas em dias sem atividades escolares, a escolha desses horários se justifica por sua representatividade dentro da rotina escolar, permitindo a análise do comportamento térmico das superfícies em momentos que, em dias letivos, impactariam diretamente os alunos e o ambiente interno das edificações.

A fim de colher dados referentes a maior parte dos meses letivos e capturar variações sazonais, a campanha de medições foi longa, realizadas em sete dias distintos ao longo de sete meses, uma medição por mês. A campanha teve início em março e se estendeu até setembro, sendo este, segundo Romero et al. (2019) período identificado como o mais crítico da seca no Distrito Federal. As datas selecionadas para as medições foram: 30 de março, 27 de abril, 11 de maio, 30 de junho, 21 de julho, 25 de agosto e 22 de setembro de 2024.

Como o objetivo do estudo não envolve a análise do conforto térmico dos usuários, as medições foram realizadas em dias sem atividades escolares, como feriados, pontos facultativos ou finais de semana. Essa escolha visou evitar interferências na captura dos termogramas e garantir que os dados coletados refletissem exclusivamente o comportamento térmico das superfícies, sem a influência da ocupação do espaço por alunos e professores.

Tais medições ocorreram apoiadas sobre um tripé a 1,50m de altura do solo, a uma distância do alvo de 2,50m, distância essa suficiente para abranger todas as gamas de cores existentes na fachada em estudo em uma angulação de 90°, perpendicular ao plano vertical da fachada, para que não se tenha uma variação da emissividade com o ângulo de observação (BARREIRA, 2004), conforme Figura 4



Figura 4 – Registro ilustrando momentos antes de uma medição
Fonte: Autor, 2024

Para a determinação da emissividade do material estudado – brise vertical de metalon - foi utilizado um método empírico, conhecido como método da fita isolante, segundo Barreira (2004). Para a determinação da emissividade foi escolhida uma área dos brises verticais e então colocada uma fita isolante preta. A câmera termográfica foi colocada a um metro de distância da fachada, sendo que a área ocupada pela fita estivesse dentro do campo de visão do equipamento. Após esperado 10 minutos para que a fita estabilizasse com a temperatura e condições do ambiente, iniciaram-se as medições -Figura 5. Sob a temperatura ambiente de 21°C, a uma distância de 1,0m da fachada e considerando que o valor conhecido da fita é 0,95, às 08:47 registrou-se, no ponto onde estava a fita isolante, a temperatura de 22,9°C. Após isso, sem a fita isolante, foi-se alterando o valor da emissividade na câmera buscando obter a mesma temperatura encontrada anteriormente. Dessa forma, às 08:48, com a emissividade em 0,60, conseguiu-se registrar a mesma temperatura, concluindo esse como o valor da emissividade do material do brise.

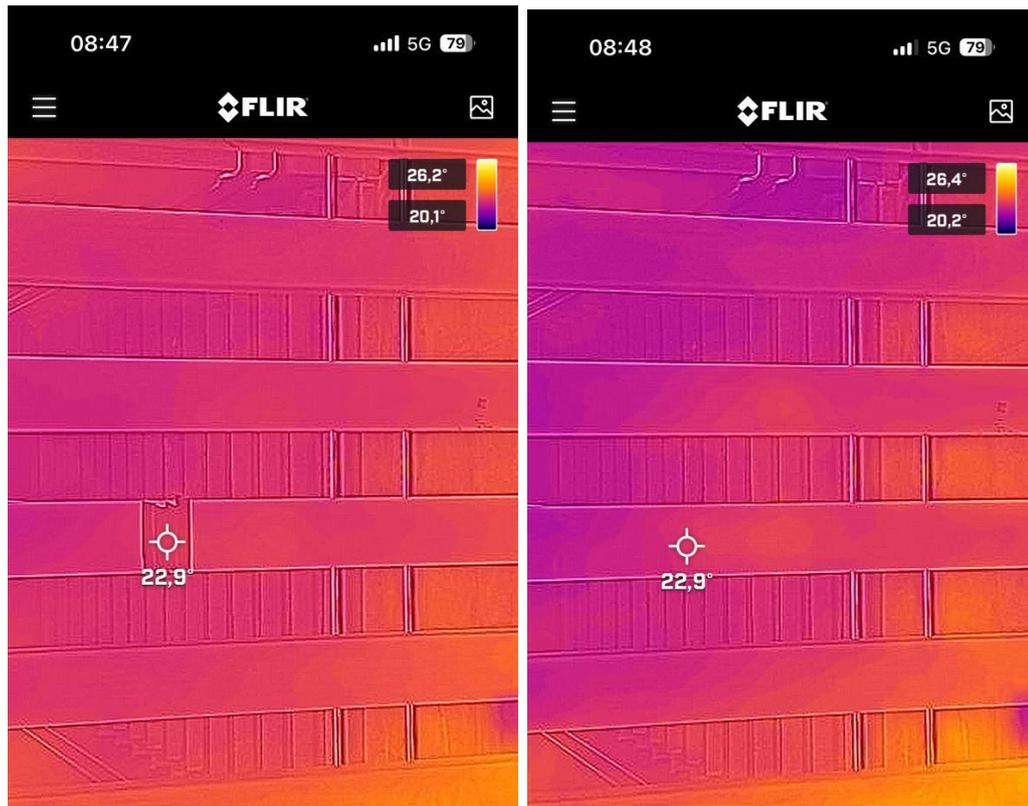


Figura 5 - Termograma com e sem fita isolante - Método da Fita Isolante
 Fonte: Autor, 2024

Barreira (2004) destaca que a emissividade de um material é influenciada pela sua composição e pelas condições de sua superfície, fatores que podem modificar o comportamento da radiação térmica emitida. Embora metais em geral apresentem baixa emissividade, variações na estrutura superficial, como oxidações ou tratamentos específicos, podem elevar essa propriedade

A temperatura refletida, parâmetro de correção empregado para neutralizar os efeitos da radiação refletida no alvo e da radiação proveniente da atmosfera durante o percurso até a câmera (SOUZA; LUIS; LAMBERTS, 2010), foi determinada individualmente para cada horário de medição. Para isso, seguiu-se o procedimento recomendado pela norma ASTM E1862-14, (2022) utilizando um pedaço de papel alumínio cobrindo um suporte rígido (placa de espuma sintética de PVC – placa FOAM). A câmera termográfica foi ajustada para um valor de emissividade de 0,95, permitindo a identificação da temperatura refletida a partir da imagem termográfica do alumínio. Esse procedimento foi repetido em cada um dos horários de medição, garantindo que os valores registrados refletissem as condições específicas de radiação ambiente em cada momento, conforme ilustrado na Figura 6.

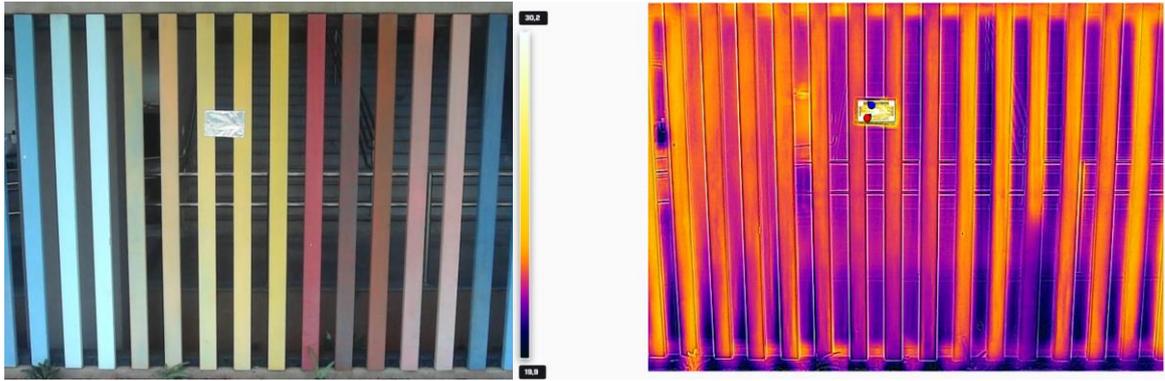


Figura 6 - Imagem e Termograma para medição da temperatura refletida às 9h00 de Março na fachada Noroeste
Fonte: Autor, 2024

Quanto aos parâmetros da temperatura e umidade relativa do ar, eles foram registrados simultaneamente às imagens termográficas. As informações externas foram coletadas junto ao tripé da câmera, onde um artefato, suspenso, foi montado para proteger os loggers da interferência da radiação solar. De forma semelhante, as medições internas ao brise estudado foram realizadas com o logger inserido em um artefato idêntico, suspenso em outro tripé, instalado cerca de 20 cm atrás do brise.

Assim, o Quadro 3 apresenta uma compilação dos dados dos protocolos sistematizado para esse estudo:

Título	Autor	Ano	Parâmetros Termográficos			Parâmetros Técnicos e Propriedade Térmica do Alvo					Parâmetros Ambientais		
			Finalidade	Tipos de Termografia	Fontes de Calor	Distância	Altura	Horário	Angulação	Emissividade	Temp. de Bulbo Seco	Umidade Relativa do Ar	Velocidade do Vento
Potencialidade da termografia na detecção de manifestações patológicas associadas à umidade acidental	Fernando Wulff Al Alam	2016	Patologias	Qualitativo	Ativa/ Passiva	Indiferente	1,50m	Indiferente	Indiferente	Indiferente	Considerado	Considerado	Indiferente
Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura	Juliana Gomes de Freitas	2013	Patologias	Quantitativo	Passiva	10m, 5m	Indiferente	8h, 15h, 21h	90°	Considerado	Indiferente	Indiferente	Indiferente
Uso da Termografia Como Ferramenta Não Destrutiva Para Avaliação de Manifestações Patológicas Ocultas.	Mauro Mario	2011	Patologias	Qualitativo	Passiva	Indiferente	1,50m	Indiferente	Considerado	0,95 (teste da fita isolante)	Considerado	Indiferente	Indiferente
Câmera termográfica como ferramenta de caracterização do comportamento térmico de fachadas	Nathalia Biagiotti	2021	Envoltória	Quantitativo	Passiva	4m, 5m	1,30m	a cada 30min	90°	Indiferente	Considerado	Considerado	Considerado
Termografía Infrarroja Para El Diagnóstico Térmico Confiable Con Alta Replicabilidad Y Bajo Costo De Viviendas En Mendoza, Argentina	Carolina Ganem Karlen	2018	Envoltória	Quantitativo	Passiva	Indiferente	2m	7h, 20h	90°	0,95	Considerado	Indiferente	Indiferente
Impact of Building Façades' Color on Building and Urban Design	Araz Azarnejad	2017	Envoltória	Quantitativo	Passiva	10m	Indiferente	Indiferente	90°	0,93	Considerado	Considerado	Indiferente
Análise termográfica da influência da absorção em elementos de sombreamento das envoltórias de edifícios	Tiago Reges	2024	Envoltória	Quantitativo	Passiva	2,50m	1,50m	9h, 11h, 15h, 17h	90°	0,60 (teste da fita isolante)	Considerado	Considerado	Indiferente

Quadro 3 - Protocolos Sistematizados

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

3.4. Equipamentos Utilizados

O estudo de caso como instrumento de investigação é uma modalidade de pesquisa qualitativa capaz de analisar de modo detalhado um caso individual, de acordo com TOLEDO; SHIAISHI, (2009), e nesse caso, explicar a dinâmica e comportamento das imagens termográficas em outras situações similares.

Para tal, o estudo de caso deve ser replicável e está relacionado à capacidade de repetição para gerar os mesmos resultados. Sendo assim, todos os passos realizados pelo pesquisador devem ser registrados (TOLEDO; SHIAISHI, 2009).

O estudo, por ser extenso, está sujeito a intercorrências não previstas, como a danificação de alguma das ferramentas utilizadas. Exemplo disso, a pesquisa foi iniciada utilizando um modelo de câmera da marca FLIR, modelo FLIR One Pro (gen3), sem a utilização de objetiva, capaz de identificar temperaturas entre o intervalo de -40,0°C a 120,0°C, com sensibilidade térmica de 100mK, própria para o sistema iOS de celular - Figura 7, fixa a um tripé de alumínio da marca TEEM, que permite ajustes para diversos ângulos devido a presença de uma cabeça móvel - Figura 8, conforme descrito no protocolo especificado anteriormente.



Figura 7 - Foto da Câmera FLIR One Pro utilizada
Fonte: Autor, 2024



Figura 8 - Tripé de Alumínio TEEM utilizado
Fonte: Autor, 2024

No entanto, a partir do mês de junho, tornou-se necessário o uso de uma segunda câmera para a realização das medições, devido a um dano ocorrido no dispositivo inicialmente utilizado. A câmera original, desenvolvida para o sistema iOS, possuía um conector tipo *lightning*, que a ligava ao aparelho celular, estabelecendo a comunicação entre ambos os dispositivos. Entretanto, durante as medições realizadas em junho, houve a ruptura desse conector, comprometendo o funcionamento da câmera e exigindo sua substituição para a continuidade do estudo.

Para assegurar a consistência e a comparabilidade dos dados, buscou-se adquirir um modelo idêntico ao anterior. Contudo, essa tentativa não obteve sucesso, pois o modelo já havia sido descontinuado. Seguindo a recomendação do fabricante, o estudo prosseguiu com o modelo atual substituto, que, ao invés de utilizar um conector físico, opera por meio de conexão *bluetooth* compatível tanto com sistemas iOS quanto Android. O novo dispositivo adotado foi a câmera FLIR One Edge, da marca FLIR, sem objetiva, capaz de detectar temperaturas no intervalo de $-20,0^{\circ}\text{C}$ a $120,0^{\circ}\text{C}$, com uma sensibilidade térmica de 70 mK, tendo um sensor térmico para tamanho do pixel 12 μm , faixa espectral de 8 a 14 μm , o que corresponde ao infravermelho de onda longa, sendo, segundo o próprio fabricante, o ideal para medir temperaturas de superfícies em condições normais e amplamente usado em inspeções prediais, detecção de vazamentos térmicos e monitoramento de processos industriais - conforme ilustrado na Figura 9.



Figura 9 - Foto da Câmera FLIR One Edge utilizada
Fonte: Autor, 2024

Para garantir a precisão das medições termográficas, a calibração da câmera seguiu os procedimentos recomendados pelo fabricante e foi ajustada conforme os parâmetros estabelecidos no protocolo de medição. Um dos aspectos fundamentais foi a configuração da emissividade dos materiais analisados, assegurando que a radiação térmica detectada representasse fielmente as temperaturas das superfícies. Além disso, a temperatura refletida foi ajustada para minimizar interferências de fontes térmicas externas, como a radiação solar incidente ou o entorno imediato. A distância até o alvo também foi considerada na calibração, uma vez que variações na proximidade podem influenciar a precisão da medição devido à atenuação atmosférica e ao campo de visão do sensor. Para evitar discrepâncias, foi adotada uma distância padronizada entre a câmera e os elementos analisados, conforme definido no protocolo. Por fim, a estabilização térmica da câmera foi garantida antes do início das medições, assegurando que o sensor operasse dentro de sua faixa ideal de funcionamento.

Com objetivo que a medição pudesse ocorrer em diversas datas, sem perder a posição exata, foram fixadas no piso marcações, no exato local do posicionamento dos pés do tripé. Para execução das funcionalidades da câmera foi utilizado o aplicativo, próprio para o sistema iOS, FLIR ONE, desenvolvido pela FLIR Systems Aktiebolag, versão 6.2.1.

Para aferição da temperatura e umidade relativa do ar, foram utilizados 2 (dois) data loggers (externo e interno aos brises) da marca HOBO, da série MX2300, modelo MX2301, com sensores internos capaz de registrar temperaturas com faixa de $-40,0$ a $70,0^{\circ}\text{C}$, e a umidade relativa com faixa de 0 a 100%, precisão do sensor de temperatura de $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ de $-40,0$ a $0,0^{\circ}\text{C}$ e $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ de $0,0$ a $70,0^{\circ}\text{C}$, e precisão do sensor de umidade relativa de $\pm 2,5\%$ de 10% a 90% e $\pm 3,5\%$ máximo, incluindo histerese a 25°C . Para correta configuração e acompanhamento dos dados registrados nos loggers, foi utilizado o aplicativo, próprio para o sistema iOS, HOBObconnect, desenvolvido pela Onset Computer Corporation, versão 1.7.2.



Figura 10 - Foto de um dos Loggers HOBO utilizado
Fonte: Autor, 2024

O artefato utilizado para proteger os loggers da interferência da radiação solar foram

construídos para acondicionar o logger em seu interior, utilizando uma garrafa plástica coberta com papel alumínio e perfurada para permitir a troca de calor com o ambiente, conforme Figura 11



Figura 11 - Artefato protetor dos loggers e sua aplicação junto ao tripé
Fonte: Autor, 2024

3.5. Escolha do Estudo de Caso

Considerando a abordagem esperada para o estudo, alguns critérios foram pré-estabelecidos para a escolha do estudo de caso.

A fim de buscar uma caracterização climática específica, o objetivo traçado para pesquisa busca uma delimitação à área do Distrito Federal, sendo, portanto, a edificação do estudo de caso obrigatoriamente estar localizado nesse território.

O Distrito Federal, uma unidade federativa singular que abriga a capital do país, Brasília, possui um clima caracterizado por duas estações bem distintas: o verão, que apresenta chuvas, e o inverno seco. De acordo com as Normas Climatológicas do INMET do período 1991-2020, o período quente e úmido se estende de outubro a abril, com uma temperatura média de 21,9°C. Já o período seco abrange os meses de maio a setembro, com uma temperatura média de 20,5°C. Tal comportamento climático é típico do clima tropical de altitude (ROMERO, 2013).

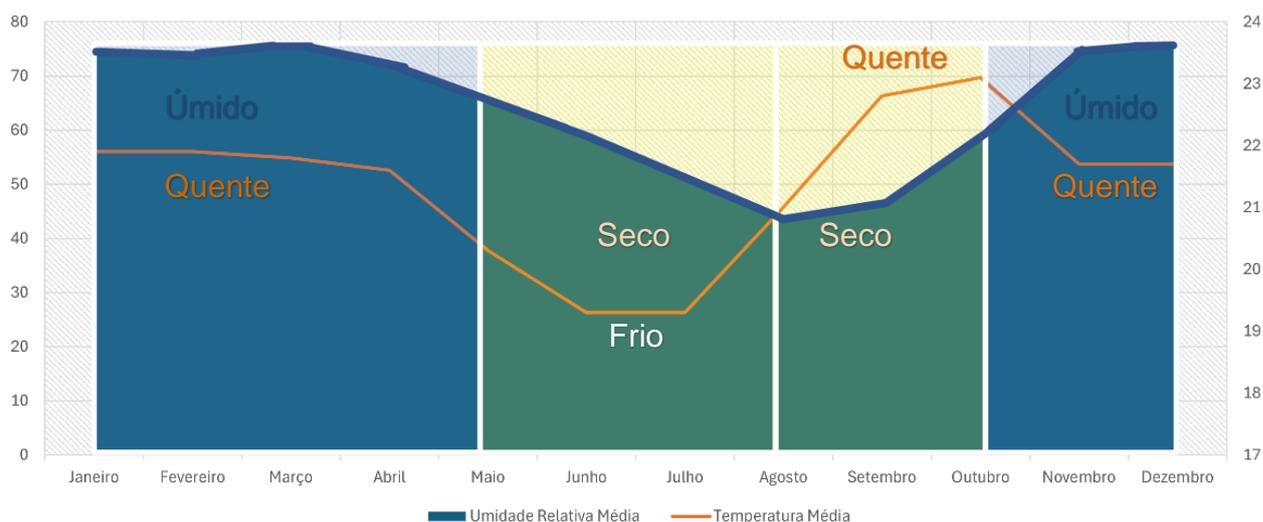


Gráfico 1 - Normais Climatológicas do INMET
 Fonte: INMET adaptado pelo autor

A norma técnica NBR 15.220-3, revisada pela ABNT em 2024, estabelece um método de zoneamento bioclimático por desempenho para o território brasileiro, anteriormente alvo de críticas como uma falta de análise pormenorizada, segundo Silva (2013). De acordo com a norma, a zona bioclimática (ZB) em que está inserida o Distrito Federal é ZB4, que apresenta comportamento climático típico do clima tropical de altitude: verão chuvoso e inverno seco (SILVA, 2013).

Também, com o intuito de estudar a influência das cores nas envoltórias, e motivado pela grande constância das cores em edificações educacionais, entende-se que a edificação deva ser uma instituição educacional e que possua em sua envoltória diversas cores que possibilitem esse estudo.

É sabido, como já mostrado anteriormente, que a influência das cores pode ser influenciada em razão da orientação solar. Portanto, é interessante que o estudo possa entender a real influência de acordo com orientação solar escolhida como objeto de pesquisa.

A edificação da Escola Classe Verde do Riacho Fundo, localizada na QS 4 – Lote A no Riacho Fundo I, Região Administrativa do Distrito Federal criada logo após a inauguração de Brasília e localizada a cerca de 17,5 Km do centro da capital - Figura 12, atende por completo os critérios acima elencados.



Figura 12 - Mapa de trecho do Distrito Federal
Fonte: Google Maps adaptado pelo Autor, 2024

O projeto data de 2013 elaborado pela equipe da Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal – SEEDF - e construído em 2015 demonstra uma ruptura dos padrões utilizados com as construções e projetos educacionais públicos existentes no DF até a época. A edificação anterior, de tipologia pré-moldada, foi construída em 1991 de forma provisória e temporária, atendia 950 alunos do ensino fundamental. No entanto estava desativada por encontrar-se obsoleta e degradada, por não oferecer uma estrutura segura e saudável aos alunos e funcionários, principalmente por ser composta por placas de amianto.

O lote da referida escola – 3.180m² - está localizado em uma área mista, sendo preferencialmente residencial. Ele ainda é circundado por vias locais e áreas públicas, sendo contemplado por um generoso estacionamento público e uma quadra poliesportiva pública, cujo uso pela escola é constante. Tal região é representada na Figura 13.

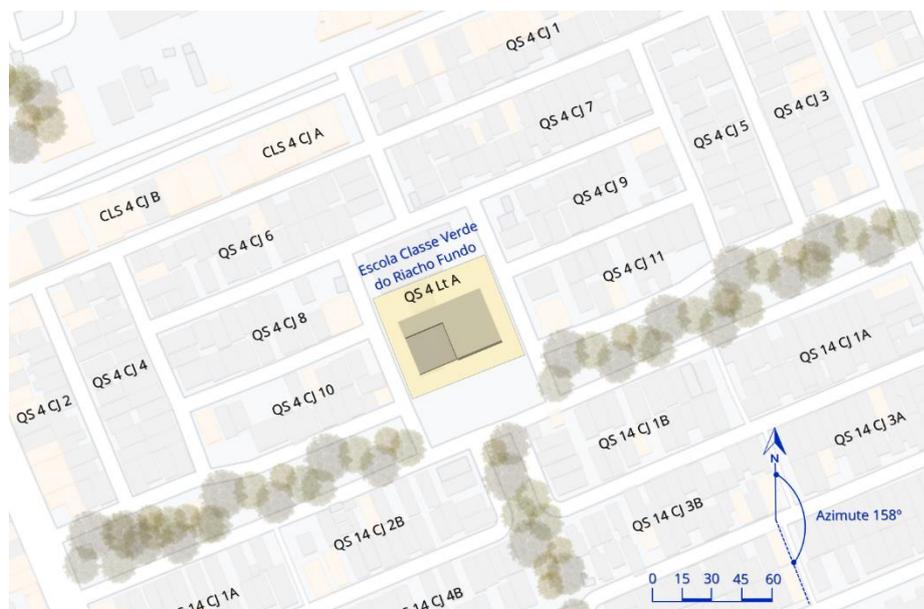


Figura 13 - Mapa de localização da Escola Classe 01 do Riacho Fundo
Fonte: Google Maps adaptado pelo Autor, 2024

O projeto arquitetônico, baseado em pilares e vigas de concreto armado e laje nervurada, adota soluções para minimizar o impacto na vizinhança e prioriza a integração com a comunidade. A escola é cercada por gradis, favorecendo a integração com o entorno e proporcionando acolhimento com privacidade e segurança.

