



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
DEPARTAMENTO DE DESIGN

HILMA DE OLIVEIRA SANTOS FERREIRA

**ELEMENTOS DO DESIGN DE SUPERFÍCIES APLICADO A FACHADAS DE
EDIFICAÇÕES: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA NO CAMPO DO DESIGN VISANDO
CONFORTO TÉRMICO E IMPACTOS NATURAIS**

Recife-PE

2025

HILMA DE OLIVEIRA SANTOS FERREIRA

**ELEMENTOS DO DESIGN DE SUPERFÍCIES APLICADO A FACHADAS DE
EDIFICAÇÕES: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA NO CAMPO DO DESIGN VISANDO
CONFORTO TÉRMICO E IMPACTOS NATURAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, na área de concentração Planejamento e Contextualização de Artefatos, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Design.

Orientador: Prof. Amilton José Vieira de Arruda, Ph.D.

Coorientador: Prof. Dr. Max Lira Veras Xavier de Andrade

Recife-PE

2025

Catálogo de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Ferreira, Hilma de Oliveira Santos.

Elementos do design de superfícies aplicado a fachadas de edificações: uma abordagem sistêmica no campo do design visando conforto térmico e impactos naturais / Hilma de Oliveira Santos Ferreira. - Recife, 2025.

222f.: il.

Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação, Programa de Pós-Graduação em Design, 2025.

Orientação: Amilton José Vieira de Arruda, Ph.D.

Coorientação: Dr. Max Lira Veras Xavier de Andrade.

1. Design de superfície; 2. Controle térmico e solar; 3. Película fotossensível; 4. Sistema de revestimento em vidro; 5. Avifauna urbana. I. Arruda, Amilton José Vieira de. II. Andrade, Max Lira Veras Xavier de. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

HILMA DE OLIVEIRA SANTOS FERREIRA

**“ELEMENTOS DO DESIGN DE SUPERFÍCIES APLICADO A FACHADAS DE
EDIFICAÇÕES: UMA ABORDAGEM SISTÊMICA NO CAMPO DO DESIGN VISANDO
CONFORTO TÉRMICO E IMPACTOS NATURAIS.”**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design da Universidade Federal de Pernambuco, na área de concentração Planejamento e Contextualização de Artefatos, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutora em Design.

Aprovada em: **31/10/2025.**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ney de Brito Dantas (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Luís Miguel Cotrim Mateus (Examinador Externo)
Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Reinaldo Escada Chohfi (Examinador Externo)
GeoDesign Internacional

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Moreira Maciel (Examinadora Externa)
Centro Universitário Maurício de Nassau

Prof. Dr. Paulo Fernando Silva Sousa (Examinador Externo)
Universidade de Pernambuco

Ao meu esposo, apoiador para que eu chegasse até aqui. Aos meus pais (In Memoriam), por todo o amor e carinho que me deram forças para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Chegar até este ponto é motivo de imensa alegria e emoção. Esta tese representa o resultado de inúmeras batalhas pessoais e quatro anos de dedicação. Embora o doutorado seja, muitas vezes, um caminho solitário — como bem me lembrou meu estimado orientador —, esta conquista não se fez sozinha. Em meio ao afastamento da minha família e aos momentos mais difíceis da minha vida, encontrei apoio em pessoas que contribuíram de diferentes formas para que esta etapa fosse concluída. A todas elas, deixo minha eterna gratidão.

Primeiramente, agradeço a Deus e ao meu guia espiritual, por me acompanharem e me guiarem nesta jornada, iluminando meu caminho e me ajudando a superar todos os obstáculos e desafios.

À minha família, meu alicerce e inspiração: Ao meu esposo, Juarez, que caminhou ao meu lado com amor, paciência e dedicação. Aos meus filhos, Beatriz e Vinícius, minha inspiração diária e a razão da minha perseverança. Ao meu genro Gabriel e minha nora Raisa, pela força e incentivo que sempre me proporcionaram.

Aos meus irmãos Hilton e Hilson, e às minhas cunhadas Mônica e Luciana, que me deram força e apoio nos momentos mais difíceis, especialmente durante minha ausência ao lado de minha mãe. À minha tia Gercina (In Memoriam), que foi minha inspiração.

Aos meus cunhados Hildo e Jandira, Libânia e Ilze, nos quais sempre me deram suporte, apoio, companheirismo e me incentivaram com todo amor e carinho, a minha querida Maria que estava comigo sempre cuidando de mim e da minha casa, a todos os meus sobrinhos e a minha filha de quatro patas, Menma, por estarem sempre ao meu lado.

Aos amigos, que me acompanharam em cada fase do doutorado: em especial à minha amiga e irmã Paloma Galvão, que me deu força, confiança e acreditou em mim sempre. Aos amigos que fiz no Biodesign, Jullyene Costa, Tarciana Andrade, Elton Lima e Luís Valdo, companheiros de jornada, que me encorajaram a enfrentar os desafios e me guiaram para que eu pudesse amar cada etapa da pesquisa. Agradeço também à minha querida amiga e colega Sylvia Barbosa, pelo apoio fundamental para a conclusão desta tese.

À ArqExpress Recife e, em particular, às arquitetas Cláudia Soares e Fabiana Araújo, meu muito obrigado pela oportunidade de atuar como arquiteta colaboradora e de compartilhar meus conhecimentos técnicos com a equipe.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Amilton Arruda, por seu incentivo e por ter acreditado em mim. Sua orientação foi crucial para o desenvolvimento deste trabalho, me ajudando a trilhar o caminho certo. Devo-lhe uma gratidão especial por seu apoio e humanidade em um dos momentos mais frágeis da minha vida: o suporte que me deu em Portimão, Portugal, diante da notícia da morte da minha mãe.

Aos professores da Universidade, que contribuíram para a minha formação, transmitindo o conhecimento necessário para o meu crescimento acadêmico e profissional e ao meu orientador no exterior Luís Mateus que me recebeu super bem no período do Doutorado Sanduíche.

Concluo estes agradecimentos com uma homenagem à minha mãe, Marilena (In Memoriam). Sua ternura e amor incondicional foram meu porto seguro, e seu incentivo constante me impulsionou a buscar a realização dos meus sonhos e objetivos.

“Hoje eu acordei com o pé direito e resolvi agradecer por cada feito, olha onde eu estou, Deus é perfeito, eu tive medo, mas eu fui com medo mesmo. Um dia eu sonhei com tudo isso aqui, se não aconteceu, ainda tá por vir...”

CAMINHOS QUE ME TROUXERAM ATÉ AQUI

Mulher negra, nascida no dia 23 de abril de 1971, sob a luz e a proteção de São Jorge, o Santo Guerreiro. Desde o meu primeiro respiro, carrego no sangue e na alma a força da ancestralidade, a coragem da luta e a esperança de quem transforma a dor em recomeço. Sou mãe de dois filhos que são a razão da minha ternura, esposa, amiga, companheira e guardiã de um coração que aprendeu a acolher, mesmo nos momentos de dor.

Outubro, mês em que defendo esta tese, é também o mês em que minha história se entrelaça com memórias que jamais se apagam. Foi nele que meus pais uniram suas vidas em casamento; foi nele que a morte levou meu pai, há quase quarenta anos. E foi também em outubro que precisei me despedir da minha mãe, em meio ao doutorado-sanduíche em Lisboa. Voltei ao Brasil para viver o luto, e ao retornar, descobri que escrever esta tese seria mais do que uma obrigação acadêmica: tornou-se meu refúgio, meu lugar de cura, minha terapia emocional.

Minha caminhada acadêmica não começou cedo, mas veio com a força do tempo certo. Foi depois de dar à luz meus filhos que renasci também como estudante. Aos 36 anos, voltei aos estudos com a coragem de quem decide reinventar a própria história, e encontrei na Arquitetura a possibilidade de transformar sonhos em espaços, dores em beleza e esperança em futuro. Desde então, nunca mais parei de estudar — cada etapa vencida abriu novos caminhos, cada desafio me fez acreditar ainda mais que o conhecimento é também um ato de resistência e de amor.

Minha trajetória no Design e na Arquitetura começou com a formação técnica e a graduação em 2005. Desde o início, a arquitetura contemporânea e, em especial, as fachadas de vidro, sempre foram minha grande paixão.

Durante a pós-graduação e o mestrado, essa paixão evoluiu, e minha curiosidade foi além das especificações técnicas. Despertei para o desejo de compreender os aspectos do design e me aprofundar na questão: o que há de subjetivo por trás dessas superfícies, além de sua forma e função?

Para responder a essa pergunta, iniciei o doutorado. A experiência de pesquisa em Lisboa, entre 2024 e 2025, foi fundamental para o desenvolvimento do meu trabalho.

O período me permitiu aprofundar a investigação, acessar infraestrutura de ponta e colaborar com especialistas, o que resultou em uma tese mais robusta e completa.

Com este estudo, acredito ter contribuído de forma relevante, tanto no aspecto teórico quanto no empírico. A imersão nos conceitos de conforto e sustentabilidade foi um marco, e a experiência de campo, observando de perto a realidade do tema, enriqueceu de forma inestimável minhas conclusões.

Hoje, ao chegar até aqui, sei que não trago comigo apenas páginas escritas, mas a história de uma vida inteira. Ser a primeira da minha família a conquistar o título de doutora é também honrar aqueles que vieram antes de mim e que, com sua simplicidade, coragem e fé, me ensinaram que o conhecimento é um ato de resistência, e também de amor.

Minha caminhada como arquiteta e docente me ensinou que estudar e ensinar são movimentos inseparáveis. Esta tese é fruto de batalhas internas e externas, de lágrimas e sorrisos, de perdas e conquistas.

Mais do que um título, ela é um grito de vitória. É a celebração de uma filha de São Jorge que nunca deixou de acreditar na força da luta e no poder da esperança.

Hilma de O. Santos Ferreira

“(...) Eu andarei vestido e armado com as armas de São Jorge para que meus inimigos tendo pés não me alcancem, tendo mãos não me peguem, tendo olhos não me vejam, e nem mesmo em pensamento eles possam me fazer mal. Guiai-me, defendei-me e protegei-me de todo o mal” Amém.

Oração de São Jorge.

RESUMO

A arquitetura contemporânea busca soluções inovadoras para melhorar o desempenho termoenergético de edificações. Alinhada a essa necessidade, emerge a importância do design de superfícies para fachadas, que, ao ser aplicado de forma sistêmica, pode mitigar impactos naturais e promover o conforto térmico. Grandes superfícies de vidro, embora esteticamente valorizadas, podem gerar efeitos adversos, como o superaquecimento interno e a desorientação de aves, resultando em colisões fatais. Esses desafios exigem uma abordagem que vá além da estética, integrando funcionalidade e sustentabilidade. Nesse contexto, películas fotossensíveis surgem como uma tecnologia promissora para regular a transmitância solar, contribuindo para o conforto térmico, redução do consumo de energia e evitar o choque de aves. Esta investigação propõe o desenvolvimento e a avaliação experimental de um sistema de revestimento em um modelo projetual de design para superfícies envidraçadas com combinação de soluções inovadoras e visem a redução de ganhos térmicos, com soluções adequadas para proteção de pássaros no momento de impactos. A metodologia consistiu em uma revisão sistemática da literatura, abrangendo estudos sobre desempenho de materiais, soluções de controle solar e estratégias de mitigação de colisões de aves, seguida de um protótipo físico para avaliação da eficácia dos filmes em combinação. Foram realizadas simulações computacionais em software de desempenho ambiental Open Studio EnergyPlus aliado ao Sketchup para avaliar a efetividade da solução em cenários climáticos da Região Metropolitana do Recife (RMR), além de experimentos com montagem e avaliação em amostras para caracterizar o desempenho térmico e lumínico das soluções aplicados em vidro. Os resultados, fundamentados na convergência entre experimentos práticos e simulações, foram consolidados em diretrizes técnicas para vidros de envoltórias, integrando funcionalidade, conforto e segurança para a avifauna. Ao integrar o design de superfície com materiais fotorresponsivos, a pesquisa oferece um processo unificado para um melhor controle solar em fachadas de vidro, aprimorando seu desempenho global.

Palavras-chaves: Design de superfície; Controle térmico e solar; Película fotossensível; Sistema de revestimento em vidro; Avifauna urbana.

ABSTRACT

Contemporary architecture seeks innovative solutions to improve the thermo-energetic performance of buildings. In line with this need, the importance of surface design for façades emerges, which, when applied systemically, can mitigate natural impacts and promote thermal comfort. Large glass surfaces, although aesthetically valued, may generate adverse effects such as indoor overheating and bird disorientation, often resulting in fatal collisions. These challenges require an approach that goes beyond aesthetics, integrating functionality and sustainability. In this context, photosensitive films appear as a promising technology to regulate solar transmittance, contributing to thermal comfort, reducing energy consumption and preventing bird strikes. This research proposes the development and experimental evaluation of a coating system in a design model for glazed surfaces, combining innovative solutions aimed at reducing heat gain, with solutions suitable for protecting birds in the event of impact. The methodology consisted of a systematic literature review, covering studies on material performance, solar control solutions and strategies for mitigating bird collisions, followed by a prototype to assess the effectiveness of the proposed solution. Computer simulations were performed using Open Studio EnergyPlus environmental performance software combined with Sketchup to assess the effectiveness of the solution in climate scenarios in the Recife Metropolitan Region (RMR), in addition to experiments with assembly and evaluation on samples to characterize the thermal and light performance of the solutions applied to glass. The results, based on the convergence of practical experiments and simulations, were consolidated into technical guidelines for envelope glazing, integrating functionality, comfort, and safety for birdlife. By integrating surface design with photoresponsive materials, the research offers a unified process for better solar control in glass facades, improving their overall performance.

Keywords: Surface design; Thermal and solar control; Energy efficiency; Photosensitive film; Glass coating systems; Urban birdlife.

RESUMEN

La arquitectura contemporánea busca soluciones innovadoras para mejorar el rendimiento termoenergético de los edificios. En consonancia con esta necesidad, surge la importancia del diseño de superficies para fachadas que, aplicado de forma sistémica, puede mitigar los impactos naturales y promover el confort térmico. Las grandes superficies acristaladas, aunque estéticamente valoradas, pueden generar efectos adversos, como el sobrecalentamiento interior y la desorientación de las aves, provocando colisiones fatales. Estos desafíos requieren un enfoque que vaya más allá de la estética, integrando funcionalidad y sostenibilidad. En este contexto, las láminas fotosensibles se presentan como una tecnología prometedora para regular la transmitancia solar, contribuyendo al confort térmico, a la reducción del consumo energético y a la prevención de choques de aves. Esta investigación propone el desarrollo y la evaluación experimental de un sistema de revestimiento en un modelo de diseño para superficies acristaladas que combina soluciones innovadoras y tiene como objetivo la reducción de las ganancias térmicas, con soluciones adecuadas para la protección de las aves en caso de impacto. La metodología consistió en una revisión sistemática de la literatura, que abarca estudios sobre el rendimiento de materiales, soluciones de control solar y estrategias de mitigación de colisiones de aves, seguida de un prototipo para evaluar la eficacia de la solución propuesta. Se realizaron simulaciones computacionales en el software de rendimiento ambiental Open Studio EnergyPlus, junto con Sketchup, para evaluar la eficacia de la solución en escenarios climáticos de la Región Metropolitana de Recife (RMR), además de experimentos con montaje y evaluación en muestras para caracterizar el rendimiento térmico y lumínico de las soluciones aplicadas en vidrio. Los resultados, basados en la convergencia entre experimentos prácticos y simulaciones, se consolidaron en directrices técnicas para vidrios de envolventes, integrando funcionalidad, confort y seguridad para la avifauna. Al integrar el diseño de la superficie con materiales fotorresponsivos, la investigación ofrece un proceso unificado para un mejor control solar en fachadas de vidrio, mejorando su rendimiento global.

Palabras clave: Diseño de superficies; Control térmico y solar; Eficiencia energética; Película fotosensible; Sistemas de revestimiento en vidrio; Aves urbanas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Sobreposição das abordagens da pesquisa	25
Figura 2 - Diagrama de autores da revisão teórica	30
Figura 3 - Revisão Sistemática do referencial teórico	31
Figura 4 - Infográfico da linha do tempo do vidro	33
Figura 5 - Expressão do desenvolvimento das fachadas dos edifícios de acordo com os materiais – Parte 1	35
Figura 6 - Expressão do desenvolvimento das fachadas dos edifícios de acordo com os materiais – Parte 2	36
Figura 7 - O fenômeno da verticalização e do vidro (Lisboa)	39
Figura 8 - Fachadas Futuristas (Barcelona)	40
Figura 9 - Interface entre ambiente interno e externo.....	45
Figura 10 - Análise de condições projetuais de fachada.....	47
Figura 11 - Ilustração esquemática de elementos horizontais.....	48
Figura 12 - Elementos de sombreamento - BS Design – Fortaleza.....	49
Figura 13 - Radiação solar no vidro de controle solar duplo	50
Figura 14 - Distribuição da radiação solar sobre o vidro.....	51
Figura 15 - Composição do Vidro <i>Float</i>	53
Figura 16 - Vidro termocrômico com mudanças de propriedade baseadas no calor solar	54
Figura 17 - Fachada com aplicação do vidro dinâmico	56
Figura 18 - Alteração da cor conforme a submissão ao calor	57
Figura 19 - Propriedade de transparência do vidro	57
Figura 20 - Composição dos vidros + películas	59
Figura 21 - Impressão digital vitrificada (Harlem Hospital Center)	60
Figura 22 - Processo de desenvolvimento artístico.....	61
Figura 23 - Evolução da fachada vitrificada no Brasil (a) Edifício em Ibirapuera (SP) e (b) Edifício Home Design (SP)	62
Figura 24 - Esquema de impressão digital no vidro plano	64
Figura 25 - Processo de impressão digital.....	65
Figura 26 - Impressão Serigrafada no vidro de fachada	66
Figura 27 - Interferências gráficas de impressão Serigráfica	67
Figura 28 - Processo de produção do vidro serigrafado.....	68
Figura 29 - Filme com pigmentos termocrômico	70
Figura 30 - Composição do vidro laminado + filtro termocrômico	72
Figura 31 - Controle de luminosidade.....	73
Figura 32 - Controle de luminosidade.....	74
Figura 33 - Vinil autoadesivo com filme transparente brilhante	75
Figura 34 - Adesivo Vinil transparente com impressão digital color	76
Figura 35 - Película Amiga dos Pássaros.....	77
Figura 36 - Película Amiga dos Pássaros.....	78
Figura 37 - Película Amiga dos Pássaros PVB 3D	79
Figura 38 - Película Amiga dos Pássaros PVB 3D	80
Figura 39 - Composição e processo de fabricação	81
Figura 40 - Sistema de secagem por forno	83
Figura 41 - Diagrama ilustrativo do filme.....	84
Figura 42 - Comparação entre a visão humana e dois tipos de aves (Europa).....	90
Figura 43 – Colisões de aves em edificações próximas a áreas arborizadas (a) Fachada envidraçada do bloco BSAS; (b) Silhuetas na porta lateral sul BSAS.....	92
Figura 44 - Sede da Procuradoria Geral da República em Brasília, DF	93
Figura 45 - Esboço e imagem arquitetônica do Museu do Caraça com detalhes do edifício	94

Figura 46 - Design informado por pesquisa	97
Figura 47 - Croqui para montagem do modelo projetual	101
Figura 48 - Desenho gráfico para montagem do modelo projetual	102
Figura 49 - Placas de Isopor emassadas	104
Figura 50 - Vidro x Perfil PVC	104
Figura 51 - Desenvolvimento da caixa solar térmica (a) Vista frontal com vidro; (b) Vista lateral isométrica; (c) Vista posterior com encaixes; (d) Detalhe do encaixe sistema macho e fêmea; (e) Abertura da tampa; (f) Caixa sem a tampa; (g) Vista interna da caixa emassada	105
Figura 52 - Camadas da película de proteção solar	108
Figura 53 - Teste da película fotocromática em vidro incolor 4mm aplicado na janela	108
Figura 54 - Teste das pigmentações aplicados na película fotocromática	109
Figura 55 - Modelos de padrões geométricos para impressão no filme UV	111
Figura 56 - Filme <i>Tranfer Liner UV</i>	114
Figura 57 - Vidro 4mm incolor e aplicação do Filme UV do lado externo (A) e interno (B)	114
Figura 58 - a) Termômetro Digital HTC-2 e b) Sensor de radiação UV KF-90	115
Figura 59 - Desenhos técnicos do Flat e fotos reais (Estudo de Caso)	117
Figura 60 - Modelo Tridimensional dos ambientes internos do Flat	119
Figura 61 - Modelo Tridimensional dos espaços e Vistas das Esquadrias	120
Figura 62 - Apresentação do <i>Software EnergyPlus</i>	122
Figura 63 - Modelo Tridimensional de referência-Fachada Sul	123
Figura 64 - Modelo Tridimensional de referência-Fachada Norte	123
Figura 65 - Localização e definição final do flat	129
Figura 66 - Protótipo modular - MONTAGEM	132
Figura 67 - Posicionamento do termômetro digital HTC-2 no interior compartimento	133
Figura 68 - Posicionamento da sonda do HTC-2 no exterior do compartimento	134
Figura 69 - Medição da Radiação Interna	135
Figura 70 - Teste de visibilidade dos pigmentos padrões geométricos	136
Figura 71 - Posicionamento da orientação solar no inverno	137
Figura 72 - Registro de redução da umidade interna da película	157
Figura 73 - Integração da visualidade das pigmentações – Interna e Externa	158
Figura 74 - Integração do vidro com o ambiente	161
Figura 75 - Aplicação da película e pigmentação no vidro	162

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição das horas anuais em condições de calor perigoso e extremo	127
Gráfico 2 - Distribuição das horas anuais em condições de calor perigoso e extremo	128
Gráfico 3 - Variação de temperatura por hora (testes realizados no protótipo dia 20/07/25)	139
Gráfico 4 - Variação de temperatura por hora (testes realizados no protótipo dia 21/07/25)	140
Gráfico 5 - Controle de umidade por hora (TESTES REALIZADOS NO PROTÓTIPO DIA 20/07/25)	141
Gráfico 6 - Controle de umidade por hora (TESTES REALIZADOS NO PROTÓTIPO DIA 21/07/25)	141
Gráfico 7 - Controle de temperatura por hora/dias (02/09/2025)	145
Gráfico 8 - Controle de temperatura por hora/dias (04/09/2025)	145
Gráfico 9 - Controle de temperatura por hora/dias (05/09/2025)	145
Gráfico 10 - Controle de umidade por hora/dias (02/09/2025).....	146
Gráfico 11 - Controle de umidade por hora/dias (04/09/2025).....	147
Gráfico 12 - Controle de umidade por hora/dias (05/09/2025).....	147
Gráfico 13 - Controle de temperatura por hora/dia (testes realizados no protótipo no dia 06/09/25)	150
Gráfico 14 - Controle de temperatura por hora/dia (testes realizados no protótipo no dia 07/09/25)	151
Gráfico 15 - Controle de umidade por hora/dias (testes realizados no protótipo no dia 07/09/2025)	152
Gráfico 16 - Leitura da Radiação UV (testes realizados no protótipo no dia 02/09/2025)	153
Gráfico 17 - Leitura da Radiação UV (testes realizados no protótipo no dia 04/09/2025)	154
Gráfico 18 - Leitura da Radiação UV (testes realizados no protótipo no dia 05/09/2025)	154
Gráfico 19 - Leitura da Radiação UV (testes realizados no protótipo no dia 06/09/2025)	155
Gráfico 20 - Leitura da Radiação UV (testes realizados no protótipo no dia 06/09/2025)	155

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo metodológico com base nos objetivos.....	99
Quadro 2 - Etapas de montagem da caixa solar térmica	106
Quadro 3 - Relação de acabamento interno da sala	119
Quadro 4 - Condições climática externa de Recife entre os dias 02 e 05/09/25	144
Quadro 5 - Resumo de Temperatura e Umidade (02, 04 e 05/09/2025)	148
Quadro 6 - Condições climática externa de Recife entre os dias 06 e 07/09/25	149
Quadro 7 – Diretrizes Técnicas para Envoltórias Inteligentes e Sustentáveis.....	168

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades dos Materiais Utilizados no Modelo	124
Tabela 2 - Propriedades dos materiais utilizados no modelo	125
Tabela 3 - Variação da temperatura interna nos compartimentos COM e SEM película fotocromática (Teste realizado no protótipo dia 20/07/25)	138
Tabela 4 - Variação da temperatura interna nos compartimentos COM e SEM película fotocromática (testes realizados no protótipo dia 21/07/25)	140
Tabela 5 - Níveis de radiação UV externa versus interna (testes realizados no protótipo nos dias 20 e 21/07/25)	142