O edifício ocupa quase toda a área permitida, distribuindo-se em dois pavimentos para atender ao programa de necessidades. O volume principal da construção apresenta uma forma clara e intuitiva, com subtrações geométricas que facilitam a percepção e a organização dos espaços. Essa estrutura simples e lúdica reforça a conexão entre alunos, comunidade e escola, permitindo um fechamento seguro da área sem comprometer o entorno, conforme Figura 14.



Figura 14 – Vista aérea da fachada noroeste da Escola Classe 01 do Riacho Fundo
Fonte: SEEDF, 2015

Internamente, a escola se divide em três setores principais: social, administrativo e pedagógico. O setor social, localizado no térreo, é acessível à comunidade mesmo fora do horário escolar, promovendo interação e apoio à escola. Esse acesso é projetado de forma a não comprometer a segurança das áreas pedagógicas e administrativas, mantendo-as isoladas. No pavimento superior, dedicado ao setor pedagógico, estão as 14 salas de aula, organizadas para facilitar o controle e segurança dos alunos. Esse andar também conta com um pátio externo protegido, que amplia as oportunidades para atividades lúdicas e pedagógicas, proporcionando um ambiente educacional dinâmico e seguro.

As vedações são compostas de alvenaria de blocos cerâmicos, e esquadrias em alumínio. Ainda, foram utilizados brises verticais compostos por painéis fixos de perfis tubulares retangulares de metalon - aço carbono comumente utilizado na construção civil brasileira - 10x3cm, afastados entre si a cada 10cm, com pintura eletrostática em 15 cores variadas, promovendo um efeito descontraído e com função didática, conforme ilustrado na Figura 15. Portanto, trata-se de uma área de cerca de 9m² onde todas as 15 colorações de brises estão dispostas em um comprimento de aproximadamente 3m com altura também próxima a 3m que se repetem por toda a fachada. Somado a isso, a utilização de marquises integradas a fachada, que, além de ofertar uma identidade única ao projeto, protege os ambientes da insolação solar direta, possibilitando também ventilação e iluminação natural aos ambientes.

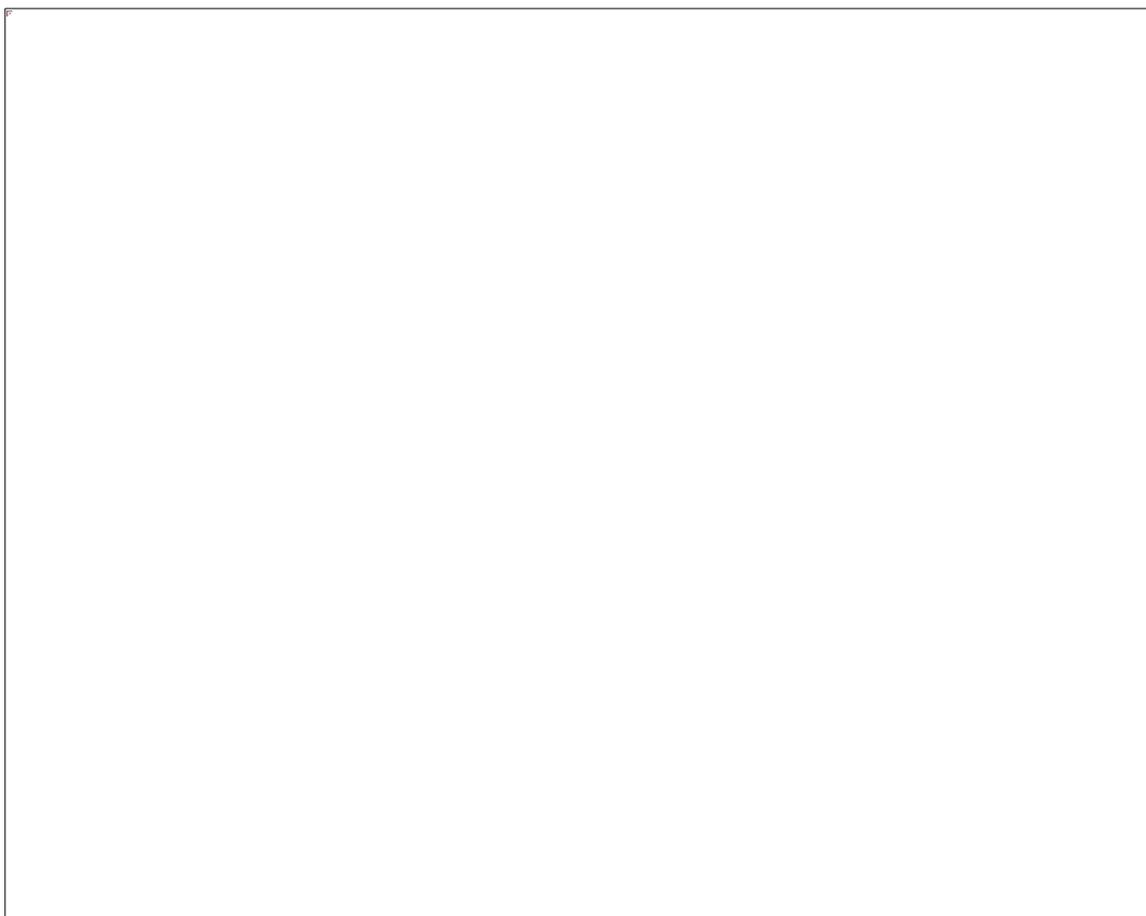


Figura 15 - Foto de vista do Brises Fixos
Fonte: SEEDF, 2015

No nível térreo, a realização de medições externas é facilitada pela ausência de obstáculos e eliminando a necessidade de andaimes, escadas ou suportes

semelhantes, permitindo o posicionamento da câmera termográfica perpendicular às fachadas.

A fixação dos brises é realizada, na parte inferior, diretamente sobre uma aparente viga baldrame, enquanto, na parte superior, ocorre por meio de uma viga circundante à edificação. Dessa forma, os brises não têm contato direto com os elementos mais internos, evitando a formação de pontes térmicas diretas com a edificação. Os brises nesse pavimento apresentam variações em sua configuração, dependendo da associação com o edifício. Em algumas áreas, eles protegem paredes com esquadrias de alumínio altas, enquanto em outras funcionam como anteparo para paredes com esquadrias baixas, originando o que Góes (2018) define como um sistema de fachada dupla híbrida. Em determinados pontos, os brises não estão diretamente vinculados a esquadrias ou paredes, mas, sim, a grandes aberturas, onde atuam como a própria envoltória do edifício, contribuindo para o isolamento térmico, e segundo Góes (2018) atuando como um amortecedor das variações climáticas externas reduzindo a absorção de calor por radiação solar, auxiliando na estabilização da temperatura interna do ambiente.

A Figura 16 apresenta a planta baixa do nível térreo da escola, com a representação dos diferentes tipos de brises existentes nesse pavimento. Esses brises foram classificados conforme o anteparo presente atrás de cada um, sendo assim divididos em: brises de paredes com esquadrias altas (BPA), brises de paredes com esquadrias baixas (BPB) e brises de vãos ou aberturas (BV).

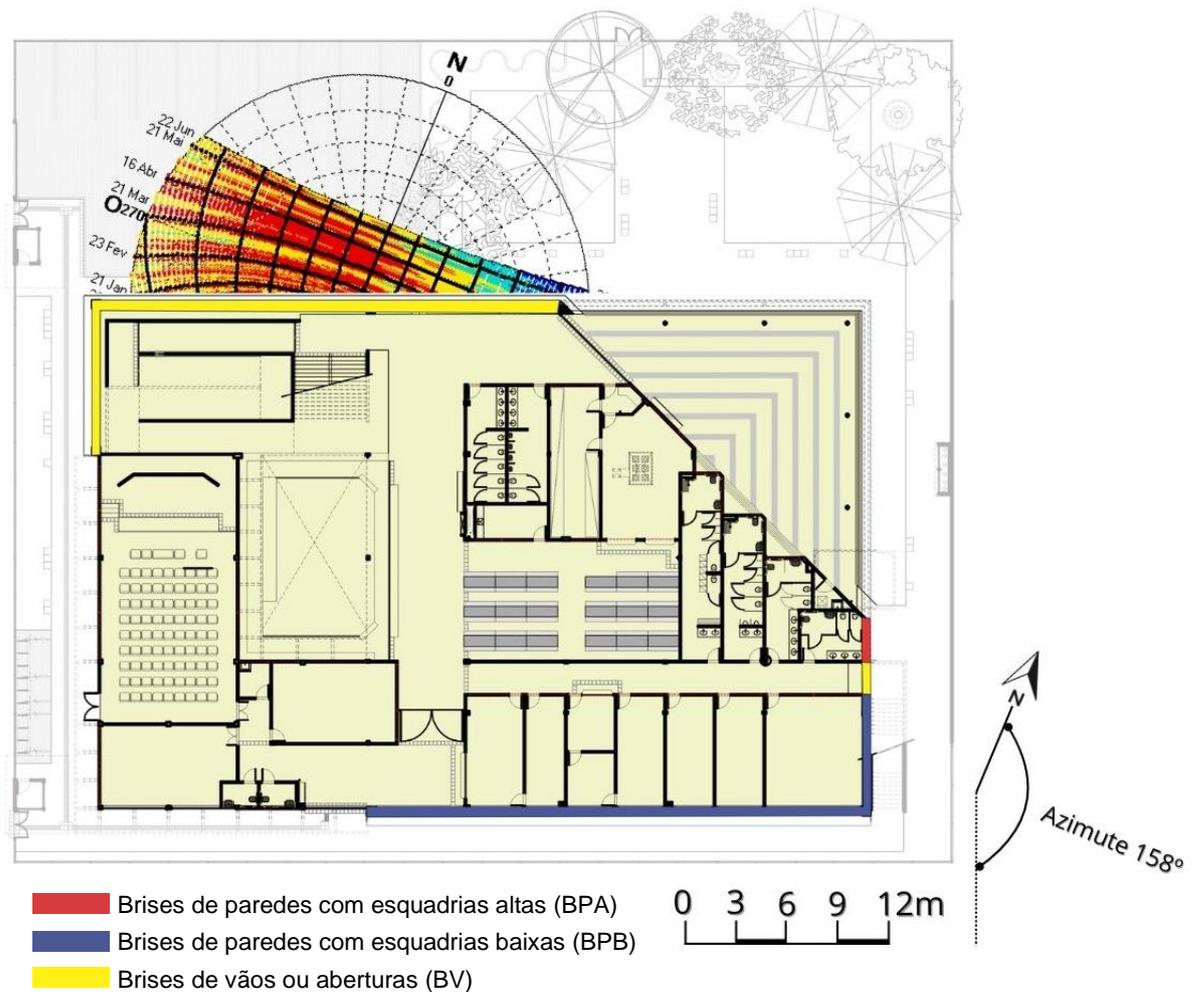


Figura 16 - Planta Baixa do Térreo com trecho da Carta Solar
 Fonte: SEEDF adaptado pelo autor

Observa-se que, no nível térreo, a fachada noroeste da edificação possui exclusivamente o brise BV. A abertura existente nesta configuração corresponde a um pátio coberto para circulação dos alunos e a um espaço residual sob a rampa de acesso ao pavimento superior. Na fachada nordeste, estão presentes os três tipos de brises — BPA, BPB e BV. Contudo, devido à presença de uma escada de emergência externa que conecta ao pavimento superior, apenas o brise BPA permanece totalmente livre de interferências estruturais. Nessa configuração, a parede e esquadria associadas a esses brises dividem o espaço externo com um sanitário para professores. Na fachada sudeste, encontra-se o brise BPB, que protege as paredes e esquadrias das salas administrativas. Já na fachada sudoeste, o brise BV reaparece, atuando como elemento de proteção e envoltório do espaço residual sob a rampa de acesso ao pavimento superior. Cada uma dessas configurações está ilustrada a seguir.

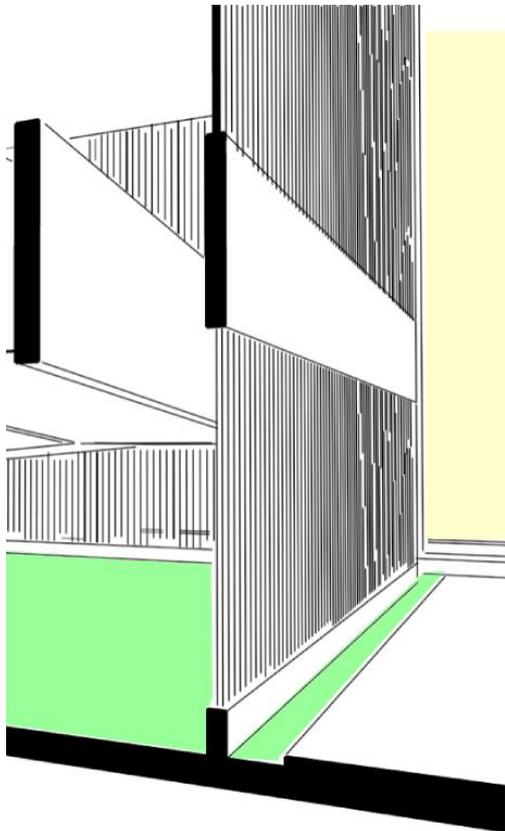


Figura 17 - Representação do Brise BV na fachada
Noroeste
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

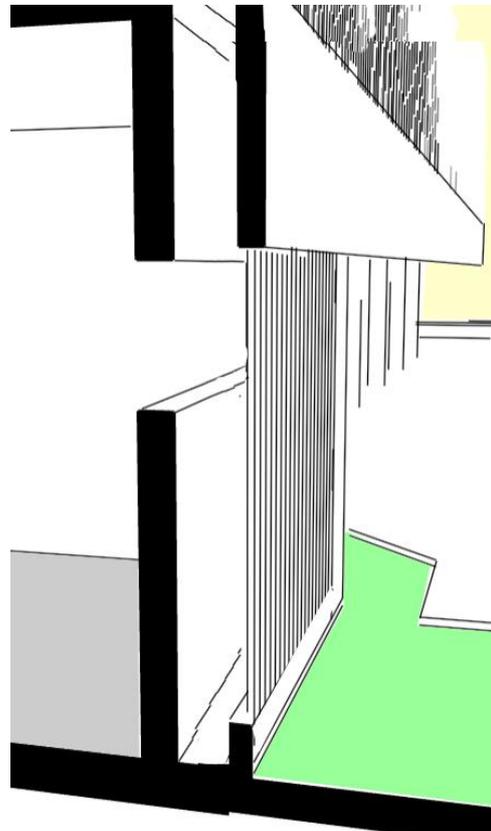


Figura 19 - Representação do Brise BPA na fachada
Nordeste
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

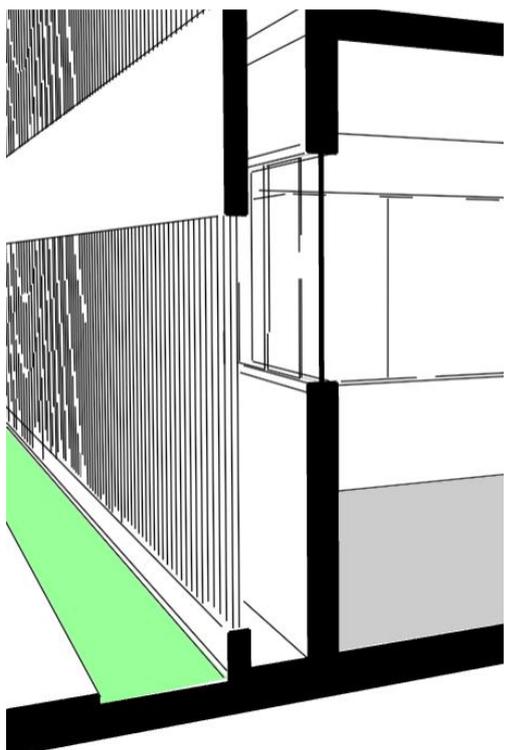


Figura 18 - Representação do Brise BPB na fachada
Sudeste
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

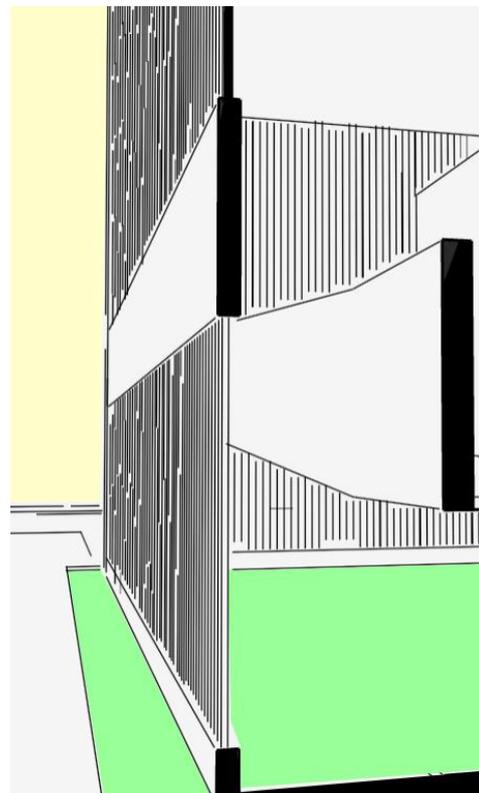


Figura 20 - Representação do Brise BV na fachada
Sudoeste
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Para alcançar o objetivo proposto no estudo, escolheu-se um único e mesmo trecho da fachada noroeste onde as 15 colorações dos brises estão dispostas. Tal escolha se dá porque, embora voltada para o noroeste, é a que mais se aproxima da orientação norte. No perfil climático do Distrito Federal, localizado aproximadamente a 15° de latitude sul, essa orientação recebe radiação solar direta durante a maior parte do dia, enquanto as demais fachadas apresentariam períodos com incidência solar menos uniforme.

3.6. Colorimetria aplicada ao Estudo de Caso

A especificação e medição de cores podem ser realizadas diretamente nas envoltórias ou em laboratórios especializados, utilizando métodos instrumentais que oferecem maior precisão ao integrar dados físicos aos aspectos estéticos. Apesar disso, os métodos visuais permanecem essenciais, pois permitem documentar esquemas cromáticos, analisar a percepção das cores e compreender as variações que influenciam a aparência das fachadas.

Segundo Pereira (2011) sob este aspecto, é importante entender que toda cor se expressa tridimensionalmente por meio de três atributos básicos: matiz ou tonalidade, brilho ou luminosidade e saturação e croma. O matiz refere-se à percepção da cor dominante, como vermelho ou azul, determinada pelo tipo de luz que atinge os olhos. O brilho está relacionado à intensidade luminosa (alta ou baixa luminosidade), distinguindo cores claras de escuras, como azul e azul-claro. Já a saturação indica a pureza da cor, diferenciando tonalidades vivas, como azul puro, de tonalidades dessaturadas, como azul acinzentado.

No estudo de caso escolhido, o conjunto de brises metálicos se repete a cada 15 cores, variando seu matiz (tonalidade) em três segmentos: Azul, Amarelo e Vermelho. Dentro de cada segmento, é possível notar que há uma ligeira variação de saturação, mas é evidente a mudança de brilho da intensidade luminosa, variando cada segmento em degradê de tons claros e escuros.

Embora a distribuição térmica dos brises ao longo do dia tenha sido analisada, este estudo não contempla uma avaliação detalhada da relação entre o comportamento térmico das superfícies e os comprimentos de onda do espectro de luz visível. Como as cores possuem diferentes capacidades de absorção e reflexão da radiação solar dependendo de seu comprimento de onda, essa variável pode influenciar a retenção e dissipação térmica observada. No entanto, a análise realizada considera a resposta térmica dos brises a partir das medições termográficas e da classificação cromática aplicada, fornecendo um panorama sobre o impacto das variações de matiz e brilho na absorção de calor.

3.7. Análises dos Termogramas

Uma vez executadas as medições, é necessário a compilação e tratamento das informações coletadas. Para isso, o procedimento adotado não é a análise feita *in loco*, mas sim em um posterior momento, utilizando o processamento das imagens, a fim de viabilizar uma avaliação dos resultados obtidos.

Para auxiliar o tratamento e edição dos termogramas utilizou-se o software FLIR Thermal Studio, versão do conjunto 2.0.11.0 e versão do produto 2.0.11, disponibilizado mediante licença gratuita. O software é utilizado no computador para analisar as imagens térmicas capturadas, permitindo a identificação de áreas de maior e menor temperatura.

A calibração é uma etapa necessária para assegurar a exatidão das medições térmicas realizadas, principalmente quando o objetivo é obter dados quantitativos sobre a temperatura de um objeto específico, em contraposição a uma avaliação meramente qualitativa das temperaturas relativas.

Para tanto, após carregada a imagem no software, dados obtidos anteriormente, como emissividade, temperatura refletida, distância, temperatura atmosférica e umidade relativa são inseridos para a correção e minimização de possíveis distorções ou erros sistemáticos nas medições realizadas.

Uma vez concluída a etapa de calibração do termograma, é necessária a tomada de decisão da forma em que será analisado a imagem. Por se tratar de uma sequência de brises, o termograma apresenta de forma intervalada e marcante a presença da radiação do brise em primeiro plano, e a radiação dos elementos existentes na parte posterior dos mesmos. Dessa forma, deve-se evitar uma análise por completa de toda a imagem, mas sim separadamente cada lâmina do brise.

O software oferece diversas ferramentas para a medição do termograma, e as mais adequadas para o tipo de imagem descrito anteriormente são o medidor de pontos, linha e retângulo.

O medidor de pontos permite ao pesquisador criar quantos pontos desejar em qualquer local da imagem, retornando o valor específico para aquele ponto. Com a ferramenta linha, o pesquisador é capaz de selecionar dois pontos quaisquer na imagem, criando uma linha que os une. O produto retornado para a utilização dessa ferramenta são, tanto de forma de valor quanto de apontamento na imagem, quais os pontos com a temperatura máxima e mínima dos pontos que compõem a linha, além de apresentar a média de temperatura de todos os pontos presentes na linha. Por fim, a ferramenta retângulo possibilita a criação de um retângulo ortogonal de qualquer dimensão desejada e em qualquer local da imagem, e o oferece como produto, considerando todos os possíveis pontos contidos na área do retângulo, as mesmas informações e representações obtidas na linha: ponto máximo e mínimo de temperatura e a média de temperatura de todos os pontos da área.

Para essa pesquisa, apesar da câmera estar posicionada de forma paralela aos brises, a imagem obtida e representado no termograma apresenta algumas distorções em virtude da amplitude da lente da câmera e a perspectiva apresentada. Em virtude dessas distorções, e uma vez que a ferramenta retângulo só se apresenta de forma ortogonal, não é possível selecionar uma área que abarque por completo a extensão do brise sem invadir os limites da área da lâmina do brise. Ou seja, qualquer tentativa de utilização da ferramenta retângulo, resultaria na inclusão de pontos externos à lâmina do brise, comprometendo a precisão buscada na pesquisa.

Em razão do apresentado, decidiu-se por utilizar a ferramenta linha, posicionando cada linha ao longo da extensão vertical da lâmina do brise e no centro, conforme Figura 21. Essa abordagem visa evitar as bordas das lâminas dos brises, onde a presença do vazio entre eles e a radiação diferenciada dos elementos poderiam influenciar os resultados.

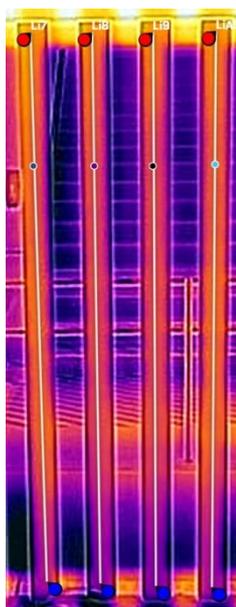


Figura 21 – Trecho do termograma com a aplicação da ferramenta linha
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

3.8. Modelo de Resultado

Os dados são tabulados e organizados por cada dia de medição do respectivo mês, dispostos de acordo com o horário das medições. Os dados das temperaturas do brise, conforme citado no tópico anterior, correspondem a média da temperatura de cada brise, medido individualmente, considerando o seu eixo principal vertical. Esses dados são transportados para as tabelas e representados por letras e números e ainda de forma visual. O brise apresentado no local da pesquisa consiste em um conjunto de elementos verticais que se repetem a cada 15 cores, variando entre tons amarelados, avermelhados e azulados, cada um com 5 variedades luminosidade – degradê de escuro para o claro _sendo eles nomeados em A1, A2, A3, A4 e A5; V1, V2, V3, V4 e V5; e Z1, Z2, Z3, Z4 e Z5, respectivamente, sendo “A” referente ao tom amarelo, “V” referente ao tom vermelho, e Z ao tom azul. Já a variação de números, o 1 refere-se às cores mais escuras ou com pouca luminosidade e assim até o 5 referente às cores mais claras ou com mais luminosidade.

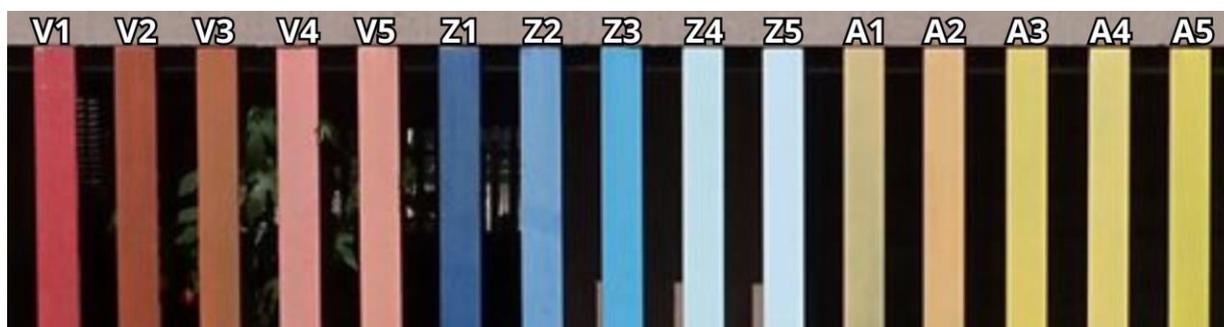


Figura 22 - Esquema para identificação das cores dos brises
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Ainda todas as correlações de dados são registradas e tabuladas. São adotadas as

seguintes nomenclaturas:

TR – Temperatura Refletida;

TE – Temperatura de Bulbo Seco Externa aos Brises;

TI – Temperatura de Bulbo Seco 20cm Interna aos Brises;

UE – Umidade Relativa do Ar Externa aos Brises;

UI – Umidade Relativa do Ar 20cm Interna aos Brises;

Máx – Temperatura Máxima dos Brises;

Mín – Temperatura Mínima dos Brises;

ΔB – Diferença das Temperaturas Máxima e Mínima dos 15 Brises;

$\Delta TB+$ - Diferença da Temperatura Máxima do Brise e a Temperatura de Bulbo Seco Externa aos Brises;

$\Delta TB-$ - Diferença da Temperatura Mínima do Brise e a Temperatura de Bulbo Seco Externa aos Brises;

ΔZs – Diferença das Temperaturas Máximas e Mínimas dos Brises de tons Azuis;

ΔAs - Diferença das Temperaturas Máximas e Mínimas dos Brises de tons Amarelos;

ΔVs - Diferença das Temperaturas Máximas e Mínimas dos Brises de tons Vermelhos;

ΔVZ - Diferença (valor absoluto) das Temperaturas dos Brises V5 e Z1;

ΔZA - Diferença (valor absoluto) das Temperaturas dos Brises Z5 e A1;

ΔAV - Diferença (valor absoluto) das Temperaturas dos Brises A5 e V1;

ΔT – Diferença entre as Temperaturas do Ar Externas e Internas aos Brises;

ΔU - Diferença entre as Umidades Relativas do Ar Externas e Internas aos Brises;

Δ – Diferença própria de cada categoria de dados relacionada.

Essas nomenclaturas auxiliam para a interpretação dos dados apresentados e para o entendimento das variações térmicas e de umidade nas diferentes fachadas ao longo dos horários de medição. Com isso, a tabela organiza as informações de forma acessível, e também facilita a análise crítica e detalhada do comportamento térmico dos elementos de sombreamento em função da orientação solar selecionada e do horário do dia. Abaixo, na Figura 23 é representado um modelo da forma sugerida para leitura e interpretação dos dados.

DADOS BRUTOS															CORRELAÇÃO DE DADOS																				
DADOS AMBIENTAIS					TEMPERATURA DOS BRISES										TEMPERATURAS MÁXIMAS E MÍNIMAS		DIFERENÇAS DE TEMPERATURA			DIFERENÇA TÉRMICA POR GAMA CROMÁTICA			DIFERENÇA TÉRMICA ENTRE GAMA CROMÁTICA ADJACENTE			DIFERENÇA ENTRE AMBIENTES									
					Fachada Noroeste												Maior Temp.			35,40			Menor Temp.			A4			20,90						
					Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2	V3	V4	V5	Máx	Min	Δ B	Δ TB+	Δ TB-	Δ Zs	Δ As	Δ Vs	Δ VZ	Δ ZA	Δ AV	Δ T	Δ U			
09:00	27,00	25,01	24,16	60,30	63,33	21,7	22,0	22,0	21,6	21,4	21,5	21,3	21,0	20,9	21,1	21,4	21,4	21,2	21,5	21,6	22	22,0	A4	20,9	1,10	-3,01	-4,11	0,6	0,6	0,4	0,10	0,10	0,30	0,85	3,63
11:00	34,00	31,66	24,77	46,11	63,54	25,5	25,9	25,0	24,5	24,1	24,3	24,8	24,2	24,5	24,7	25,8	26,0	24,7	25,4	25,2	V2	26,0	Z5	24,1	1,90	-5,66	-7,56	1,8	0,6	1,3	0,30	0,20	1,10	6,89	17,49
15:00	36,90	32,82	28,17	43,03	56,46	35,2	35,0	34,9	33,1	32,3	34,0	34,4	33,3	33,3	33,7	35,2	35,4	32,8	33,9	33,5	V3	31,8	A2	28,5	3,30	4,22	0,92	0,6	0,7	0,27	0,10	0,70	0,10	0,94	4,10
17:00	28,30	27,58	26,64	54,16	58,26	29,7	29,8	30,3	30,1	29,9	29,2	28,5	29,1	28,8	29,0	29,1	29,2	31,8	29,7	29,6															
DIFERENÇA DOS DADOS	Δ	9,90	7,81	4,01	17,27	7,47	13,5	13,0	12,9	11,5	10,9	12,5	13,1	12,3	12,4	12,6	13,8	14,0	11,6	12,4	11,9														

Cor escalonada do menor para o maior valor
 Cores associadas aos horários e escalonada do menor para o maior valor
 Cores associadas às cores dos brises
 Cor escalonada do menor para o maior valor
 Cores associadas à gama cromática, escalonada do menor para o maior valor
 Cor escalonada do menor para o maior valor

Figura 23 - Modelo de tabela com dados fictícios, demonstrando a estrutura organizacional dos dados brutos e suas correlações
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

O modelo de tabela apresentada na figura acima organiza e sistematiza os dados obtidos nas medições térmicas das envoltórias dos edifícios, dividindo-os em duas partes principais: os dados brutos e as correlações de dados. Esse arranjo auxilia a compreensão e a análise subsequente dos dados coletados, permitindo uma avaliação do comportamento térmico das fachadas e de seus elementos de sombreamento ao longo do dia.

Uma segunda tabela é utilizada para compilar e analisar os resultados obtidos. Nessa tabela, são organizadas as convergências dos dados coletados, permitindo uma interpretação mais clara, objetiva e visual das informações. A forma de apresentação dos dados pode ser observada na figura a seguir.

COMPILAÇÃO DAS TEMPERATURAS E RESPECTIVOS BRISES COM AS MAIORES TEMPERATURAS					COMPILAÇÃO DAS TEMPERATURAS E RESPECTIVOS BRISES COM AS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS					COMPILAÇÃO DAS TEMPERATURAS E RESPECTIVOS BRISES COM AS MENORES TEMPERATURAS															
Medição 04/06/2024																									
Dados	Horário 09:00					Temp. Ext. 27,24					Temp. Int. 22,61					Jmid. Rel. Ext. 38,00					Jmid. Rel. Int. 48,18				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z1	V5	Z2	Z3	A5	V1	V4	Z5	A1	V3	Z4	A2	A4	A3	V2										
Temp	23,0	23	22,9	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4	22,4	22,4	22,3	22,3	22,3	22,2	22,2										
Matiz	60% Tons Azuis					20% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	20% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	40% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Cor associada aos brises e ordenados do menor para o maior valor
 Cor escalonada do menor para o maior valor
 Cor escalonada do menor para o maior valor

Figura 24 - Modelo de tabela com as convergências dos dados
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Por fim, é apresentada uma tabela síntese que resume todo o trabalho, consolidando os resultados obtidos de acordo com os horários aferidos. Essa tabela reúne as convergências destacadas nas tabelas anteriores, facilitando a interpretação final e a conclusão das informações analisadas. A estrutura e o formato de apresentação dos dados estão ilustrados na figura a seguir.

INDICAÇÃO DOS BRISES PREDOMINANTE COM AS MAIORES TEMPERATURAS			INDICAÇÃO DOS BRISES PREDOMINANTE COM AS TEMPERATURAS INTERMEDIÁRIAS		INDICAÇÃO DOS BRISES PREDOMINANTE COM AS MENORES TEMPERATURAS	
FACHADA OROESTE						
Horário: 09:00						
Dados	TEMP. SUPERIORES (33,33%)			TEMP. MEDIANAS (33,33%)		TEMP. INFERIORES (33,33%)
Class.	Z1	Z2	Z3	A1	V4	A3
Brise Pred.						
Matiz	74% Tons Azuis			6% Tons Azuis		
	3% Tons Amarelos			40% Tons Amarelos		
	23% Tons Vermelhos			54% Tons Vermelhos		
Brilho	54% Baixa Luminosidade			54% Baixa Luminosidade		
	20% Média Luminosidade			3% Média Luminosidade		
	26% Alta Luminosidade			43% Alta Luminosidade		
Cor associada aos brises e indicação do brise predominante						
Cor escalonada do menor para o maior valor						
Cor escalonada do menor para o maior valor						

Figura 25 - Modelo de tabela síntese
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

3.8.1. Dados Brutos

A primeira parte da tabela de correlações é composta por dados brutos, que correspondem às medições diretas realizadas durante os diferentes horários de cada dia. Esses dados ainda não foram submetidos a nenhuma análise ou interpretação e são apresentados para fornecer uma visão inicial das condições registradas. Os dados brutos podem ser divididos em dois grupos principais:

Dados Ambientais

Incluem as variáveis que caracterizam o ambiente externo e interno da edificação.

- **TR:** Temperatura Refletida, que indica a radiação térmica refletida pelas superfícies (°C);
- **TE:** Temperatura de Bulbo Seco Externa aos Brises, que representa a temperatura ambiente do lado de fora da edificação (°C);
- **TI:** Temperatura de Bulbo Seco 20cm Interna aos Brises, referente à temperatura ambiente no interior da edificação, à uma distância de 20cm da face interna do brise (°C);
- **UE:** Umidade Relativa do Ar Externa aos Brises, que mede a umidade relativa do ar no exterior da edificação (%);
- **UI:** Umidade Relativa do Ar Interna aos Brises, que mede a umidade relativa do ar no interior da edificação, à uma distância de 20cm da face interna do brise (%).

As cores exibidas seguem uma escala crescente, organizada conforme os valores relacionados aos horários correspondentemente.

Temperaturas dos Brises

Este conjunto de dados corresponde às temperaturas (°C) medidas diretamente nos brises da envoltória. As medições foram feitas em diferentes horários ao longo do dia, e os resultados são representados pelos códigos alfanuméricos Z1, Z2, Z3, Z4, Z5 (tons azulados do escuro para o claro), A1, A2, A3, A4, A5 (tons amarelados do escuro para o claro), e V1, V2, V3, V4, V5 (tons avermelhados do escuro para o claro).

3.8.2. Correlação dos Dados

A segunda parte da tabela de correlações apresenta as correlações derivadas dos dados brutos. Esta seção é dedicada à apresentar as relações entre diferentes variáveis ou conjuntos de dados, analisadas para identificar como um conjunto influencia ou se relaciona com outro ao longo do tempo ou em diferentes condições. Os principais elementos desta parte são:

Temperaturas máximas e mínimas

- **Máx:** Indica a maior temperatura registrada entre os brises analisados (°C);
- **Mín:** Indica a menor temperatura registrada entre os brises analisados (°C).

Os valores apresentados nas colunas de temperatura máximas e mínimas mantêm a coloração correspondente ao tom do brise nos dados brutos, permitindo a identificação visual dos tons e luminosidade que atingiram os valores máximos e mínimos.

Diferenças de temperatura:

- **ΔB :** Diferença entre as temperaturas máxima e mínima registradas nos 15 brises (°C). Essa diferença destaca a amplitude térmica nas superfícies.
- **$\Delta TB+$:** Diferença entre a temperatura máxima dos brises e a temperatura externa do ar, evidenciando o quanto os brises ganharam ou perderam calor em relação ao ambiente (°C).
- **$\Delta TB-$:** Diferença entre a temperatura mínima dos brises e a temperatura externa do ar, demonstrando o quanto a superfície dos brises ganharam ou perderam calor comparada ao ambiente externo (°C).

Os valores apresentados nas diferenças de temperatura não possuem cores e nenhuma associação com uma cor de brise específica. No entanto, há uma gradação dos menores para os maiores valores associados a tons escalonados do mais claros aos mais escuros respectivamente, em uma gama de cor diferente da já utilizada na tabela, relacionados aos horários correspondentes.

Diferença térmica por matiz:

- **ΔZs :** Diferença entre as temperaturas máxima e mínima dos brises de tons azulados (Z1-Z5), que reflete a variação térmica de acordo com o matiz específico (°C);
- **ΔAs :** Diferença entre as temperaturas máxima e mínima dos brises de tons amarelados (A1-A5), que reflete a variação térmica de acordo com o matiz específico (°C);
- **ΔVs :** Diferença entre as temperaturas máxima e mínima dos brises de tons avermelhados (V1-V5), que reflete a variação térmica de com o matiz específico (°C).

Os valores apresentados nas diferenças de temperatura não possuem cores e nenhuma associação com uma cor de brise específica. No entanto, há uma gradação dos menores para os maiores valores associados a tons escalonados do mais claros aos mais escuros respectivamente, em uma gama de cor diferente da já utilizada na

tabela, relacionados aos horários correspondentes.

Diferença térmica entre matizes adjacentes

- **Δ VZ:** Diferença entre as temperaturas dos brises V5 (o mais escuro dos avermelhados) e Z1 (o mais claro dos azulados), destacando o contraste térmico entre os matizes (°C).
- **Δ ZA:** Diferença entre as temperaturas dos brises Z5 (o mais escuro dos azulados) e A1 (o mais claro dos amarelados) destacando o contraste térmico entre os matizes (°C).
- **Δ AV:** Diferença entre as temperaturas dos brises A5 (o mais escuro dos amarelados) e V1 (o mais claro dos avermelhados), destacando o contraste térmico entre os matizes (°C).

Os valores apresentados nas diferenças de temperatura não possuem cores e nenhuma associação com uma cor de brise específica. No entanto, há uma gradação dos menores para os maiores valores associados a tons escalonados do mais claros aos mais escuros respectivamente, em uma gama de cor diferente da já utilizada na tabela, relacionados aos horários correspondentes.

Diferenças entre Ambientes:

- **Δ T:** Diferença entre as temperaturas externa e interna do ar, sugerindo a influência das envoltórias na manutenção das condições de temperaturas internas (°C).
- **Δ U:** Diferença entre as umidades relativa externa e interna, sugerindo a influência das envoltórias na manutenção das condições de umidade internas (%).

Os valores apresentados nas diferenças de temperatura não possuem cores e nenhuma associação com uma cor de brise específica. No entanto, há uma gradação dos menores para os maiores valores associados a tons escalonados do mais claros aos mais escuros respectivamente, em uma gama de cor diferente da já utilizada na tabela, relacionados aos horários correspondentes.

Diferenças dos Dados:

- **Δ:** Diferença própria de cada categoria de dados relacionada. No caso dos dados ambientais corresponde a variação dos dados máximos e mínimos durante os horários da medição. Já no caso dos brises, corresponde à amplitude térmica diária.

3.8.3. Convergência dos Dados

A seção de convergência dos dados busca consolidar as informações coletadas e correlacionadas, destacando padrões que permitem compreender a interação entre as variáveis e identificar as tendências consistentes nos diferentes contextos analisados.

A partir da organização das temperaturas em faixas superiores, intermediárias e inferiores, associadas aos respectivos brises, foi possível estruturar os dados de forma escalonada, o que permite identificar padrões térmicos de maneira mais sistemática. Essa abordagem evita distorções na interpretação dos valores, já que considera não

apenas extremos, mas também a faixa intermediária, favorecendo a análise da distribuição térmica ao longo do tempo. Além disso, possibilita compreender as diferenças no comportamento térmico dos diferentes matizes e sua relação com as condições ambientais, facilitando comparações e a extração de tendências relevantes.

Organização dos Brises e Temperatura

- **Temp. Superiores (33,33%):** Organiza as 5 maiores temperaturas com os seus respectivos brises encontrados para o horário correspondente (°C);
- **Temp. Medianas (33,33%):** Organiza as 5 temperaturas intermediárias com os seus respectivos brises encontrados para o horário correspondente (°C);
- **Temp. Inferiores (33,33%):** Organiza as 5 menores temperaturas com os seus respectivos brises encontrados para o horário correspondente (°C);

Padrão de Matiz

- **Matiz:** Diretamente relacionado à classificação anterior, indica a compilação da porcentagem que cada matiz representa no horário correspondente (%);

Padrão de Brilho

- **Brilho:** Diretamente relacionado à classificação anterior, indica a compilação da porcentagem que cada nível de brilho representa no horário correspondente (%), sendo que os brises finalizados em 1 ou 2 são tratados como baixa luminosidade, enquanto que os finalizados em 3 são com média luminosidade e por fim, o 4 e 5 tratados como alta luminosidade.

3.8.4. Síntese das Convergências

A síntese das convergências busca consolidar os principais padrões térmicos, cromáticos e de luminosidade observados nos dados analisados. A partir da tabela apresentada, é possível identificar tendências relacionadas às temperaturas superiores, medianas e inferiores, com destaque para as características predominantes dos brises envolvidos.

Organização dos Brises Predominantes

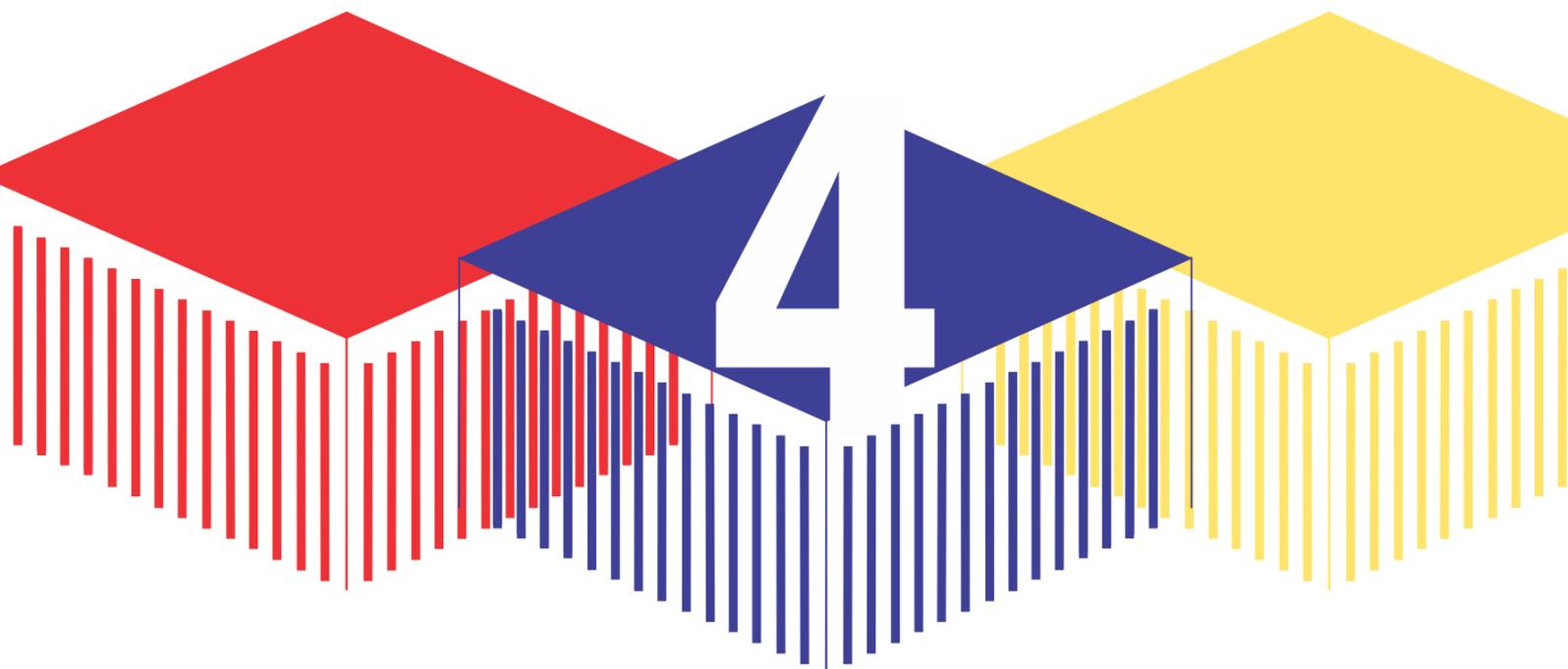
- **Temp. Superiores (33,33%):** Indica o(s) brise(s) predominante(s) na organização de maiores temperaturas durante os meses estudados em relação ao horário correspondente;
- **Temp. Medianas (33,33%):** Indica o(s) brise(s) predominante(s) na organização de temperaturas intermediárias durante os meses estudados em relação ao horário correspondente;
- **Temp. Inferiores (33,33%):** Indica o(s) brise(s) predominante(s) na organização de menores temperaturas durante os meses estudados em relação ao horário correspondente;

Padrão de Matiz

- **Matiz:** Diretamente relacionado à classificação anterior, indica a porcentagem predominante que cada matiz representa no horário correspondente (%);

Padrão de Brilho

- **Brilho:** Diretamente relacionado à classificação anterior, indica a porcentagem predominante que cada nível de brilho representa no horário correspondente (%), sendo que os brises finalizados em 1 ou 2 são tratados como baixa luminosidade, enquanto os finalizados em 3 são com média luminosidade e por fim, o 4 e 5 tratados como alta luminosidade.