SUMÁRIO

PARTE 1 - CONCEITUAÇÃO.....	21
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA	22
1.2 OBJETIVOS.....	24
1.2.1 Geral.....	24
1.2.2 Específicos	24
1.3 TRÍADE DA PESQUISA.....	25
1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA	26
1.5 PERGUNTAS DE PESQUISA.....	27
1.6 HIPÓTESE	27
1.7 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	27
1.7.1 Estratégias de busca e Análise de dados	28
1.7.2 Mapeamento e Análise multidisciplinar.....	29
PARTE 2 – REVISÃO DE LITERATURA	31
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	31
2.1 EVOLUÇÃO DO VIDRO A PARTIR DAS FACHADAS	32
2.1.1 Vidros e sua História.....	32
2.2 CENÁRIO: O POTENCIAL DO VIDRO NA ARQUITETURA.....	41
2.2.1 Especificidades nas fachadas envidraçadas	42
2.2.2 Conceito projetual de fachadas	43
2.2.3 Condições de conforto térmico no ambiente	44
2.2.4 Vidros de Controle Solar – Elemento Fundamental	49
2.2.5 Tipos de vidros para fachadas.....	51
2.2.6 Soluções Inteligentes – Vidro dinâmico	53
2.3 ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS EM FACHADAS ENVIDRAÇAS	60
2.3.1 Vitrificação Linear – Vidros com Impressão Digital.....	60
2.3.2 Interferências Gráficas – Vidros Serigrafados	65
2.3.3 Técnicas de aplicação dos filmes adesivos em vidro de fachada.....	68
2.3.4 Aspectos Ambientais e Normativos dos filmes adesivos aplicados em fachadas.....	85
2.4 ANÁLISE DE MORTALIDADE DE AVES NOS VIDROS	86
2.4.1 Impactos dos pássaros nos vidros	86
2.4.2 Percepção visual das aves em relação às fachadas de vidro	89
2.4.3 Principais causas de mortalidades no Brasil - Estudos de Caso	91

2.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	95
PARTE 3 – MODELAGEM PROJETUAL.....	97
3 METODOLOGIA APLICADA	97
3.1 DEFINIÇÕES DAS ETAPAS DE MODELAGEM DO MODELO PROJETUAL.....	100
3.1.1 Caixa solar térmica dupla desmontável – Protótipo para Teste.....	100
3.1.2 Sistema de montagem - acabamento interno e funcionalidade	103
3.1.3 Definição da escolha dos filmes	107
3.1.4 Técnicas aplicada ao modelo	111
3.1.5 Escolha da instrumentação para acompanhamento dos testes	115
3.2 MODELAGEM TRIDIMENSIONAL e SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO	116
3.2.1 Modelo padrão: Desenho gráfico e modelagem tridimensional	116
3.2.2 Definição das técnicas e instrumentos de avaliação.....	121
3.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	129
PARTE 4 – IMPLICAÇÕES DA PESQUISA	131
4 RESULTADOS.....	131
4.1 MONTAGEM EXPERIMENTAL	131
4.1.1 Medição de temperatura	133
4.1.2 Exposição à Radiação UV	134
4.1.3 Visibilidade para aves.....	135
4.2 ANÁLISES E DOCUMENTAÇÕES DOS RESULTADOS.....	136
4.2.1 Desempenho Térmico - Comportamento das temperaturas iniciais	137
4.2.2 Redução da Radiação UV – Mês julho/2025	142
4.2.3 Análise experimental de temperatura e umidade – Parte 1	143
4.2.4 Análise experimental de temperatura e umidade – Parte 2	149
4.2.5 Avaliação geral da redução da radiação UV – Mês setembro	153
4.3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS.....	156
4.3.1 Comparação dos resultados virtuais com os testes físicos realizados.....	158
4.3.2 Considerações sobre a coerência dos resultados entre a simulação e os dados coletados	160
4.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	162
PARTE 5 - CONSIDERAÇÕES.....	164
5 CONCLUSÃO	164
5.1 OBJETIVO CENTRAL	164
5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO ADOTADO.....	165
5.3 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA	165
5.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO	166

5.5 RESULTADOS ALCANÇADOS.....	167
5.6 PERSPECTIVAS FUTURAS	167
5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
REFERÊNCIAS	170
APÊNDICE A.....	179
APÊNDICE B.....	186
APÊNDICE C	187
APÊNDICE D	193
APÊNDICE E	195
APÊNDICE F	196
APÊNDICE G	198
APÊNDICE H	200
APÊNDICE I.....	202
APÊNDICE J.....	204
APÊNDICE K.....	208
APÊNDICE L	213
ANEXO A.....	218
ANEXO B.....	220
ANEXO C.....	221
ANEXO D.....	222

PARTE 1 - CONCEITUAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

Colocar suas habilidades de designer em ação: uma capacidade de pensar e realizar coisas que envolve reflexão e senso estratégico, que nos conchama a olhar para nós mesmos e para o nosso contexto e decidir quando e como agir para melhorar o estado das coisas. (Manzini, 2017, p. 15).

A crescente demanda por edificações sustentáveis e eficientes tem impulsionado a adoção de fachadas envidraçadas como solução arquitetônica que alia estética, iluminação natural e transparência visual. No entanto, tais superfícies também acarretam desafios significativos, como o aumento da carga térmica no interior dos ambientes e, especialmente, o impacto negativo sobre a avifauna. Estima-se que milhões de aves colidam anualmente contra janelas e fachadas de vidro, sobretudo em áreas urbanas, devido à baixa percepção dessas superfícies transparentes ou refletivas como barreiras físicas (Klem, 2009; Loss *et al.*, 2014).

Essa problemática ambiental tem mobilizado pesquisadores e profissionais da construção civil na busca por soluções integradas que reduzam tais colisões sem comprometer o desempenho e a estética das edificações. Paralelamente, o avanço de materiais inteligentes tem permitido o desenvolvimento de filmes fotossensíveis aplicáveis ao vidro, capazes de reagir à intensidade luminosa com alterações ópticas que proporcionam controle solar dinâmico (Zhang *et al.*, 2020; Liao *et al.*, 2022). Esses filmes não apenas contribuem para o conforto térmico e a eficiência energética, como também possuem potencial para tornar os vidros mais visíveis às aves, reduzindo o risco de impactos fatais (Sheppard *et al.*, 2015).

Neste contexto, a presente tese propõe o desenvolvimento e a avaliação experimental de um sistema de revestimento em um modelo projetual de design para superfícies envidraçadas *eco-friendly* a partir da combinação de filmes inteligentes fotossensíveis com dupla funcionalidade: o fotocromático busca promover uma solução sustentável para a redução de ganhos térmicos na edificação e minimizar os impactos ambientais associados ao consumo de energia; aliado ao filme UV com padrões geométricos, que ajudam os pássaros a evitar colisões com superfícies de vidro. O estudo contempla a caracterização físico-óptica dos materiais utilizados, testes de

desempenho em diferentes condições de luminosidade, bem como simulações do comportamento visual das aves (Martin, 2012; Horne *et al.*, 2020).

A relevância central deste estudo reside na sua capacidade de propor uma solução prática e acessível para uma problemática ambiental crescente nas cidades, que é a colisão de aves em fachadas. O trabalho integra inovação tecnológica e princípios de Design sustentável à conservação da biodiversidade urbana. O foco da tese está em subsidiar a tomada de decisões durante o processo de Design, ao considerar aspectos multifacetados, como eficiência energética, bem-estar humano e proteção da avifauna. Para isso, a pesquisa utilizou um modelo projetual de elementos de controle solar para desenvolver e validar técnicas que possam ser incorporadas de forma eficaz em projetos arquitetônicos futuros, elevando a qualidade e a sustentabilidade das envoltórias urbanas.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DA PESQUISA

A incorporação de grandes áreas de vidro nas edificações, especialmente no início do século XXI, tem se tornado cada vez mais comum na arquitetura contemporânea. Essa prática envolve uma série de desafios funcionais, alterando a percepção do edifício e impactando a maneira como a luz solar interage com o espaço interno e externo (Ferreira, 2018, p. 19).

Os invólucros, por serem o maior fator construtivo da Arquitetura e responsáveis tanto pela expressão estética quanto pela mediação entre os ambientes internos e externos, desempenham um papel fundamental na interação entre usuários e contexto. Designers e arquitetos, ao desafiarem padrões estabelecidos e integrarem elementos culturais e tecnológicos nas fachadas, têm proposto estratégias que exploram desenhos inovadores em superfícies envidraçadas. Tais soluções incorporam possibilidades artísticas capazes de minimizar o ganho de calor, controlar a transparência e modular a entrada de luz natural no espaço construído, fatores que influenciam diretamente a percepção espacial e o conforto visual (Lipowicz, 2021).

Entretanto, conforme identificado na Revisão Sistemática da Literatura (RSL) realizada neste estudo, a contribuição científica se distingue pela abordagem inédita: embora haja propostas estéticas e funcionais para vidros arquitetônicos, não foram

identificadas simulações computacionais que avaliem o desempenho termoenergético ou a eficácia visual de combinações de filmes inteligentes fotossensíveis aplicados a fachadas. Essa ausência evidencia uma oportunidade científica e reforça a relevância desta pesquisa, que busca avançar o conhecimento ao explorar computacionalmente o comportamento dessa solução *eco-friendly* e seu potencial para reduzir impactos térmicos e minimizar colisões de aves.

As Comissões do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (CMADS) da Câmara dos Deputados, e de Meio Ambiente (CMA) do Senado, por exemplo, colocaram em pauta em 2020 uma lei que exige materiais ou dispositivos para evitar colisões com pássaros nas fachadas de edifícios que contenham painéis transparentes e espelhados. Tal legislação, representada pelo Projeto de Lei (PL) nº 4.102/2020, de autoria do deputado Nilto Tatto (PT-SP), reforça a urgência da pauta com base em dados globais. Segundo Motta (2021), estima-se que quase um bilhão de aves morram anualmente devido a colisões nos Estados Unidos, sendo que quase três quintos dessas fatalidades (aproximadamente 58,2%) são causadas por prédios envidraçados. Globalmente, o mesmo autor aponta que as fatalidades anuais chegam a 508 milhões em edifícios altos, 339 milhões em edifícios médios e 253 milhões em residências de até dois pavimentos. No contexto brasileiro, embora ainda haja poucos estudos que quantifiquem o problema em escala nacional, estudos de caso e pesquisas recentes demonstram a seriedade da questão, com estimativas pontuais de alta mortalidade em edifícios envidraçados (Fujiyama, 2021, p. 9).

O presente estudo se fundamenta, portanto, na crescente e inadiável necessidade de identificar alternativas construtivas que consigam conciliar o progresso das cidades com a preservação ambiental e a eficiência energética. Ao abordar criticamente o problema das colisões de aves em fachadas envidraçadas — um risco que impacta diretamente a biodiversidade urbana e gera preocupações éticas e regulatórias —, a pesquisa propõe uma solução de vanguarda. O uso de elementos inteligentes de design para o envidraçamento em envoltórias, como os filmes fotossensíveis e suas combinações, demonstra o potencial transformador do trabalho para promover e contribuir ativamente para a criação de ambientes urbanos mais sustentáveis e harmoniosos. Esta abordagem não apenas busca mitigar danos ecológicos, mas também otimizar o desempenho termoenergético do edifício,

resultando em menor consumo de energia e maior conforto dos usuários. Além disso, o desenvolvimento e a implementação dessas soluções inovadoras podem gerar impactos positivos significativos, tanto em termos de diferenciação e imagem corporativa para arquitetos e designers — que passam a oferecer soluções *eco-friendly* e tecnologicamente avançadas — quanto em relação à conformidade com normas ambientais e regulatórias cada vez mais rigorosas. A tese, assim, oferece subsídios práticos e teóricos para uma Arquitetura mais consciente e resiliente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Propor um sistema de revestimento em um modelo projetual de design para vidros de fachadas com combinação de dois filmes, gerando a redução de ganhos térmicos e a mitigação de colisões de pássaros, por meio de investigação teórica, simulações digitais e experimentação prática.

1.2.2 Específicos

- Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para mapear o estado da arte e identificar a lacuna de Design em soluções de fachadas envidraçadas que abordam proteção solar e mitigação de colisões de aves;
- Desenvolver o artefato de Design, definindo o modelo projetual virtual e o padrão geométrico que será aplicado na combinação de filmes fotossensíveis em fachada envidraçada;
- Realizar simulações computacionais em *software* de desempenho ambiental *OpenStudio* e *EnergyPlus* aliado ao *SketchUp* para avaliar a performance técnica do artefato de Design, comparando seu comportamento termoenergético e lumínico com soluções convencionais.
- Aplicar o padrão geométrico no vidro e avaliar a eficácia da combinação de filmes (fotocromático e filme UV/DTF) ao modelo projetual de design proposto (caixa térmica), quantificando a eficácia da mitigação visual para evitar colisões de aves.

1.3 TRÍADE DA PESQUISA

As três abordagens da pesquisa consistiram na integração entre investigação teórica, simulações digitais e experimentação prática. A primeira abordagem, a investigação teórica, referiu-se ao levantamento e análise do contexto de aplicação que a tese abordou. O objetivo foi fundamentar discussões compatíveis com o processo de tomada de decisão nos elementos de controle solar, identificando as principais soluções de projeto e seus impactos. A segunda abordagem, as simulações digitais, foi utilizada como método para organizar e testar princípios de modelagem flexível, permitindo avaliar virtualmente o desempenho térmico, visual e luminoso dos elementos de controle solar antes de sua implementação física. A terceira abordagem, a experimentação prática, consistiu na aplicação e medição direta dos elementos de controle solar em protótipos, possibilitando a validação dos modelos e resultados obtidos nas fases anteriores (Figura 1).

Figura 1 - Sobreposição das abordagens da pesquisa



Fonte: Autora (2025)

Apesar de haver ferramentas validadas para avaliação de desempenho térmico, visual e luminoso, a integração entre simulação digital e experimentação prática visa garantir modelos rápidos, interoperáveis e compatíveis com o processo projetual.

1.4 METODOLOGIA DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois visa desenvolver uma solução prática para um problema ambiental e urbano: a colisão de aves com fachadas envidraçadas e o controle da radiação solar em edificações. A metodologia foi estruturada na abordagem de pesquisa pelo design *Research Through Design* (RtD), em quatro etapas principais: primeiramente adota uma abordagem mista, com elementos qualitativos e exploratórios. A seleção concentrou-se por meio da análise contextual, fundamentada em uma revisão da literatura científica sobre o potencial do vidro, sua evolução sobre o controle solar e tipos de vidros utilizados em fachadas; estratégias sustentáveis na escolha dos vidros comercializados atualmente, suas técnicas e aplicações de filmes de proteção térmica; finalizando em uma análise com base na mortalidade de aves em impactos nos vidros de envoltórias.

Na segunda parte, avaliação da aplicabilidade da película no vidro. Para tanto, foi adotada uma abordagem com simulações computacionais de percepção visual, com uso de softwares com a capacidade de detectar ganhos térmicos e radiações ultravioletas, considerando dados espectrais dos filmes medidos. Além disso, foram realizadas simulações computacionais em software de desempenho ambiental *Open Studio EnergyPlus* aliado ao *Sketchup* para prever o comportamento térmico das superfícies aplicadas em fachadas reais, em condições climáticas da Região Metropolitana do Recife - RMR).

Em terceiro lugar, foi realizada uma montagem e avaliação em amostras aplicadas sobre substratos de vidro monolítico incolor com 4mm de espessura com dimensões padronizadas de 45 x 55 cm (largura x altura), simulando painéis de fachadas. Foi montado protótipo duplo em caixas de teste expostas à radiação solar direta em material isolante, permitindo aferições sob diferentes condições de incidência luminosa. Esses dados foram analisados estatisticamente para verificar a diferença significativa entre os vidros com adesivação dos filmes e os não adesivados.

Os resultados da análise, obtidos por meio da investigação teórica, das simulações digitais e da experimentação prática, culminaram na elaboração de diretrizes técnicas. Essas propostas não se constituem como uma etapa isolada, mas sim como a síntese final da pesquisa, explorando como os mecanismos naturais podem

inspirar e fundamentar estratégias de projeto inovadoras no contexto da arquitetura sustentável. Desta forma, o trabalho oferece um arcabouço conceitual e prático, conectando o desempenho técnico validado à aplicabilidade do Design em soluções *eco-friendly*.

1.5 PERGUNTAS DE PESQUISA

De que forma os padrões geométricos podem reduzir a incidência de impactos de aves em superfícies de vidro?

Como implementar soluções na aplicação de filmes fotossensíveis em fachadas envidraçadas que melhorem simultaneamente o desempenho energético e mitiguem os riscos de impactos com aves?

1.6 HIPÓTESE

A combinação de película fotocromática e filme UV translúcido com padrões geométricos em fachadas de vidro resulta em uma melhoria significativa no desempenho térmico das edificações, ao mesmo tempo em que reduz a taxa de colisão de pássaros, promovendo assim um ambiente construído mais sustentável e seguro.

Essa hipótese sugere que a sinergia entre as duas tecnologias não apenas atende às necessidades de conforto térmico e eficiência energética, mas também aborda questões ambientais relacionadas à segurança das aves, estabelecendo um caminho inovador para práticas arquitetônicas e de design sustentáveis.

1.7 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A presente tese, centrada na interseção entre vidro de fachada, controle solar, eficiência energética, colisão de pássaros e design de superfície, tem como base uma extensa e rigorosa revisão sistemática da literatura. O objetivo é analisar os conceitos e as concepções de superfícies de envoltórias envidraçadas a partir da produção científica nas áreas de design de produto e arquitetura.

Conforme a metodologia de Moher *et al.* (2015), a revisão sistemática segue um procedimento explícito para identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes. A abordagem empregada neste trabalho combina a pesquisa bibliográfica tradicional com o uso de ferramentas digitais avançadas, garantindo a abrangência e a relevância das fontes. Gil (2002) destaca que essa metodologia permite ao pesquisador cobrir uma ampla gama de fenômenos, o que é relevante para uma área multidisciplinar como a abordada nesta tese.

A principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente. Esta vantagem se torna particularmente importante quando o problema de pesquisa requer dados muito dispersos pelo espaço. (Gil, 2002, p. 3).

1.7.1 Estratégias de busca e Análise de dados

Para embasar teoricamente a pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico sistematizado com foco em estudos relacionados aos seguintes temas, alinhados com as palavras-chave da tese:

- ▴ Design de superfície: Exploração de padrões e texturas que podem ser aplicados em vidros para múltiplos propósitos, incluindo controle solar e prevenção de colisões.
- ▴ Controle térmico e solar: Foco na otimização do desempenho energético de edifícios.
- ▴ Eficiência energética: Análise de soluções que minimizam o consumo de energia em edificações envidraçadas.
- ▴ Película Fotossensível: Análise e aplicação de materiais fotocromáticos e filmes inteligentes como estratégia de controle solar dinâmico em envoltórias de edifícios, abordando seus mecanismos de transparência e modulação lumínica.
- ▴ Sistemas de Revestimento em Vidro: Investigação de tecnologias, padrões gráficos e princípios de Design de Superfície aplicados a fachadas envidraçadas, visando a mitigação de impactos ambientais (redução do ganho térmico) e a diminuição da mortalidade de aves por colisão.

As buscas foram conduzidas em bases de dados científicas reconhecidas internacionalmente, como Scopus ¹, Web of Science ², ScienceDirect ³ e Google Scholar⁴. As estratégias de busca utilizaram combinações de descritores principais, em português e inglês, como " Surface design", " Thermal and solar control", "energy efficiency", " Photosensitive film" e " Glass coating systems".

Para assegurar a qualidade e a atualidade das publicações, foram definidos critérios de inclusão rigorosos. Foram considerados apenas estudos revisados por pares, publicados entre 2015 e 2025 (Apêndice A), nos idiomas português, inglês ou espanhol. Artigos duplicados, opinativos, resumos sem texto completo e publicações sem vínculo acadêmico-científico foram excluídos.

Desta maneira, foram encontrados 234 trabalhos, considerando as plataformas *Web Of Science* e *Research Rabbit*, após a leitura dos títulos e alguns resumos de alguns autores apresentados na Figura 6, os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados, restando 22 trabalhos (Apêndice A-1).

1.7.2 Mapeamento e Análise multidisciplinar

Complementarmente, a plataforma *Research Rabbit* ⁵ foi utilizada para mapear conexões entre autores, temas correlatos e artigos com abordagem multidisciplinar. Esta ferramenta permitiu uma análise aprofundada das tendências emergentes e das lacunas de pesquisa, especialmente na aplicação de tecnologias em fachadas envidraçadas com foco na mitigação de impactos ambientais, como a colisão de aves.

A Figura 2 ilustra a ocorrência de pesquisas na base de dados *Research Rabbit* nas áreas de vidro de fachada, controle solar, eficiência energética, colisão de pássaros

¹ Base de resumos e citações da literatura revisada por pares no mundo. O Scopus conta com ferramentas inteligentes para rastrear, analisar e visualizar a pesquisa.

² Base de dados atrelada a acesso baseado em assinatura a vários bancos de dados que fornecem dados abrangentes de citações para muitas disciplinas acadêmicas diferentes.

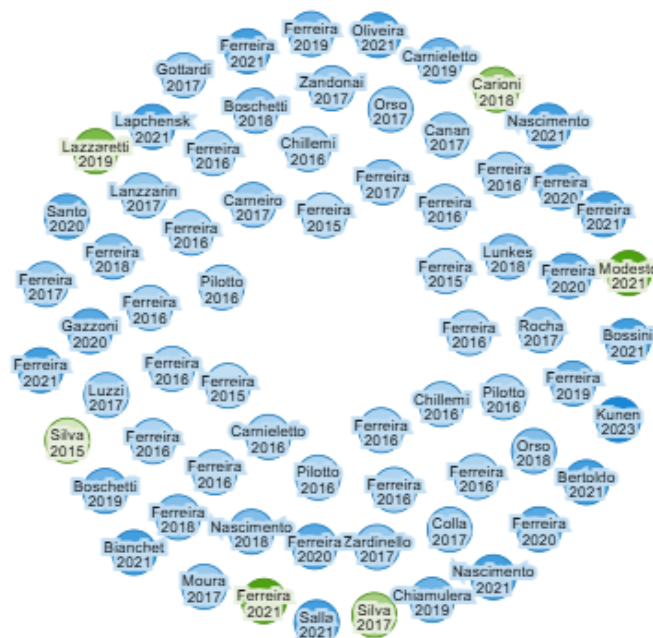
³ Plataforma digital e base de dados online da editora Elsevier que oferece acesso a artigos científicos e livros revisados por pares em texto completo

⁴ Ferramenta de pesquisa do Google Acadêmico que permite encontrar de forma abrangente literatura científica, como artigos, teses, dissertações, livro e resumos, produzidas pelos programas de doutorado e mestrado reconhecidos (Capes, 2019).

⁵ Ferramenta gratuita de análise de rede de papers. Facilita encontrar artigos de uma mesma temática ou entender de onde veio o debate.

e design de superfície, nos últimos 10 anos. Essa análise visual demonstra a crescente relevância e o interesse acadêmico nos temas centrais desta tese, confirmando a importância da pesquisa proposta para o avanço do conhecimento na área.

Figura 2 - Diagrama de autores da revisão teórica



Fonte: Base de dados *Research Rabbit* (2024)

A análise bibliográfica foi fundamental para estabelecer as bases teóricas e conceituais deste estudo. A revisão da literatura não só forneceu um entendimento aprofundado sobre cada um dos temas investigados — Design de superfície, controle térmico e solar, eficiência energética, película fotossensível, sistemas de revestimento em vidro — como também revelou a escassez de pesquisas que abordam a interseção dessas áreas.

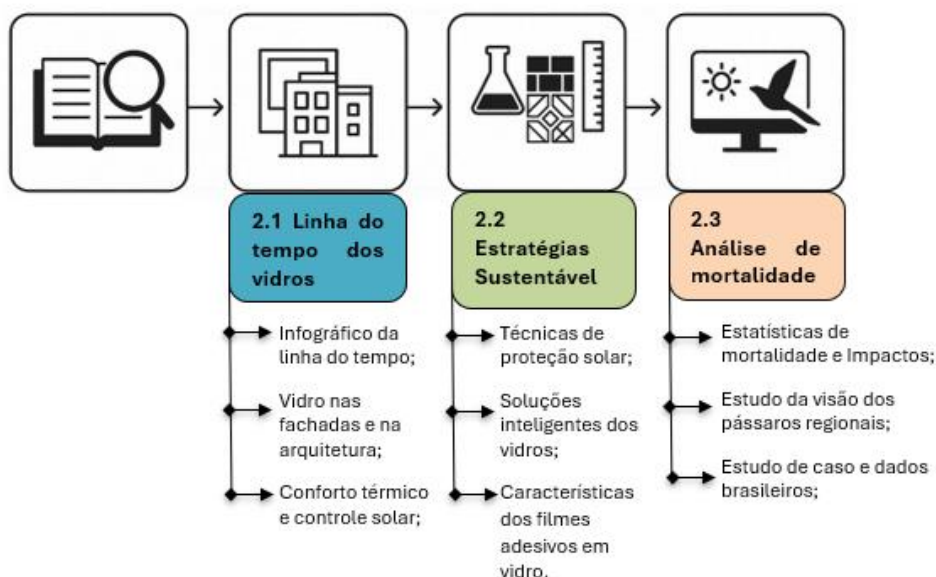
Os dados coletados e analisados permitiram identificar uma lacuna de conhecimento, validando a relevância da proposta de combinar películas fotocromáticas e filmes UV com padrões visuais. Essa combinação representa uma solução inovadora para envoltórias arquitetônicas, pois otimiza simultaneamente o desempenho energético e a mitigação da colisão de aves. Com base nesse arcabouço teórico, foi possível definir com precisão os parâmetros e as diretrizes para o desenvolvimento do protótipo, solidificando a contribuição deste trabalho para a área de arquitetura e design de superfície e sustentável.