4. Resultados e Discussão

Este capítulo apresenta os principais dados coletados ao longo da fase de medições realizadas na Escola Classe Verde, localizada no Distrito Federal, entre março e setembro. Foram analisadas 28 imagens termográficas da envoltória, com 4 registros por dia, totalizando 560 dados extraídos – 80 por dia, que foram tabulados de forma sistemática por períodos (meses) e horários. Esse trabalho permitiu a realização de aproximadamente 428 correlações cruzadas e 588 análises de convergência de dados, garantindo maior robustez e significado às análises realizadas. Os resultados estão organizados em 35 tabelas, incluindo dados brutos, correlações e convergências, além de 4 tabelas síntese, uma para cada horário de medição.

O capítulo está estruturado em três tópicos principais. O primeiro é dedicado à apresentação dos dados, correlações e convergências, organizados em sete subtópicos correspondentes a cada mês analisado. O segundo tópico traz uma síntese consolidada dos dados dos sete meses, estruturada em subtópicos de acordo com os horários estudados. Por fim, o terceiro tópico discute os resultados obtidos, comparando-os com achados de outros autores.

4.1. Dados, Correlações e Convergências

Os resultados apresentados consolidam os dados obtidos ao longo de medições mensais realizadas com o auxílio da termografia infravermelha, evidenciando como as cores dos brises metálicos influenciam suas temperaturas superficiais sob diferentes condições climáticas e horários do dia. As análises revelam correlações entre as tonalidades dos brises e as variações térmicas observadas, permitindo identificar

padrões relacionados à incidência de radiação solar. A seguir, serão apresentados os dados coletados durante o período de estudo, abrangendo os meses de março a setembro de 2024.

4.1.1. Março 2024

As medições realizadas no mês de março foram realizadas em dois dias consecutivos 30 e 31. Iniciou-se no dia 30 com as medições às 9h00 e 11h00. No entanto, no período da tarde houve uma grande chuva, o que impossibilitou as medições vespertinas. Segundo Albatici e Tonelli (2010), deve-se evitar medições em períodos de chuvas, uma vez que esse fator é capaz de interferir nos resultados. Portanto, as medições às 15h00 e 17h00 foram executadas no dia 31.

MARÇO - Medição 01 - 30/03/2024 e 31/03/2024

Fachada Noroeste																			Maior Temp. Z3 36,60		Menor Temp. A2 27,40												
TR	TE	TI	UE	UI	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2	V3	V4	V5	Máx	Mín	ΔB	$\Delta TB+$	$\Delta TB-$	ΔZs	ΔAs	ΔVs	ΔVz	ΔZA	ΔAV	ΔT	ΔU	
09:00	26,70	28,70	23,90	62,60	78,94	29,2	28,9	29,3	28,5	27,8	28,2	28,0	27,6	27,7	27,6	28,3	28,8	27,8	28,3	28,3	Z3 29,3	A3 27,6	1,70	0,60	-1,10	1,5	0,6	1,0	0,9	0,4	0,7	4,80	16,34
11:00	33,40	30,80	25,44	51,80	68,17	30,6	30,9	30,5	29,3	28,8	29,9	29,6	28,7	29,4	29,8	30,5	30,6	29,7	30,2	29,8	Z2 30,9	A3 28,7	2,20	0,10	-2,10	2,1	1,2	0,9	0,8	1,1	0,7	5,36	16,37
15:00	34,70	34,23	28,41	49,32	62,50	35,2	35,3	36,6	35,3	34,8	35,8	35,8	34,7	34,5	34,6	35,9	36,3	35,3	35,5	35,1	Z3 36,6	A4 34,5	2,10	2,37	0,27	1,8	1,3	1,2	0,1	1,0	1,3	5,82	13,18
17:00	27,10	28,05	25,37	61,49	71,80	27,5	27,7	27,8	28,0	27,9	27,6	27,4	27,4	27,6	27,8	28,0	28,0	28,9	28,0	27,7	V3 28,9	A2 27,4	1,50	0,85	-0,65	0,5	0,4	1,2	0,2	0,3	0,2	2,68	10,31
Δ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3 - Tabulação dos Dados e Correlações de Março
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

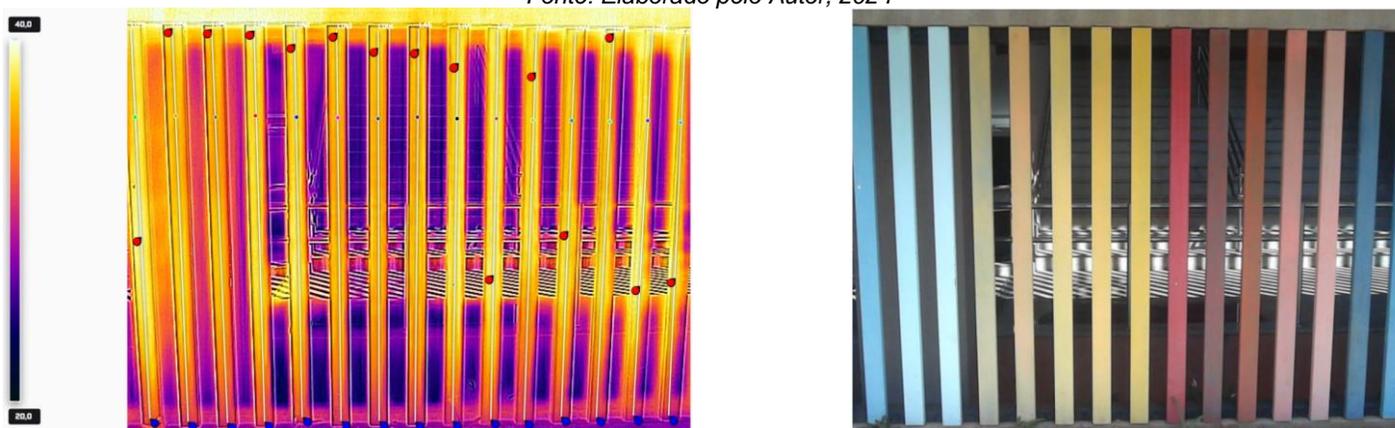


Figura 26 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Março às 15h
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Com base nos dados apresentados na Tabela 3, observa-se uma variação térmica de até 9,2°C na superfície considerando todos os brises ao longo do dia. Os maiores valores são registrados às 15h, horário em que a temperatura externa atinge seu pico e a posição do sol se aproxima de um ângulo mais perpendicular em relação à fachada noroeste. Essa configuração maximiza a absorção de calor pelos brises metálicos, um comportamento amplificado pela alta condutividade térmica do material, que facilita a rápida absorção do calor do ambiente.

Por outro lado, os menores valores são observados às 17h, quando a radiação solar direta diminui devido ao ângulo mais baixo do sol no horizonte, reduzindo a energia incidente sobre os brises. Nesse momento, o processo de dissipação de calor predomina, à medida que os brises liberam a energia acumulada ao longo do dia por meio de radiação e convecção. A radiação difusa, que substitui a direta, apresenta menor intensidade térmica, contribuindo para a queda das temperaturas. Esse comportamento, aliado à condutividade térmica do metal, favorece um resfriamento mais rápido, resultando nas menores temperaturas registradas.

Quanto às temperaturas máximas, observa-se uma concentração nos brises de tonalidade azul e média luminosidade, enquanto as mínimas se destacam nos tons amarelos de média luminosidade. As maiores diferenças entre essas temperaturas são registradas nos períodos em que o sol apresenta um ângulo mais elevado em relação ao horizonte.

Devido à realização das medições matutinas e vespertinas em dias distintos, torna-se inviável calcular as correlações sobre as amplitudes térmicas, uma vez que podem refletir distorções encontradas nas condições climáticas.

Observa-se ainda um comportamento atípico no brise V3, que merece atenção em medições futuras. Nas medições realizadas às 9h e às 17h, a temperatura do V3 apresenta valores discrepantes em relação aos demais, sugerindo a possibilidade de algum fator patológico ou condição específica que esteja influenciando os resultados obtidos. Esse comportamento também é evidente na análise dos termogramas, como ilustrado na Figura 27

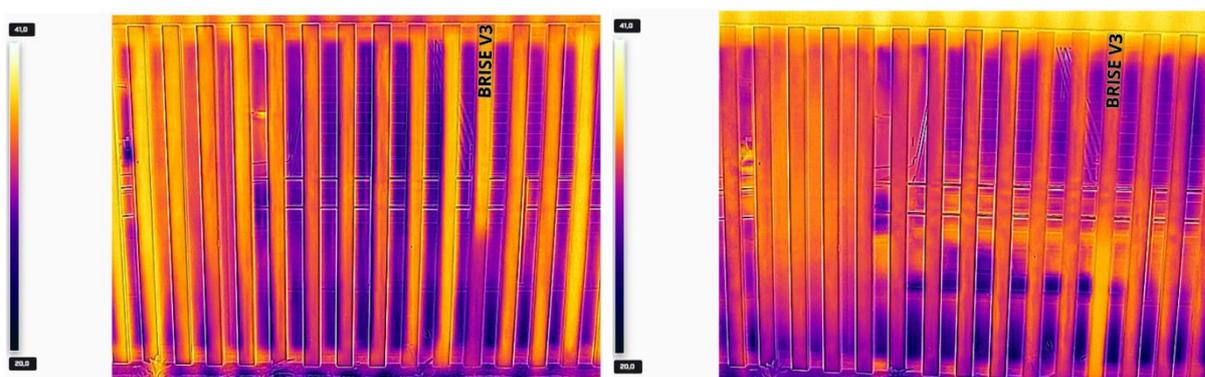


Figura 27 - Termogramas da medição de Março às 9h e às 17h respectivamente
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Por fim, as tabelas a seguir apresentam as convergências identificadas, elucidando diversos aspectos para a análise térmica.

Medição 01 - 30/03/2024																									
Dados	Horário 09:00					Temp. Ext. 28,7					Temp. Int. 23,9					Umid. Rel. Ext. 62,6					Umid. Rel. Int. 78,94				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z3	Z1	Z2	V2	Z4	V1	V4	V5	A1	A2	Z5	V3	A4	A3	A5										
Temp.	29,3	29,2	28,9	28,8	28,5	28,3	28,3	28,3	28,2	28,0	27,8	27,8	27,7	27,6	27,6										
Matiz	80% Tons Azuis					0% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	60% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 4 - Convergência dos Dados às 9h de Março

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 01 - 30/03/2024																									
Dados	Horário 11:00					Temp. Ext. 30,8					Temp. Int. 25,44					Umid. Rel. Ext. 51,8					Umid. Rel. Int. 68,17				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z2	Z1	V2	Z3	V1	V4	A1	A5	V5	V3	A2	A4	Z4	Z5	A3										
Temp.	30,9	30,6	30,6	30,5	30,5	30,2	29,9	29,8	29,8	29,7	29,6	29,4	29,3	28,8	28,7										
Matiz	60% Tons Azuis					0% Tons Azuis					40% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	40% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos														
Brilho	80% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	0% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 5 - Convergência dos Dados às 11h de Março

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 01 - 31/03/2024																									
Dados	Horário 15:00					Temp. Ext. 34,23					Temp. Int. 28,41					Umid. Rel. Ext. 49,32					Umid. Rel. Int. 62,5				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z3	V2	V1	A1	A2	V4	Z2	Z4	V3	Z1	V5	Z5	A3	A5	A4										
Temp.	36,6	36,3	35,9	35,8	35,8	35,5	35,3	35,3	35,3	35,2	35,1	34,8	34,7	34,6	34,5										
Matiz	20% Tons Azuis					60% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	40% Tons Amarelos					0% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	40% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	80% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	0% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					80% Alta Luminosidade														

Tabela 6 - Convergência dos Dados às 15h de Março

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 01 - 31/03/2024																									
Dados	Horário 17:00					Temp. Ext. 28,05					Temp. Int. 25,37					Umid. Rel. Ext. 61,49					Umid. Rel. Int. 71,8				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	V3	Z4	V1	V4	V2	Z5	Z3	A5	Z2	V5	A1	A4	Z1	A2	A3										
Temp.	28,9	28	28	28	28	27,9	27,8	27,8	27,7	27,7	27,6	27,6	27,5	27,4	27,4										
Matiz	20% Tons Azuis					60% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos														
	80% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos														
Brilho	40% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	40% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					20% Alta Luminosidade														

Tabela 7 - Convergência dos Dados às 17h de Março

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Percebe-se uma predominância dos tons azuis nas maiores temperaturas superficiais dos brises no início do dia, enquanto, ao final do dia, ocorre uma inversão, com os tons vermelhos apresentando as maiores temperaturas. No horário de maior radiação (15h), há um certo equilíbrio entre os tons amarelos e vermelhos como os que mais aquecem a superfície.

Por outro lado, os tons amarelos predominam como os que menos aquecem, mantendo-se entre os matizes com os menores valores de temperatura em todos os horários do dia. Um fator notável é a distribuição mais homogênea às 11h, com uma divisão equilibrada entre tons azuis e vermelhos nas temperaturas superiores e medianas, enquanto os tons amarelos dominam as temperaturas inferiores.

Dessa forma, infere-se que, nas condições apresentadas, os tons vermelhos demonstram uma alta capacidade de retenção térmica, enquanto os tons azuis sugerem maior capacidade de dissipação térmica no final do dia, e os tons amarelos se mostram termicamente mais estáveis.

Quanto à luminosidade, observa-se que apenas ao final do dia ocorre um equilíbrio entre os brilhos de baixa e alta luminosidade nos maiores valores de temperatura superficial. Nos demais horários, há um indicativo claro de que cores de alta luminosidade (mais claras) não atingem temperaturas superficiais tão elevadas quanto as de baixa luminosidade (mais escuras). Esse comportamento também se reflete nas menores temperaturas, onde, antes do final do dia, as cores de alta luminosidade predominam entre os valores mais baixos. Contudo, às 17h, há uma inversão, com as cores de baixa luminosidade apresentando menores temperaturas.

Assim, é possível inferir que cores de alta luminosidade são eficazes na reflexão solar, enquanto as de baixa luminosidade demonstram maior absorção e retenção de radiação térmica, corroborando o efeito já conhecido.

4.1.2. Abril 2024

As medições realizadas no mês de abril foram realizadas no dia 27 de Abril.

ABRIL - Medição 02 - 27/04/2024

Fachada Noroeste																	Maior Temp.		V2 35,40		Menor Temp.				A4 20,90								
	TR	TE	TI	UE	UI	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2	V3	V4	V5	Máx	Mín	ΔB	$\Delta TB+$	$\Delta TB-$	ΔZs	ΔAs	ΔVs	ΔVz	ΔZA	ΔAV	ΔT	ΔU
09:00	27,00	25,01	24,16	60,30	63,93	21,7	22,0	22,0	21,6	21,4	21,5	21,3	21,0	20,9	21,1	21,4	21,4	21,2	21,5	21,6	Z2 22,0	A4 20,9	1,10	-3,01	-4,11	0,6	0,6	0,4	0,10	0,10	0,30	0,85	3,63
11:00	34,00	31,66	24,77	46,11	63,54	25,5	25,9	25,0	24,5	24,1	24,3	24,8	24,2	24,5	24,7	25,8	26,0	24,7	25,4	25,2	V2 26,0	Z5 24,1	1,90	-5,66	-7,56	1,8	0,6	1,3	0,30	0,20	1,10	6,89	17,43
15:00	36,90	32,82	28,17	43,03	56,46	35,2	35,0	34,9	33,1	32,3	34,0	34,4	33,3	33,3	33,7	35,2	35,4	32,8	33,9	33,5	V2 35,4	Z5 32,3	3,10	2,58	-0,52	2,9	1,1	2,6	1,70	1,50	4,65	13,43	
17:00	28,30	27,58	26,64	54,16	58,26	29,7	29,8	30,3	30,1	29,9	29,2	28,5	29,1	28,8	29,0	29,1	29,2	31,8	29,7	29,6	V3 31,8	A2 28,5	3,30	4,22	0,92	0,6	0,7	2,7	0,10	0,70	0,10	0,94	4,10
Δ	9,90	7,81	4,01	17,27	7,47	13,5	13,0	12,9	11,5	10,9	12,5	13,1	12,3	12,4	12,6	13,8	14,0	11,6	12,4	11,9													

Tabela 8 - Tabulação dos Dados e Correlações de Abril
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024



Figura 28 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Abril às 11h
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Com base nos dados apresentados na Tabela 8, identifica-se uma variação térmica de até 14,5°C na superfície dos brises ao longo do dia. O maior valor é registrado às 15h, horário em que a radiação solar direta é mais intensa e a posição do sol, quase perpendicular à fachada noroeste, intensifica a absorção de calor pelos brises metálicos. Esse comportamento é potencializado pela condutividade térmica do material, que favorece o aumento da temperatura superficial em relação à externa.

Por outro lado, os menores valores térmicos são observados pela manhã, às 9h, quando a radiação solar ainda é menos intensa e a diferença térmica entre os brises e a temperatura ambiente é afetada pela discreta presença do sol até o momento.

Quanto à distribuição térmica ao longo do dia, percebe-se que os tons vermelhos e baixa luminosidade lideram as temperaturas máximas, enquanto os amarelos e azuis com alta luminosidade prevalecem nas mínimas. Nessas condições climáticas, as maiores diferenças entre essas temperaturas são registradas ao final do dia.

As maiores diferenças térmicas entre brises da mesma tonalidade foram observadas nos tons azuis e vermelhos. Em contrapartida, os tons amarelos se mostraram mais estáveis, apresentando as menores variações térmicas, o que indica menor sensibilidade às mudanças de luminosidade em seu brilho nessas condições climáticas, ao contrário dos outros dois matizes. Além disso, as maiores variações térmicas foram registradas às 15h, momento em que a radiação solar direta exerce seu impacto mais intenso.

Também durante esse período, o brise V3 apresentou um comportamento atípico, especialmente às 17h, conforme observado tanto na tabela de temperaturas quanto nos termogramas analisados.

As tabelas a seguir, por fim, evidenciam as convergências apontadas, detalhando vários aspectos pertinentes à análise térmica.

Medição 02 - 27/04/2024																									
Dados	Horário 09:00					Temp. Ext. 25,01					Temp. Int. 24,16					Umid. Rel. Ext. 60,3					Umid. Rel. Int. 63,93				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z2	Z3	Z1	Z4	V5	A1	V4	Z5	V1	V2	A2	V3	A5	A3	A4										
Temp.	22,0	22,0	21,7	21,6	21,6	21,5	21,5	21,4	21,4	21,4	21,3	21,2	21,1	21,0	20,9										
Matiz	80% Tons Azuis					20% Tons Azuis					0% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	40% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade														
	40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Tabela 9 - Convergência dos Dados às 9h de Abril

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 02 - 27/04/2024																									
Dados	Horário 11:00					Temp. Ext. 31,66					Temp. Int. 24,77					Umid. Rel. Ext. 46,1					Umid. Rel. Int. 63,54				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	V2	Z2	V1	Z1	V4	V5	Z3	A2	A5	V3	Z4	A4	A1	A3	Z5										
Temp.	26,0	25,9	25,8	25,5	25,4	25,2	25,0	24,8	24,7	24,7	24,5	24,5	24,3	24,2	24,1										
Matiz	40% Tons Azuis					20% Tons Azuis					40% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	60% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos														
Brilho	80% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade														
	0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 10 - Convergência dos Dados às 11h de Abril

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 02 - 27/04/2024																									
Dados	Horário 15:00					Temp. Ext. 32,82					Temp. Int. 28,17					Umid. Rel. Ext. 43,03					Umid. Rel. Int. 56,46				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	V2	Z1	V1	Z2	Z3	A2	A1	V4	A5	V5	A3	A4	Z4	V3	Z5										
Temp.	35,4	35,2	35,2	35,0	34,9	34,4	34,0	33,9	33,7	33,5	33,3	33,3	33,1	32,8	32,3										
Matiz	60% Tons Azuis					0% Tons Azuis					40% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos														
	40% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	80% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade														
	0% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 11 - Convergência dos Dados às 15h de Abril

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 02 - 27/04/2024																									
Dados	Horário 17:00					Temp. Ext. 27,58					Temp. Int. 26,64					Umid. Rel. Ext. 54,16					Umid. Rel. Int. 58,26				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	V3	Z3	Z4	Z5	Z2	Z1	V4	V5	A1	V2	A3	V1	A5	A4	A2										
Temp.	31,8	30,3	30,1	29,9	29,8	29,7	29,7	29,6	29,2	29,2	29,1	29,1	29,0	28,8	28,5										
Matiz	80% Tons Azuis					20% Tons Azuis					0% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	20% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade														
	40% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Tabela 12 - Convergência dos Dados às 17h de Abril

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Nessas condições climáticas, observa-se uma predominância dos tons azuis nas maiores temperaturas superficiais dos brises durante o início e o final do dia, indicando maior capacidade de retenção térmica nesses horários. Contudo, ao longo do dia, há um equilíbrio entre os tons azuis e vermelhos nas temperaturas superiores, com os tons azuis predominando em horários de maior radiação solar, como às 15h. Por outro lado, os brises amarelos não aparecem classificados entre as temperaturas superiores em nenhum momento, o que reflete sua maior eficiência na reflexão solar.

Nas temperaturas inferiores, os tons amarelos mostram uma clara superioridade no início e final do dia, destacando-se como os mais amenos. Ao longo do dia, há um pequeno equilíbrio entre os tons amarelos e azuis, com um leve domínio dos tons amarelos, reforçando sua estabilidade térmica. Assim, as convergências indicam que os tons amarelos tendem a ser menos suscetíveis às variações térmicas e mais eficientes na reflexão da radiação solar.

Quanto à luminosidade, nota-se que, nos momentos de maior radiação solar, os brises de baixa luminosidade (mais escuros) predominam entre as temperaturas mais altas, absorvendo mais calor em comparação aos brises de alta luminosidade. No início e final do dia, no entanto, há um equilíbrio maior entre as diferentes luminosidades. Nas temperaturas inferiores, os brises de alta luminosidade (mais claros) aparecem com maior frequência, reforçando ser mais eficaz na reflexão solar e na mitigação do aquecimento.

Os brises de brilho intermediário, por sua vez, aparecem regularmente nas temperaturas medianas em todos os horários, sugerindo um equilíbrio entre absorção e reflexão térmica. Às 15h, horário de maior radiação, destaca-se um contraste evidente entre brises de alta e baixa luminosidade, refletindo as características de absorção mais intensa dos tons escuros e a maior eficiência dos tons claros na reflexão da radiação.