PARTE 2 – REVISÃO DE LITERATURA

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico aborda aspectos históricos, conceitos e técnicas aplicadas nas tipologias de fachadas envidraçadas em projeto, enfatizando questões referentes à sustentabilidade e adaptações de ganhos e perdas térmicas. Esta parte da pesquisa também aborda conceituação de processos em projeto de fachadas e faz considerações sobre duas tecnologias de filmes adesivos no vidro. O referencial está dividido em três partes: a seção 2.1 explora questões referentes à linha do tempo dos vidros, vidros nas fachadas e na arquitetura, condições do conforto térmico de controle solar. A seção 2.2 aborda o cenário contemporâneo onde a inserção de estratégias e técnicas promovem soluções sustentáveis para a redução de ganhos térmicos nas edificações em vidro, soluções inteligentes dos vidros e minimizam os impactos ambientais associados ao consumo de energia e colisões de aves. A seção 2.3 apresenta uma análise de mortalidade de pássaros em choque com vidros de fachadas no Brasil, enfatizando quantitativamente sua realidade e causas de colisões. Este capítulo é embasado para melhor compreensão do contexto e modelos conceituais fundamentados na pesquisa (Figura 3).

Figura 3 - Revisão Sistemática do referencial teórico



Fonte: Autora (2024)

2.1 EVOLUÇÃO DO VIDRO A PARTIR DAS FACHADAS

A incorporação de áreas de vidros nas edificações, no início do século XXI, tem vindo a ser cada vez mais frequente na Arquitetura, envolvendo uma série de aspectos no funcionamento e provocando problemas que afeta a percepção do edifício, bem como as propriedades de luz solar e a funcionalidade entre o espaço externo e interno. Segundo Cardoso (2019), esta nova concepção mudou o conceito de construção e gerou uma revolução na técnica empregada em fachadas. Desta forma, a evolução dos vidros nas fachadas, ao longo da história, reflete as mudanças nas tendências arquitetônicas, tecnológicas, culturais e sociais de diferentes épocas. As envoltórias desempenham um papel fundamental na identidade visual dos edifícios, criando uma primeira impressão marcante e comunicando tanto a estética quanto a função da estrutura.

2.1.1 Vidros e sua História

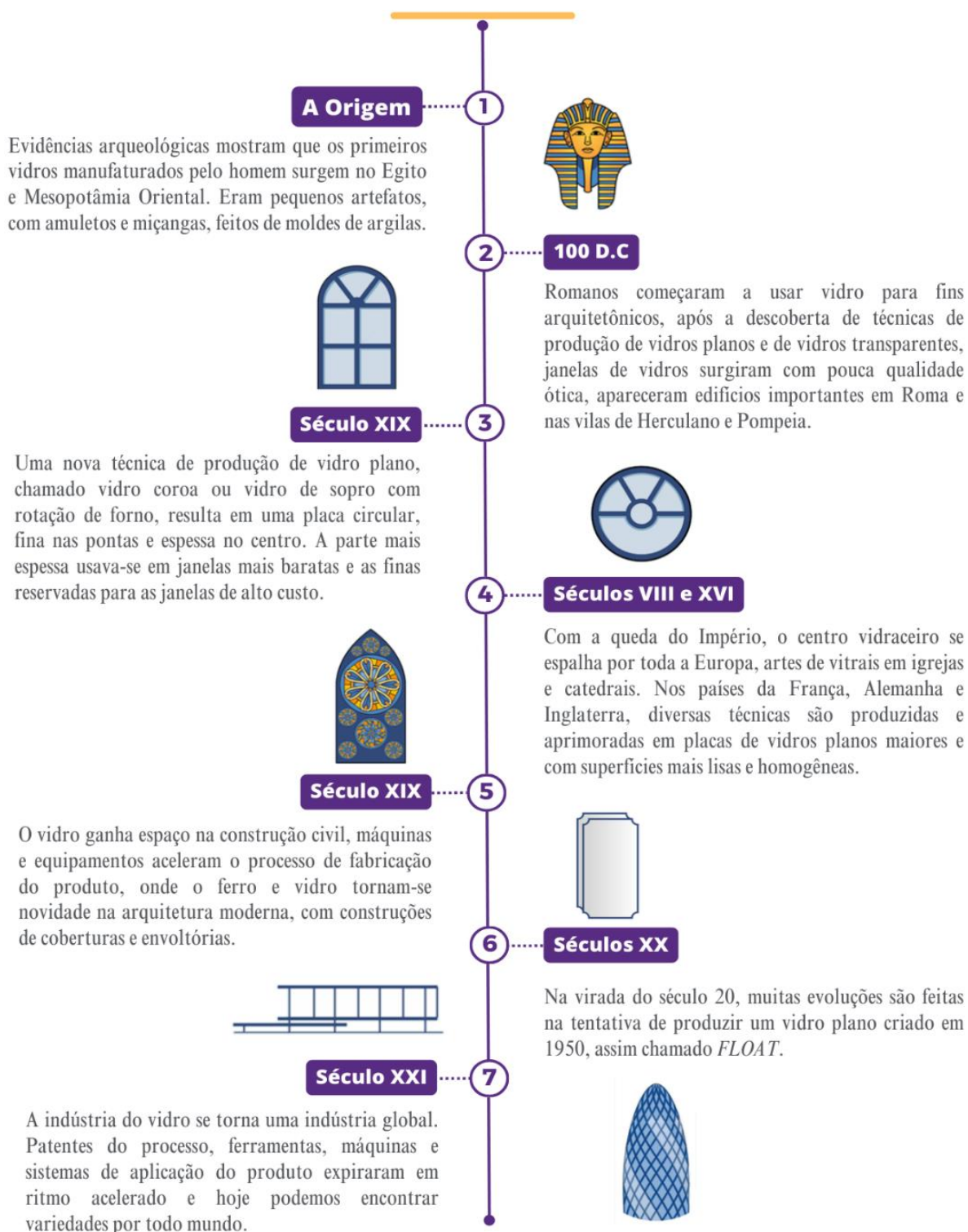
Como parte integrante das fachadas, o vidro exerce forte influência no conforto, na segurança e na estética de qualquer edifício. Para compreender sua relevância na arquitetura contemporânea, é essencial analisar as características específicas determinadas por sua evolução ao longo do tempo.

A história do vidro é um percurso que se confunde com a própria história da civilização. Desde os primeiros artefatos rudimentares, datados de milênios antes de Cristo, até as inovações tecnológicas mais recentes, o vidro evoluiu de um material de uso ornamental para um componente estrutural e funcional indispensável. No cotidiano contemporâneo, sua ampla participação nas indústrias e na tecnologia revela uma breve, porém marcante, linha do tempo (Figura 4), destacando marcos importantes que moldaram seu uso na arquitetura mundial.

A transição de sua fabricação artesanal para a produção em massa, a criação de vidros planos e a invenção de novas composições químicas são marcos que permitiram a sua aplicação em escala cada vez maior e com propriedades aprimoradas. Essa evolução culminou na sua utilização em fachadas inteiras, um elemento central do modernismo, que explora a transparência, a leveza e a integração visual entre o interior e o exterior. Compreender essa trajetória histórica é importante para contextualizar as

inovações atuais e a contínua busca por vidros de alto desempenho, que atendem às exigências de eficiência energética e sustentabilidade da arquitetura do século XXI.

Figura 4 - Infográfico da linha do tempo do vidro



Fonte: Autora (2023) com base no infográfico Souza (2019)

A primeira referência ao vidro na Arquitetura data de 4,5 mil anos a.C, quando os fenícios começaram a usar vidro para criar objetos decorativos. O uso aumentou durante o Império Romano; registros contam que, nesse período, os romanos começaram a usar e deram melhoria a este material, uma vez que já dominavam técnicas de lapidação, pintura, coloração, gravura e moldagem. A partir dessa descoberta deram início a moldar janelas em algumas de suas construções. No início do século VIII, o vidro começou a ser usado em construções de igrejas e palácios, e durante o século XVI o uso do vidro em janelas começou a se espalhar pelo Ocidente. Nos séculos seguintes, o vidro foi aprimorado para criar estruturas arquitetônicas mais sofisticadas e complexas. Durante a Idade Média o processo de produção e elaboração foi mantido secreto numa tentativa de monopolizar o conhecimento. Por isso, as técnicas criadas na França só foram introduzidas na Inglaterra entre os séculos XVIII e XIX.

Na virada para o século XX, evoluções foram realizadas na tentativa de industrializar e desenvolver um processo de fabricação, produzindo um vidro mais forte e resistente ao choque térmico. Surge assim, o processo da folha estirada e o de flutuação *float*, que se torna o método padrão para a produção em vidros planos, atualmente produzido no mundo todo. Tal evolução permite e demonstra como a ciência, a tecnologia e a criatividade humana continuam a moldar esse material fundamental em nossa sociedade, desde as primeiras peças artísticas antigas até as aplicações altamente tecnológicas e eficientes, garantindo a produtividade e a qualidade do material que até hoje está disponível no mercado (Westphal, 2016).

Entre mudanças significativas que propuseram o uso do vidro na Arquitetura, várias inovações e avanços ocorreram no campo da construção civil e na indústria. Segundo Westphal (2016), estima-se que cerca de 70% da produção total de vidros é usada no Brasil, principalmente, em novos edifícios ou renovação de fachadas. Com a modernização do produto, o mercado vidraceiro vem permitindo que os profissionais criativos concebam verdadeiras obras de arte com características estéticas, funcionais e possibilidade de uso de grandes dimensões, favorecendo um recurso de transparência e integração entre ambientes.

Com o crescimento do incômodo visual provocado pelos contrastes de luz, surgiram novos princípios de design que levam em conta elementos como as

características dos materiais empregados para regular as condições térmicas e luminosas, os métodos construtivos e a estrutura das superfícies externas.

Neste cenário, a progressão das construções, aliada à inovação arquitetônica, tem experimentado variadas combinações de materiais nas fachadas, em sintonia com as inovações e o espírito de cada período. Esta jornada pode ser observada por meio de uma linha do tempo, que representa e resume a evolução das técnicas e materiais empregados nas construções ao longo dos anos (Figuras 5 e 6).

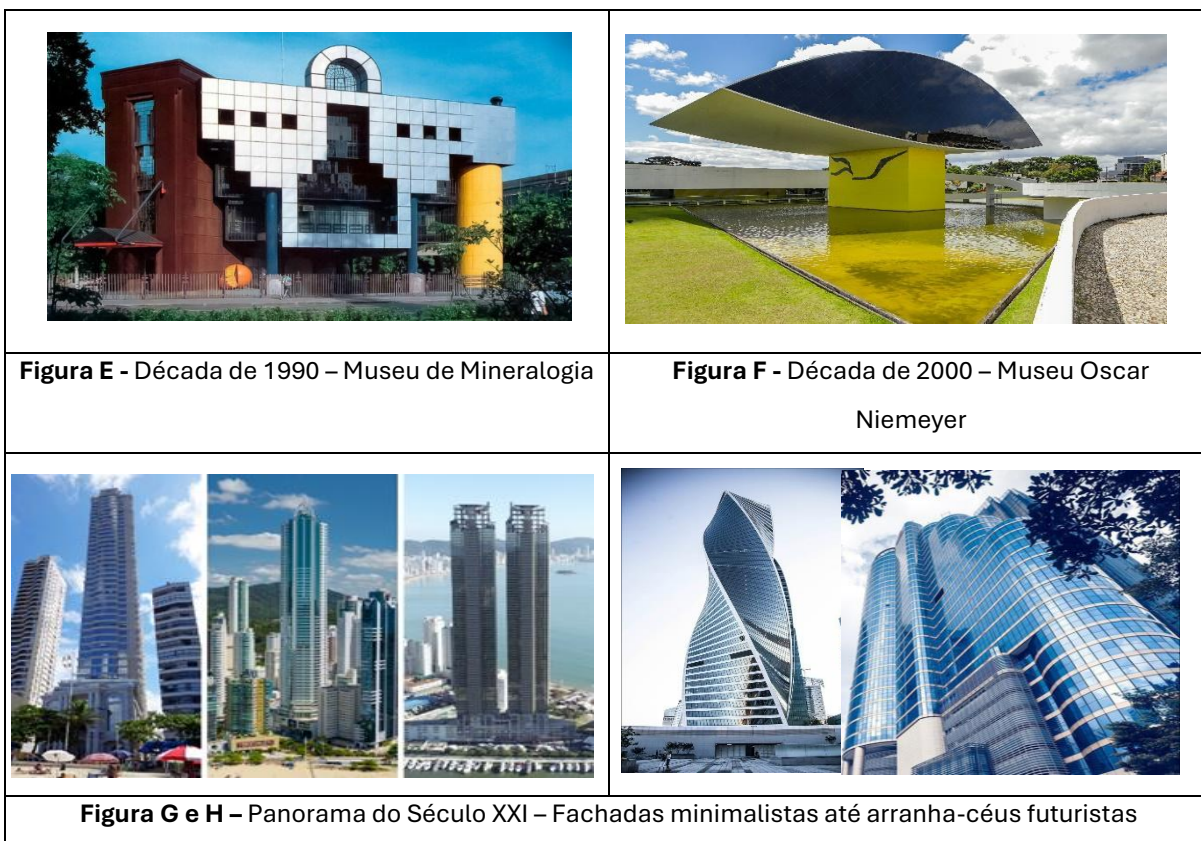
**Figura 5 - Expressão do desenvolvimento das fachadas dos edifícios de acordo com os materiais –
Parte 1**

	
Figura A - Décadas de 1920 e 1930 - Estação Ferroviária de Goiânia	Figura B - Décadas de 1920 e 1930 – Casa Modernista da Rua Santa Cruz
	
Figura C - Década de 1950 – Edifício Copan	Figura D - Décadas de 1960 e 1970

Fonte: Autora (2024)

Figura 6 - Expressão do desenvolvimento das fachadas dos edifícios de acordo com os materiais –

Parte 2



Fonte: Autora (2024)

De acordo com Segawa (1999), a trajetória da arquitetura brasileira é caracterizada por uma variedade de estilos que refletem as mudanças sociais, políticas e tecnológicas no país. A investigação das construções de vários andares e suas fachadas destaca as inspirações de distintos movimentos arquitetônicos e a forma como esses conceitos foram ajustados às especificidades do Brasil. Entre os anos 1920 e 2020, as fachadas dos edifícios passaram por mudanças marcantes que estiveram em sintonia tanto com as tendências globais quanto com as necessidades locais de urbanização e inovação.

Durante as décadas de 1920 e 1930, o estilo *Art Déco* ⁶ surgiu no Brasil, principalmente em metrópoles como São Paulo e Rio de Janeiro. Suas características principais incluíam uma geometrização na decoração e uma ênfase nas linhas verticais, que conferiam aos edifícios um ar monumental. Essas fachadas se distinguiam por

⁶ Estilo de artes visuais, representada pelo uso do concreto armado, de linhas retas e formas retangulares bem marcadas.

detalhes decorativos mais simples, em contraste com a ornamentação excessiva do ecletismo⁷ do século XIX, mas ainda apresentavam um certo rigor estético, utilizando materiais refinados como mármore e granito. Um exemplo notável desse estilo pode ser encontrado em Goiânia (Figura A), Goiás, que abriga um dos acervos mais importantes de *Art Déco* do Brasil. Paralelamente a esse movimento, o Modernismo⁸ começou a se estabelecer, tendo como marco a Semana de Arte Moderna de 1922 e a construção da primeira obra nesse estilo no Brasil, a Casa Modernista (Figura B) de Gregori Warchavchik, em 1928.

Nos anos 1940, especialmente nas décadas de 1950 e 1960, esse estilo ganhou força no Brasil, recebendo uma forte influência da arquitetura racionalista de Le Corbusier e da Escola Carioca, onde arquitetos como Oscar Niemeyer e Lúcio Costa se destacavam. A estética modernista priorizava a funcionalidade e a simplicidade das formas, resultando em fachadas mais limpas, com amplas aberturas e o uso de *brises-soleils*⁹ para controle da luz solar, um elemento crucial nas fachadas das construções em regiões tropicais. Conforme mencionado por Segawa (1999), os edifícios modernistas de vários andares, especialmente na área entre Rio e São Paulo, começaram a favorecer o uso de concreto armado, o que possibilitou novas possibilidades formais nas fachadas, com criações de volumes mais leves e formas orgânicas. Exemplos marcantes dessa época incluem o Edifício Copan (1957, Figura C), projetado por Oscar Niemeyer em São Paulo, cuja fachada ondulada simboliza a adaptação do modernismo ao cenário urbano, social e cultural do Brasil.

Nos anos 60 e 70, assim como aconteceu com o Copan e outras construções, o Brutalismo¹⁰ se consolidou como uma corrente arquitetônica para edifícios de vários andares, destacando sua ênfase na presença do concreto exposto e na expressividade das estruturas. Segundo Segawa (1999), a versão brasileira do brutalismo se sobressaiu especialmente em construções institucionais e residenciais, onde as fachadas

⁷ Integrar componentes de diversas concepções, estilos ou teorias para alcançar um resultado mais amplo.

⁸ Enfatizou a simplicidade, a funcionalidade e a eliminação de elementos ornamentais. As fachadas eram frequentemente compostas por linhas retas, superfícies lisas e materiais industriais como concreto e vidro.

⁹ Conhecido como quebra-sol, tem como função sombreamento nas fachadas.

¹⁰ Expressão na Arquitetura em meados das décadas de 1950 e 1960 com materiais através de estruturas aparentes, sem reboco ou pintura, como colunas e vigas, além de canos e fios à mostra.

apresentavam grandes blocos maciços, e uma estética que exaltava a autenticidade dos materiais. As fachadas brutalistas são caracterizadas por sua rigidez geométrica e pela visibilidade das estruturas de concreto, sem revestimentos, buscando uma linha arquitetônica austera. Um exemplo emblemático do Brutalismo no Brasil é o prédio da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (1969, Figura D), projetado por João Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, que possui formas geométricas robustas e prioriza a funcionalidade e a transparência construtiva do edifício. Além do Brutalismo, a partir da década de 70, houve um crescimento no uso de esquadrias de vidro e alumínio nas fachadas, impulsionado pela fundação da Associação Brasileira de Alumínio (ABAL) em 1970, que trouxe mais organização à área, ressaltando a versatilidade, resistência e baixo custo desses materiais em um país com clima essencialmente tropical (Reis, 2011).

Nas décadas de 80 e 90, o Pós-modernismo trouxe uma nova complexidade estética às fachadas dos edifícios de vários andares. Este movimento se caracteriza pela recuperação de elementos decorativos e históricos, contrastando com a rigidez do modernismo. Conforme Segawa (1999), no Brasil, o pós-modernismo se manifestou principalmente em prédios corporativos e residenciais luxuosos, cujas fachadas passaram a incorporar cores mais vibrantes, materiais variados (como mármore e pastilhas) e formas que combinavam influências históricas e contemporâneas. A diversidade de estilos e a busca por uma identidade arquitetônica única, frequentemente com influências clássicas ou ecléticas, marcaram as fachadas desse período. Um exemplo notável no Brasil é o Museu de Mineralogia (1992, Figura E), de Éolo Maia e Sylvio de Podestá, em Belo Horizonte, Minas Gerais. A estrutura audaciosa do edifício é composta por uma variedade de materiais, incluindo chapas de aço de indústrias metalúrgicas e pedras como quartzito, ardósia e pedra-sabão.

Na década de 2000, novas práticas arquitetônicas foram adotadas, introduzindo novas formas viabilizadas pela inovação tecnológica nos materiais de construção. Materiais como vidro e alumínio continuaram a ser utilizados, junto a outros, resultando em composições que enfatizavam a singularidade dos projetos e a liberdade de expressão arquitetônica, culminando em edifícios com identidades visuais únicas. Um exemplo disso é o Museu Oscar Niemeyer (2002, Figura F), projetado pelo arquiteto, localizado em Curitiba, Paraná.

Com a chegada do século XXI, a arquitetura passou por uma transformação significativa, marcada pela tentativa de criar uma relação mais equilibrada entre utilidade e beleza. Essa fusão deu origem a formas inovadoras e desconstruídas (Figuras G e H), desafiando a uniformidade das fachadas tradicionais e trazendo novas possibilidades formais e plásticas. Conforme citado por Cardoso (2022), as fachadas dos prédios modernos frequentemente incluem tecnologias voltadas para a sustentabilidade, como sistemas de controle climático passivo, além da utilização de materiais com alta eficiência energética. Essas inovações tecnológicas não só ampliam a função das fachadas como elementos práticos, mas também ressaltam sua relevância como partes da expressão arquitetônica (Figura 7).

Figura 7 - O fenômeno da verticalização e do vidro (Lisboa)



Fonte: Autora (2024)

De maneira geral, a indústria da construção civil ingressou na era da alta tecnologia. Novos materiais e métodos estão criando um cenário inovador. Um dos aspectos que se destaca na análise das construções é o sistema de envidraçamento dos

edifícios, que não apenas desempenha a função de fechamento, mas também adquire um status de revestimento, cobrindo completamente a fachada. Esse sistema atende a uma variedade de exigências e necessidades, considerando aspectos estéticos, funcionais, técnicos e racionais. Assim, a utilização desses materiais, conforme o que Cardoso (2022) denomina de fachadas cósmicas¹¹, é frequentemente marcada por padrões lineares e elementos abstratos e simétricos (Figura 8).

Figura 8 - Fachadas Futuristas (Barcelona)



Fonte: Autora (2024)

Cada projeto apresenta suas características únicas, e a escolha do sistema é influenciada pelo clima regional, que varia conforme a latitude, o tipo de vegetação, as estações do ano e a orientação das fachadas. Assim, com o desenvolvimento tecnológico, os arquitetos buscam soluções que melhorem o desempenho dos ambientes internos, utilizando técnicas de construção e selecionando materiais que favoreçam o isolamento térmico.

¹¹ Conceitos futuristas, inovadores, que utilizam formas e materiais modernos, como superfícies reflexivas, vidro e metais, criando uma sensação de "tecnologia avançada" ou estética espacial.

Para se adequar às construções e demandas do mercado, os critérios estéticos, funcionais e de eficiência são aplicados com o objetivo de assegurar e promover a incorporação de tecnologias que economizam energia, como painéis solares, sistemas de sombreamento, isolamentos térmicos de alta performance e materiais autoadesivos de proteção solar. Em contraste, em determinadas áreas, a incidência de radiação solar é benéfica, pois diminui a necessidade de energia para aquecimento e o aumento de temperatura dentro do edifício, independentemente das variáveis dos elementos que formam a sua envoltória.

2.2 CENÁRIO: O POTENCIAL DO VIDRO NA ARQUITETURA

A integração de elementos inteligentes no design de fachadas envidraçadas tem se destacado como uma tendência contemporânea, refletindo a busca por soluções que aliam sustentabilidade, funcionalidade e aparência. Esses componentes incluem padrões visuais ou revestimentos que ajudam a tornar o vidro mais visível para as aves, reduzindo colisões acidentais.

Ao adotar a ideia de sustentabilidade, o vidro desempenha um papel relevante na estrutura do edifício, sendo um dos materiais mais maleáveis em sua aplicação, configurando-se atualmente como um elemento imprescindível para a estética e funcionalidade na arquitetura contemporânea. De acordo com as observações de Queiroz (2023), o impacto do vidro no controle climático do prédio está diretamente relacionado ao seu nível de transparência, à extensão das aberturas, à interação com dispositivos de controle solar e à aplicação de revestimentos visíveis que contribuem para atenuar o desempenho térmico e óptico dos vidros.

A interação entre arquitetura urbana e natureza tem sido um tema crescentemente relevante na contemporaneidade. As fachadas envidraçadas, embora esteticamente atrativas e funcionais em termos de iluminação natural e vistas panorâmicas, apresentam um desafio significativo para a vida selvagem, especialmente aves. A reflexão e transmissão de luz nestes materiais muitas vezes confunde os pássaros, levando a colisões frequentes que podem resultar em ferimentos e mortes.

O principal problema enfrentado, segundo Motta (2021), é a alta taxa de impactos de aves em fachadas envidraçadas, resultante da falta de visibilidade do vidro para os

pássaros durante o voo. Isso representa uma ameaça crescente para a avifauna, impactando negativamente as populações de espécies e comprometendo os esforços de conservação em ambientes urbanos.

2.2.1 Especificidades nas fachadas envidraçadas

A arquitetura contemporânea busca constantemente soluções inovadoras que aliam estética, funcionalidade e sustentabilidade. Entre os avanços mais promissores, destacam-se os materiais inteligentes, como o filme termocrômico, que têm potencial para transformar o desempenho das edificações. Aplicado em fachadas envidraçadas, este elemento responde à variação de temperatura, alterando sua transparência e reduzindo a incidência de calor, sem comprometer a luminosidade natural, e ajusta suas propriedades ópticas de acordo com as condições ambientais.

Além de melhorar a eficiência energética, essa tecnologia pode oferecer vantagens estéticas e de conforto térmico, contribuindo para o desenvolvimento de construções mais eficientes e sustentáveis. Dada a crescente preocupação com o consumo energético nas edificações, o estudo do uso de filmes termocrômicos em envoltórias de vidro ganha relevância, oferecendo uma alternativa promissora para equilibrar eficiência e design.

De acordo com Ferreira *et al.* (2023), o filme termocrômico apresenta uma solução viável para a redução do consumo energético em edificações, proporcionando controle passivo da temperatura interna. Isso não apenas possibilita um ambiente mais confortável para os ocupantes, minimizando o brilho excessivo e o superaquecimento, mas também contribui para a redução do consumo de energia, diminuindo a necessidade de ar-condicionado, conforme aponta Dias (2021, p. 8).