Por fim, numa análise das temperaturas de cada brise ao longo do dia, observa-se que os brises de baixa luminosidade apresentam uma amplitude térmica mais acentuada em comparação aos de alta luminosidade. Esse comportamento reforça a ideia de que, nessas condições climáticas, os brises escuros absorvem mais calor durante o pico de radiação e o retêm por mais tempo, enquanto os brises claros, com menor amplitude térmica, dissipam o calor de maneira mais uniforme e eficiente ao longo do dia.

4.1.3. Maio 2024

As medições realizadas no mês de maio foram realizadas no dia 11 de Maio.

MAIO - Medição 03 - 11/05/2024

Fachada Noroeste																	Maior Temp.		V2		40,10		Menor Temp.		A4		22,40								
TR	TE	TI	UE	UI	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2	V3	V4	V5	Máx	Mín	Δ B	Δ TB+	Δ TB-	Δ Zs	Δ As	Δ Vs	Δ VZ	Δ ZA	Δ AV	Δ T	Δ U			
09:00	25,60	27,11	23,03	52,05	64,04	24,0	24,8	24,7	23,9	23,4	23,3	23,2	22,5	22,4	22,5	23,1	23,2	22,9	23,3	23,3	Z2	24,8	A4	22,4	2,40	-2,31	-4,71	1,4	0,9	0,4	0,70	0,10	0,60	4,08	11,99
11:00	29,50	30,33	24,00	41,47	56,77	27,8	27,4	26,8	26,1	25,8	27,2	27,4	27,3	27,3	28,1	27,9	26,7	25,3	25,6	V1	28,1	V4	25,3	2,80	-2,23	-5,03	2,0	0,2	2,8	2,20	1,40	0,80	6,33	15,30	
15:00	31,80	32,86	26,93	30,57	41,90	39,8	39,5	39,7	37,9	36,6	38,3	38,5	37,5	37,5	38,2	39,8	40,1	36,4	38,7	38,0	V2	40,1	V3	36,4	3,70	7,24	3,54	3,2	1,0	3,7	1,80	1,70	1,60	5,93	11,33
17:00	28,00	27,50	26,75	36,43	39,04	29,4	29,0	30,0	29,9	29,6	29,2	29,0	29,2	29,1	29,2	29,2	32,1	29,1	29,0	V3	32,1	Z2	29,0	3,10	4,60	1,50	1,0	0,2	3,1	0,40	0,40	0,10	0,75	2,61	
Δ	6,20	5,75	3,90	21,48	25,00	15,8	14,7	15,0	14,0	13,2	15,0	15,3	15,0	15,1	15,7	16,7	16,9	13,5	15,4	14,7															

Tabela 13 - Tabulação dos Dados e Correlações de Maio
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

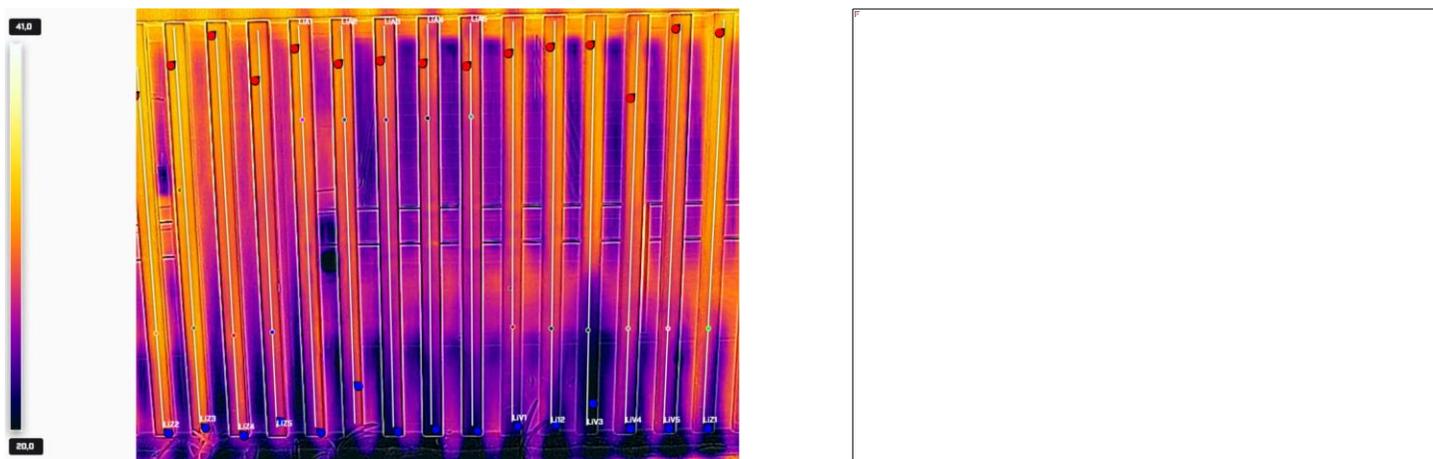


Figura 29 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Maio às 9h
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Conforme os dados apresentados na Tabela 13, observa-se uma variação térmica de até 17,7°C nas superfícies dos brises ao longo do dia, sendo esta a maior registrada no estudo, juntamente com Julho, sugerindo uma forte influência das condições climáticas do período seco no Distrito Federal. Esse comportamento é característico dos meses de inverno, quando a umidade relativa do ar atinge seus menores índices e a amplitude térmica diária se intensifica devido à ausência de cobertura de nuvens e precipitações. A radiação solar incidente durante o dia aquece significativamente as superfícies expostas, enquanto as temperaturas noturnas tendem a cair de forma acentuada, resultando em variações térmicas mais expressivas nas fachadas. O maior valor ocorre às 15h, momento em que a temperatura externa atinge seu pico e o ângulo de incidência solar torna-se quase perpendicular à fachada noroeste. Essa condição favorece a máxima absorção de calor pelos brises metálicos, um fenômeno intensificado pela elevada condutividade térmica do material, que permite uma rápida transferência de calor do ambiente para a superfície. Como consequência, verifica-se uma discrepância acentuada entre a temperatura dos brises e a temperatura externa, especialmente nesse horário.

Por sua vez, as temperaturas mais baixas ocorrem às 9h, período em que a radiação solar direta ainda é mínima e a superfície dos brises reflete uma interação térmica menos pronunciada com o ambiente, devido à limitada exposição ao sol nesse horário.

As temperaturas máximas de cada horário se concentram no brises do matiz vermelho e baixa luminosidade, enquanto que as menores temperaturas se diversificam entre os três matizes e uma ligeira prevalência de alta luminosidade, tendo o matiz amarelo como a menor temperatura durante todo o dia. Nessas condições climáticas, as maiores diferenças entre essas temperaturas são registradas às 15h, horário de maior radiação.

As tonalidades azul e vermelha apresentaram as maiores discrepâncias térmicas entre brises de mesma cor, enquanto os tons amarelos demonstraram maior estabilidade, com variações menos expressivas. Esse comportamento sugere que os tons azul e vermelho são mais influenciados pelas mudanças de luminosidade nessas condições climáticas, ao passo que os amarelos mantêm um desempenho mais uniforme. As diferenças mais acentuadas foram registradas às 15h, horário em que a radiação solar direta atinge sua máxima intensidade, intensificando o impacto térmico sobre as superfícies.

Também, durante esse dia, o brise V3 exibiu um comportamento atípico, particularmente nos horários das 15h e 17h, conforme evidenciado pelos dados das tabelas de temperatura e pelos padrões identificados nos termogramas.

Por fim, as tabelas abaixo compilam as convergências observadas, detalhando aspectos importantes para a análise térmica.

Medição 03 - 11/05/2024															
Dados	Horário 09:00			Temp. Ext. 27,11			Temp. Int. 23,03			Umid. Rel. Ext. 52,09			Umid. Rel. Int. 64,04		
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)				
Brise	Z2	Z3	Z1	Z4	Z5	A1	V4	V5	A2	V2	V1	V3	A3	A5	A4
Temp.	24,8	24,7	24	23,9	23,4	23,3	23,3	23,3	23,2	23,2	23,1	22,9	22,5	22,5	22,4
Matiz	100% Tons Azuis					0% Tons Azuis					0% Tons Azuis				
	0% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos				
	0% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos				
Brilho	40% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade				
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade				
	40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade				

Tabela 14 - Convergência dos Dados às 9h de Maio
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 03 - 11/05/2024															
Dados	Horário 11:00			Temp. Ext. 30,33			Temp. Int. 24			Umid. Rel. Ext. 41,47			Umid. Rel. Int. 56,77		
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)				
Brise	V1	V2	Z1	Z2	A2	A3	A4	A5	A1	Z3	V3	Z4	Z5	V5	V4
Temp.	28,1	27,9	27,8	27,4	27,4	27,3	27,3	27,3	27,2	26,8	26,7	26,1	25,8	25,6	25,3
Matiz	40% Tons Azuis					20% Tons Azuis					40% Tons Azuis				
	20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos					0% Tons Amarelos				
	40% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos				
Brilho	100% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade				
	0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade				
	0% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					80% Alta Luminosidade				

Tabela 15 - Convergência dos Dados às 11h de Maio
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 03 - 11/05/2024															
Dados	Horário 15:00			Temp. Ext. 32,86			Temp. Int. 26,93			Umid. Rel. Ext. 30,57			Umid. Rel. Int. 41,9		
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)				
Brise	V2	Z1	V1	Z3	Z2	V4	A2	A1	A5	V5	Z4	A3	A4	Z5	V3
Temp.	40,1	39,8	39,8	39,7	39,5	38,7	38,5	38,3	38,2	38	37,9	37,5	37,5	36,6	36,4
Matiz	60% Tons Azuis					0% Tons Azuis					40% Tons Azuis				
	0% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos				
	40% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos				
Brilho	80% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade				
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade				
	0% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade				

Tabela 16 - Convergência dos Dados às 15h de Maio
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 03 - 11/05/2024															
Dados	Horário 17:00			Temp. Ext. 27,5			Temp. Int. 26,75			Umid. Rel. Ext. 36,43			Umid. Rel. Int. 39,04		
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)				
Brise	V3	Z3	Z4	Z5	Z1	A1	A3	A4	V1	V2	A5	V4	Z2	A2	V5
Temp.	32,1	30,0	29,9	29,6	29,4	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,1	29,1	29,0	29,0	29,0
Matiz	80% Tons Azuis					0% Tons Azuis					20% Tons Azuis				
	0% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos				
	20% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos				
Brilho	20% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade				
	40% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade				
	40% Alta Luminosidade					20% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade				

Tabela 17 - Convergência dos Dados às 17h de Maio
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Quanto à luminosidade, repara-se que, nos momentos de maior radiação solar, há um forte domínio dos brises de baixa luminosidade (mais escuros entre as temperaturas mais altas, absorvendo mais calor em comparação aos brises de alta luminosidade. No início e final do dia, no entanto, há um equilíbrio maior entre as diferentes luminosidades. Nas temperaturas inferiores, os brises de alta luminosidade (mais claros) aparecem com maior frequência, principalmente às 11h.

Com base nos dados apresentados nas tabelas de convergência, constata-se uma predominância dos tons azuis nas temperaturas superiores ao longo do dia, exceto às 11h, quando há um equilíbrio entre os tons azuis e vermelhos. É notável que, às 9h, todos os brises classificados entre as temperaturas superiores pertencem exclusivamente aos tons azuis, indicando uma maior absorção térmica inicial em comparação com os outros matizes. Os brises amarelos, por sua vez, aparecem entre as temperaturas superiores em apenas um momento, às 11h, sugerindo um comportamento pontual nessas condições.

Nas temperaturas inferiores, observa-se um equilíbrio entre todos os matizes ao longo do dia, sem predomínios marcantes. Já nas temperaturas intermediárias, o equilíbrio entre os matizes também é evidente, embora às 11h os tons amarelos se destaquem, assumindo uma forte dominância nesse intervalo.

Quanto à luminosidade, nota-se que, nos horários de maior radiação solar, como às 15h, os brises de baixa luminosidade (mais escuros) predominam entre as temperaturas mais altas, reforçando a ideia de que a baixa luminosidade absorve mais calor em comparação aos brises de alta luminosidade. Por outro lado, os brises de alta luminosidade (mais claros) são mais frequentes entre as temperaturas inferiores ao longo do dia, indicando maior eficiência na reflexão solar, especialmente às 11h, quando sua presença é mais evidente.

No início e final do dia, o comportamento das diferentes luminosidades é mais equilibrado, com uma distribuição relativamente homogênea entre brises claros, intermediários e escuros, refletindo uma menor influência da radiação solar direta nesses períodos.

4.1.4. Junho 2024

As medições realizadas no mês de junho foram realizadas no dia 30 de Junho.

JUNHO - Medição 04 - 30/06/2024

Fachada Noroeste																			Maior Temp.		Z2	38,50	Menor Temp.		A3	22,20									
TR	TE	TI	UE	UI	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2	V3	V4	V5	Máx	Mín	Δ B	Δ TB+	Δ TB-	Δ Zs	Δ As	Δ Vs	Δ Vz	Δ ZA	Δ AV	Δ T	Δ U			
09:00	26,00	27,24	22,61	38,44	48,18	23,0	22,9	22,6	22,3	22,4	22,4	22,3	22,2	22,3	22,6	22,5	22,2	22,4	22,5	23,0	Z1	23,0	A3	22,2	0,80	-4,24	-5,04	0,7	0,4	0,8	0,00	0,00	0,10	4,63	9,74
11:00	30,50	31,10	23,95	31,51	43,17	27,4	27,1	26,8	26,1	25,2	25,0	24,5	24,3	24,7	25,5	26,7	27,1	26,7	27,0	26,3	Z1	27,4	A3	24,3	3,10	-3,70	-6,80	2,2	1,2	0,8	1,10	0,20	1,20	7,15	11,66
15:00	30,20	29,90	27,50	27,01	29,32	38,3	38,5	38,1	36,8	35,3	36,6	37,1	35,5	35,6	36,1	38,2	37,6	35,9	36,8	36,3	Z2	38,5	Z5	35,3	3,20	8,60	5,40	3,2	1,6	2,3	2,00	1,30	2,10	2,40	2,31
17:00	29,10	26,68	25,64	31,14	34,45	29,6	29,8	29,7	29,5	29,2	29,0	29,1	29,1	29,1	29,2	29,4	31,8	29,4	29,3		V3	31,8	A1	29,0	2,80	5,12	2,32	0,6	0,1	2,6	0,30	0,20	0,10	1,04	3,31
Δ	4,50	4,42	4,89	11,43	18,86	15,3	15,6	15,5	14,5	12,9	14,2	14,8	13,3	13,3	13,5	15,7	15,4	13,5	14,3	13,3															

Tabela 18 - Tabulação dos Dados e Correlações de Junho
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

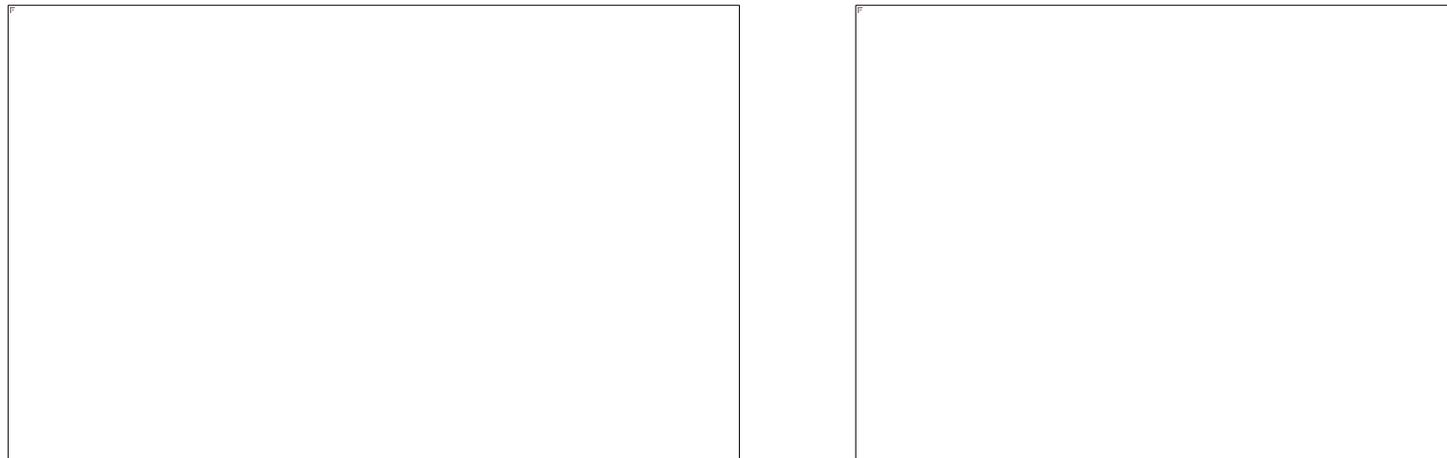


Figura 30 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Junho às 11h
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Os dados da Tabela 18 indicam uma variação térmica de até 16,3°C na superfície dos brises ao longo do dia. O horário de maior temperatura é registrado às 15h, momento em que a radiação solar é mais intensa devido à posição do sol em relação à envoltória analisada, o que reforça a influência direta da radiação solar na elevação das temperaturas superficiais.

Por outro lado, as menores temperaturas são registradas no período matutino, às 9h, quando a radiação solar é mínima em comparação aos outros horários. Esse intervalo apresenta condições mais amenas, refletindo o menor impacto da incidência solar direta sobre os brises.

Nos quatro horários avaliados, os brises de tonalidade azul e baixa luminosidade predominam entre as temperaturas máximas, com exceção das 17h, quando o brise vermelho V3 exibe um comportamento atípico, provavelmente devido a uma patologia existente que interfere nos resultados. Ainda assim, observa-se uma tendência geral dos brises azuis concentrarem as temperaturas mais elevadas.

Ainda, os tons amarelos de média luminosidade dominam as temperaturas mínimas, evidenciando sua capacidade de refletir a radiação solar. Às 17h, destaca-se a estabilidade térmica dos brises amarelos, com uma variação mínima de apenas 0,1°C no brise A1. Esse comportamento resulta em uma quase ausência de variação térmica entre os brises amarelos nesse horário, indicando uma uniformidade notável.

Além disso, percebe-se que as variações térmicas entre brises de mesmo matiz são mais sutis em horários de baixa radiação, como às 9h, e tornam-se mais acentuadas em condições de alta radiação, como às 15h.

Esses resultados reforçam a importância de considerar o matiz e o comportamento térmico dos brises na escolha de materiais para fachadas, especialmente em relação à eficiência térmica e ao controle de aquecimento em climas com alta exposição solar.

Também no mês de junho, o brise V3 exibiu um comportamento singular, destacando-se particularmente às 17h, evidenciado tanto pelos dados da tabela de temperaturas quanto pelos padrões identificados nos termogramas analisados.

Por fim, as tabelas abaixo expõem as convergências observadas, oferecendo uma visão específica dos matizes e luminosidade.

Medição 04 - 30/06/2024																									
Dados	Horário 09:00					Temp. Ext. 27,24					Temp. Int. 22,61					Umid. Rel. Ext. 38,44					Umid. Rel. Int. 48,18				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z1	V5	Z2	Z3	A5	V1	V4	Z5	A1	V3	Z4	A2	A4	A3	V2										
Temp.	23,0	23	22,9	22,6	22,6	22,5	22,5	22,4	22,4	22,4	22,3	22,3	22,3	22,2	22,2										
Matiz	60% Tons Azuis					20% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	20% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	40% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Tabela 19 - Convergência dos Dados às 9h de Junho
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 04 - 30/06/2024																									
Dados	Horário 11:00					Temp. Ext. 31,1					Temp. Int. 23,95					Umid. Rel. Ext. 31,51					Umid. Rel. Int. 43,17				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z1	Z2	V2	V4	Z3	V1	V3	V5	Z4	A5	Z5	A1	A4	A2	A3										
Temp.	27,4	27,1	27,1	27,0	26,8	26,7	26,7	26,3	26,1	25,5	25,2	25,0	24,7	24,5	24,3										
Matiz	60% Tons Azuis					20% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos														
	40% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos														
Brilho	60% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Tabela 20 - Convergência dos Dados às 11h de Junho
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 04 - 30/06/2024																									
Dados	Horário 15:00					Temp. Ext. 29,9					Temp. Int. 27,5					Umid. Rel. Ext. 27,01					Umid. Rel. Int. 29,32				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z2	Z1	V1	Z3	V2	A2	Z4	V4	A1	V5	A5	V3	A4	A3	Z5										
Temp.	38,5	38,3	38,2	38,1	37,6	37,1	36,8	36,8	36,6	36,3	36,1	35,9	35,6	35,5	35,3										
Matiz	60% Tons Azuis					20% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	40% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	80% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade														
	0% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 21 - Convergência dos Dados às 15h de Junho
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 04 - 30/06/2024																									
Dados	Horário 17:00					Temp. Ext. 26,68					Temp. Int. 25,64					Umid. Rel. Ext. 31,14					Umid. Rel. Int. 34,45				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	V3	Z2	Z3	Z1	Z4	V2	V4	V5	Z5	V1	A2	A3	A4	A5	A1										
Temp.	31,8	29,8	29,7	29,6	29,5	29,4	29,4	29,3	29,2	29,2	29,1	29,1	29,1	29,1	29										
Matiz	80% Tons Azuis					20% Tons Azuis					0% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					0% Tons Amarelos					100% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					80% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos														
Brilho	40% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade														
	40% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Tabela 22 - Convergência dos Dados às 17h de Junho
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

As tabelas de convergência de junho revelam uma predominância dos tons azuis nas temperaturas superiores, com destaque para as 17h, horário em que quase todos os brises classificados nessa faixa pertencem a essa tonalidade. Por outro lado, os tons amarelos têm presença quase inexistente entre as temperaturas superiores, sendo registrados apenas às 9h.

Em contrapartida, os tons amarelos dominam as temperaturas inferiores, alcançando hegemonia às 17h, o que evidencia sua estabilidade térmica em condições de baixa radiação. Os tons vermelhos, por sua vez, ocupam a maior parte das temperaturas intermediárias, exceto às 15h, quando há um equilíbrio mais perceptível entre os tons amarelos e vermelhos.

Destaca-se que às 17h há uma separação clara entre os matizes e suas classificações térmicas: os tons azuis concentram-se nas temperaturas superiores, os vermelhos predominam nas medianas, e os amarelos dominam as inferiores. Essa divisão quase perfeita é levemente alterada pela presença de um par de brises que fogem a esse padrão, assumindo posições distintas das esperadas.

Quanto à luminosidade, observa-se que, nos períodos de maior radiação solar, como às 15h, os brises de baixa luminosidade (mais escuros) dominam as temperaturas mais altas, demonstrando uma maior absorção de calor em relação aos de alta luminosidade. Já nos horários de menor radiação, como no início e no final do dia, as diferenças entre as luminosidades tornam-se menos evidentes, com um equilíbrio maior entre os brises claros e escuros. Nas temperaturas inferiores, o equilíbrio entre brises de alta e baixa luminosidade é mais consistente, com exceção das 15h, quando os de baixa luminosidade apresentam uma leve superioridade.

Por fim, ao analisar as variações térmicas ao longo do dia, percebe-se que os brises de baixa luminosidade possuem uma amplitude térmica mais elevada em comparação aos de alta luminosidade. Esse comportamento sugere que, sob as condições climáticas de junho, os brises escuros absorvem mais calor nos horários de pico de radiação e tendem a retê-lo por mais tempo. Por outro lado, os brises claros, com uma amplitude térmica menos pronunciada, dissipam o calor de forma mais uniforme.

4.1.5. Julho 2024

As medições realizadas no mês de julho foram realizadas no dia 21 de Julho.

		JULHO - Medição 05 - 21/07/2024																	Maior Temp.		Z1	38,10	Menor Temp.		A3	20,40									
		Fachada Noroeste																																	
		TR	TE	TI	UE	UI	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	A1	A2	A3	A4	A5	V1	V2	V3	V4	V5	Máx	Min	Δ B	Δ TB+	Δ TB-	Δ Zs	Δ As	Δ Vs	Δ VZ	Δ ZA	Δ AV	Δ T	Δ U	
09:00	19,90	22,65	20,10	49,13	56,22	21,3	21,5	21,6	21,7	20,5	20,7	20,8	20,4	20,4	20,6	20,8	21,0	20,4	20,8	20,9	Z4	21,7	A3	20,4	1,30	-0,95	-2,25	1,2	0,4	0,6	0,40	0,20	0,20	2,55	7,09
11:00	26,50	24,66	21,51	42,48	47,68	23,0	22,8	23,2	22,9	22,8	22,6	22,9	22,4	22,3	22,3	22,7	22,9	21,9	22,3	22,3	Z3	23,2	V3	21,9	1,30	-1,46	-2,76	0,4	0,6	1,0	0,70	0,20	0,40	3,15	5,20
15:00	28,50	28,31	26,27	34,83	38,25	38,1	36,7	35,9	33,5	33,2	34,5	34,4	33,7	34,3	34,9	36,5	37,0	32,6	35,0	34,6	Z1	38,1	V3	32,6	5,50	9,79	4,29	4,9	1,2	4,4	3,50	1,30	1,60	2,04	3,42
17:00	25,20	23,94	23,75	40,75	42,34	27,7	27,7	27,6	27,2	27,1	26,7	26,4	26,5	27,1	27,2	27,5	27,7	30,4	27,7	27,4	V3	30,4	A2	26,4	4,00	6,46	2,46	0,6	0,8	3,0	0,30	0,40	0,30	0,19	1,59
Δ	8,60	5,66	6,17	14,30	17,97	16,8	15,2	14,3	11,8	12,7	13,8	13,6	13,3	13,9	14,3	15,7	16,0	12,2	14,2	13,7															

Tabela 23 - Tabulação dos Dados e Correlações de Julho
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

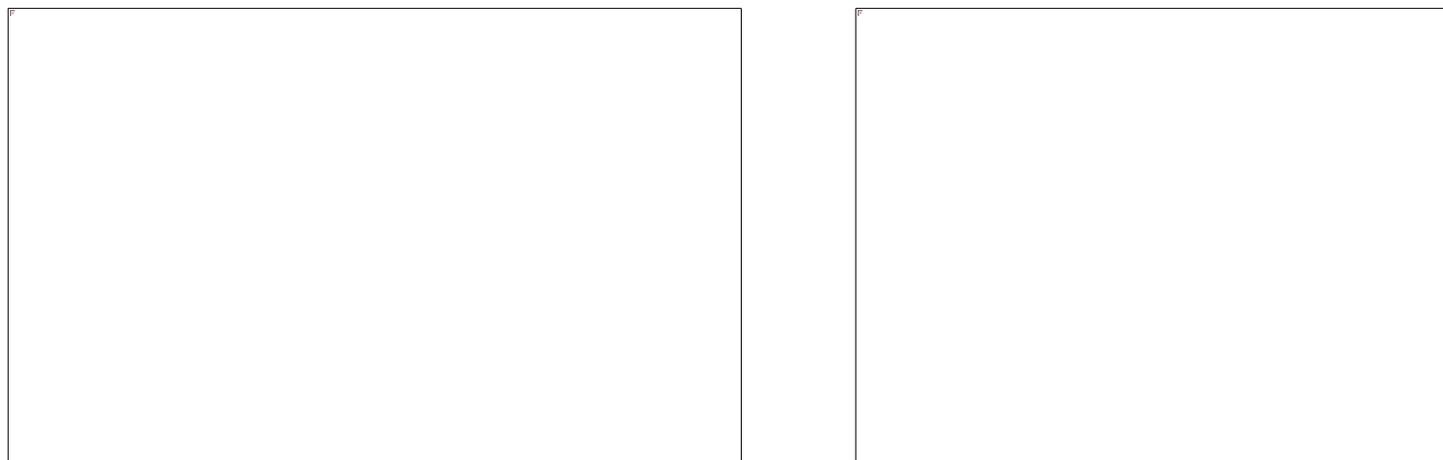


Figura 31 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Julho às 9h
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Os dados obtidos em julho, conforme apresentados na Tabela 23, indicam uma variação térmica máxima de 17,7°C nas superfícies dos brises ao longo do dia analisado, sendo esta a maior registrada no estudo, juntamente com Maio. As maiores temperaturas foram registradas às 17h, período em que o nível de radiação solar aparenta ser mais elevado devido à posição do sol em relação à fachada estudada. Em contrapartida, as menores temperaturas ocorreram às 9h, quando a radiação solar é consideravelmente mais baixa.

As temperaturas máximas de cada horário mostram uma predominância dos brises de tonalidade azul e média luminosidade, enquanto nas temperaturas mínimas há uma prevalência dos tons amarelos também de média luminosidade, demonstrando que nesse contexto climática momentâneo, a luminosidade aparente não ter tanta influência quanto o matiz. Entretanto, é importante destacar que a presença de tons vermelhos entre as temperaturas ocorre exclusivamente por causa do brise V3, que aparenta apresentar alguma patologia, influenciando os resultados.

Ao considerar a amplitude térmica apenas entre brises de mesmo matiz, observa-se que as maiores diferenças ocorrem às 15h, período de maior radiação solar, enquanto as menores variações térmicas são registradas no período da manhã, quando a intensidade da radiação ainda é reduzida.

Adicionalmente, o brise V3 apresentou um comportamento claramente atípico durante a medição, evidenciado tanto pelos valores registrados na tabela quanto pelos padrões identificados nos termogramas.

As tabelas apresentadas a seguir consolidam as convergências identificadas, apresentando informações para a análise térmica.

Medição 05 - 21/07/2024																									
Dados	Horário 09:00					Temp. Ext. 22,65					Temp. Int. 20,1					Umid. Rel. Ext. 49,13					Umid. Rel. Int. 56,22				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z4	Z3	Z2	Z1	V2	V5	A2	V1	V4	A1	A5	Z5	A3	A4	V3										
Temp.	21,7	21,6	21,5	21,3	21,0	20,9	20,8	20,8	20,8	20,7	20,6	20,5	20,4	20,4	20,4										
Matiz	80% Tons Azuis					0% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	60% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 24 - Convergência dos Dados às 9h de Julho

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 05 - 21/07/2024																									
Dados	Horário 11:00					Temp. Ext. 24,66					Temp. Int. 21,51					Umid. Rel. Ext. 42,48					Umid. Rel. Int. 47,68				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z3	Z1	Z4	A2	V2	Z2	Z5	V1	A1	A3	A4	A5	V4	V5	V3										
Temp.	23,2	23	22,9	22,9	22,9	22,8	22,8	22,7	22,6	22,4	22,3	22,3	22,3	22,3	21,9										
Matiz	60% Tons Azuis					40% Tons Azuis					0% Tons Azuis														
	20% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos														
	20% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos														
Brilho	60% Baixa Luminosidade					60% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					20% Alta Luminosidade					80% Alta Luminosidade														

Tabela 25 - Convergência dos Dados às 11h de Julho

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 05 - 21/07/2024																									
Dados	Horário 15:00					Temp. Ext. 28,31					Temp. Int. 26,27					Umid. Rel. Ext. 34,83					Umid. Rel. Int. 38,25				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	Z1	V2	Z2	V1	Z3	V4	A5	V5	A1	A2	A4	A3	Z4	Z5	V3										
Temp.	38,1	37	36,7	36,5	35,9	35	34,9	34,6	34,5	34,4	34,3	33,7	33,5	33,2	32,6										
Matiz	60% Tons Azuis					0% Tons Azuis					40% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					60% Tons Amarelos					40% Tons Amarelos														
	40% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					20% Tons Vermelhos														
Brilho	80% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade					0% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					0% Média Luminosidade					40% Média Luminosidade														
	0% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade														

Tabela 26 - Convergência dos Dados às 15h de Julho

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 05 - 21/07/2024																									
Dados	Horário 17:00					Temp. Ext. 23,94					Temp. Int. 23,75					Umid. Rel. Ext. 40,79					Umid. Rel. Int. 42,34				
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)														
Brise	V3	Z1	Z2	V2	V4	Z3	V1	V5	Z4	A5	Z5	A4	A1	A3	A2										
Temp.	30,4	27,7	27,7	27,7	27,7	27,6	27,5	27,4	27,2	27,2	27,1	27,1	26,7	26,5	26,4										
Matiz	40% Tons Azuis					40% Tons Azuis					20% Tons Azuis														
	0% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos														
	60% Tons Vermelhos					40% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos														
Brilho	60% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					40% Baixa Luminosidade														
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade														
	20% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					40% Alta Luminosidade														

Tabela 27 - Convergência dos Dados às 16h de Julho

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

As convergências apresentadas destacam uma predominância dos tons azuis nas temperaturas superiores, com exceção do horário das 17h, quando os tons vermelhos equilibram sua presença com os azuis. Na categoria de temperaturas superiores, os tons amarelos têm participação quase inexistente, sendo representados por apenas um brise classificado nesse grupo às 11h.

Por outro lado, os tons amarelos apresentam uma leve predominância nas temperaturas inferiores, especialmente nos horários das 9h e 17h. Nos outros períodos, observa-se um equilíbrio entre os tons amarelos e outras tonalidades, com variações envolvendo tons azuis e vermelhos. Esse equilíbrio também é evidente nas temperaturas medianas.

Quanto à luminosidade, os brises de baixa luminosidade predominam ao longo do dia nas temperaturas superiores, reforçando sua maior capacidade de absorção térmica. Esse comportamento é ainda mais evidente às 15h, horário de maior radiação solar, quando há uma quase hegemonia dos brises de baixa luminosidade, com ausência total de brises de alta luminosidade (mais claros) nessa categoria.

Em contraste, as temperaturas inferiores mostram uma ausência marcante dos brises de baixa luminosidade durante grande parte do dia, com exceção do horário das 17h, quando ocorre um equilíbrio mais evidente entre as diferentes luminosidades.

No que diz respeito à amplitude térmica, ao analisar cada brise separadamente, não se identifica um matiz específico como predominante para as maiores amplitudes. Contudo, observa-se que os brises de baixa luminosidade apresentam as maiores amplitudes térmicas, enquanto os brises de alta luminosidade registram amplitudes moderadas. Nas menores amplitudes térmicas, há um equilíbrio entre os diferentes brises.

4.1.6. Agosto 2024

As medições realizadas no mês de agosto foram realizadas no dia 25 de Agosto.



Tabela 28 - Tabulação dos Dados e Correlações de Agosto
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

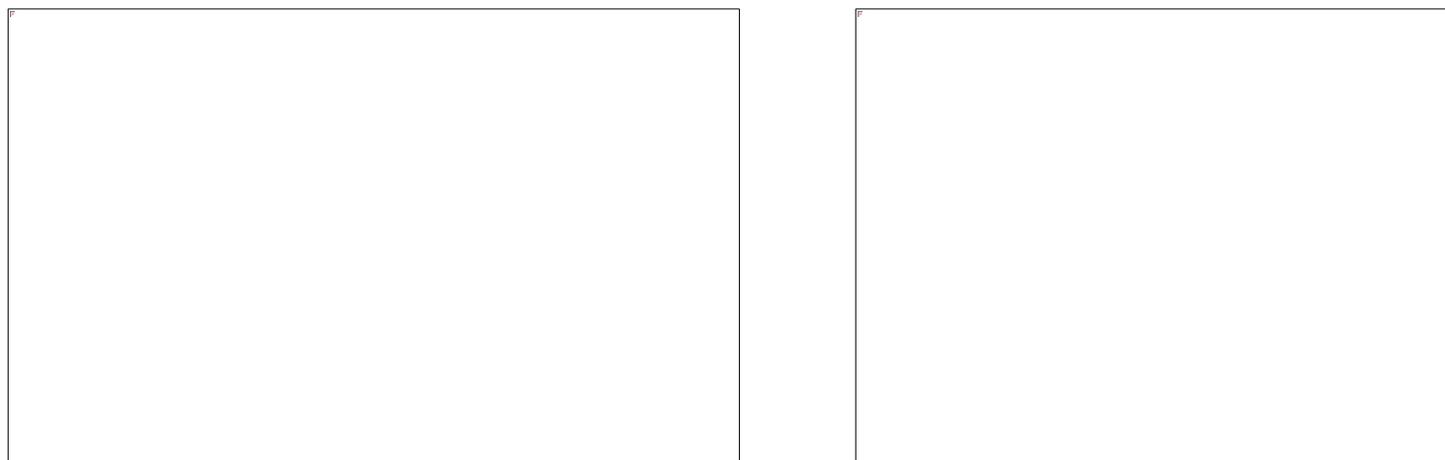


Figura 32 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Agosto às 17h
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Em agosto, a amplitude térmica máxima registrada nas superfícies dos brises ao longo do dia foi de 7,2°C, sendo esta a menor registrada no estudo. Durante o período analisado, não houve um horário específico com predomínio absoluto das maiores temperaturas, que foram observadas tanto às 15h quanto às 17h.

Os brises que registraram as temperaturas máximas em cada horário foram predominantemente de tons azuis, com baixa ou média luminosidade. Já as menores temperaturas se concentraram nos tons amarelos e média ou alta luminosidade.

Ao analisar as amplitudes térmicas entre brises de mesmo matiz, observa-se que, para os tons azuis, o horário das 15h apresentou a maior amplitude térmica, enquanto às 17h registrou-se a menor. Para os tons amarelos, a maior amplitude ocorreu às 11h, enquanto às 9h as temperaturas foram praticamente estáveis, com uma variação mínima de apenas 0,1°C, demonstrando alta uniformidade térmica. Já para os tons vermelhos, a maior amplitude térmica foi observada às 17h, enquanto às 15h registrou-se a menor.

O brise V3, que apresentou comportamentos mais anômalos nos meses anteriores, teve um desempenho relativamente mais estável em agosto. Contudo, às 17h, manteve um comportamento distinto, registrando a maior temperatura do horário, conforme apontado na tabela e corroborado pelos termogramas analisados.

As próximas tabelas apresentam as convergências identificadas, oferecendo uma visão mais clara e sobre outros aspectos da análise térmica.

--

Tabela 29 - Convergência dos Dados às 9h de Agosto
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

--

Tabela 30 - Convergência dos Dados às 11h de Agosto
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Medição 06 - 25/08/2024															
Dados	Horário 15:00			Temp. Ext. 30,59		Temp. Int. 27,17			Um. Rel. Ext. 30,37			Um. Rel. Int. 35,83			
Class.	TEMP. SUPERIORES (33,33%)					TEMP. MEDIANAS (33,33%)					TEMP. INFERIORES (33,33%)				
Brise	Z1	Z2	Z3	V2	V1	V3	V4	V5	Z4	A1	A5	A2	A4	Z5	A3
Temp.	30,1	29,9	29,9	29,5	29,4	29,1	29,1	29	28,9	28,4	28,2	28,1	28	27,8	27,7
Matiz	60% Tons Azuis					20% Tons Azuis					20% Tons Azuis				
	0% Tons Amarelos					20% Tons Amarelos					80% Tons Amarelos				
	40% Tons Vermelhos					60% Tons Vermelhos					0% Tons Vermelhos				
Brilho	80% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade					20% Baixa Luminosidade				
	20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade					20% Média Luminosidade				
	0% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade					60% Alta Luminosidade				

Tabela 31 - Convergência dos Dados às 15h de Agosto
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

--

Tabela 32 - Convergência dos Dados às 17h de Agosto
 Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Quanto aos matizes, as convergências apontam para uma predominância dos tons azuis nas temperaturas superiores, com uma presença mais discreta dos tons vermelhos em comparação aos amarelos, que aparecem de forma bastante limitada nesse grupo.

Nas temperaturas inferiores, a delimitação do matiz predominante ocorre conforme os horários. Às 15h, por exemplo, os brises amarelos se destacam amplamente, e essa superioridade evolui para uma hegemonia total às 17h. Em contraste, às 11h, os tons vermelhos apresentam predominância, enquanto às 9h observa-se um certo equilíbrio entre os matizes, sem um domínio claro.

Nas temperaturas medianas, o comportamento varia ao longo do dia. Durante o período vespertino, há uma predominância dos tons vermelhos, enquanto no período matutino, as tabelas mostram um equilíbrio entre os diferentes matizes, sugerindo uma distribuição mais homogênea nessa faixa térmica.

Quanto à luminosidade, os brises de alta luminosidade (mais claros) não predominam nas temperaturas superiores e estão completamente ausentes às 15h, horário em que os brises de baixa luminosidade (mais escuros) se destacam amplamente. Por outro lado, a alta luminosidade desempenha um papel significativo nas temperaturas inferiores, dominando essa categoria ao longo do dia.

Ao analisar as amplitudes térmicas específicas de cada brise, observa-se um equilíbrio em relação à luminosidade, indicando que esse fator não é determinante para grandes diferenças nas amplitudes. Entretanto, o matiz aparenta influenciar diretamente as amplitudes térmicas. Os tons azuis estão associados às maiores amplitudes térmicas, sugerindo uma maior sensibilidade às variações de radiação solar. Já as amplitudes medianas são dominadas pelos tons vermelhos, enquanto os tons amarelos mostram-se hegemônicos nas menores amplitudes térmicas, evidenciando um comportamento mais estável e uniforme.

4.1.7. Setembro 2024

As medições realizadas no mês de setembro foram realizadas no dia 22 de Setembro.

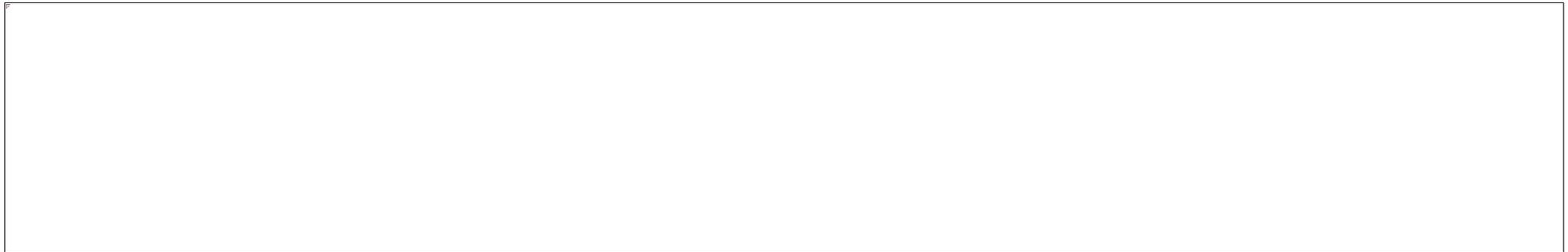


Tabela 33 - Tabulação dos Dados e Correlações de Setembro
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

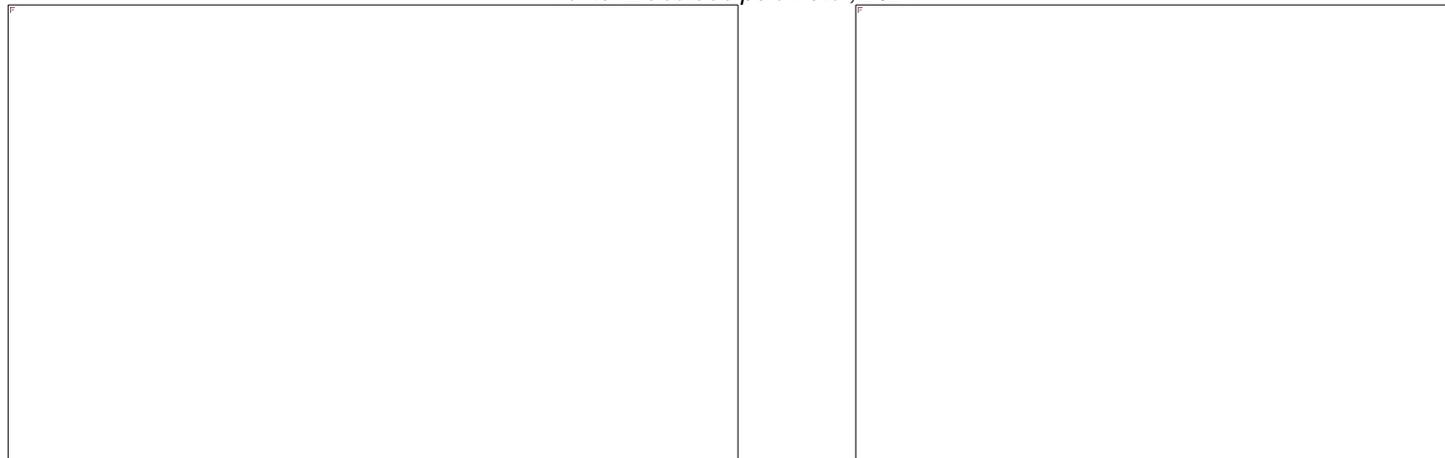


Figura 33 - Amostra de Termograma e Foto da medição de Setembro às 15h
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

As medições realizadas em setembro revelaram uma amplitude térmica máxima de 9,7°C ao longo do dia, com as maiores temperaturas registradas no horário de maior radiação térmica, às 15h. Por outro lado, as menores temperaturas foram observadas às 9h, período em que a radiação solar ainda é mínima.

Nas temperaturas máximas de cada horário, houve um claro domínio dos brises de tonalidade azul e baixa luminosidade, com destaque para o brise Z1, que registrou a temperatura máxima em três dos horários analisados. Já nas temperaturas mínimas, verificou-se um equilíbrio entre brises de média e alta luminosidade, com um leve destaque para os brises de matiz amarelo, que mostraram maior estabilidade térmica.

Ao analisar brises de um único matiz, os tons azuis apresentaram uma variação térmica profunda, especialmente às 15h, horário de maior radiação solar. Os brises amarelos também registraram uma variação considerável nesse horário, embora seus valores absolutos e as variações nos demais horários tenham sido menores em comparação aos brises azuis, reforçando sua característica de maior estabilidade térmica. Para os brises vermelhos, a maior variação térmica foi registrada às 11h, possivelmente devido ao comportamento do brise V3, que apresentou uma temperatura atipicamente baixa, sugerindo a presença de uma patologia que influenciou os resultados.

As tabelas de convergência a seguir destacam outros aspectos importantes relacionados aos matizes e luminosidades observados no estudo realizado no mês de setembro.