Por outro lado, em condições de baixa luminosidade ou dias nublados, o vidro com aplicação da película termocrômica pode permanecer claro, permitindo a máxima entrada de luz natural. Isso não só promove uma sensação de espaço aberto e conectado com o ambiente exterior, mas também pode reduzir a necessidade de iluminação artificial durante o dia, economizando energia e promovendo um ambiente mais sustentável (Ferreira *et al.*, 2024).

Com todo avanço tecnológico, o uso do vidro com filmes inteligentes em projetos arquitetônicos requer pesquisa cuidadosa, planejamento detalhado e consideração das necessidades específicas do edifício e de seus usuários. Segundo Cardoso (2019), seu potencial para transformar edifícios envidraçados em estruturas mais eficientes e confortáveis faz dele uma opção factível para arquitetos, designers e desenvolvedores interessados em criar espaços que não apenas respondam às demandas contemporâneas, mas também abracem o futuro sustentável da construção urbana.

2.2.2 Conceito projetual de fachadas

Pesquisas exploratórias foram conduzidas para discutir novas formas projetuais de fachadas inspiradas nos conceitos sustentáveis com validação e intensificação do uso da tecnologia adaptativa inteligente. Atualmente, estão sendo exploradas por arquitetos, engenheiros e designers para melhorar a performance que envolve a aplicação de um recorrente sistema, com o objetivo de gerar invólucros para os edifícios que respondam aos diferentes estímulos ambientais. Segundo Achten (2014), estudos indicam que a criatividade do design encontra soluções de projetos e buscam contribuições relevantes no processo de desenvolvimento de produtos com função inteligente nas condições de ambientes internos e externos.

Nos últimos anos, o campo da arquitetura tem evoluído significativamente, especialmente com a emergência de novas tecnologias que visam a melhoria do desempenho termoenergético das edificações e a mitigação de impactos ambientais, como a colisão de pássaros em fachadas de vidro. A crescente preocupação com a sustentabilidade e a eficiência energética tem impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de soluções inovadoras. Segundo estudos recentes, a utilização de películas inteligentes nas fachadas de edifícios representa uma solução promissora, uma vez que essas tecnologias não apenas regulam a transmitância solar, mas também contribuem para o conforto térmico e a redução do consumo de energia nas construções. Essa dualidade de benefícios é fundamental para atender às demandas contemporâneas de um ambiente construído mais sustentável e responsável. A inovação no uso de películas inteligentes é um reflexo das novas abordagens que

buscam integrar estética e funcionalidade, promovendo a harmonia entre as edificações e o meio ambiente.

2.2.3 Condições de conforto térmico no ambiente

O conforto térmico é uma das principais condições de habitabilidade em ambientes construídos, sendo definido como a sensação de bem-estar térmico que os ocupantes percebem em relação ao ambiente ao seu redor. Trata-se de um estado no qual o indivíduo não sente nem frio nem calor excessivo, o que depende da interação entre fatores ambientais — como temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação térmica — e fatores pessoais, como vestimenta e atividade física (Givoni, 1998). O projeto arquitetônico, aliado à escolha adequada de materiais e soluções construtivas, exerce papel fundamental na promoção do conforto térmico, especialmente em climas com grandes variações de temperatura. A adoção de estratégias passivas de climatização, como ventilação natural, sombreamento e isolamento térmico, contribui para reduzir o consumo energético e proporcionar maior qualidade de vida aos usuários dos espaços edificados (Olgyay, 2012).

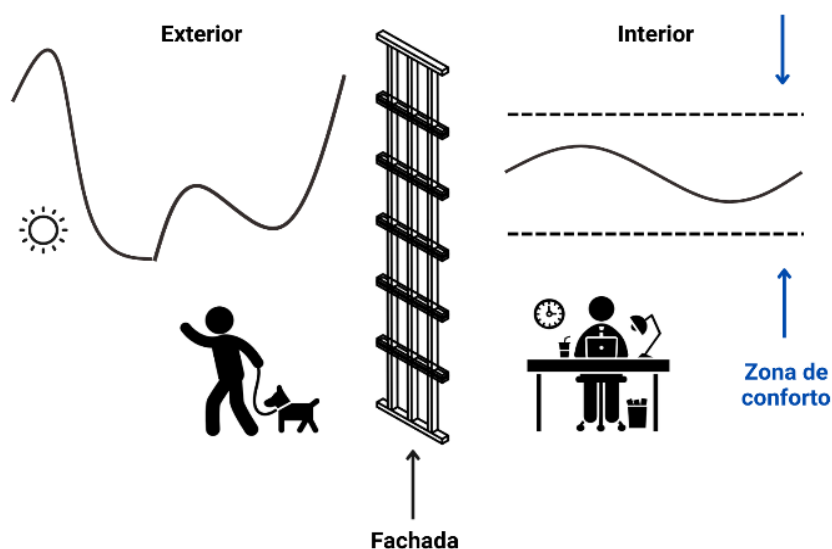
2.2.3.1 Fatores que influenciam o conforto térmico no ambiente

O envelope que faz a conexão do edifício com o meio externo e interno acaba por integrar diversas funções, com informações essenciais técnicas que devem ser exploradas ao máximo para garantir a satisfação do usuário. Esses aspectos podem ser explorados na norma técnica ANSI/ASHRAE 55 (2024) - Condições Ambientais Térmicas para Ocupação Humana - determinação de ambiente térmico satisfatório em espaços ocupados e documentação de conformidade¹².

¹² A ANSI/ASHRAE 55-2023 estabelece critérios para criar ambientes térmicos confortáveis e satisfatórios ocupantes em espaços fechados, por períodos de pelo menos 15 minutos. É direcionada ao design, operação e manutenção de ambientes internos ocupados, e considera fatores ambientais – como temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar – e pessoais – como nível de atividade e vestuário. O objetivo é criar condições térmicas que sejam adequadas para adultos saudáveis em altitudes de até 3000 metros. Para garantir a conformidade com a norma, todas as variáveis de conforto devem ser avaliadas em conjunto, devido à complexidade do conforto térmico, que é influenciado pela interação desses fatores. A norma também fornece métodos para documentar e medir a conformidade dos

O ganho de calor solar é uma questão importante em fachadas de vidro, já que o material permite a passagem da radiação solar. Isso pode resultar no aquecimento dos ambientes internos, especialmente em climas quentes ou em fachadas voltadas para o sol (poente), gerando desconforto e aumentando a necessidade de sistemas de resfriamento (Figura 9).

Figura 9 - Interface entre ambiente interno e externo



Fonte: Ferreira *et al.* (2023, p. 7)

Por outro lado, há também o problema da perda de calor em climas frios. O vidro, por si só, não é um isolante eficiente, o que dificulta a retenção do calor gerado dentro do edifício. Isso pode resultar em ambientes internos mais frios e em maiores custos com aquecimento.

Além disso, a radiação térmica também merece atenção. O vidro pode emitir radiação de volta para o exterior, o que, em áreas próximas a grandes superfícies envidraçadas, pode provocar uma sensação de desconforto térmico. Esse efeito é particularmente perceptível em locais onde há pouca proteção ou isolamento nas fachadas de vidro.

ambientes com esses parâmetros, como o uso de índices de conforto térmico ajustados às atividades e roupas dos ocupantes (ANSI/ASHRAE 55, 2024).

Assim como a pele humana, a fachada é o elemento que compõe os envoltórios da edificação, que funcionam como filtro, e estão diretamente sujeitas às intempéries, destacando-se calor ou frio externos, vento, chuva, granizo e radiação solar. Enfim, de acordo com o guia orientativo para projetos de edificações eficientes, o ganho de calor para o interior da edificação depende do conjunto de considerações dos elementos que compõem a envoltória (Queiroz, 2023).

A envoltória é composta por planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, como por exemplo, fachadas e coberturas. E as características térmicas dos materiais da envoltória contribuem ou não para um bom desempenho térmico e eficiência energética de um edifício (Queiroz, 2023, p.26).

A correta especificação dos componentes da edificação, em conformidade com a Norma de Desempenho, é fundamental, especialmente no que se refere aos elementos que representam os maiores ganhos térmicos da envoltória. Por essa razão, a escolha desses elementos deve ser pautada em critérios que avaliem sua real eficácia térmica (Queiroz, 2023, p. 26).

É importante destacar que as normas da ABNT, como as NBRs aplicáveis, não estabelecem distinções quanto ao nível de sofisticação da obra. O desempenho mínimo exigido deve ser atendido por todas as esquadrias, independentemente do tipo de edificação em que forem instaladas. De acordo com Ferreira (2018), embora seja possível ao arquiteto especificar níveis superiores de desempenho em projetos mais sofisticados, não se admite flexibilização ou renúncia às exigências normativas, mesmo em construções com apelo sustentável.

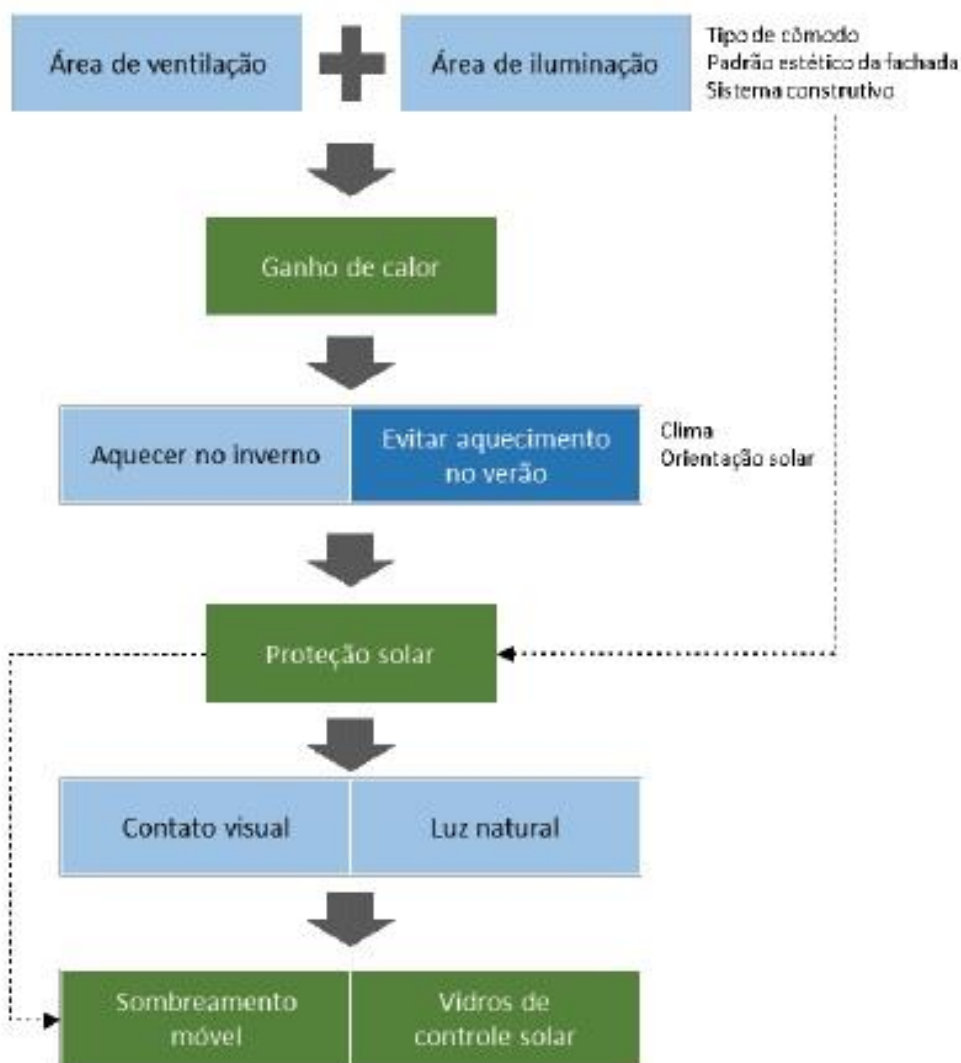
2.2.3.2 Escolha da fachada: um guia de Design e Desempenho

A escolha da fachada de um edifício é uma decisão complexa que vai muito além da estética, influenciando diretamente o conforto ambiental e a eficiência energética. Para simplificar esse processo, é possível seguir uma sequência de análise projetual que considera os principais fatores para o design final.

Inicialmente, o projeto deve definir a necessidade de ventilação e iluminação natural para o ambiente. A área e a posição das aberturas da fachada são importantes, pois influenciam a quantidade de luz e calor que entra no espaço. Um dimensionamento

adequado pode aproveitar o ganho de calor solar em estações frias, reduzindo o consumo de energia para aquecimento. No entanto, em climas quentes, esse mesmo ganho pode sobrecarregar o sistema de resfriamento, aumentando significativamente o consumo de energia (Figura 10).

Figura 10 - Análise de condições projetuais de fachada



Fonte: Sinduscon (2018, p.18)

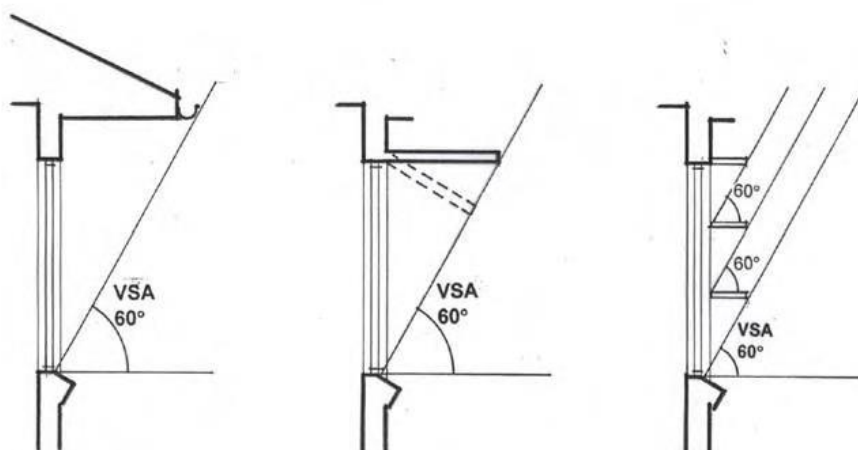
Para controlar os ganhos de calor indesejados, é essencial prever e integrar elementos de proteção solar. A escolha desses elementos depende de diversos fatores, como o tipo de ambiente, o sistema construtivo e o padrão estético desejado. Ao selecionar a proteção solar, é fundamental considerar o equilíbrio entre o controle

térmico e a manutenção do acesso visual com o exterior, além da garantia de um nível adequado de luz natural no interior do ambiente (Sinduscon, p. 17, 2018).

De acordo com Ferreira (2024), cada vez mais é usual recorrer a soluções tecnológicas de modo a aumentar o conforto interior e diminuir o consumo energético. O objetivo destas soluções é conseguir um maior conforto ambiental interior, ao mesmo tempo maximiza as vantagens das grandes áreas envidraçadas.

Como estratégias, as soluções podem ser adquiridas através da escolha de técnicas construtivas e de materiais de isolamento térmico (Figura 11). Para as áreas de envidraçamento que constam em envoltórias atuais, é relevante considerar a orientação dos compartimentos e respectiva exposição e proteção solar.

Figura 11 - Ilustração esquemática de elementos horizontais



Fonte: Callau (2014, p. 36)

Por fim, os elementos de sombreamento podem ser integrados como dispositivos móveis ou fixos, cada um com um nível diferente de proteção solar. A escolha do elemento correto, seja *brises*, uma película ou um padrão na superfície do vidro é decisiva para assegurar que a fachada não só cumpra sua função estética, mas também optimize o desempenho térmico e reduza o impacto ambiental do edifício (Figura 12). Esse processo de análise garante que o design da fachada seja uma solução funcional e sustentável.

Figura 12 - Elementos de sombreamento - BS Design – Fortaleza



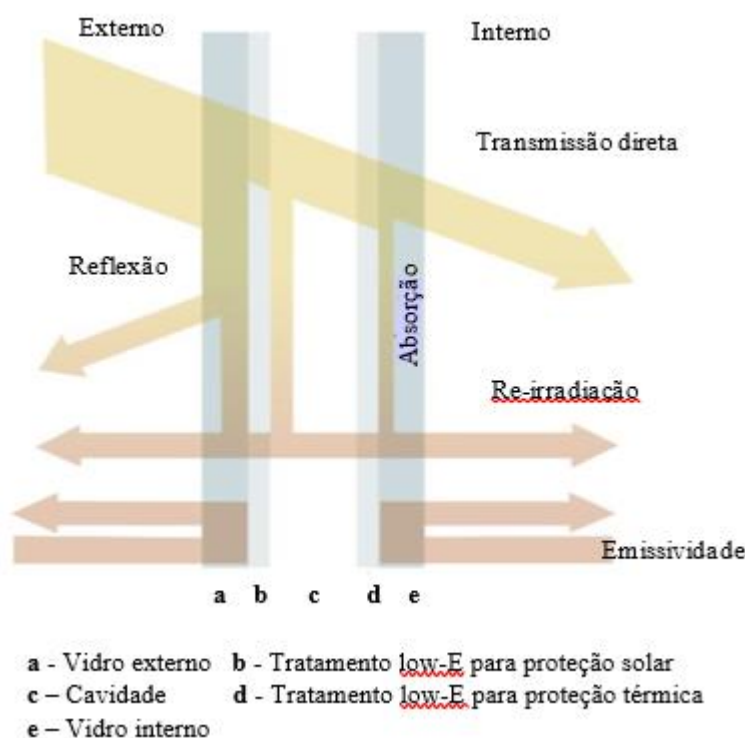
Fonte: Ferreira *et al.* (2022)

2.2.4 Vidros de Controle Solar – Elemento Fundamental

Com o conceito de sustentabilidade e tecnologia, o vidro como revestimento externo se encaixa nos termos do que se considera ecológico e possui desempenho térmico, especialmente projetado para reduzir a entrada de calor e a intensidade da luz solar em edifícios. De acordo com Westphal (2016), o vidro de controle solar tem uma capacidade de reflexão mais alta em comparação com vidros comuns. Isso significa que reflete uma penalidade maior da luz solar incidente, atendendo a quantidade de luz que entra nos ambientes internos da edificação, mas também desempenha um papel importante na proteção contra os raios ultravioleta (UV).

As propriedades de controle solar representam uma parcela da radiação solar que atravessa o vidro na forma de calor (Figura 13). Podem corresponder aos vidros que possuem componentes metálicos, aumentam a reflexão ou absorvem determinada onda de calor. São assim chamados, por receberem óxidos metálicos os quais possuem a propriedade de refletir os raios solares e consequentemente a entrada de calor nos ambientes internos (Westphal, 2016).

Figura 13 - Radiação solar no vidro de controle solar duplo



Fonte: Queiroz (2023)

Portanto, além dos benefícios de controle solar e eficiência energética, Queiroz (2023) explica que uma das técnicas de tratamento mais econômicas para o vidro é a aplicação de filmes metalizados em sua superfície, alterando suas características de refletância e absortância, além da emissividade (vidro *low-e*¹³). A escolha equivocada do vidro a ser utilizado no fechamento das envoltórias pode gerar edifícios com grande desconforto térmico e alto consumo. Esse fato ocorre caso não sejam utilizados vidros especiais que minimizem o efeito térmico causado pela radiação solar.

A tecnologia atualmente empregada na fabricação de vidros para fachadas, associada a um projeto arquitetônico eficiente e a materiais de qualidade e desempenho comprovados, pode representar ganhos significativos quanto ao conforto de uma edificação. Os vidros mais modernos são capazes de refletir o calor sem prejudicar a luminosidade transmitida para o interior dos ambientes. (Westphal, 2016).

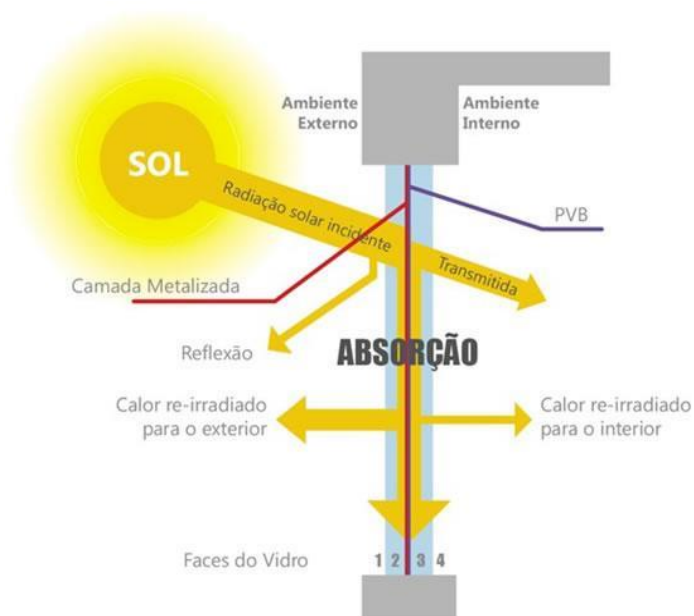
¹³ Vidro que possui uma camada de revestimento com a capacidade de refletir parte da radiação térmica e solar, e permite a redução da transferência de calor através dele.

Isso fez com que o processo de elaboração industrial se moldasse e criasse uma grande variedade de tipos de vidros que podem ter propriedades e características distintas. Segundo a NBR 7199 (ABNT, 2016), onde estabelece as regras gerais para a utilização na construção civil, os vidros são classificados quanto ao tipo, transparência, planicidade, coloração e colocação.

2.2.5 Tipos de vidros para fachadas

Na especificação de referência, o revestimento tem a função de minimizar o ganho de calor solar e pode proporcionar baixa radiação, enquanto permite a passagem de luz. Em termos gerais, pode-se dizer que o revestimento metálico de vidros de controle solar, assim chamado *low-e*¹⁴, funciona como um filtro, aumenta a reflexão para o ambiente externo e reduz a emissividade para o ambiente interno, também pode reduzir boa parte da transmissão de radiação ultravioleta (Figura 14).

Figura 14 - Distribuição da radiação solar sobre o vidro



Fonte: Westphal (2016)

¹⁴ Tipo de vidro especial que possui um revestimento ultrafino de metais nobres, como prata ou óxidos metálicos, que reflete a radiação solar e ajuda a controlar a transferência de calor entre ambientes

Dependendo do tipo de revestimento e sua resistência a intempéries, o importante na escolha do vidro é levar em conta os fatores ambientais locais para verificar a viabilidade do projeto, e possíveis alternativas para contornar problemas de desempenho que as envoltórias possam apresentar.

2.2.5.1 Vidro Float ou comum

O vidro *float* é o tipo de vidro mais comum utilizado na construção civil e na indústria de transformação de vidros. Sua denominação deriva do processo de fabricação desenvolvido na década de 1950, conhecido como processo *float*, no qual o vidro fundido é vertido sobre um leito de estanho líquido. Esse método permite que o vidro se espalhe formando uma superfície perfeitamente plana e com espessura uniforme, devido à ação da gravidade e da tensão superficial entre o vidro e o estanho (Ribeiro, 2018).

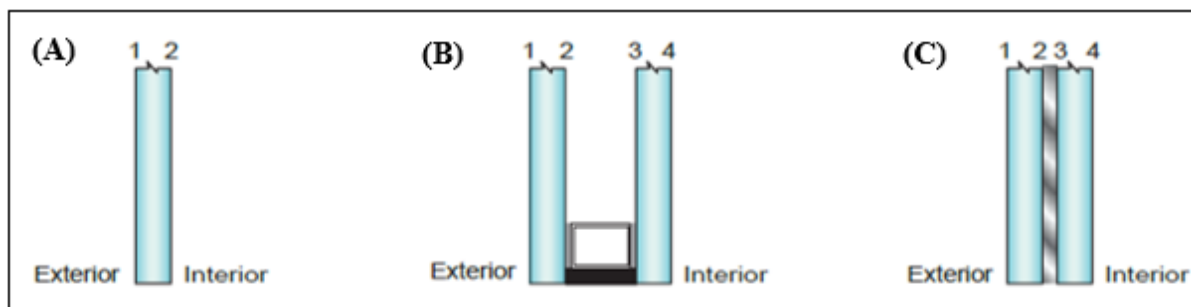
As principais propriedades do vidro *float* incluem transparência, planicidade, uniformidade de espessura, facilidade de corte e alta resistência química. No entanto, trata-se de um material frágil, com baixa resistência a impactos e a esforços mecânicos concentrados, além de apresentar pouca eficiência térmica e acústica quando utilizado sem tratamentos adicionais.

Entre as características técnicas, destaca-se a disponibilidade em diferentes espessuras, geralmente entre 2 mm a 19 mm, e sua coloração naturalmente incolor, embora também possa ser fabricado em versões coloridas por adição de óxidos metálicos, produzidos nas espessuras entre 3mm e 10mm. O vidro *float* pode ser posteriormente submetido a processos de beneficiamento, como têmpera, laminação, serigrafia, entre outros, para adequar-se às exigências estéticas, funcionais ou de segurança (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro, 2022).

O princípio básico para a composição do vidro e sua descrição mais usual na aplicação de diversos modelos de janelas e portas, relaciona-se entre os monolíticos, insulados ou laminado (Figura 15), sendo que o primeiro tem a composição de uma lâmina simples (A), que corresponde a uma única camada; o segundo é composto de duas ou mais lâminas de vidro *float* seladas nas bordas separadas por uma câmara de ar seco, vedada, livres de umidade e vapor d'água, podendo ser composta por duas ou

mais camadas de vidro (B). O terceiro é formado por duas ou mais lâminas de vidro permanentemente coladas, com uma ou mais películas de polivinil butiral (PVB); as lâminas e as camadas podem variar em cor e espessura (C).

Figura 15 - Composição do Vidro *Float*



Fonte: Westphal (2016)

Com a inovação e evolução tecnológica na indústria vidreira, necessidades de novas demandas têm sido incorporadas aos vidros para promover melhorias e garantir a sustentabilidade.

Estudos estão continuamente aprimorando o desempenho térmico e óptico dos vidros. Com a transformação e mudança de paradigmas nas edificações, surge uma nova perspectiva para a evolução da Arquitetura, além das ideias contemporâneas que vêm inspirando alternativas em design.

2.2.6 Soluções Inteligentes – Vidro dinâmico

O vidro dinâmico termocrômico representa uma solução inovadora e eficiente para o controle solar em edificações, com destaque crescente no contexto da arquitetura bioclimática e do design sustentável. Esse tipo de vidro possui a capacidade de reagir de forma autônoma à radiação solar incidente, alterando sua tonalidade em função da elevação da temperatura, especialmente sob a ação dos raios ultravioleta. À medida que a intensidade da radiação aumenta, o vidro escurece progressivamente, reduzindo a transmissão de luz visível e de calor para o interior do ambiente. Tal comportamento resulta em maior conforto térmico e visual para os usuários, além de

contribuir para a redução da carga térmica interna e, conseqüentemente, do consumo de energia com climatização artificial.

Segundo Chohfi (2017), o principal diferencial do vidro termocrômico está no fato de sua ativação não requerer qualquer fonte externa de energia elétrica, tampouco intervenção humana. Trata-se de um processo físico-químico totalmente passivo, que ocorre de maneira automática por meio de mecanismos moleculares sensíveis à temperatura. Essa característica faz com que o material se destaque entre as tecnologias de controle solar inteligente, uma vez que alia funcionalidade, eficiência energética e baixo impacto operacional. Além disso, sua aplicação é especialmente vantajosa em fachadas amplamente envidraçadas, nas quais o controle da radiação solar é importante para manter condições de conforto térmico e reduzir o efeito de ofuscamento, sem comprometer a iluminação natural (Figura 16).

Figura 16 - Vidro termocrômico com mudanças de propriedade baseadas no calor solar



Fonte: Alassaf (2024)

Esses vidros estão ganhando popularidade entre os modelos com características similares. Embora essa tecnologia ainda seja relativamente recente, algumas empresas do setor vidreiro internacional já investiram na sua produção, e com uma pesquisa rápida, é possível encontrar uma diversidade de modelos de vidro termocrômico em diferentes cores e tamanhos.

Estudos recentes têm se concentrado em explorar o fenômeno do termocromismo em diversos setores, gerando avanços significativos. Pesquisas científicas vêm destacando propriedades ópticas e térmicas promissoras para o desenvolvimento de vidros mais sustentáveis, voltados para o conforto energético e térmico. Esse progresso é viabilizado pelo uso de tecnologias de termocromismo e materiais sensoriais aplicados em janelas e fachadas (Costa, Amorim, 2022).

Os vidros termocrômicos, por sua vez, ganham destaque por proporcionar proteção solar passiva, reduzindo a necessidade de sistemas de climatização, o que resulta em economia de energia e maior conforto térmico. Além disso, conforme destacado por Chohfi (2017), os vidros dinâmicos amigáveis às aves foram testados pela *American Bird Conservancy*¹⁵ e demonstraram eficácia significativa, com uma taxa de evasão de aves de 72% em seu estado transparente, ajudando a evitar colisões.

Esse sistema também apresenta um baixo fator de ameaça para a fauna, atendendo aos requisitos do LEED¹⁶ Crédito Piloto 55: Prevenção à Colisão de Aves, que reconhece edificações projetadas de maneira inovadora para evitar esses impactos.

Uma das principais características desse filme é a capacidade de ajustar sua transmissão térmica conforme a temperatura ambiente. Isso significa que, à medida que a temperatura externa aumenta, a película termocrômica se torna menos translúcida, bloqueando mais radiação solar e reduzindo a entrada de calor nos espaços internos. Por outro lado, quando a temperatura externa diminui, o filme se torna mais translúcido, permitindo uma maior entrada de luz natural no ambiente (Figura 17). Segundo Cui (apud Ferreira *et al.*, 2024, p. 3), essa tecnologia aplicada ao vidro tem se expandido globalmente devido aos seus benefícios em termos de desempenho térmico e economia de energia.

¹⁵ Organização sem fins lucrativos com a missão de conservar as aves selvagens e seus habitats nas Américas.

¹⁶ LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) é utilizado em mais de 160 países e consiste em um sistema internacional de certificação para construções sustentáveis.

Figura 17 - Fachada com aplicação do vidro dinâmico



Fonte: Chohfi (2017)

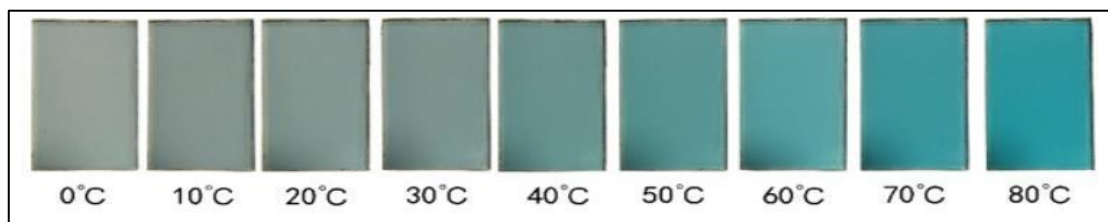
Em se tratando de um modelo industrializado, a aplicação de vidro termocrômico em fachadas deve considerar alguns fatores essenciais para o sucesso da construção: o estilo arquitetônico predominante na região, a incidência de luz solar sobre a fachada, a eficiência energética para controlar e reduzir o consumo de energia, a harmonização visual com o entorno, e o impacto ambiental, priorizando alternativas sustentáveis e materiais de baixo impacto, especialmente no contexto urbano.

2.2.6.1 Definição e funcionamento – Termocromismo

O termocromismo refere-se à característica de determinados materiais que alteram sua coloração em resposta a mudanças de temperatura. Essa transformação é resultado de modificações na estrutura molecular do material ou na maneira como as moléculas interagem com a luz à medida que a temperatura oscila (Salamat, *et al.*, 2019). Os materiais que apresentam essa propriedade podem ser líquidos, sólidos, polímeros ou até mesmo cristais líquidos.

Em relação a materiais de ponta e aplicações tecnológicas avançadas, o termocromismo se manifesta também em setores como arquitetura e construção civil, onde vidros e revestimentos termocrômicos são empregados para o controle passivo da temperatura em edificações. Esses materiais tornam-se mais claros ou escuros conforme a temperatura ambiente muda (Figura 18), ajudando a diminuir a necessidade de aquecimento ou resfriamento artificial, o que resulta em economia de energia e maior conforto térmico (Ferreira *et al.* 2024).

Figura 18 - Alteração da cor conforme a submissão ao calor

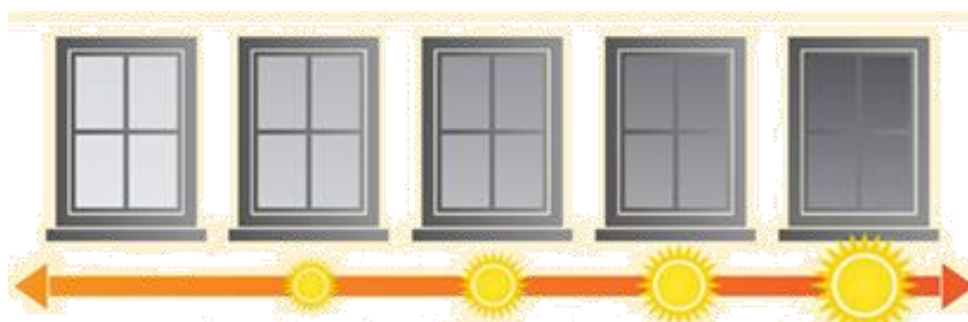


Fontes: Mornglass (2021)

A alteração da cor em vidros termocrômicos ocorre como resposta direta à elevação da temperatura superficial, em especial quando o material é exposto à radiação solar intensa. Esse fenômeno é resultado de um processo físico-químico em que os materiais ativos incorporados ao vidro — geralmente compostos de óxidos metálicos, como o dióxido de vanádio (VO_2) — sofrem uma mudança de fase cristalina ou reorganização molecular ao atingirem uma temperatura crítica, normalmente em torno de 68 °C (Gratzel; Reis, 2015).

Ao serem aquecidas, essas partículas mudam suas propriedades ópticas, passando de um estado translúcido ou transparente para um estado mais opaco ou escurecido, reduzindo assim a quantidade de luz visível e radiação infravermelha que atravessa o vidro (Li, *et al.*, 2016). Esse escurecimento é reversível: quando a temperatura do material retorna a níveis mais baixos, o vidro recupera gradualmente sua transparência original (Figura 19), sem prejuízo à sua funcionalidade e durabilidade. Essa transição é baseada em um mecanismo de comutação de fase, no qual o VO_2 passa de uma fase monoclinica (semicondutora) para uma fase tetragonal (metálica) sob calor (Morin, 1959; Granqvist, 2007).

Figura 19 - Propriedade de transparência do vidro



Fonte: Archglass (2019)

O controle passivo da radiação solar proporcionado por esse tipo de vidro torna-se especialmente vantajoso em climas quentes ou em fachadas muito expostas, pois contribui para a redução da carga térmica interna, melhora o conforto dos usuários e diminui a demanda por sistemas de climatização artificial. Além disso, por dispensar o uso de eletricidade, sensores ou comandos manuais, o vidro termocrômico destaca-se como uma solução sustentável, com baixo impacto operacional e alta eficiência energética (Zhang *et al.*, 2020).

2.2.6.2 Composição do vidro dinâmico termocrômico

A composição do vidro termocrômico, que envolve laminação¹⁷ e a utilização de películas PVB¹⁸ oferece barreiras parciais contra a transmissão de calor. A quantidade de iluminação natural no ambiente também é influenciada pelas características ópticas e pela coloração dos vidros utilizados. No caso dos vidros termocrômicos, a aplicação de uma película sensível à temperatura pode ser realizada em diversos tipos de substrato, incluindo vidros temperados e laminados (Figura 20).

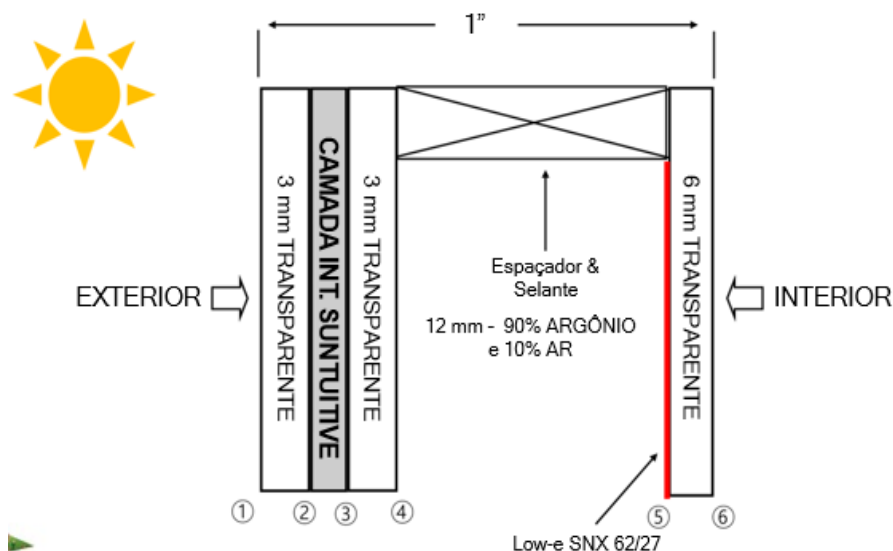
Essa adaptabilidade amplia significativamente as possibilidades de aplicação da tecnologia, permitindo sua incorporação tanto em novas construções quanto em projetos de *retrofit*.

A viabilidade de converter vidros convencionais em superfícies inteligentes por meio dessa película é considerada uma das principais apostas do setor vidreiro para a popularização dos vidros termocrômicos nos próximos anos, especialmente diante das demandas por eficiência energética e conforto ambiental nas edificações.

¹⁷ Processo utilizado para unir diferentes camadas de materiais, com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas, estéticas ou de proteção.

¹⁸ PVB (Polivinil Butiral) matéria prima utilizadas na fabricação de vidro laminado, é uma resina plástica e elástica aplicada entre as chapas de vidro.

Figura 20 - Composição dos vidros + películas



Fonte: Chohfi (2017)

Ademais, a possibilidade de combinar a tecnologia de termocromia com outros tipos de vidro especial, como o *Low-e* ou vidro duplo, é uma solução eficaz para superar uma leve limitação do vanádio (VO_2), que apresenta índices medianos de isolamento térmico.

Além do ganho técnico, essa combinação contribui para a longevidade e estabilidade do sistema envidraçado, uma vez que reduz o esforço térmico repetitivo sobre o material termocrômico, prolongando sua vida útil. Dessa forma, a associação entre tecnologias complementares representa um caminho promissor para a consolidação dos vidros inteligentes no mercado, atendendo tanto às exigências normativas de desempenho quanto às demandas crescentes por soluções sustentáveis e de alto rendimento.

Entretanto, a contribuição para o campo do design é de proporcionar discussões em torno da implantação de novos produtos como alternativa a favor da sustentabilidade e serão referências importantes para quem deseja entender e implementar práticas de design que protejam os pássaros em áreas urbanas, especialmente em relação às fachadas envidraçadas.

2.3 ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS EM FACHADAS ENVIDRAÇAS

2.3.1 Vitrificação Linear – Vidros com Impressão Digital

A evolução das tecnologias aplicadas ao vidro tem permitido o desenvolvimento de soluções cada vez mais sofisticadas e personalizadas para arquitetura, design e comunicação visual. Entre essas inovações, destaca-se a vitrificação linear com impressão digital, um processo que alia estética, funcionalidade e desempenho técnico. Essa técnica consiste na aplicação de tintas cerâmicas vitrificadas sobre o vidro por meio de impressoras digitais (Figura 21), seguida da queima em forno de têmpera ou recozimento, promovendo a fixação permanente da imagem na superfície do material (Fabiano, 2016).

Figura 21 - Impressão digital vitrificada (Harlem Hospital Center)



Fonte: Flickr (2025)

A impressão digital em vidro oferece uma ampla gama de possibilidades criativas, ao mesmo tempo em que proporciona resistência a agentes externos, estabilidade das cores e durabilidade. Além disso, esse tipo de tratamento contribui para o controle solar, privacidade e comunicação visual de fachadas, painéis internos e mobiliário urbano, tornando-se um recurso cada vez mais utilizado por arquitetos e designers (Menezes; Silva, 2020).

Segundo Granzotto *et al.* (2018), a utilização de técnicas como a vitrificação linear permite reproduzir padrões gráficos de alta resolução e grande riqueza cromática,

atendendo a requisitos específicos de projetos personalizados e sustentáveis. A sustentabilidade, aliás, é um aspecto relevante, pois as tintas utilizadas são livres de solventes orgânicos e metais pesados, alinhando-se às práticas de construção verde (Santos; Lima, 2021).

Por um lado, a técnica permite o uso de uma paleta de cores básica para criar qualquer margem, podendo permanecer intacta por mais de 50 anos sem despigmentar, mesmo quando expostos às intempéries (Lipowicz, 2021).

O vidro com impressão digital mantém a qualidade de sua imagem e cores por muito tempo, pois em seu processo de fabricação, a tinta se funde ao vidro, não desgastando a imagem nem desbotando as cores, como acontece com os vidros pintados a frio. O material também é resistente ao sol, chuva e intempéries e se mantém intacto por mais de meio século. (Lipowicz, 2021, p. 10).

A técnica pode ser utilizada em vários tipos de vidro, como laminados, insulados e até vidros jumbos (vidros com dimensão especial de 3210mm x 6000mm com espessuras variadas). Assim, os vidros com impressão digital abrangem muitas possibilidades de aplicações. O método só pode ser aplicado no vidro por um processo de têmpera aquecida e resfriada, após o processo de impressão, se torna resistente também a ações mecânicas, já que será temperado a 600° C durante a produção.

As aplicações permitem a criação de desenhos podendo controlar a transparência da imagem e absorção dos raios UV (Figura 22), benefícios como economia de energia e bem-estar em espaços naturalmente iluminados.

Figura 22 - Processo de desenvolvimento artístico



Fonte: Vidro impresso (2019)

No Brasil, a tecnologia de vitrificação linear com impressão digital em vidro tem ganhado espaço nas últimas décadas, impulsionada tanto pelo avanço de equipamentos especializados quanto pela crescente demanda por soluções arquitetônicas personalizadas e sustentáveis. Embora o processo tenha sido inicialmente difundido em países da Europa e América do Norte, sua adaptação ao contexto brasileiro acompanha o crescimento do setor da construção civil e da arquitetura de alto padrão, especialmente em grandes centros urbanos como São Paulo, Curitiba e Belo Horizonte (Figura 23).

Figura 23 - Evolução da fachada vitrificada no Brasil (a) Edifício em Ibirapuera (SP) e (b) Edifício Home Design (SP)



Fonte: Brazilglass (2019)

Empresas brasileiras têm investido na aquisição de impressoras digitais de alta performance, como as que utilizam tecnologia *drop-on-demand*¹⁹ com tintas cerâmicas vitrificadas, permitindo a reprodução de imagens em alta resolução diretamente sobre o vidro. Essa tinta é posteriormente fundida ao vidro por meio de um processo de têmpera ou recozimento, garantindo resistência à abrasão, umidade, radiação UV e intempéries, o que é especialmente relevante no clima tropical brasileiro (Rodrigues; Souza, 2019).

A adoção da impressão digital em vidro no Brasil também está associada a projetos arquitetônicos que buscam aliar estética, conforto térmico e eficiência

¹⁹ Refere-se a uma tecnologia de impressão em que gotas de tinta são ejetadas apenas quando e onde são necessárias para formar uma imagem. As impressoras DOD ejetam gotas individualmente, apenas quando um ponto ou linha específico precisa ser impresso.

energética. Fachadas ventiladas, *brises*, divisórias internas e elementos de comunicação visual vêm explorando essa tecnologia como forma de unir identidade visual à funcionalidade. Além disso, a normativa técnica brasileira, como a ABNT NBR 16023:2011, tem contribuído para padronizar o uso do vidro impresso com fins de segurança e desempenho (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2011).

Pesquisadores de instituições como a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e a Universidade de São Paulo (USP) também têm explorado a impressão digital em vidro em estudos voltados para o design, sustentabilidade e inovação nos sistemas construtivos. Conforme destaca Carvalho (2022), o Brasil apresenta potencial para ampliar o uso dessa tecnologia em edificações públicas e privadas, especialmente em iniciativas alinhadas à arquitetura bioclimática e ao uso de materiais duráveis com baixa manutenção.

Em suma, a vitrificação linear com impressão digital representa um avanço significativo na transformação do vidro em um meio expressivo e funcional. Sua aplicabilidade interdisciplinar evidencia a importância de compreender os aspectos técnicos e estéticos envolvidos nesse processo, bem como sua inserção nas práticas contemporâneas da construção civil e do design.

2.3.1.1 Técnica de Impressão Digital

A impressão digital em vidro é uma técnica que permite transferir imagens, padrões, textos ou grafismos diretamente sobre a superfície do vidro, utilizando tintas cerâmicas especiais. Esse processo é realizado com equipamentos de alta precisão, semelhantes às impressoras jato de tinta, mas adaptados para trabalhar com substratos rígidos como o vidro. A principal vantagem dessa tecnologia é a possibilidade de personalização em alta resolução, aliada à durabilidade e resistência dos materiais aplicados.

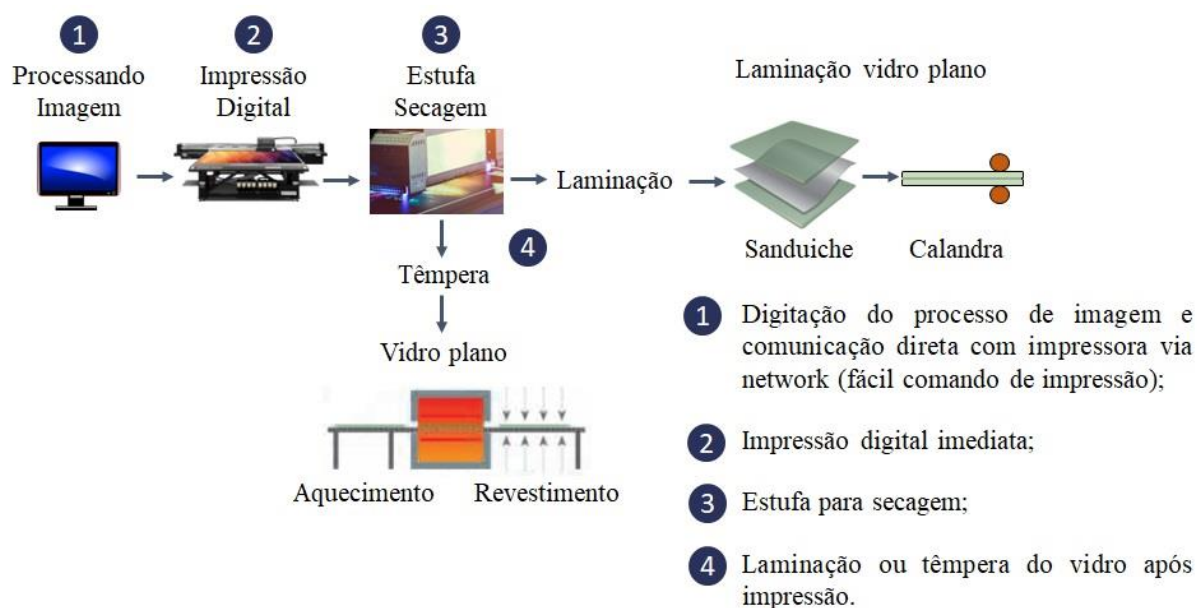
O processo começa com a preparação do arquivo digital, geralmente em formato vetorial ou de imagem rasterizada, que será enviado para a impressora. Essa impressora digital — frequentemente equipada com cabeçotes piezoelétricos ²⁰ — aplica tintas

²⁰ Utilizados em impressoras jato de tinta, funcionam através do efeito piezoelétrico: cristais que se deformam quando uma corrente elétrica é aplicada, forçando a tinta a sair pelo bico. Esta técnica permite

cerâmicas vitrificadas diretamente sobre a superfície do vidro, com tecnologia do tipo *drop-on-demand*. Essas tintas são compostas por pigmentos inorgânicos em base vítrea, o que permite sua fusão ao vidro no estágio seguinte do processo.

Após a impressão, o vidro é submetido a um processo térmico de têmpera ou recozimento, onde as tintas cerâmicas são vitrificadas — isto é, fundidas ao substrato de vidro a temperaturas que podem ultrapassar $\sim 600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 24). Esse tratamento térmico não apenas fixa permanentemente a imagem, como também aumenta a resistência mecânica e térmica do vidro (Silva; Machado, 2020).

Figura 24 - Esquema de impressão digital no vidro plano



Fonte: Autora (2024)

A técnica oferece controle preciso sobre a opacidade, transparência e densidade da impressão, sendo possível criar efeitos gráficos sofisticados com controle solar, privacidade seletiva e propriedades antiofuscantes (Figura 25). A impressão digital pode ser feita em painéis únicos ou grandes formatos, com continuidade visual, e é compatível com vidros *float*, temperados, laminados e até vidros duplos (insulados).

alta precisão e confiabilidade na impressão, sendo utilizada em diversas aplicações, incluindo impressoras de grande formato e impressoras industriais.

Figura 25 - Processo de impressão digital



Fonte: Hopsonglass (2023)

O uso de ferramentas de *software*, como a calculadora de desempenho de vidro impresso, facilita o cálculo de economia de energia de projetos de superfície antes da impressão. Os vidros podem ser impressos com um padrão diferente e as opções de dimensões (1200mm x 2200mm; 1400mm x 2600mm; 2800mm x 3700mm e 3210mm x 6000mm), com espessuras variadas entre 3mm e 19mm) que variam de acordo com a escolha das chapas (Vidro impresso, 2020).

De acordo com Moreira e Castro (2018), a impressão digital em vidro representa uma convergência entre design, engenharia e tecnologia, promovendo aplicações que vão desde fachadas arquitetônicas até mobiliário urbano e peças decorativas. Além disso, por utilizar tintas livres de solventes orgânicos e gerar baixo desperdício, a técnica é considerada ambientalmente responsável.