Tabela 34 - Convergência dos Dados às 9h de Setembro
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Tabela 35 - Convergência dos Dados às 11h de Setembro
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Tabela 36 - Convergência dos Dados às 15h de Setembro
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Tabela 37 - Convergência dos Dados às 17h de Setembro
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

De acordo com as tabelas apresentadas, os tons azuis predominaram em todos os horários nas temperaturas superiores, com os tons amarelos apresentando uma participação quase inexistente, sendo registrados apenas uma vez, às 17h. Esse domínio dos tons azuis reflete sua maior sensibilidade à absorção térmica em condições de alta radiação solar.

No sentido oposto, os tons amarelos destacaram-se no período vespertino, predominando entre as temperaturas inferiores e demonstrando maior estabilidade térmica. Durante o período matutino, eles participaram de um equilíbrio mais amplo com os outros matizes, sem uma clara predominância.

Nas temperaturas medianas, houve um equilíbrio geral entre os matizes, embora o período vespertino tenha mostrado uma ligeira predominância dos tons vermelhos, sugerindo uma interação mais acentuada entre a radiação solar e os brises dessa tonalidade.

Quanto à luminosidade, a baixa luminosidade se destacou nas temperaturas superiores durante o período matutino, indicando maior absorção térmica pelos brises mais escuros. Já no período vespertino, houve um equilíbrio mais uniforme entre as diferentes luminosidades nessa categoria.

Nas temperaturas inferiores, a alta luminosidade predominou na maior parte do dia, com exceção das 9h, quando se observou um equilíbrio entre os brises claros e escuros. Essa predominância dos brises de alta luminosidade nas temperaturas mais baixas reforça sua eficiência na reflexão solar e na mitigação do aquecimento.

Ao analisar a variação térmica de um mesmo brise ao longo do dia, constatou-se que os tons amarelos apresentam as menores amplitudes térmicas, reafirmando seu comportamento estável. Os tons vermelhos registraram variações médias, enquanto os tons azuis tiveram as maiores variações, demonstrando maior sensibilidade às mudanças nas condições de radiação solar.

No que diz respeito à luminosidade, observa-se um equilíbrio entre brises de alta e baixa luminosidade, indicando que o brilho não exerce um impacto significativo na amplitude térmica. Esses dados destacam a influência predominante do matiz na temperatura dos brises, enquanto a luminosidade desempenha um papel secundário no controle da amplitude térmica ao longo do dia.

4.2. Síntese

As sínteses aqui apresentadas fazem parte da discussão sobre os resultados apresentados e consolidam os principais padrões térmicos, cromáticos e de luminosidade observados nos dados analisados, evidenciando tendências relacionadas às temperaturas superiores, medianas e inferiores. Os dados coletados mensalmente nos horários específicos foram compilados, tratados e organizados de forma conjunta, sendo sintetizados nas tabelas abaixo para facilitar a análise e interpretação.

4.2.1. Horário 9h

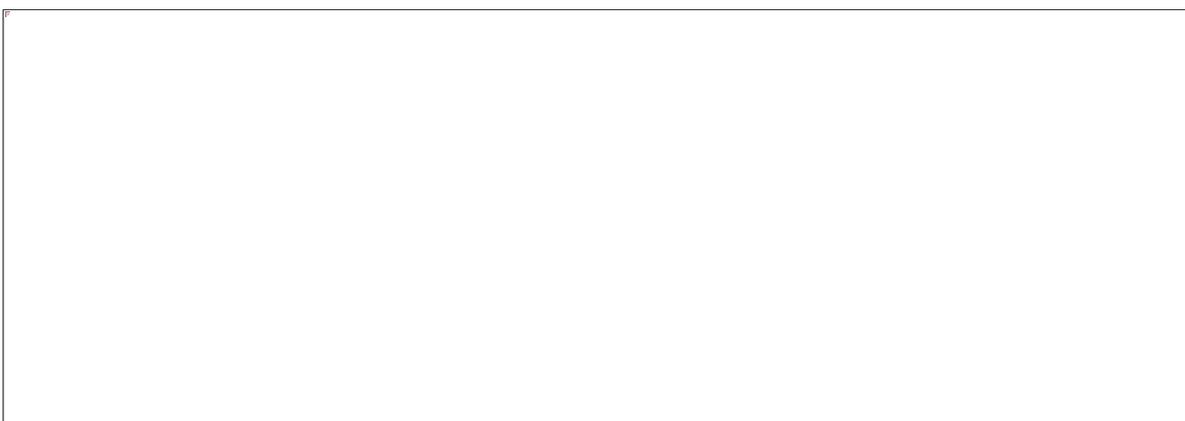


Tabela 38 - Síntese das Convergência dos Dados às 9h
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

A tabela síntese referente ao horário das 9h ilustra claramente os padrões térmicos das superfícies dos brises, considerando matiz e luminosidade. Observa-se um predomínio significativo dos tons azuis nas temperaturas superiores, representando 74% dos brises nessa faixa. Essa dominância evidencia a maior absorção térmica inicial dos brises azuis em comparação a outros matizes, mesmo em um horário com radiação solar moderada. Os tons amarelos, por outro lado, têm uma presença marginal entre as temperaturas superiores (3%), enquanto os tons vermelhos mostram uma participação moderada (23%).

Nas temperaturas medianas, os tons vermelhos se destacam com 54%, sugerindo uma interação mais equilibrada com as condições térmicas iniciais do dia. Já nas temperaturas inferiores, os tons amarelos predominam com 57%, reforçando ser mais estável e eficaz na reflexão solar.

Quando analisamos a influência da luminosidade, verifica-se que os brises de baixa luminosidade dominam nas temperaturas superiores (54%), indicando uma maior absorção de calor nesses brises. Em contraste, os brises de alta luminosidade apresentam maior eficiência térmica, predominando nas temperaturas inferiores com 51%. Esse comportamento reforça a eficiência dos brises claros na mitigação do aquecimento, mesmo no início do dia.

Por fim, a tabela evidencia uma clara diferenciação térmica entre matizes e luminosidades. Tons azuis e baixa luminosidade estão mais presentes nas faixas superiores, enquanto tons amarelos e alta luminosidade dominam as temperaturas

inferiores. Esses resultados demonstram como matiz e brilho influenciam diretamente na temperatura superficial dos brises, mesmo em horários de menor radiação solar.

4.2.2. Horário 11h

Tabela 39 - Síntese das Convergência dos Dados às 11h
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

A tabela síntese referente ao horário das 11h revela padrões térmicos entre os brises, considerando matiz e luminosidade. Nas temperaturas superiores, os tons azuis predominam, representando 54% dos brises nessa faixa, enquanto os tons vermelhos aparecem com 34%, refletindo uma interação importante com a radiação solar nesse período. Os tons amarelos, por outro lado, apresentam presença limitada entre as temperaturas superiores, com apenas 11% de representatividade, indicando menor absorção térmica.

Nas temperaturas medianas, os tons amarelos lideram com 46%, sugerindo estabilidade térmica moderada e comportamento estável durante esse horário. Os tons vermelhos e azuis aparecem de forma equilibrada, com 29% e 26%, respectivamente, mostrando um comportamento intermediário. Já nas temperaturas inferiores, os tons amarelos predominam com 43%, acompanhados de perto pelos vermelhos (37%), que demonstram eficiência térmica ao manter temperaturas mais baixas.

Quanto à luminosidade, destaca-se a predominância da baixa luminosidade nas temperaturas superiores, com 69%, evidenciando maior absorção térmica pelos brises mais escuros. Em contraste, a alta luminosidade domina nas temperaturas inferiores, com 66%, reafirmando sua eficiência na reflexão solar. Nas temperaturas medianas, há um equilíbrio entre as diferentes luminosidades, com percentuais bem distribuídos entre baixa, média e alta luminosidade.

O comportamento térmico observado às 11h destaca a interação dos brises com a radiação solar em um horário de transição térmica, em que tons azuis e brises de baixa luminosidade se destacam nas temperaturas superiores, enquanto os tons amarelos e brises de alta luminosidade predominam entre as temperaturas inferiores.

4.2.3. Horário 15h

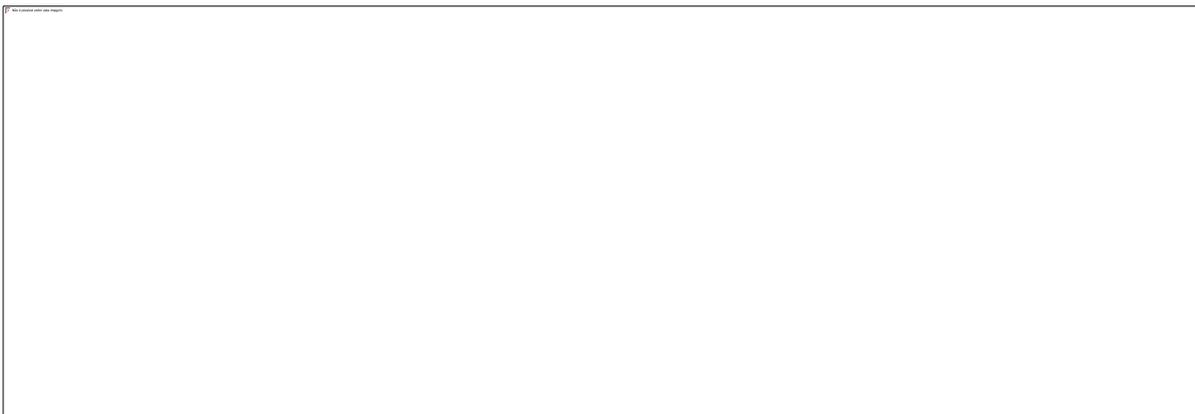


Tabela 40 - Síntese das Convergência dos Dados às 15h
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

A tabela síntese das medições realizadas às 15h evidencia padrões térmicos entre os brises, considerando matiz e luminosidade. Nas temperaturas superiores, os tons azuis lideram com 57%, com o brise Z3 se destacando nesta categoria. Os tons vermelhos seguem com 37%, mostrando uma sensibilidade marcante à radiação solar intensa, enquanto os tons amarelos têm presença reduzida, com apenas 6%, demonstrando maior estabilidade térmica.

Nas temperaturas medianas, os tons vermelhos predominam com 49%, indicando uma absorção térmica intermediária relevante. Os tons amarelos, com 37%, também apresentam uma relevante participação nessa faixa, sugerindo um desempenho equilibrado. Já os tons azuis aparecem de forma limitada, com apenas 14%, refletindo uma menor concentração térmica nessa categoria.

As temperaturas inferiores são dominadas pelos tons amarelos, que representam 57% dos brises, reforçando sua eficiência em manter temperaturas mais baixas. Os demais aparecem de forma equilibrada, sendo os tons azuis com 29%, enquanto os tons vermelhos têm uma presença marginal, com apenas 14%.

No que diz respeito à luminosidade, os brises de baixa luminosidade dominam nas temperaturas superiores, com 74%, evidenciando sua maior absorção de calor. Em contraste, a alta luminosidade predomina entre as temperaturas inferiores, com 63%, reafirmando sua eficiência na reflexão solar. Nas temperaturas medianas, há um equilíbrio mais evidente, com alta luminosidade liderando com 54% e baixa luminosidade representando 40%.

Os dados das medições às 15h destacam a interação entre matiz e luminosidade sendo os tons amarelos e brises de alta luminosidade mostrando-se capacidade de aquecimento menor que os demais, especialmente nas temperaturas inferiores, enquanto os tons azuis e brises de baixa luminosidade têm maior sensibilidade à radiação solar, sendo predominantes nas temperaturas superiores.

4.2.4. Horário 17h

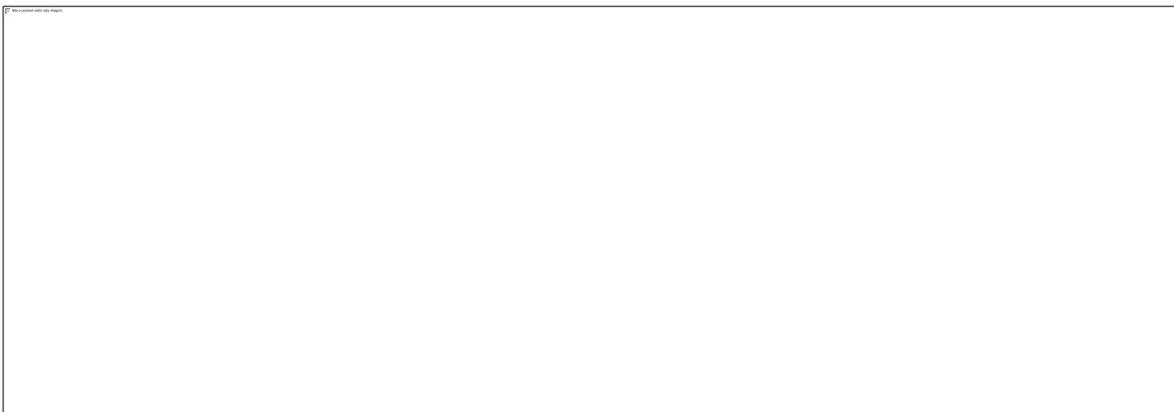


Tabela 41 - Síntese das Convergência dos Dados às 17h
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

A Tabela 41 referente ao horário das 17h apresenta um padrão térmico claro entre os brises da fachada noroeste, evidenciando diferenças significativas relacionadas ao matiz e à luminosidade. Nas temperaturas superiores, os tons azuis predominam amplamente, com 63%, reforçando sua capacidade de absorver e reter calor ao longo do dia. Os tons vermelhos, representando 34%, também se destacam nessa categoria, com o brise V3 exibindo comportamento atípico ao registrar a maior temperatura, possivelmente devido a uma patologia já identificada em análises anteriores. Dessa forma, a tabela também mostra qual brise teria sido predominante na ausência do brise atípico, que seria o Z4. Os tons amarelos, por outro lado, têm participação quase inexistente, com apenas 3%, reafirmando sua estabilidade térmica.

Nas temperaturas medianas, os tons vermelhos dominam, com 54%, mostrando maior interação térmica intermediária, enquanto os tons amarelos apresentam uma distribuição equilibrada, com 17%. Os tons azuis, com 29%, têm menor participação nessa faixa, indicando uma transição térmica mais moderada.

Nas temperaturas inferiores, os tons amarelos são hegemônicos, representando 80% dos brises, reafirmando sua eficiência em evitar o superaquecimento e dissipar o calor acumulado. Em contraste, os tons azuis e vermelhos aparecem de forma marginal, com 9% e 11%, respectivamente, sugerindo menor eficiência térmica em manter temperaturas mais baixas.

No que diz respeito à luminosidade, observa-se um equilíbrio geral entre os diferentes níveis nas temperaturas superiores, com baixa luminosidade liderando ligeiramente (37%), seguida de média e alta luminosidade, com 31% cada. Essa distribuição mais uniforme sugere que a luminosidade exerce uma influência mais equilibrada nesta faixa térmica. Nas temperaturas inferiores, entretanto, a alta luminosidade tem maior destaque (40%), enquanto nas medianas, o equilíbrio permanece, com alta luminosidade predominando (49%) e baixa luminosidade mantendo uma presença considerável (40%). Esses dados indicam que, ao final do dia, a influência da luminosidade é menos concentrada e mais distribuída entre os diferentes níveis.

Às 17h, os padrões térmicos tornam-se mais claros, com tons azuis dominando as temperaturas superiores, tons vermelhos nas medianas e tons amarelos nas inferiores.

Esse comportamento reflete uma separação térmica evidente entre os matizes, reforçando a influência do matiz e da luminosidade no aquecimento dos brises ao final do dia.

4.2.5. Média Geral



Tabela 42 - Síntese das Convergência dos Dados Média Geral
Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

A tabela síntese referente aos dados médios da fachada noroeste, independente do horário do dia, revela padrões térmicos relacionados aos matizes e à luminosidade observados nas superfícies dos brises.

Nas temperaturas superiores, os tons azuis predominam de forma significativa, representando 62%. Essa presença reforça a sensibilidade desses tons à radiação solar direta, captando e retendo maior quantidade de calor. Os tons vermelhos ocupam a segunda posição, com 32%, enquanto os tons amarelos têm representação marginal, com apenas 6%. Esse comportamento confirma a tendência dos tons azuis de absorverem mais calor, em contraste com a estabilidade térmica proporcionada pelos tons amarelos.

Nas temperaturas medianas, os tons vermelhos lideram com 46%, indicando uma prevalência na absorção térmica moderada. Os tons amarelos seguem com 35%, sugerindo uma contribuição mais equilibrada ao controle térmico. Os tons azuis, com 19%, apresentam menor presença nessa faixa.

Nas temperaturas inferiores, os tons amarelos dominam amplamente, com 59%, evidenciando sua eficiência em evitar absorção do calor. Os tons vermelhos aparecem com 21%, seguidos pelos tons azuis, que ocupam apenas 19% dessa faixa. Esse padrão reflete a maior capacidade dos tons amarelos de manter temperaturas mais baixas.

Quanto à luminosidade, os brises de baixa luminosidade predominam nas temperaturas superiores, representando 59%. Essa caracterização reforça sua maior absorção térmica. Em contraste, nas temperaturas inferiores, os brises de alta luminosidade se destacam com 55%, demonstrando sua eficiência na reflexão da radiação solar e na redução do aquecimento superficial. Nas temperaturas medianas, há um maior equilíbrio, com a alta luminosidade liderando com 46%, seguida de baixa luminosidade (43%) e média luminosidade (11%).

4.3. Discussão

Este trabalho reforça a discussão da preocupação climática ao abordar a influência das escolhas arquitetônicas no desempenho térmico das edificações, uma questão que ganha cada vez mais relevância diante dos compromissos globais de enfrentamento às mudanças climáticas. A realização da COP 30 no Brasil, em 2025, reflete a importância do protagonismo nacional nesse debate, especialmente considerando a urgência de medidas que alinhem desenvolvimento sustentável e resiliência climática. No contexto arquitetônico, as estratégias bioclimáticas, como o controle da absorvência das superfícies, estão diretamente conectadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular a ODS 13, que enfatiza a necessidade de "tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos". Além disso, iniciativas como a ODS 11, que busca tornar cidades e assentamentos humanos inclusivos, seguros e sustentáveis, reforçam a relevância de estudos como este, que fornecem dados técnicos fundamentais para decisões projetuais mais conscientes e alinhadas às metas globais de sustentabilidade.

Os elementos técnicos aqui apresentados vão ao encontro do apontado por Mahfuz (2006) e Dornelles (2008) auxiliando na adoção de escolhas mais embasadas para fundamentar as decisões projetuais, evitando tomadas de decisão arbitrárias. No contexto das estratégias bioclimáticas, a utilização de dispositivos de sombreamento, como brises, destaca-se como uma solução passiva eficaz para o controle térmico das edificações, especialmente em regiões de clima quente, como é o Distrito Federal.

As sínteses apresentadas contribuem para a discussão sobre a qualidade dos ambientes escolares, corroborando com autores como Kowaltowski (2011), que destaca a influência do espaço físico no desempenho acadêmico e no bem-estar dos estudantes, reforçando a relevância de estratégias projetuais baseadas em informações técnicas, como o uso de certas cores em dispositivos metálicos de sombreamento, que ajudam a mitigar os efeitos das altas temperaturas. A integração de estratégias bioclimáticas no projeto escolar, como apontado por Kowaltowski (2011) e Lamberts, Dutra e Pereira (1997), não só melhora o desempenho ambiental, mas também fortalece a função pedagógica das edificações, ao proporcionar ambientes mais confortáveis e saudáveis para o desenvolvimento integral dos estudantes.

Pesquisas como as de Azarnejad (2017) e Biagiotti (2021) evidenciam a importância da cor e da materialidade das fachadas no desempenho térmico, revelando como características técnicas das superfícies são importantes nas decisões de projeto. A utilização da termografia para caracterizar o comportamento térmico dessas superfícies reforça a relevância do seu uso como ferramenta diagnóstica para otimização de projetos arquitetônicos, especialmente em brises e outras formas de sombreamento.

Os resultados deste estudo corroboram, em diversos aspectos, os achados de pesquisas anteriores que analisaram o desempenho térmico das envoltórias de edificações utilizando a termografia infravermelha. Biagiotti (2021), por exemplo, destaca a eficácia da termografia na caracterização térmica de fachadas, especialmente ao evidenciar o impacto da absorvência das cores externas no ganho de calor, tanto durante o dia quanto após o pôr do sol. De forma semelhante, os resultados apresentados nos subtópicos anteriores confirmam que superfícies mais escuras (baixa luminosidade) tendem a apresentar temperaturas superficiais mais elevadas, influenciando o comportamento térmico das envoltórias analisadas no contexto do Distrito Federal.

Azarnejad (2017), em sua análise do impacto das cores das fachadas em edifícios na Áustria, aponta que a escolha da refletância superficial através das cores pode reduzir a carga térmica em edificações. Os resultados apresentados nesse capítulo, também demonstraram como a absorvância influencia o ganho de calor nas fachadas, especialmente em orientações voltadas ao norte e ao oeste, alinhando-se aos resultados de Azarnejad.

Além disso, estudos como os de Lee et al. (2021) ampliam a compreensão sobre o impacto das cores e materiais no desempenho térmico, com ênfase na redução de perdas térmicas e no controle das temperaturas internas dos edifícios. A combinação de metodologias como a termografia infravermelha e a análise geométrica oferece um caminho promissor para otimizar os projetos arquitetônicos, considerando as especificidades climáticas locais.

Lee et al. (2021) avançam ao investigar telhados com diferentes cores e confirmam que a proximidade com cores mais escuras (baixa luminosidade), aumenta as temperaturas superficiais e internas, sendo uma solução eficiente para regiões frias. Apesar de o presente estudo se concentrar em fachadas em um clima quente, os resultados são semelhantes, onde superfícies de alta luminosidade e baixa absorvância contribuem para reduzir as temperaturas superficiais, reforçando o papel das cores claras em climas quentes.

Um aspecto singular deste trabalho, em comparação aos estudos mencionados, reside na separação entre matiz e brilho como variáveis independentes de análise. Essa abordagem apresenta uma contribuição metodológica ao desvincular os efeitos dos tons de cor e da luminosidade, permitindo um exame isolado dos impactos cromáticos na temperatura das superfícies. Enquanto os estudos de Azarnejad e Lee et al. concentraram-se principalmente na relação entre a refletância e a temperatura superficial, o presente trabalho avança ao propor uma análise que considera nuances cromáticas como fator determinante.

5. Conclusão

O presente estudo analisa como cores em brises metálicos influenciam a variação de suas temperaturas superficiais, utilizando a termografia infravermelha, no contexto climático do Distrito Federal, fornecendo subsídios objetivos para decisões projetuais e estrutura e sistematiza protocolos para medições termográficas quantitativas e passivas com foco em identificar as temperaturas de envoltórias.

A revisão dos estudos selecionados destaca a crescente utilização da termografia infravermelha como ferramenta para a avaliação térmica das envoltórias de edificações. A convergência entre essas pesquisas, especialmente no que diz respeito a influência da cor junto a absorção de calor, evidencia a importância de considerar fatores estéticos e funcionais na escolha dos materiais de construção.

Pesquisas aderentes citadas ao longo da dissertação mostram a importância da cor e da materialidade das fachadas no desempenho térmico, destacando como as características técnicas das superfícies influenciam decisões de projeto. O uso da termografia para caracterizar o comportamento térmico dessas superfícies reforça sua relevância como ferramenta diagnóstica para a otimização de projetos arquitetônicos, especialmente em brises e elementos de sombreamento. Além disso, a combinação de metodologias, como a termografia infravermelha e a análise geométrica, contribui para uma abordagem mais eficiente, considerando as especificidades climáticas locais.