2.3.2 Interferências Gráficas – Vidros Serigrafados

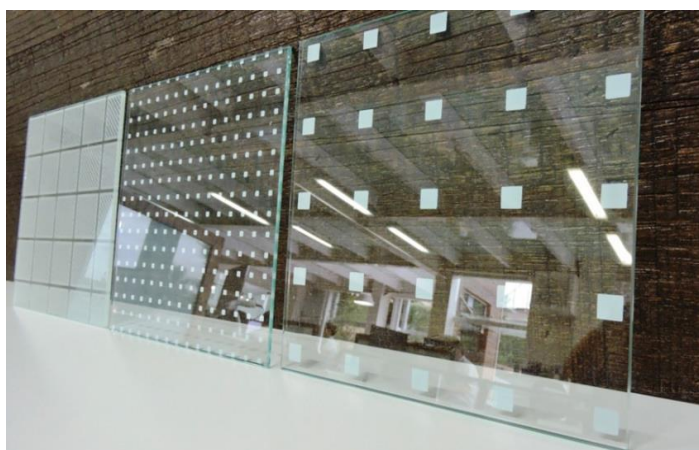
O vidro serigrafado caracteriza-se pela aplicação de tinta cerâmica sobre a superfície vítrea por meio de processos que garantem alta durabilidade e flexibilidade estética. Essa técnica alia funcionalidade, por meio do controle da transmissão de luz e calor, e personalidade visual, com a possibilidade de criar padrões repetitivos ou imagens complexas (Piva, 2013).

Entre as modalidades de serigrafia, destaca-se a tradicional, realizada por tela de seda, que consiste na deposição de tinta em áreas definidas de uma matriz perfurada, seguida de têmpera para fixação da cerâmica ao substrato vítreo (Lipowicz, 2021). Embora consagrada pela simplicidade e baixo custo em grandes tiragens, essa técnica é limitada à reprodução de cores chapadas e traços sem gradação.

Em contraste, a impressão digital serigrafia em vidro, ou serigrafia digital, utiliza cabeças de jato de tinta específicas para vidros que permitem alta resolução, gradações de cor e personalização sob demanda. Após a aplicação digital, o material é submetido a ciclo térmico de aproximadamente 600–650 °C, promovendo a fusão da tinta cerâmica ao vidro e garantindo resistência mecânica e estabilidade à exposição externa (Martins, 2020).

Esses padrões podem ser personalizados para se adequar ao design da fachada e ao mesmo tempo serem visíveis para os pássaros (Figura 26). Incorporam tecnologia de infravermelho para criar uma superfície visível, devem ser claros e não interferem na estética da fachada.

Figura 26 - Impressão Serigrafada no vidro de fachada



Fonte: vidro impresso (2020)

Atualmente, especialistas estão inovando com uma técnica, onde as possibilidades de transformação são inúmeras; essa tecnologia em vidro requer uma preparação adequada, pois é constituída a partir de imagens de *Raster*²¹, segundo

²¹ Imagens feitas de pixels, pequenos quadrados coloridos que, em grande quantidade, podem formar imagens altamente detalhadas, como fotografias.

Lipowicz (2021), são obtidas via sensoriamento remoto, necessitando de tratamentos complexos para serem utilizadas.

No Brasil a inovação está presente nas fachadas da nova sede da empresa de cosméticos Natura, localizada na capital paulista. Instalou *brises* de vidros temperados laminados de 20 mm, com serigrafia quadriculada. Essas estruturas foram usadas para impedir a entrada do sol no interior do edifício, como na redução das colisões de aves (Figura 27).

Figura 27 - Interferências gráficas de impressão Serigráfica



Fonte: Vidro Impresso (2019)

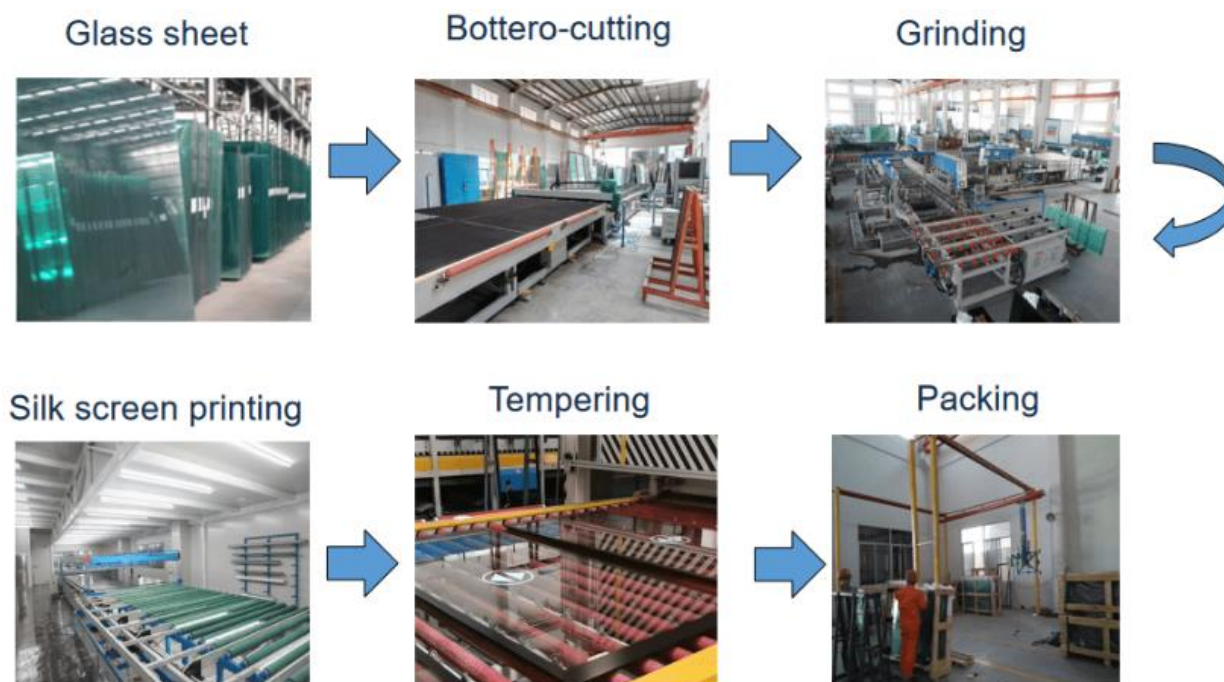
Assim, resulta em uma série de benefícios funcionais nas fachadas, que para a superfície reforça a proteção solar e uma elevada eficiência no interior dos ambientes. Porém, essa inovação é mais adequada à área de fachadas totalmente envidraçadas (Lipowicz, 2021 p.11).

2.3.2.1 Técnica de Impressão Serigráfica

A técnica de impressão serigrafia em vidro envolve uma sequência controlada de etapas que garantem a correta fixação da tinta cerâmica ao substrato vítreo. Primeiramente, o vidro é limpo e preparado para receber a impressão, removendo-se impurezas que possam comprometer a aderência da tinta. Em seguida, posiciona-se a matriz serigráfica (tela) com o desenho desejado sobre o vidro. A tinta cerâmica é então

aplicada com o auxílio de um rodo, que pressiona a tinta através das áreas abertas da tela, transferindo o padrão para a superfície do vidro.

Figura 28 - Processo de produção do vidro serigrafado



Fonte: SZdragonglass (2022)

Após a aplicação da tinta, o vidro serigrafado passa por uma etapa de secagem preliminar para eliminação de solventes. Posteriormente, é conduzido ao forno de têmpera, onde atinge temperaturas entre 600 e 700 °C. Nesse estágio (Figura 28), ocorre a fusão da tinta cerâmica com a superfície vítrea, formando uma camada permanente, resistente a riscos, intempéries e raios ultravioleta (Martins, 2020).

Esse método é amplamente utilizado para produção em larga escala, principalmente em fachadas arquitetônicas, divisórias internas, mobiliário urbano e sinalização, conferindo resistência, estética e funcionalidade ao vidro.

2.3.3 Técnicas de aplicação dos filmes adesivos em vidro de fachada

A aplicação de filmes adesivos em fachadas envidraçadas é uma solução amplamente adotada para o controle solar, eficiência energética, segurança, privacidade e mitigação de impactos visuais, como no caso da colisão de aves. A eficácia

desses filmes depende tanto das propriedades técnicas do material quanto da qualidade de sua aplicação.

É importante considerar as condições ambientais no momento da instalação. Recomenda-se que a aplicação seja realizada em ambientes com temperatura controlada e sem exposição direta ao sol, vento ou poeira, fatores que podem interferir na secagem e aderência do filme (Pereira *et al.*, 2019). O tempo de cura varia conforme o tipo de filme e as condições locais, mas geralmente se estabiliza em até 30 dias.

A aplicação pode ser feita tanto na face interna quanto externa do vidro, sendo a escolha condicionada às características do filme e às exigências do projeto. Filmes aplicados na face externa requerem maior resistência a intempéries, como radiação UV, chuvas e variações térmicas (Gomes *et al.*, 2020).

Além da aplicação tradicional, existem técnicas específicas para filmes com finalidades ambientais, como os filmes anticollisão para aves. Estes demandam padrões visuais contrastantes e são geralmente aplicados externamente, pois os testes demonstram que os padrões visíveis do lado externo são mais eficazes na prevenção de colisões (Klem, 2009).

2.3.3.1 Filme Termocrômico

O filme termocrômico é um material inteligente que apresenta a capacidade de mudar de cor em resposta a variações de temperatura. Essa propriedade está associada à presença de pigmentos termocrômicos, que sofrem transições físicas ou químicas reversíveis, modificando sua estrutura molecular e, conseqüentemente, sua cor aparente. Os filmes têm sido objeto de estudo e desenvolvimento em diversas áreas, incluindo a engenharia, o design de produtos, a arquitetura e a indústria automotiva.

O funcionamento desses filmes baseia-se principalmente em sistemas com leuco corantes²² ou materiais de mudança de fase. Os leuco corantes são substâncias que alternam entre duas formas estruturais, uma colorida e outra incolor, em função da temperatura (Oliveira *et al.*, 2019).

²² Corante cujas moléculas podem adquirir duas formas, uma das quais é incolor

A alteração acontece dentro de uma faixa específica, normalmente entre 27 °C e 45 °C. Uma das principais características dessa película é sua habilidade de ajustar a transmissão de calor conforme a temperatura do ambiente. Com o aumento da temperatura externa, a película adquire uma opacidade maior, impedindo a passagem de uma quantidade significativa de radiação solar e minimizando o ganho de calor no interior do espaço. Por outro lado, quando a temperatura externa cai, o filtro se torna mais claro, permitindo que mais luz natural entre no ambiente interno. Segundo Cui (2018, p. 9), essa inovação tem-se disseminado ao redor do mundo, especialmente por causa das suas vantagens em desempenho térmico e eficiência energética.

Ao considerar um modelo industrializado, a utilização do filme termocrômico em vidros de fachadas de edifícios deve abordar diversos aspectos que favorecem o projeto arquitetônico: a arquitetura característica da localidade, a quantidade de luz solar que incide sobre a fachada, a eficácia energética para gerenciar e minimizar o uso de energia, a harmonia visual com a área circundante e a preocupação ambiental, sempre em busca de soluções sustentáveis e materiais com menor impacto ambiental.

A Figura 29 mostra um modelo de revestimento que proporciona uma transparência autêntica, possibilitando sua utilização em vidros de diversas tonalidades e conciliando a beleza com a utilidade.

Figura 29 - Filme com pigmentos termocrômico



Fonte: Zhao *et al.* (2020); Yin (2009)

Os filmes consistem em materiais funcionais cuja coloração varia de forma reversível em função da temperatura, fenômeno diretamente relacionado à presença de pigmentos termocrômicos incorporados a uma matriz polimérica. A composição desses filmes é projetada de maneira a assegurar não apenas a sensibilidade térmica, mas também a estabilidade física, a durabilidade e a compatibilidade com diferentes substratos e métodos de aplicação.

O componente ativo responsável pela termocromia é o pigmento termocrômico, geralmente composto por um sistema de leuco corante microencapsulado²³. Tais sistemas incluem três elementos principais: o corante leuco (como a cristal violeta lactona), um receptor de prótons (comumente um ácido fraco, como ácido bórico e ácido octadecilfosfônico), e um solvente de mudança de fase, frequentemente um álcool ou éster com ponto de fusão entre 25 °C e 45 °C (Oliveira, *et al.*, 2019).

A matriz polimérica²⁴ atua como suporte físico para o pigmento e é essencial para garantir flexibilidade, transparência e resistência térmica e mecânica. A escolha do polímero depende da aplicação desejada, do processo de fabricação e das propriedades ópticas requeridas. Em aplicações para janelas inteligentes, por exemplo, é comum o uso de PET²⁵ (politereftalato de etileno) ou PVB²⁶ (polivinil butiral) devido à sua transparência óptica e resistência ao impacto (Zhang, *et al.*, 2021).

Conforme mencionado por Chohfi (2017, p. 8), sua utilização ocorre na fabricação de vidro termocrômico — que pode ser laminado ou insulado, com um filme de PVB na camada central. Como demonstrado na Figura 30, esse tipo de vidro oferece uma proteção parcial contra a passagem do calor, e o nível de iluminação nessa região varia de acordo com a coloração e a espessura do vidro empregado.

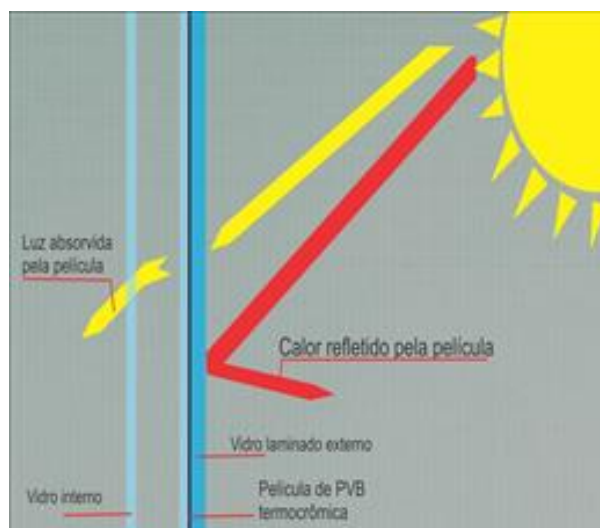
²³ Técnica em que substâncias (sólidas, líquidas ou gasosas) são envoltas em pequenas cápsulas, geralmente feitas de polímeros, para protegê-las ou modificar a sua liberação.

²⁴ Material composto por um ou mais polímeros, ou por um polímero e outros materiais.

²⁵ Polímero termoplástico amplamente utilizado na produção de garrafas, embalagens, fibras têxteis e outros produtos.

²⁶ Camada plástica e flexível utilizada na fabricação de vidro laminado, conferindo maior segurança e outras propriedades.

Figura 30 - Composição do vidro laminado + filtro termocrômico



Fonte: Ferreira et al, (2024)

Embora apresentem inúmeras vantagens, como reversibilidade, sensibilidade térmica e potencial decorativo, os filmes termocrômicos ainda enfrentam desafios quanto à durabilidade, resistência aos raios UV e estabilidade química ao longo do tempo. Pesquisas recentes têm buscado soluções por meio da nanotecnologia e do encapsulamento de pigmentos, visando ampliar a vida útil e a aplicabilidade comercial desses materiais (Li *et al.*, 2020).

Assim, os filmes termocrômicos representam uma vertente inovadora de materiais funcionais, com forte potencial para impactar positivamente a eficiência energética, a estética e a segurança em diversas aplicações industriais e cotidianas.

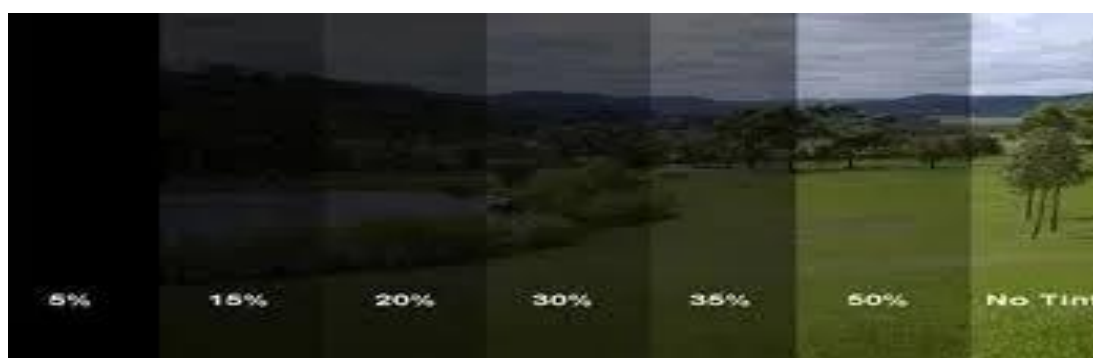
2.3.3.2 Filme Fotocromático

O avanço na área de materiais inteligentes possibilitou o desenvolvimento de superfícies capazes de responder de maneira dinâmica a estímulos ambientais, como é o caso dos filmes fotocromáticos. Estes filmes apresentam a capacidade de alterar suas propriedades ópticas, como cor e transparência, em resposta direta à exposição à radiação ultravioleta (UV). A transformação óptica ocorre por meio de uma reação molecular reversível, na qual compostos orgânicos modificam sua estrutura ao absorverem fótons de radiação UV, escurecendo em ambientes de alta luminosidade solar e retornando ao estado original em ambientes de sombra (Pilato, 2013).

A primeira aplicação industrial dos materiais fotocromáticos foi registrada na década de 1960, nos Estados Unidos, com foco na indústria óptica e, mais especificamente, no desenvolvimento de lentes para óculos que se adaptassem automaticamente à variação de luz natural (Lee *et al.*, 2018). A partir de então, a tecnologia evoluiu e passou a ser incorporada em películas de proteção solar, vidros arquitetônicos, painéis publicitários e componentes automotivos, permitindo soluções de controle solar passivo, conforto visual e economia de energia.

Segundo Kato *et al.* (2017), os filmes fotocromáticos atuais são compostos por camadas de poliéster (PET) ou policarbonato revestidas com corantes fotocromáticos, encapsulados em matrizes poliméricas resistentes a intempéries. Esses compostos são responsáveis pela variação de cor sob a ação da luz solar (Figura 31), apresentando reversão ao estado original em ambientes sem radiação UV.

Figura 31 - Controle de luminosidade



Fonte: Li *et al.* (2020)

O tempo de reação dos filmes fotocromáticos — isto é, a velocidade com que mudam de cor — varia conforme a espessura do filme, a condutividade térmica da matriz e o tipo de pigmento utilizado (Figura 32). Em geral, a ativação (escurecimento), geralmente ocorre em 5 a 30 segundos quando exposto à luz UV e a desativação (clareamento), varia de 1 a 5 minutos, dependendo da temperatura ambiente e da composição química (Zhang *et al.*, 2021).

Figura 32 - Controle de luminosidade



Fonte: Zhang et al. (2021)

A durabilidade depende fortemente da resistência à radiação ultravioleta e à fadiga térmica, sendo de 6 meses a 2 anos em ambientes externos sem proteção UV, podendo superar 5 anos em ambientes internos protegidos, especialmente quando são usados aditivos estabilizantes ²⁷e encapsulamentos resistentes ²⁸(Li *et al.*, 2020).

2.3.3.3 Filme Vinílico

O filme vinil transparente aplicado sobre superfícies envidraçadas tem se mostrado uma solução eficiente para ambientes corporativos que demandam integração visual, proteção e flexibilidade estética. Produzido a partir de policloreto de vinila (PVC) ou materiais similares, esse tipo de filme apresenta propriedades físicas que variam conforme a gramatura (Figura 33).

Distingue-se por sua baixa interferência visual, e permite a manutenção da transparência do vidro, enquanto oferece suporte para impressões gráficas ou laminação protetiva. É possível, por exemplo, aplicar logotipos, faixas ou grafismos

²⁷ Substâncias utilizadas para manter as propriedades físicas e químicas de um material ou produto estáveis, prevenindo alterações indesejadas ao longo do tempo ou durante o processo.

²⁸ Processos que visam proteger componentes eletrônicos e outros materiais contra danos ambientais, mecânicos e químicos, aumentando sua vida útil e confiabilidade.

translúcidos, preservando a luz natural e o campo visual, sem comprometer a estética ou a comunicação institucional (Orafol, 2020).

Figura 33 - Vinil autoadesivo com filme transparente brilhante



Fonte: Orafol (2020)

Do ponto de vista técnico, a gramatura do filme influencia diretamente na sua estabilidade dimensional, resistência à aplicação úmida/seca e durabilidade frente à exposição solar, sendo comercializado com espessuras médias entre 80 μm (micrômetros) indicado para aplicação interna do ambiente, e, 120–150 μm , sendo recomendados para ambientes internos de alto tráfego ou fachadas internas com forte exposição à luz, o que determina sua resistência, durabilidade e grau de manipulação (3M, 2022).

A aplicação requer cuidados específicos, como a limpeza rigorosa da superfície, uso de espátulas e soluções lubrificantes, além da necessidade de condições ambientais adequadas, evitando aplicação de temperaturas extremas ou umidade excessiva. Segundo a empresa, sua durabilidade varia conforme o tipo de vinil e a exposição à radiação solar, oscilando entre 3 e 7 anos em condições típicas de uso externo.

Figura 34 - Adesivo Vinil transparente com impressão digital color



Fonte: 3M (2022)

Em termos de desempenho, o vinil transparente aplicado a vidros pode bloquear até 99% da radiação UV, dependendo do modelo, contribuindo para a preservação de mobiliários e conforto ambiental (Figura 34). Além disso, sua presença dificulta o estilhaçamento do vidro em caso de impacto leve, agregando uma camada secundária de segurança passiva (Moura *et al.*, 2019).

Em síntese, o filme vinil para vidro representa uma alternativa tecnicamente viável, econômica e sustentável em diversos contextos, proporcionando flexibilidade projetual e agregando valor funcional aos elementos de vidro em ambientes construídos. Sua adoção pode estar alinhada com critérios de desempenho, conforto ambiental, comunicação visual e identidade espacial, sendo uma ferramenta importante para arquitetos, designers, engenheiros e gestores de instalações.

2.3.3.4 Filme Anticolisão

Assim, surge nas envoltórias a criação de barreiras de impacto para minimizar os impactos dos arranha-céus. Bons exemplos da tendência do design contemporâneo em harmonia com a natureza são as edificações com aplicação de filmes adesivos inteligentes (Figura 35), denominadas “*bird friendly*” (Chic película, 2023).

Figura 35 - Película Amiga dos Pássaros



Fonte: Chic Película (2023)

O filme anticolisão é uma película adesiva (Figura 35) aplicada sobre superfícies de vidro transparente, cuja função é tornar o vidro visível para as aves, sem comprometer a visibilidade para os humanos. Esses filmes são projetados com padrões visuais específicos — pontos, listras ou formas geométricas — que respeitam o limiar de percepção visual das aves, cuja acuidade é superior à humana, inclusive na faixa do ultravioleta (Sheppard *et al.*, 2015).

Do ponto de vista técnico, esses filmes são geralmente compostos por polímeros transparentes, como o politereftalato de etileno (PET), com revestimentos ópticos ou pigmentos refletivos no espectro UV. Algumas formulações incorporam materiais termocrômicos ou fotocrômicos, que intensificam a visibilidade em diferentes condições climáticas. A aplicação pode ser interna ou externa sobre o vidro, dependendo da durabilidade e da exposição aos agentes atmosféricos (Hager, 2020).

O princípio da eficácia visual desses filmes baseia-se na regra do 2x4 ou 5x10, que consiste na aplicação de elementos visuais com espaçamento de até 5 cm na horizontal e 10 cm na vertical — espaçamentos que impedem que as aves interpretem o vidro como espaço livre para voo. — (Figura 36) (Sheppard *et al.*, 2015).

Figura 36 - Película Amiga dos Pássaros



Fonte: Chic Película (2023)

Além da função preventiva, os filmes anticolisão contribuem com os princípios da arquitetura sustentável e da conservação da biodiversidade, sendo recomendados por instituições como a *American Bird Conservancy*²⁹. Tais tecnologias vêm sendo aplicadas em residências, prédios comerciais, pontes de vidro e corredores ecológicos urbanos.

Estudos demonstram que o uso adequado desses filmes pode reduzir as colisões em até 98%, sobretudo quando utilizados em conjunto com estratégias de design arquitetônico, como sombreamento externo e alteração da inclinação dos vidros (Klem, 2009; Hager, 2020).

Os Estados Unidos da América (EUA) estão introduzindo a película de PVB 3D como resposta ao problema global de colisões entre aves e superfícies de vidro e construções. Essa solução inovadora oferece aos arquitetos e engenheiros a oportunidade de projetar edificações significativas visualmente, enquanto promove a segurança das aves.

²⁹ Organização sem fins lucrativos dedicada à conservação das aves selvagens e seus habitats nas Américas. Sua missão principal é proteger as aves e seus ecossistemas, enfrentando desafios como a perda e degradação de habitats, mudanças climáticas e outras ameaças.

A película transparente PVB 3D (polivinil butiral tridimensional) "amiga dos pássaros" é um tipo especial de *interlaye*³⁰ utilizado em vidros laminados arquitetônicos. Seu principal diferencial está na inclusão de padrões visuais tridimensionais no interior da laminação, visíveis para as aves, mas discretos para os seres humanos (Figura 37). Esses padrões são projetados para interferir no comportamento visual das aves, sinalizando a presença de uma barreira física que, de outra forma, seria transparente e invisível.

Figura 37 - Película Amiga dos Pássaros PVB 3D



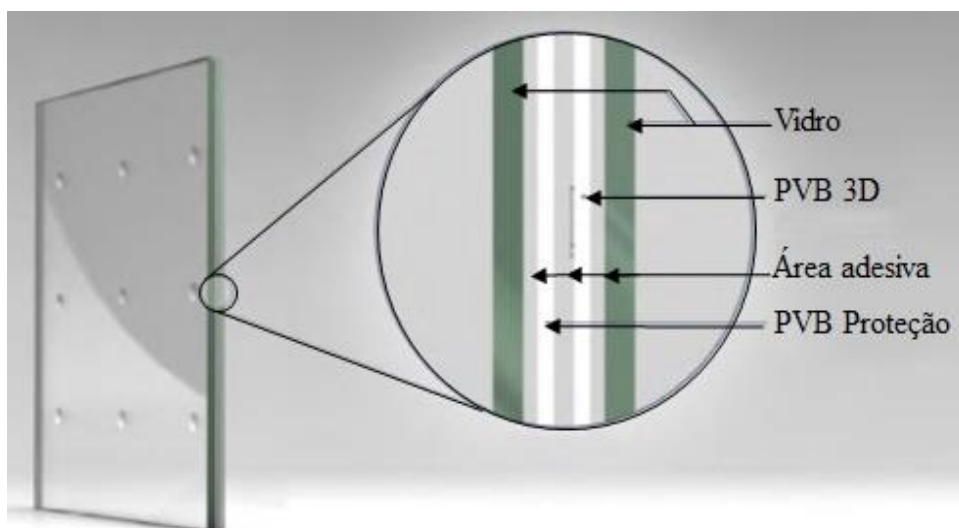
Fonte: Saflex (2024)

Essas marcações são integradas na película durante o processo de fabricação e permanecem encapsuladas entre duas chapas de vidro, o que garante durabilidade, resistência às intempéries e manutenção da estética da fachada.

Estudos indicam que a aplicação de marcações visíveis no exterior das superfícies de vidro reduz significativamente as colisões de aves. A película PVB 3D se mostra eficaz por conter marcadores visíveis no espectro UV e/ou padrões opacos perceptíveis às aves, sem comprometer a transparência do vidro do ponto de vista humano (Sheppard, 2019).

³⁰ Película de camada intermediária

Figura 38 - Película Amiga dos Pássaros PVB 3D



Fonte: Saflex (2024)

O padrão de grade consiste em linhas e colunas em forma de 3D de 9 mm de diâmetro, separadas em todos os lados por intervalos de 90 mm (Figura 38). Esses elementos são embutidos na camada de PVB antes da laminação e, após a montagem com duas placas de vidro, formam um vidro laminado de segurança com propriedades de prevenção de colisões de aves.

De acordo com o fabricante, a película contribui para o crédito piloto LEED para SSpc55³¹, como ajuda a proteger os impactos de aves podendo ser minimizados por arquitetos e produtores de vidro, sem comprometer a segurança, a proteção, a solidez estrutural, a aparência, a filtragem de radiação UV ou a acústica.

2.3.3.5 Técnica de fabricação dos filmes fotossensíveis

A fabricação do filme termocrômico é um processo complexo que envolve múltiplas etapas cuidadosamente executadas para garantir a qualidade e a durabilidade do produto final. O processo começa com a preparação da tinta termocrômica, que é formulada para reagir a variações de temperatura, alterando suas propriedades ópticas,

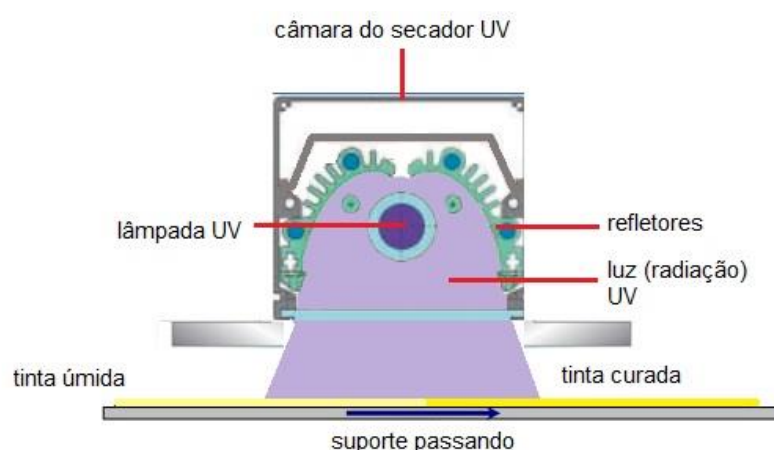
³¹ Dissuasão de Colisão de Pássaros" do LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) visa reduzir a mortalidade de aves por colisão com vidraças e outras superfícies translúcidas.

como a cor e a transmitância de luz. Essa tinta especial é então aplicada sobre um substrato, que geralmente consiste em um filme plástico vaporizado.

A aplicação da tinta no substrato pode ser realizada utilizando diversas técnicas de impressão, como a serigrafia ou a impressão offset, que permitem uma distribuição uniforme da tinta sobre a superfície do filme. Após a aplicação, o material é submetido a um rigoroso processo de secagem, cujo objetivo é remover qualquer traço de umidade residual e acelerar a cura da tinta. Esse passo é crucial, pois a secagem adequada assegura que a tinta adira firmemente ao substrato, prevenindo falhas ou desgastes prematuros durante o uso do filme.

Uma vez que a tinta termocrômica está devidamente seca e curada, o filme segue para a etapa de laminação. Durante essa fase, várias camadas do filme termocrômico são sobrepostas, utilizando adesivos específicos que garantem a coesão entre as camadas. A laminação não apenas aumenta a resistência mecânica do filme, mas também melhora suas propriedades de isolamento térmico e durabilidade. O processo de laminação é finalizado com a aplicação controlada de calor e pressão, que são essenciais para a fusão completa das camadas. Essa combinação de calor e pressão une as camadas de forma permanente, resultando em um filme termocrômico resistente, flexível e durável (Figura 39).

Figura 39 - Composição e processo de fabricação



Fonte: Westphal (2016)

Além disso, o controle rigoroso de cada uma dessas etapas de fabricação é fundamental para garantir que o filme termocrômico mantenha suas propriedades de

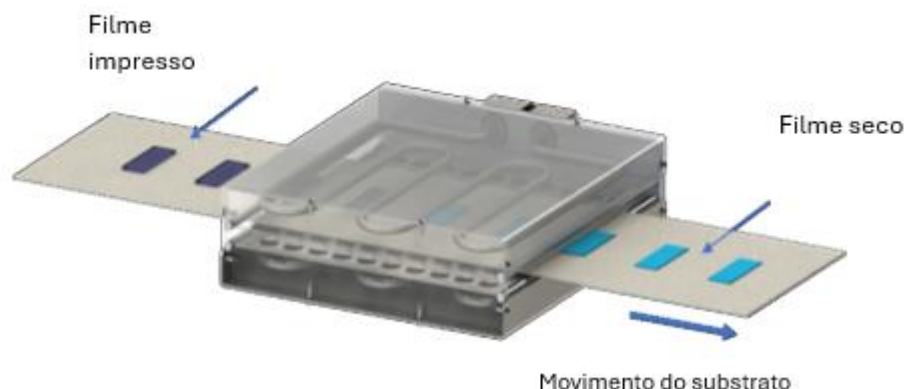
forma consistente ao longo do tempo. A qualidade do produto final depende não só da precisão na aplicação e secagem da tinta, mas também da eficiência do processo de laminação, que deve assegurar a homogeneidade do material e a ausência de imperfeições que possam comprometer seu desempenho.

Essa atenção ao detalhe durante a fabricação é o que permite que o filme termocrômico desempenhe suas funções de forma eficaz em uma ampla variedade de aplicações, desde fachadas de edifícios até dispositivos eletrônicos. A tecnologia utilizada no desenvolvimento desses filtros representa uma fusão de química avançada e engenharia de materiais, resultando em produtos que contribuem para a eficiência energética e o conforto ambiental das edificações onde são aplicados.

Em suma, o processo de fabricação do filtro termocrômico envolve uma série de etapas meticulosas que vão desde a preparação inicial da tinta até a laminação final das camadas do filme. Cada fase é fundamental para garantir que o produto final atenda aos requisitos técnicos necessários para sua aplicação, proporcionando não apenas um controle eficaz da luz e do calor, mas também uma durabilidade que permite sua utilização em condições adversas por longos períodos.

Segundo os autores Cagnani *et al.* (2022, p.345-372), as técnicas de secagem incluem o uso de placas quentes, forno, luz ultravioleta e infravermelha. A escolha depende das propriedades do revestimento utilizado e do processo de composição. Por outro lado, a preferência pela tecnologia relacionada à espessura do filme está ligada à resolução do padrão de impressão e ao processo de cura quando exposto à luz UV. A Figura 40 evidencia o processo de secagem do filme e evaporação do solvente, mostrando o substrato passando por um ambiente com temperatura controlada. Essas composições e procedimentos têm sido foco de pesquisa desde a década de 1980, devido à sua transição de isolador térmico para isolador de temperatura relativamente baixa.

Figura 40 - Sistema de secagem por forno



Fonte: Seebboth, Lotzsch e Ruhmann (2013)

Um questionamento relevante que surge neste estudo é em relação à aplicação desses materiais em edificações envidraçadas no contexto brasileiro. No entanto, poucas empresas nacionais disponibilizam o produto no mercado devido ao alto custo. Esta tecnologia está presente no Brasil desde 2017, conforme comentado por Chohfi (2017) em sua palestra, “a comercialização não é muito conhecida, nem tão utilizada, como outros modelos de vidros que oferecem a mesma proposta”.

Acredita-se que a compreensão das propriedades técnicas, estudos sobre a aplicação e desempenho térmico da película termocrômica no Brasil possam contribuir para a disseminação das potencialidades do material como dispositivo de controle térmico em edificações. Nesse sentido, o próximo tópico abordará os procedimentos metodológicos e casos de aplicação.

A base funcional dos filmes reside na presença de compostos orgânicos fotocromáticos, como espiropiranos, naftopiranos e fulguimidas ³², que sofrem alterações estruturais sob incidência de luz UV, promovendo mudanças no espectro de absorção da luz visível (Henry, 2020).

O processo de fabricação inicia-se com a preparação de uma solução contendo os corantes fotocromáticos dissolvidos em uma matriz polimérica, geralmente à base de poliuretano, PMMA (polimetilmetacrilato) ou acrilatos. A aplicação dessa solução sobre

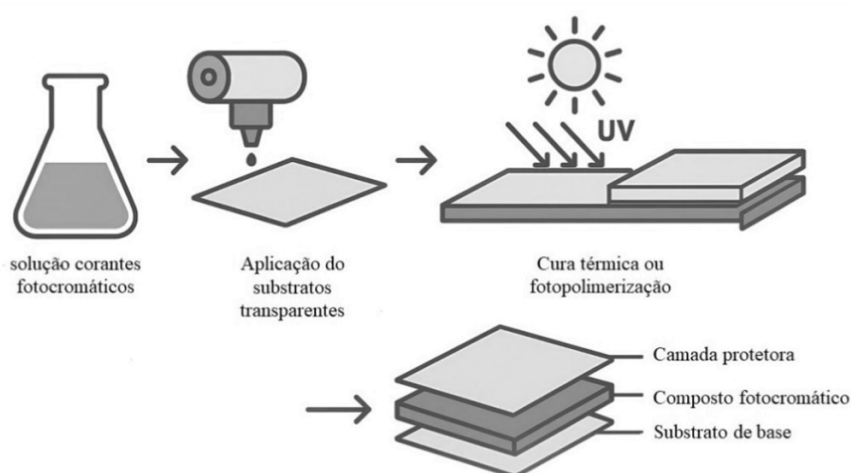
³² São activados por luz UV e reverterem ao estado inicial termicamente, enquanto os diariletenos e as fulgidas sendo activados por radiação UV, só reverterem ao estado inicial por irradiação com luz visível de comprimento de onda variável

substratos transparentes é realizada por métodos como *spin coating*, *dip coating*³³, ou laminação multicamadas. Alternativamente, pode-se usar extrusão³⁴ ou coextrusão³⁵, integrando os corantes diretamente ao polímero durante a moldagem (Souza et al., 2019).

Após a aplicação, o material é submetido a um processo de cura térmica ou fotopolimerização, que solidifica a camada ativa e a adere ao substrato. Em seguida, aplicam-se camadas protetoras com funções anti-risco, bloqueadoras de UV e antirreflexo, visando aumentar a durabilidade e a eficiência óptica do filme (Oliveira et al., 2021).

A estrutura típica do filme fotocromático é composta por três camadas: uma camada superior protetora, uma camada intermediária contendo o composto fotocromático e, por fim, o substrato de base, que pode ser vidro ou plástico (Figura 41). Esse conjunto garante desempenho funcional e resistência mecânica.

Figura 41 - Diagrama ilustrativo do filme



Fonte: Autora (2025)

³³ Dois métodos diferentes usados para aplicar filmes finos em substratos. O *spin coating* envolve a deposição de um líquido em um substrato rotativo, enquanto o *dip coating* envolve a imersão do substrato em uma solução de revestimento

³⁴ Processo de transformação que consiste em forçar um material através de um orifício ou matriz para criar uma forma específica.

³⁵ Processo industrial que extrude simultaneamente múltiplas camadas de diferentes materiais para criar um produto final com camadas combinadas

A eficiência do filme fotocromático é avaliada com base em critérios como tempo de resposta à luz, estabilidade fotoquímica, intensidade de coloração e reversibilidade do processo (Martins *et al.*, 2018).

2.3.4 Aspectos Ambientais e Normativos dos filmes adesivos aplicados em fachadas

O uso de películas pode contribuir com a eficiência energética, ao reduzir o ganho de calor solar e minimizar o uso de climatização artificial. Além disso, películas com padrões visuais contribuem diretamente com a proteção da avifauna, especialmente em edifícios localizados em rotas migratórias ou próximas a áreas verdes.

Segundo diretrizes da *American Bird Conservancy* e ABNT NBR 16023³⁶, a eficácia de uma película anticolisão depende da visibilidade dos padrões no lado externo do vidro, com contrastes adequados à percepção visual das aves (Sheppard, 2019).

No Brasil, ainda não há regulamentações específicas para películas anticolisão, mas recomenda-se o alinhamento com normas internacionais e boas práticas de sustentabilidade arquitetônica, como as previstas no LEED ou AQUA-HQE³⁷.

No campo normativo, a utilização de filmes adesivos em fachadas deve observar o atendimento às normas técnicas vigentes. No Brasil, a ABNT NBR 7199:2022 – Vidros na construção civil – Projeto, execução e aplicações estabelecem critérios para o uso seguro e eficiente dos vidros em edificações, sendo o desempenho final do conjunto (vidro + filme) um fator determinante. Além disso, a ABNT NBR 16023:2022, que trata da terminologia dos vidros na construção, e a ABNT NBR 14698:2001, referente a vidros de segurança, também são aplicáveis.

Do ponto de vista de desempenho, parâmetros como transmitância luminosa, reflexão externa e fator solar devem ser avaliados conforme as exigências de projeto e conforto ambiental. Para aplicações em que o filme tenha função de segurança (como retenção de estilhaços), é necessário atender às exigências de resistência ao impacto, conforme ensaios previstos na ANSI Z97.1 ou na norma europeia EN 12600.

³⁶ Estabelece os requisitos mínimos para películas autoadesivas aplicadas a vidros, considerando propriedades como transmitância luminosa, refletância solar e proteção contra radiação ultravioleta

³⁷ Certificação Internacional da construção de alta qualidade ambiental, desenvolvida a partir da renomada certificação francesa HQE™ e aplicada no Brasil exclusivamente pela Fundação Carlos Alberto Vanzolini.

Por fim, é importante ressaltar que a instalação de filmes adesivos deve considerar as legislações municipais e códigos de obras, que por vezes impõem restrições ao índice de refletividade de fachadas ou exigem medidas de mitigação de impacto visual em ambientes urbanos.

Dessa forma, os filmes adesivos representam não apenas uma solução estética ou funcional, mas um elemento técnico com implicações significativas no desempenho ambiental e normativo das edificações contemporâneas.

2.4 ANÁLISE DE MORTALIDADE DE AVES NOS VIDROS

A mortalidade de aves decorrente de colisões com fachadas envidraçadas é uma preocupação crescente nas áreas de urbanismo, arquitetura sustentável e conservação da biodiversidade. Estima-se que milhões de aves morrem anualmente ao colidirem com superfícies transparentes ou refletoras em áreas urbanas, especialmente durante períodos migratórios (Loss *et al.*, 2014).

A principal causa dessas colisões é a percepção visual equivocada das aves em relação ao vidro. Superfícies transparentes são interpretadas como áreas abertas, enquanto fachadas refletivas podem espelhar vegetação ou céu, induzindo as aves ao voo direto contra a superfície (Klem, 2009). Além disso, a iluminação artificial noturna intensifica o risco, pois desorienta aves migratórias que se orientam por fontes naturais de luz.

Estudos conduzidos em diversas cidades americanas e europeias apontam que edifícios de médio e grande porte, com fachadas de vidro contínuo, concentram os maiores índices de colisões. Fatores como altura, orientação solar, proximidade de áreas verdes e uso de iluminação externa noturna influenciam significativamente as taxas de mortalidade (Evans *et al.*, 2020).

2.4.1 Impactos dos pássaros nos vidros

As colisões de aves com vidros são provocadas, em grande parte, pela dificuldade que as aves têm de identificar o vidro como uma barreira física. Superfícies transparentes são vistas como caminhos livres de obstáculos, enquanto vidros

reflexivos costumam espelhar o céu, árvores ou áreas verdes, criando uma ilusão de continuidade. A situação se agrava com o uso de iluminação artificial à noite, que atrai aves migratórias, principalmente durante os períodos de outono e primavera (Klem, 2009; Loss *et al.*, 2014).

Um dos pioneiros no estudo e na sugestão de soluções para a redução desse problema surgiu em 1990 por Klem Jr. Ele conduziu uma pesquisa que empregou silhuetas de falcão fixadas nas janelas, mas concluiu que, embora essa técnica reduzisse o número de colisões, não solucionava completamente a questão (Rossler *et al.*, 2015).

Pesquisas apontam que bilhões de aves morrem anualmente no mundo em decorrência de colisões com edifícios, sendo os vidros responsáveis por uma parcela significativa dessas mortes. Por exemplo, estima-se que quase um bilhão de aves morrem anualmente nos Estados Unidos devido a colisões, das quais aproximadamente 58,2% são causadas por prédios envidraçados (Motta, 2021). A maioria das pesquisas sobre colisões de aves com vidros está focada na América do Norte, especialmente nos Estados Unidos e Canadá. Em contrapartida, nas regiões neotropicais, incluindo países com alta diversidade de aves como o Brasil, há poucos estudos e o impacto das colisões na diversidade de aves não é conhecido (Gómez-Moreno *et al.*, 2023; Menacho-ódio, Cruz e Arévalo, 2019). Para identificar padrões de colisões, preencher lacunas de conhecimento e determinar os cenários mais perigosos, é preciso atualizar os dados (Basílio *et al.*, 2020).

Em outra pesquisa conduzida no noroeste dos Estados Unidos, em 2010, investigou-se fatores que poderiam influenciar as colisões, analisaram-se as fatalidades em edifícios que variavam conforme a área da janela e o ambiente circundante. O ambiente circundante teria um impacto limitado no número de colisões, contudo, a área ocupada pelas janelas influenciaria a frequência dessas colisões, de acordo com Hager *et al.* (2013): quanto maior a área, maior a chance de colisões.

Em um estudo também conduzido nos Estados Unidos, onde todas as estações do ano foram analisadas sistematicamente, constatou-se que, no inverno, as colisões eram reduzidas, enquanto no verão, elas se intensificavam (Hager *et al.*, 2013).

Os impactos nas aves costumam causar traumatismos severos, lesões internas e fraturas, levando muitas vezes à morte imediata ou à morte posterior por incapacidade

de locomoção ou alimentação (Evans *et al.*, 2020).

Espécies de pequeno e médio porte, especialmente as que habitam ou migram por áreas urbanizadas, são as mais afetadas. Aves canoras, como sabiás, tico-ticos, bem-te-vis e andorinhas, figuram entre as vítimas mais frequentes. Espécies raras e ameaçadas também estão sujeitas a esses riscos, o que representa uma preocupação adicional para a conservação da biodiversidade urbana.

Do ponto de vista da arquitetura sustentável, as mortes de aves representam um conflito ético e funcional no planejamento de edificações ecologicamente responsáveis. Embora o uso de fachadas envidraçadas seja frequentemente adotado por seu apelo estético e por contribuir para a iluminação natural, ele deve ser equilibrado com soluções que previnam a mortalidade aviária. O projeto de edifícios deve, portanto, considerar critérios de design amigável à fauna.

Soluções como aplicação de filmes adesivos com padrões visíveis às aves, uso de vidros serigrafados, ou mesmo tecnologias que incorporam marcas UV (invisíveis ao olho humano, mas visíveis para as aves) já estão disponíveis no mercado. A adoção dessas medidas é recomendada por normas como a CSA A460:19³⁸, no Canadá, e já é incentivada por selos como o LEED v4.1³⁹, que premiam projetos que demonstram mitigação de impactos à avifauna (CSA, 2019; USGBC, 2022).

Além das soluções técnicas, o monitoramento sistemático dos casos de colisão e a promoção de ações de educação ambiental junto a arquitetos, construtores e gestores públicos são fundamentais para a mitigação do problema. A instalação de edifícios mais conscientes quanto à biodiversidade urbana é essencial para o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e conservação da fauna.

³⁸ Norma que estabelece requisitos para o projeto de edifícios "amigos dos pássaros", ou seja, que visam reduzir colisões de aves com os edifícios. A norma cobre tanto novos edifícios como edifícios existentes e incluem diretrizes para tratamento de vidros, estruturas integradas no edifício e o projeto global do edifício e do terreno.

³⁹ Atualização do sistema de certificação de edifícios sustentáveis LEED. Padrão de construção verde que visa promover a eficiência energética, a conservação de água, a redução de resíduos, a seleção de materiais sustentáveis, e a melhoria da saúde humana e do ambiente interior.

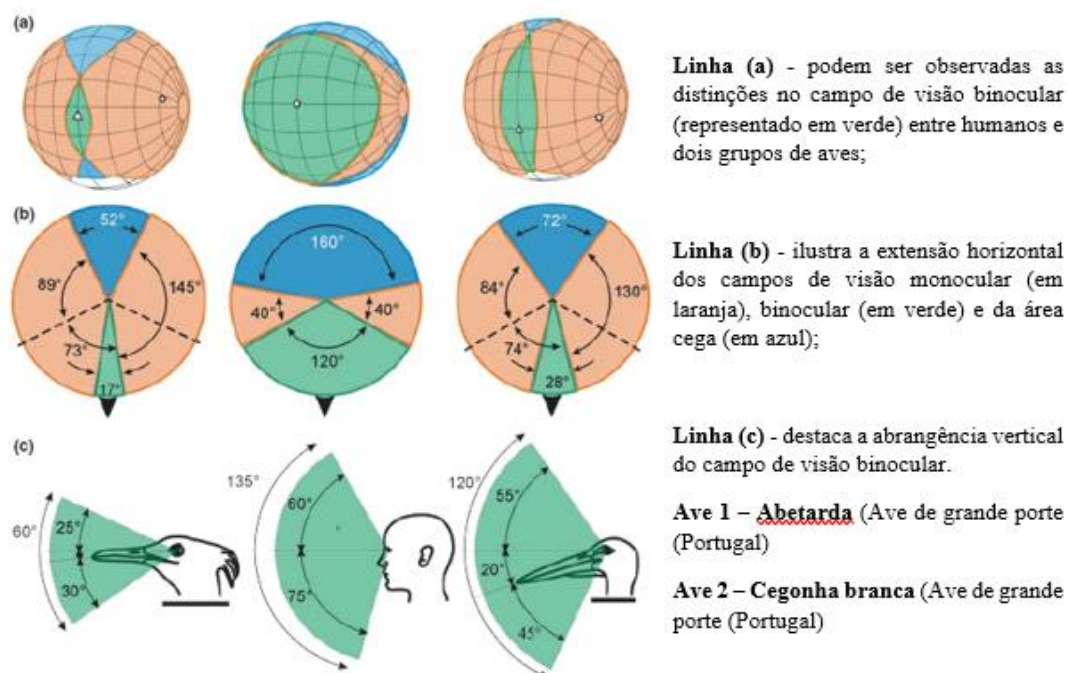
2.4.2 Percepção visual das aves em relação às fachadas de vidro

Do ponto de vista da fisiologia da visão, as aves possuem sistemas visuais altamente desenvolvidos. Muitas espécies enxergam em um espectro mais amplo do que os seres humanos, incluindo comprimentos de onda na faixa do ultravioleta (UV), entre 300 e 400 nanômetros (CUTHILL *et al.*, 2000). Essa capacidade permite uma diferenciação mais refinada de objetos e padrões no ambiente, mas não as impede de confundir superfícies envidraçadas com continuação do habitat, especialmente quando há reflexos de céu, vegetação ou mesmo transparência entre dois ambientes externos visíveis através do vidro.

Contudo, para as aves, identificar essas alterações não é uma tarefa tão fácil. A visão das aves difere significativamente da visão humana, o que torna inadequado acreditar que elas percebam obstáculos e perigos da mesma maneira. Apesar de haver pesquisas que demonstram sua visão excepcional, essas aves não conseguem identificar objetos imóveis com a antecedência necessária para evitá-los, especialmente enquanto estão em voo (Martin, 2011).

Todavia, a capacidade visual das aves é bastante complicada. O arranjo dos olhos, que na maioria das espécies está situado nas laterais da cabeça, oferece a vantagem de uma visão ampla, permitindo uma excelente percepção das áreas superiores e traseiras da cabeça. Segundo Martin (2011), essa visão é monocular e lateral, significando que cada olho capta imagens diferentes (Figura 42). Em contrapartida, a visão frontal é binocular, mas apresenta um campo periférico e menor acuidade (Martin, 2011).