Uma característica marcante deste trabalho, é a separação entre matiz e brilho como variáveis independentes, permitindo analisar isoladamente os efeitos cromáticos na temperatura superficial, além de explorar das cores na influência das temperaturas

superficiais.

Todos os resultados demonstram que os protocolos estruturados e sistematizados no presente estudo se mostraram eficazes para atingir os objetivos propostos, garantindo a coleta e análise sistemática dos dados térmicos dos brises metálicos. A utilização de câmeras termográficas e data loggers realmente são capazes de capturar variações sutis nas temperaturas das superfícies, possibilitando a identificação de padrões térmicos que poderiam passar despercebidos em metodologias mais convencionais. Como exemplo, a termografia possibilitou confirmar e identificar a atipicidade no caso do brise V3. A padronização das condições de coleta, incluindo a escolha de horários fixos ao longo do dia, assegurou a comparabilidade dos dados entre diferentes períodos e contextos climáticos.

O protocolo também se destacou por sua capacidade de adaptação às demandas específicas do estudo. Ao longo do processo, ajustes foram feitos para lidar com problemas inesperados, como variações climáticas sazonais (sol pela manhã e chuva a tarde como no mês de março) e pequenos desvios nas condições externas. Além disso, a inclusão de correlações e convergências entre matiz, luminosidade e amplitude térmica revelou-se um diferencial metodológico, permitindo uma fácil aceção sobre o comportamento térmico dos brises metálicos.

Outro ponto a se destacar é a viabilidade do protocolo para contextos similares. A simples metodologia estruturada pode ser aplicada no mesmo edifício ou em outros edifícios. No entanto, é fundamental considerar que a presença de alunos e atividades outras durante as medições pode adicionar variáveis não controláveis diretamente, como calor humano, movimentação e uso dos espaços internos, que podem impactar os dados coletados. Para minimizar tais interferências, recomenda-se um planejamento detalhado das medições, evitando horários de maior fluxo ou priorizando períodos de férias ou finais de semana. Essa abordagem permite maior controle sobre as variáveis envolvidas e aumentará a confiabilidade dos resultados em cenários mais dinâmicos.

Além disso, o protocolo precisa levar em conta a possibilidade de falhas ou quebras nos equipamentos utilizados. Câmeras termográficas e data loggers são dispositivos sensíveis e essenciais para a precisão dos dados. Qualquer interrupção em seu funcionamento, seja por problemas técnicos ou por desgaste natural devido ao uso contínuo, pode criar lacunas nos dados e comprometer a integridade das análises. Por isso, é recomendável incluir no planejamento a disponibilidade de baterias e equipamentos de reserva, reduzindo o risco de paralisações prolongadas e garantindo a continuidade das medições.

Outro fator que merece atenção é a possibilidade de obras ou modificações nas envoltórias ou no entorno do edifício durante o período de medição, principalmente quando se tratar de uma instituição pública, onde há uma probabilidade considerável de que reformas ou manutenções sejam realizadas sem aviso prévio. A longa duração do período de medições, que abrange vários meses, aumenta a chance de ocorrência dessas interferências, exigindo vigilância contínua por parte dos pesquisadores.

Ainda, o estudo abre caminho para futuras pesquisas que podem expandir e complementar os resultados obtidos. Primeiramente, podem ser realizadas comparações diretas com os dados apresentados, explorando outros matizes e níveis de brilho. Essa possibilidade é reforçada pelo fato de que o mesmo projeto arquitetônico da Escola Classe Verde foi recentemente construído e inaugurado no Riacho Fundo II – o Centro de Ensino Infantil Parque do Riacho, que apresenta

características idênticas, diferindo apenas nos matizes e brilhos dos brises metálicos utilizados nas envoltórias.

Apesar do rigor metodológico adotado, algumas limitações devem ser consideradas. A pesquisa não incluiu medições diretas da irradiação solar nos horários analisados, o que poderia aprimorar a compreensão da incidência de radiação nos brises. Além disso, a classificação das cores foi realizada visualmente, sem um estudo espectrofotométrico. Por fim, o panorama bibliográfico não aprofundou a relação das cores dos brises com o espectro de luz visível, o que poderia ampliar a análise sobre seu impacto térmico. Essas limitações não comprometem os resultados, mas também indicam caminhos para pesquisas futuras.

Já os resultados, discussões e sínteses do estudo de caso garantem padrões entre matiz, luminosidade e as temperaturas superficiais dos brises metálicos ao longo do dia, fornecendo informações para subsidiar decisões projetuais mais fundamentadas.

Nesse contexto, os tons azuis demonstram serem os mais sensíveis à radiação solar direta, predominando nas faixas de temperaturas superiores em quase todos os horários avaliados, tendo em média a presença em 62% das temperaturas superiores. Esse comportamento é particularmente evidente nos momentos de maior intensidade solar, como às 15h, quando a posição do sol em relação à fachada noroeste maximiza a incidência de radiação. Essa característica, embora útil em climas frios, onde o aquecimento passivo é desejável, representa um desafio em climas como o do Distrito Federal, marcado por alta exposição solar.

Por outro lado, é comprovado que os tons amarelos apresentam uma estabilidade térmica, configurando-se como os mais eficientes na manutenção de temperaturas inferiores ao longo do dia, apresentando como média 59% das temperaturas inferiores. A baixa amplitude térmica observada nesses tons indica que eles não apenas dissipam calor com maior eficácia, mas também são menos suscetíveis às flutuações térmicas causadas por mudanças de radiação ao longo do dia. Essa característica corrobora o papel dos tons amarelos na reflexão da radiação solar, reduzindo o aquecimento das superfícies e contribuindo para o controle térmico passivo.

Os tons vermelhos, por sua vez, exibem um comportamento intermediário, com maior destaque nas temperaturas medianas (46%). Esse desempenho sugere que os tons vermelhos absorvem mais calor do que os amarelos, mas não alcançam os níveis de retenção térmica dos tons azuis.

A análise das luminosidades reforçou a influência desse atributo no comportamento térmico dos brises. Os brises metálicos de baixa luminosidade, caracterizados por suas tonalidades mais escuras, predominam nas temperaturas superiores, com 59% destas temperaturas, especialmente nos horários de maior radiação solar, como às 15h. Essa característica evidencia a maior absorção térmica dessas superfícies, que captam e retêm mais calor em comparação às de média e alta luminosidade. Embora esse comportamento possa representar um desafio em climas quentes, ele pode ser explorado estrategicamente em contextos em que o aquecimento passivo seja desejável, como em climas frios ou para fachadas menos expostas à radiação direta.

Os brises de média luminosidade exibem uma temperatura superficial estável e uniforme, ocupando predominantemente as faixas de temperaturas medianas em diversos horários. Essa característica sugere que os brises com média luminosidade combinam moderadamente a capacidade de reflexão térmica das superfícies claras

com a maior absorção das superfícies escuras.

Os brises de alta luminosidade destacam-se pela sua eficiência na reflexão da radiação solar, característica que os posiciona consistentemente entre as temperaturas inferiores ao longo do dia, cerca de 55% das temperaturas. Essa propriedade reflete a capacidade das superfícies mais claras de minimizar o aquecimento causado pela radiação solar direta, contribuindo para a redução das temperaturas superficiais, especialmente em fachadas expostas a altas incidências solares, como no contexto climático do Distrito Federal.

Outro ponto relevante observado foi a relação direta entre as amplitudes térmicas e os matizes. Os tons azuis apresentaram as maiores variações ao longo do dia, refletindo sua maior sensibilidade às mudanças nas condições de radiação. Em contrapartida, os tons amarelos se destacaram pela estabilidade, apresentando as menores amplitudes térmicas, enquanto os tons vermelhos ocuparam uma posição intermediária. Essa relação evidencia como a escolha cromática pode influenciar diretamente as temperaturas superficiais dos brises metálicos em fachadas noroestes.

A confrontação entre matizes e luminosidades evidencia que a tonalidade atua como um fator determinante no comportamento térmico, enquanto a luminosidade potencializa ou reduz os efeitos de cada matiz, permitindo ajustes finos para atender às especificidades climáticas e projetuais. Em fachadas voltadas para orientações de maior radiação solar, como a noroeste no Distrito Federal, tons de alta luminosidade e amarelos oferecem uma combinação eficaz para minimizar o aquecimento superficial. Já em fachadas menos expostas, onde o aquecimento passivo pode ser vantajoso, tons azuis e de baixa luminosidade são mais adequados. Tal conceito descrito acima foi ilustrado na Figura 34.

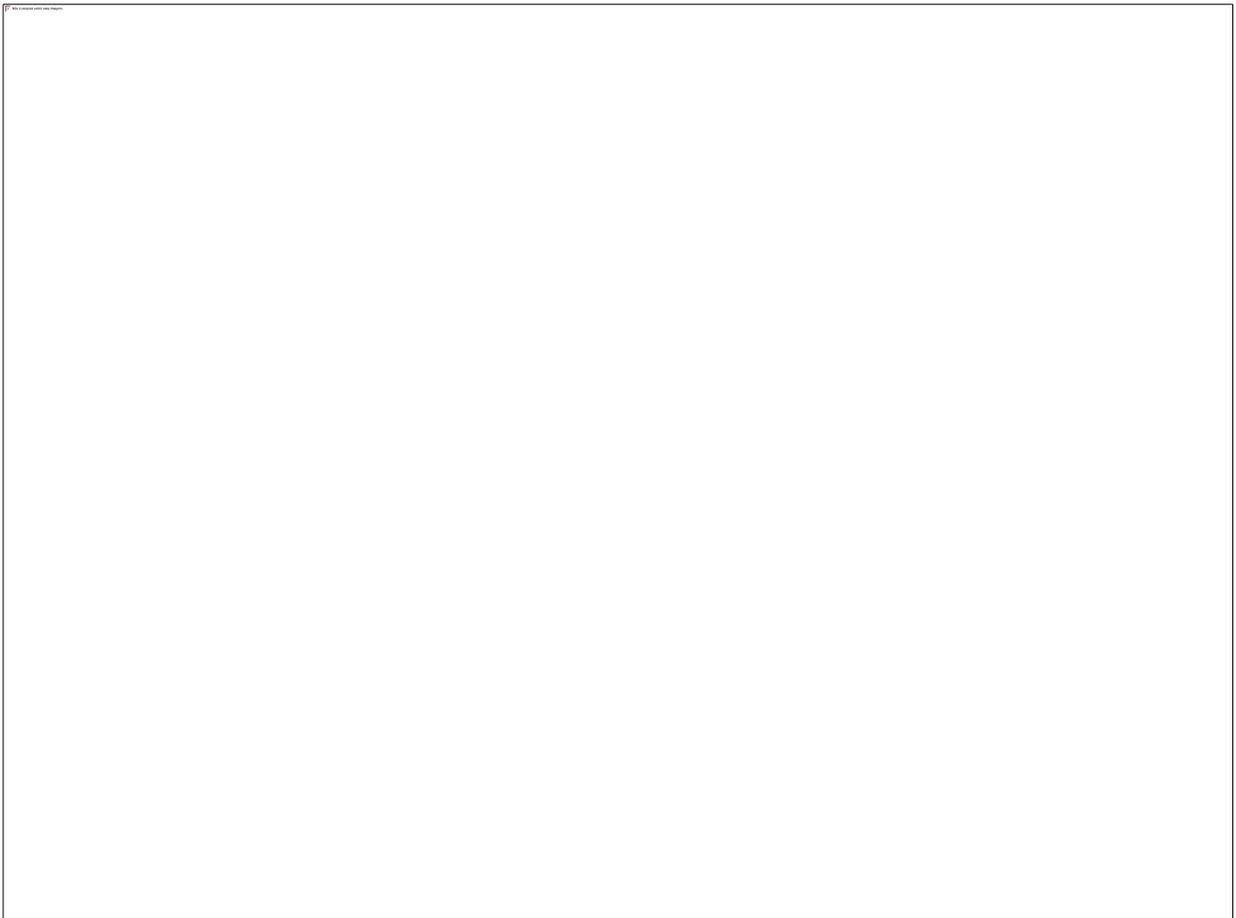


Figura 34 – Representação simbólica dos resultados encontrados para as cores do brises metálicos no contexto do Distrito Federal

Fonte: Elaborado pelo Autor, 2024

Por fim, outras direções de pesquisa incluem: 1) análises por simulação computacional, investigando o comportamento térmico de fachadas com diferentes orientações, tamanhos e proporções de brises, além de considerar variações sazonais nos resultados; 2) a aplicação do protocolo em outros contextos climáticos, como regiões com climas úmidos, semiáridos ou subtropicais, permitindo avaliar sua eficácia em condições ambientais diversas; 3) o monitoramento a longo prazo do desgaste das cores analisando como esses fatores afetam o comportamento térmico ao longo dos anos e fornecendo subsídios para estratégias de manutenção; e 4) a adaptação do protocolo para outros materiais e elementos arquitetônicos, como fachadas de vidro, coberturas reflexivas e painéis fotovoltaicos, ampliando o alcance das análises termográficas no campo da arquitetura sustentável.

Referências

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **EBC Annual Report 2021**. Birmingham: [s.n.]. Disponível em: <http://www.iea-ebc.org/Data/publications/EBC_Annual_Report_2021.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2023.

ALBATICI, R.; TONELLI, A. M. Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 11, p. 2177–2183, nov. 2010.

ALMEIDA, A.; ORNELAS, A. J. A.; CORDEIRO, A. M. R. Passive thermography in the diagnosis of pathologies and thermal performance on building facades through a thermal camera installed on a drone. Preliminary approach in Coimbra (Portugal). **CADERNOS DE GEOGRAFIA**, n. 42, p. 27–41, 2020.

ASTM E1862-14. **Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers**. West Conshohocken: [s.n.]. Disponível em: <<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3314eca7-3ad6-4e8e-8428-1e7c433b2e06/astm-e1862-142022>>.

AZARNEJAD, A. **Impact of Building Façades' Color on Building and Urban Design**. Tese de Doutorado—Viena: Vienna University of Technology, 5 out. 2017.

BALARAS, C. A.; ARGIRIOU, A. A. Infrared thermography for building diagnostics. **Energy and Buildings**, v. 34, p. 171–183, 2002.

BARREIRA, E.; DE FREITAS, V. P. Evaluation of building materials using infrared thermography. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 1, p. 218–224, 2007.

BARREIRA, E. S. B. M. **Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios**. Dissertação de Mestrado—Porto: Universidade de Porto, 2004.

BARRETT, P. et al. The Holistic Impact of Classroom Spaces on Learning in Specific Subjects. **Environment and Behavior**, v. 49, n. 4, p. 425–451, 1 maio 2017.

BATIZ, E. C. et al. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. **Produção**, v. 19, p. 477–488, set. 2009.

BIAGIOTTI, N. **Câmera termográfica como ferramenta de caracterização do comportamento térmico de fachadas**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 29 abr. 2021.

BLUMENSCHHEIN, R. N. **A Sustentabilidade na cadeia produtiva da indústria da construção**. Doutorado—Brasília: Universidade de Brasília, 30 jun. 2004.

BRASIL. DECRETO Nº 9.082, DE 26 DE JUNHO DE 2017. . 26 jun. 2017.

BRASIL. Lei nº 14.640/2023. . 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - Estratégia Geral**. Brasília: [s.n.].

COSTA, A.; PITARMA, R. **Performance Evaluation of Colour Codes on Thermal Image Analysis – Application in the Wood Damage Detection**. (A. Rocha et al., Eds.)Lecture Notes in Networks and Systems. **Anais...**Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 2022. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85130214307&doi=10.1007%2f978-3-031-04826-5_55&partnerID=40&md5=8724122182886f65b9e16aee29246c78>

DELIBERADOR, M. S.; KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Os Elementos de Conforto no Processo de Projeto Escolar no Estado de São Paulo**. XI ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...**2011.

DENICOL, D. A. **Análise da complexidade do processo de projeto integrado da obra de arquitetura**. Dissertação de Mestrado—São Leopoldo: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2018.

DORNELLES; KELEN ALMEIDA. **Absortância Solar de Superfícies Opacas: Métodos de Determinação e Base de Dados para Tintas Látex Acrílica e PVA**. Doutorado—Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 16 abr. 2008.

ENGELBRECHT, K. **The Impact of Color on Learning**. NeoCon. **Anais...**Chicago: 18 jun. 2003.

FUNDO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A INFÂNCIA. **Meio ambiente e mudanças**

climáticas. Disponível em: <<https://www.unicef.org/brazil/meio-ambiente-e-mudancas-climaticas>>. Acesso em: 10 ago. 2023.

GIVONI, B. Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. **Energy and Buildings**, v. 28, p. 25–32, 1998.

GÓES, T. M. **Fachadas Duplas: Análise do Desempenho Termoenergético em Edifícios Comerciais no Contexto Climático de Brasília-DF**. Mestrado—Brasília: Universidade de Brasília, 14 dez. 2018.

GONZALO, G. E. **Manual de Arquitectura Bioclimática y sustentable**. 5a. ed. Tucumán: Centro de Estudios Energía y Medio Ambiente - Instituto de Acondicionamiento Ambiental - FAU - UNT, 2015.

GOVERNO DO DISTRITO FEDERAL. **Estratégia de Matrícula 2024**. Brasília: [s.n.].

INMET. **Arquivos Climáticos INMET 2020-2023**. , 2024.

KAMIMURA, A. M. et al. Edificações de Energia Zero: Uso das cores como estratégia para a redução do consumo de energia. **MIX Sustentável**, v. 6, n. 2, p. 99–110, 1 jun. 2020.

KARLEN, C. G. Termografía infrarroja para el diagnóstico térmico confiable con alta replicabilidad y bajo costo de viviendas en Mendoza, Argentina. **Revista Hábitat Sustentable**, v. 8, n. 2, p. 80–89, 31 dez. 2018.

KIRIMTAT, A.; KREJCAR, O. **A review of infrared thermography for the investigation of building envelopes: Advances and prospects**. **Energy and Buildings** Elsevier Ltd, , 1 out. 2018.

KOWALTOWSKI, C. et al. Conforto e Ambiente Escolar. **Cadernos de Arquitetura**, 3 jul. 2001.

KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LACKNEY, J. A. **Educational facilities: the impact and role of the physical environment of the school on teaching, learning and educational outcomes.** [s.l.] Center for Architecture and Urban Planning Research, University of Wisconsin-Milwaukee, 1994.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura.** 3a. ed. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 1997. v. 1

LEE, K. et al. Roof color-based warm roof evaluation in cold regions using a uav mounted thermal infrared imaging camera. **Energies**, v. 14, n. 20, 2021.

MAHFUZ, E. DA C. Arquitecturas silenciosas. **ARQ (Santiago)**, p. 10–12, 2006.

MARAGNO, G. V. **Eficiência e forma do brise-soleil na arquitetura de Campo Grande - MS.** Dissertação de Mestrado—Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

MARTÍNEZ, A. C. **Ensaio sobre o projeto.** Brasília: Editora UnB, 2000. v. 1

MEDEIROS, D.; NOME, C.; ELALI, G. **Construindo no clima quente e seco do Brasil: Conforto térmico e eficiência energética para a zona bioclimática 7.** Natal/Departamento de Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, , 2011.

MÖLLMANN, K. P.; VOLLMER, M. Infrared thermal imaging as a tool in university physics education. **European Journal of Physics**, v. 28, n. 3, 1 maio 2007.

OCAÑA, S. M.; GUERRERO, I. C.; REQUENA, I. G. Thermographic survey of two rural buildings in Spain. **Energy and Buildings**, v. 36, n. 6, p. 515–523, jun. 2004.

OECD. **Education at a Glance 2023: OECD Indicators:** Education at a Glance. Paris: OECD, 12 set. 2023. Disponível em: <https://www.oecd-ilibrary.org/education/education-at-a-glance-2023_e13bef63-en>.

OLGYAY, V. **Arquitectura y clima: manual de diseño para arquitectos y urbanistas.** Barcelona: Princeton University Press, 2019.

OLIVEIRA, L. P. DE. **Estrutura Metodológica para Avaliação Ambiental do Projeto Arquitetônico**. 1. ed. Brasília: livro eletrônico, 2020. v. 1

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: [s.n.].

PALOMAR, T.; AGUA, F.; GÓMEZ-HERAS, M. Comparative assessment of stained-glass windows materials by infrared thermography. **International Journal of Applied Glass Science**, v. 9, n. 4, p. 530–539, 2018.

PEIXOTO, N. DA C. **Estratégias de arquitetura bioclimática para a melhoria das condições de conforto e de eficiência energética de um hotel em Nova Friburgo-RJ, Brasil**. Dissertação de Mestrado—Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, fev. 2021.

PEREIRA, C. P. DE A. **A cor como espelho da sociedade e da cultura: Um estudo do sistema cromático do design de embalagens de alimentos**. Doutorado—São Paulo: Universidade de São Paulo, dez. 2011.

ROMERO, M. A. B. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. 3a. ed. Brasília: Editora UnB, 2013.

ROMERO, M. A. B. et al. **Mudanças Climáticas e Ilhas de Calor Urbanas**. 1ª ed. Brasília: FAU, 2019. v. 1

SGUARIO, C. G. et al. Las tipologías arquitectónicas y su aporte al proceso proyectual de estudiantes de primer año. **ARQUISUR Revista**, v. 14, n. 25, p. 64–77, 18 jun. 2024.

SILVA, C. F. E. **O Conforto Térmico de Cavidades Urbanas: Contexto Climático do Distrito Federal**. Doutorado—Brasília: Universidade de Brasília, abr. 2013.

SOUZA, G. T. DE; LUIS, D. M.; LAMBERTS, R. **Utilização de imagens em infravermelho para análise térmica de componentes construtivos**. XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...** Florianópolis: 6 out. 2010.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. **Solar Energy**, v. 80, n. 8, p. 968–981, 2006.

THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. Em: **Global Warming of 1.5°C**. [s.l.] Cambridge University Press, 2022. p. 93–174.

TOLEDO, L. A.; SHIAISHI, G. DE F. Estudo de caso em pesquisas exploratórias qualitativas: um ensaio para a proposta de protocolo do estudo de caso. **Revista FAE**, v. 12, p. 103–119, jan. 2009.

TOUMA, A. AL; OUAHRANI, D. Shading and day-lighting controls energy savings in offices with fully-Glazed façades in hot climates. **Energy and Buildings**, v. 151, p. 263–274, 15 set. 2017.

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **UN Climate Change Conference - United Arab Emirates | UNFCCC**. Disponível em: <<https://unfccc.int/cop28>>. Acesso em: 10 dez. 2023a.

UNITED NATIONS CLIMATE CHANGE. **Why the Global Stocktake is a Critical Moment for Climate Action**. Disponível em: <https://unfccc.int/topics/global-stocktake/about-the-global-stocktake/why-the-global-stocktake-is-a-critical-moment-for-climate-action#tab_home>. Acesso em: 7 jul. 2023b.

USAMENTIAGA, R. et al. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. **Sensors**, v. 14, n. 7, p. 12305–12348, 10 jul. 2014.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P. The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on performance of school work by children. **HVAC&R Research**, v. 13, 2007.

ZIVELONGHI, A.; GIUSEPPI, A. Smart healthy schools: An IoT-enabled concept for multi-room dynamic air quality control. **Internet of Things and Cyber-Physical Systems**, maio 2023.