Figura 42 - Comparação entre a visão humana e dois tipos de aves (Europa)



Fonte: Martin (2011)

Assim, a posição dos olhos oferece tanto benefícios quanto desvantagens, já que a limitada área de visão binocular torna difícil o foco em objetos próximos, diminuindo o campo visual e a clareza das imagens, uma vez que o foco principal está voltado para os lados e para baixo. Em comparação, a visão humana é majoritariamente frontal e binocular, enquanto a grande parte das aves apresenta visão lateral monocular (Martin, 2011).

As colisões ocorrem, portanto, por dois mecanismos principais: (1) transparência, quando a ave enxerga uma rota de fuga aparente através de janelas ou fachadas opostas; e (2) reflexo, quando a superfície reflete o ambiente natural, simulando uma extensão do habitat. Como consequência, muitas aves não conseguem perceber a presença de uma barreira física e colidem em pleno voo. Dessa forma, as janelas, que com frequência iludem até mesmo os olhos humanos, podem se tornar mortais para as aves. Portanto, é fundamental buscar alternativas para que as superfícies de vidro se tornem perceptíveis para essas aves.

Para mitigar tais colisões, uma das estratégias mais eficazes envolve a alteração da percepção visual das fachadas por meio da aplicação de elementos visuais contrastantes. Estudos demonstram que a introdução de padrões visíveis (como pontos,

faixas ou silhuetas) com espaçamento inferior a 5 cm no sentido horizontal ou 10 cm no vertical pode reduzir significativamente a incidência de colisões (Sheppard et al., 2015). Ainda mais efetivos são os materiais que utilizam pigmentos ou películas com marcação ultravioleta, perceptível pelas aves, mas praticamente invisível aos seres humanos, possibilitando a manutenção do aspecto estético do edifício.

2.4.3 Principais causas de mortalidades no Brasil - Estudos de Caso

O Brasil é lar de uma das mais ricas biodiversidades do planeta. No que diz respeito às aves, o país conta com 1.971 espécies (Pacheco, 2022). Em locais com uma diversidade maior de espécies, a saúde da comunidade e a qualidade de vida dos indivíduos tendem a ser superiores. Nas zonas urbanas, a presença de espaços verdes é fundamental para preservar a biodiversidade, especialmente das aves, e para garantir o bem-estar das pessoas que utilizam esses locais (Pacheco, 2022).

Estudos brasileiros vêm relatando episódios recorrentes de impactos, embora ainda careça de uma base de dados nacional sistemática sobre colisões de aves contra estruturas envidraçadas, diversos estudos de caso e estimativas regionais têm revelado a magnitude do problema e reforçado a urgência de ações mitigadoras.

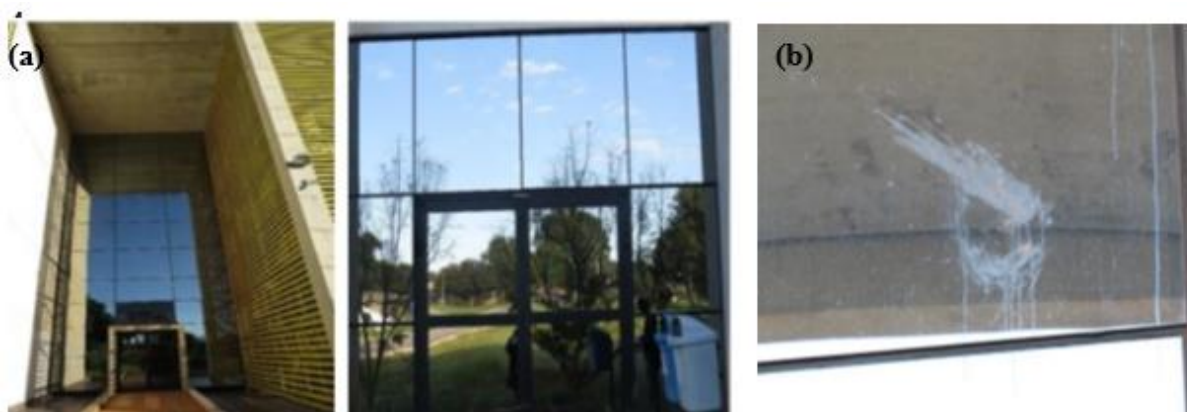
Uma das pesquisas mais relevantes no contexto brasileiro sobre colisões de aves contra fachadas envidraçadas foi conduzida no âmbito do curso de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília (UnB) em 2020. A autora analisou os padrões de mortalidade de aves associados às vidraças de edificações do campus Darcy Ribeiro, caracterizado por construções com ampla utilização de superfícies de vidro e proximidade de áreas verdes (Fujiyama, 2020).

O estudo selecionou 16 edifícios com fachadas predominantemente envidraçadas para análise. A metodologia combinou observação direta, aplicação de questionários a 67 indivíduos da comunidade acadêmica (estudantes, docentes e servidores), além de ações de sensibilização ambiental, como afixação de cartazes e banners nos locais monitorados. Segundo Fujiyama (2020), a investigação revelou que 80,6% dos entrevistados nunca presenciaram colisões de aves, enquanto 60% declararam desconhecer completamente a existência desse tipo de acidente no campus, o que evidenciou um baixo nível de percepção sobre o problema por parte dos

frequentadores.

Apesar da subnotificação identificada, os registros pontuais de colisões confirmaram a existência do fenômeno, especialmente em edificações situadas próximas a áreas arborizadas, como o Bloco de Salas de Aulas Sul – BSAS (Figura 43).

Figura 43 – Colisões de aves em edificações próximas a áreas arborizadas (a) Fachada envidraçada do bloco BSAS; (b) Silhuetas na porta lateral sul BSAS



Fonte: Fujiyama (2020)

As superfícies envidraçadas transparentes e espelhadas, associadas à vegetação no entorno e à iluminação interna, foram apontadas como fatores de risco relevantes para os acidentes com aves. Na imagem (b) apresenta marca de colisão de uma espécie em choque na porta lateral sul, tendo sido objeto de observação do estudo.

Um exemplo emblemático é o edifício da Procuradoria Geral da República (PGR), em Brasília, cuja fachada espelhada tornou-se ponto recorrente de colisões aviárias. As estruturas mais significativas do conjunto consistem em dois prédios cilíndricos totalmente revestidos de vidro (Figura 44) que capturam de maneira excelente a aparência do céu, das nuvens e da vegetação ao redor. Esses dois prédios têm seis andares, com janelas amplas e vidro refletivo.

Figura 44 - Sede da Procuradoria Geral da República em Brasília, DF

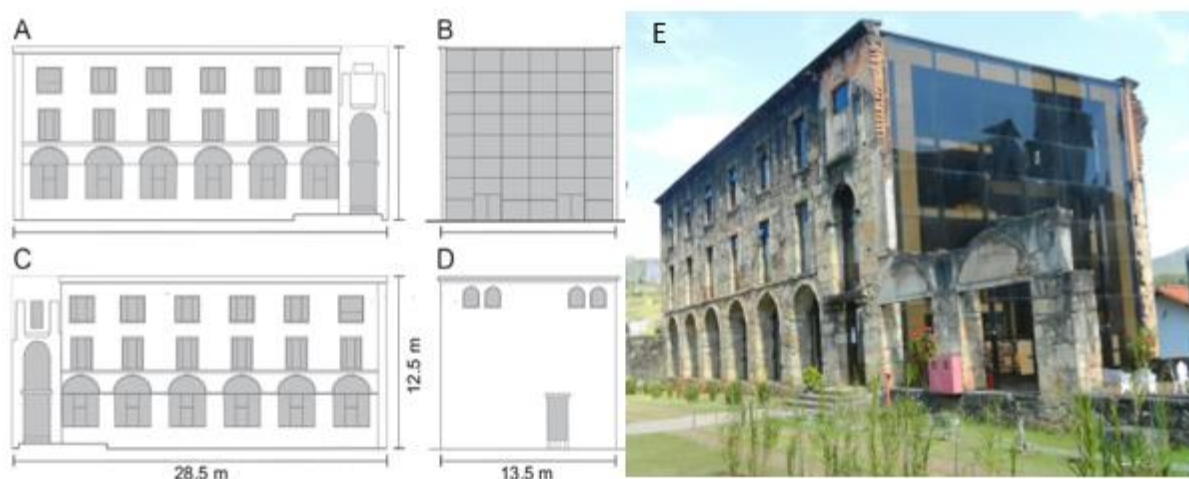


Fonte: Schneider (2018)

De acordo com levantamento realizado em 2006, estimou-se que cerca de 464 aves colidiam anualmente com a estrutura, resultando em aproximadamente 114 mortes por ano equivalente a 24,5% de 22 espécies de aves. Em um intervalo de 11 anos, isso totaliza aproximadamente 500 colisões e 100 mortes apenas nesse único edifício, o que demonstra o impacto expressivo que uma fachada envidraçada pode causar quando não são adotadas soluções de mitigação. Segundo Schneider (2018), a maioria da parte das colisões (69,9%) envolveu pássaros de voo rápido como pombas, beija-flores e andorinhas.

Outro estudo significativo foi desenvolvido e publicado em 2017, no entorno do Museu do Santuário do Caraça, em Minas Gerais, conhecido por ter uma das avifaunas mais ricas do Brasil, após incêndio em 1968, passou por projeto de preservação, restauração e revitalização no ano 2002 (Figura 45-A, B, C e D). Entre os anos de 2010 e 2013, foram registradas 168 aves mortas, das quais 57 mortes foram diretamente atribuídas a colisões nos vidros temperado reflexivo em 408,5 m² (Figura 45-E), com base em observações de campo e análise de necropsia entre (Santos *et al.*, 2017).

Figura 45 - Esboço e imagem arquitetônica do Museu do Caraça com detalhes do edifício



Fonte: Santos et al. (2018) e Trajano (2018)

Os dados corroboram com a literatura internacional que aponta os painéis de vidro como elementos de risco para a avifauna, especialmente em ambientes naturais e silvestres integrados a construções humanas.

No âmbito nacional, o pesquisador Sandro Von Matter, especialista em conservação da biodiversidade, alerta para a possibilidade de o Brasil estar enfrentando uma verdadeira “epidemia silenciosa” de colisões de aves com superfícies transparentes e refletivas. Em entrevista ao portal ANDA (Agência de Notícias de Direitos Animais), Von Matter compara a situação brasileira à dos Estados Unidos, onde se estima que entre 365 e 988 milhões de aves morram anualmente devido a esse tipo de impacto (ANDA, 2016). Embora não existam dados consolidados no país, o pesquisador sugere que o número de vítimas no Brasil pode ser igual ou superior, dada a grande diversidade de espécies, a extensão territorial e a intensa urbanização com uso crescente de fachadas de vidro.

Em Porto Alegre, o debate avançou significativamente ao assinar o Decreto Municipal Nº 21. 789, no dia 19 de dezembro de 2022, que “Regulamenta o Programa de Premiação e Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre”, criado pela Lei Complementar nº 872, de 10 de janeiro de 2020, e define os requisitos para sua conquista (Revista da Astec, 2023).

Esses estudos de caso e estimativas evidenciam a importância de pesquisas sistemáticas, do mapeamento de áreas críticas e da implantação de tecnologias

mitigadoras para a conservação da avifauna em ambientes urbanos e periurbanos.

Dada a crescente urbanização e o uso intensivo de fachadas envidraçadas em edificações na Região Metropolitana do Recife, até o momento não há registros específicos ou estudos publicados que quantifiquem as colisões de aves nas envoltórias, como também em residências. Embora existam pesquisas sobre fornecimento de dados da população de pássaros por faixa etária e lista de espécies de aves encontradas em unidades de conservação e locais urbanos, essas não abordam diretamente o tema das colisões com estruturas de vidro.

É plausível supor que impactos de aves ocorram na região, embora ainda não tenham sido objeto de estudos sistemáticos. A ausência de dados específicos destaca a necessidade de pesquisas locais para avaliar a magnitude do problema e desenvolver estratégias de mitigação adequadas.

2.5 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O Referencial Teórico da tese abordou aspectos históricos, conceitos e técnicas aplicadas às tipologias de fachadas envidraçadas, enfatizando questões cruciais de sustentabilidade e as necessárias adaptações para o controle de ganhos e perdas térmicas. O capítulo serviu de embasamento para a compreensão do contexto e para a fundamentação dos modelos conceituais da pesquisa, dividindo-se em três eixos principais: a evolução do vidro na arquitetura, o cenário contemporâneo de soluções inteligentes e a análise da mortalidade de aves em vidros no Brasil.

A trajetória do vidro na Arquitetura é marcada por uma evolução contínua, passando de um elemento ornamental para um componente estrutural e funcional indispensável no Modernismo e no Pós-modernismo. O crescimento do vidro na arquitetura do século XXI reflete a busca por soluções de alto desempenho, que conciliem as demandas estéticas com as exigências de eficiência energética. Contudo, essa popularização impôs dois desafios ambientais e técnicos críticos. O primeiro desafio é o desempenho termoenergético, já que o vidro, ao permitir a passagem da radiação solar, pode gerar um ganho de calor excessivo, aumentando a necessidade de resfriamento em climas quentes. Para mitigar isso, o capítulo explorou as tecnologias de vidros de controle solar, filmes metalizados e, notavelmente, o vidro dinâmico, como o

fotocromático e o termocrômico, que reagem de forma autônoma à radiação UV ou à temperatura, ajustando a transparência para o controle dinâmico de luz e calor.

O segundo desafio é o impacto na biodiversidade. A alta incidência de colisões de aves em superfícies envidraçadas é uma problemática global, com estimativas de que bilhões de aves morram anualmente, especialmente onde a transparência ou a reflexão do vidro confunde o voo. O referencial teórico detalhou estratégias de mitigação, como o uso de filmes anticolisão com padrões visuais (como a regra 2x4), que tornam o vidro perceptível às aves sem comprometer drasticamente a visão humana. Essa técnica, combinada com o Design de Superfície (como a impressão digital), oferece um caminho para soluções que aliam a estética à responsabilidade ecológica.

No contexto brasileiro, a tese evidenciou a escassez de dados nacionais sistemáticos sobre a mortalidade de aves, apesar de estudos de caso em locais como o Museu do Santuário do Caraça (MG) e a Procuradoria Geral da República (PGR) em Brasília confirmarem a magnitude do problema. A falta de regulamentações específicas no país reforça a urgência de soluções validadas.

Em síntese, a investigação teórica validou a necessidade de soluções multifuncionais em Design que abordem o controle térmico e a mitigação de colisões simultaneamente. Ao confirmar a lacuna na literatura e a carência de simulações de soluções combinadas desses filmes inteligentes no contexto nacional, o Referencial Teórico justificou a próxima etapa da pesquisa, que se concentra em testar e validar o desempenho técnico e ambiental de um artefato de Design inovador que integra o controle solar dinâmico com um padrão gráfico de mitigação. Desta forma, o capítulo cumpre seu papel de fornecer o arcabouço conceitual necessário para a metodologia e para a contribuição final da tese.

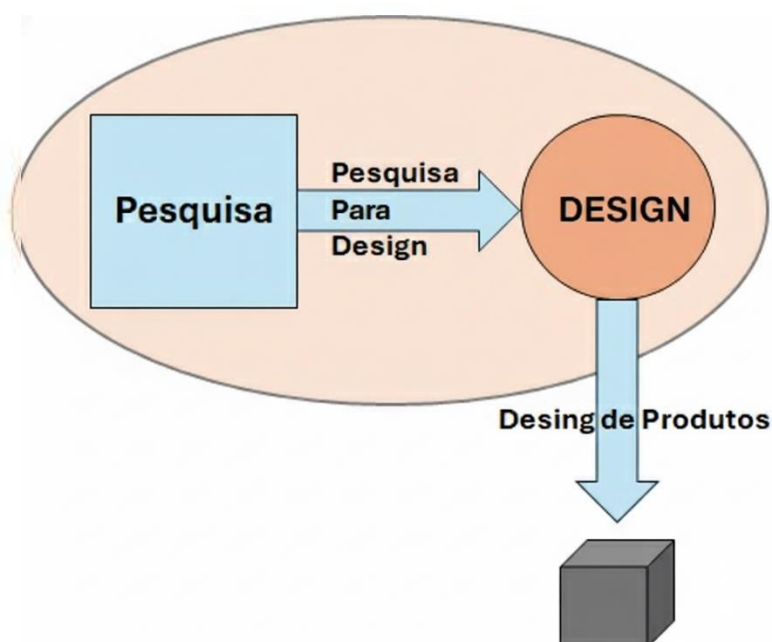
PARTE 3 – MODELAGEM PROJETUAL

3 METODOLOGIA APLICADA

O capítulo apresenta uma ideia de abordagem de como foi conduzida a pesquisa, abrangendo a escolha das ferramentas, técnicas e estratégias dos modelos do design e os respectivos materiais. O método adotado nesta pesquisa foi estruturado na perspectiva do *Research Through Design* (RtD), permitindo a integração entre a investigação teórica, simulações digitais e experimentação prática. Com base na evolução do referencial teórico, é preciso inicialmente listar todos os tópicos que abordará sobre o assunto, as áreas e contextos sistemáticos da revisão, proporcionando uma síntese de conhecimento, como a incorporação na aplicabilidade em estudos significativos para prática.

Um design fundamentado em pesquisa utiliza dados científicos e tecnológicos pertinentes, que são reunidos e empregados, além de serem realizados estudos para obter conhecimentos específicos sobre a realidade para a qual o design está sendo desenvolvido (Figura 46).

Figura 46 - Design informado por pesquisa



Fonte: Frayling (1993)

Esta pesquisa fundamenta-se na abordagem de pesquisa pelo design (*Research Through Design-RtD*⁴⁰), na qual o processo projetual é entendido como um meio legítimo de investigação científica, especialmente no campo do Design. De acordo com Frayling (1993), essa abordagem se distingue por gerar conhecimento por meio da prática do design, utilizando a criação como experimento e reflexão.

A Pesquisa por meio do Design (RtD) é uma abordagem de pesquisa onde as atividades de design são parte integrante do processo de geração de novos conhecimentos. Não se trata apenas de usar o design para informar a pesquisa, mas sim de usar o próprio processo de design como uma forma de explorar, entender e abordar problemas complexos e criar novos insights (Frayling, 1993).

Segundo Cross (2006), o design constitui uma forma específica de saber, com modos próprios de pensar e investigar, diferentes das ciências naturais e sociais. Assim, o modelo projetual aqui desenvolvido é considerado instrumento epistemológico, não apenas produto técnico.

Lawson (2006) reforça essa perspectiva ao descrever o pensamento projetual como uma prática iterativa, criativa e baseada na resolução de problemas complexos. No contexto desta pesquisa, isso se traduz na busca por soluções que conciliem desempenho ambiental, proteção à biodiversidade e viabilidade técnica.

Além disso, o trabalho adota uma abordagem metodológica de técnicas mistas, conforme orientado por Groat e Wang (2013), combinando: métodos qualitativos, como observações e análise do comportamento da película e métodos quantitativos, como medições de transmitância luminosa e radiação UV no protótipo.

Dessa forma, a pesquisa articula a prática projetual como método de investigação e validação científica, contribuindo tanto para o avanço do conhecimento quanto para a proposição de soluções sustentáveis no ambiente construído.

As etapas na prática que embasa a seleção da pesquisa, emprega ferramentas e técnicas mistas associadas aos objetivos da pesquisa (Quadro 1).

⁴⁰ A investigação por meio do design (RtD) é uma metodologia científica que utiliza as percepções exclusivas adquiridas na prática do design, visando oferecer uma compreensão mais aprofundada de questões complexas e futuras relacionadas a essa área.

Quadro 1 - Resumo metodológico com base nos objetivos

Objetivos Específicos	Procedimentos Metodológicos	Ferramenta utilizada	Resultados esperados
1. Realizar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) para mapear o estado da arte e identificar a lacuna de Design em soluções de fachadas envidraçadas que abordam proteção solar e mitigação de colisões de aves;	Conduzida uma revisão sistemática da literatura com base nas diretrizes nas plataformas realizada em bases de dados científicas.	Gerenciador de referências; triagem dos artigos; software de análise qualitativa para organização e categorização temática.	Identificação das principais tecnologias aplicadas ao controle solar e à mitigação de colisões de aves; consolidação de dados relevantes para embasar as etapas seguintes do estudo.
2. Desenvolver o artefato de Design, definindo o modelo projetual virtual e o padrão geométrico que será aplicado na combinação de filmes fotossensíveis em fachada envidraçada;	Criação de protótipo onde serão aplicados os materiais propostos: um filme fotocromático para controle solar e um filme UV translúcido de padrão geométrico criativo com base em princípios de visibilidade aviária.	Poliestileno expandido (isopor 60mm); Massa corrida; Vidro incolor 4mm com aplicação dos filmes fotocromático e adesivo UV impresso.	Diagnóstico de como os filmes reagem ao calor e à luz UV; Subsídios empíricos para justificar a aplicação de soluções técnicas.
3. Realizar simulações computacionais em software de desempenho ambiental OpenStudio e EnergyPlus aliado ao SketchUp para avaliar a performance técnica do artefato de Design, comparando seu comportamento termoenergético e lumínico com soluções convencionais;	Simulação da temperatura e observação da eficácia do filme, focando no controle da radiação solar.	<i>OpenStudio</i> e <i>EnergyPlus</i> aliado ao <i>SketchUp</i> para modelagem tridimensional do cenário;	Consolidação de dados para futuras aplicações em escala real.
4. Aplicar o padrão geométrico no vidro e avaliar a eficácia da combinação de filmes (fotocromático e filme UV/DTF) ao modelo projetual de design proposto (caixa térmica), quantificando a eficácia da mitigação visual para evitar colisões de aves.	Observar a capacidade do filme em bloquear o calor, comparando o interior da caixa COM e SEM filme	Filmes fotocromático e filme UV com impressão DTF UV no vidro 4mm; sensores e equipamentos de medição (sensor UV e temperatura); Câmera fotográfica e software de edição para documentação visual.	Desenvolvimento de um modelo funcional com desempenho estético, técnico e ambiental; Verificação empírica da funcionalidade dupla do sistema (proteção solar + prevenção de colisões);

Fonte: Autora (2024)

Foi possível identificar tecnologias eficazes de proteção solar e prevenção de colisões de aves em fachadas envidraçadas por meio de uma revisão sistemática. Com base nisso, foi desenvolvido e testado um modelo projetual combinando película fotocromática e filme impresso DTF com pigmentação UV com padrões geométricos. A eficácia da proposta foi avaliada quanto ao conforto ambiental e à visibilidade para aves, incluindo simulações computacionais baseadas na percepção aviária. O resultado ofereceu uma solução *eco-friendly*, funcional e replicável em projetos arquitetônicos sustentáveis.

3.1 DEFINIÇÕES DAS ETAPAS DE MODELAGEM DO MODELO PROJETUAL

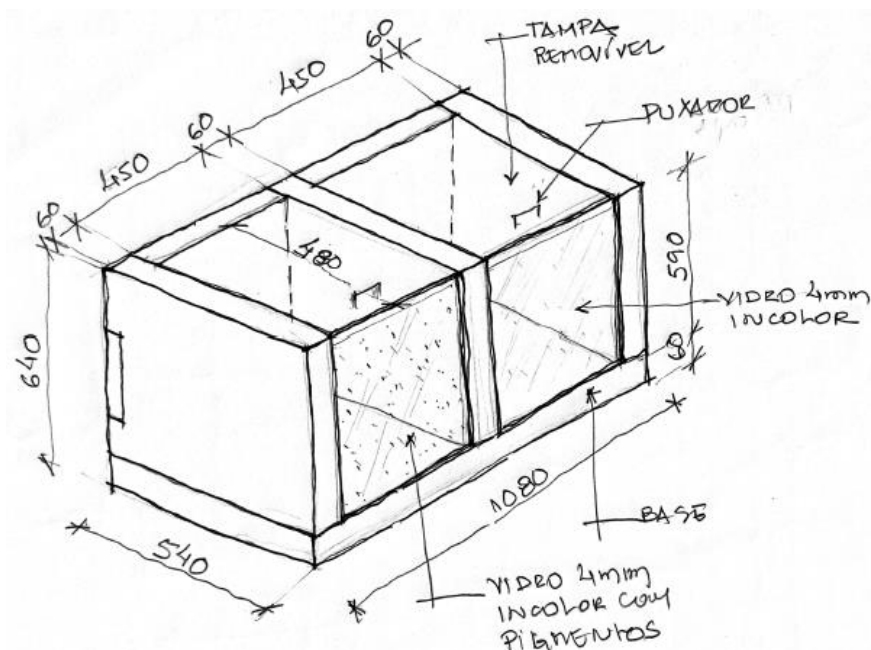
O processo de modelagem da caixa solar térmica foi estruturado em etapas sequenciais que garantiram a coerência técnica, a representatividade do modelo projetual em relação a uma situação real de fachada envidraçada e a viabilidade dos testes experimentais.

3.1.1 Caixa solar térmica dupla desmontável – Protótipo para Teste

Foi desenvolvida uma caixa solar térmica dupla, desmontável, com o objetivo de simular o comportamento térmico e a performance de soluções envidraçadas em fachadas. O protótipo foi construído utilizando placas de isopor (EPS) com 60 mm de espessura, material escolhido por suas propriedades de isolamento térmico, leveza e facilidade de manuseio.

As dimensões externas da caixa são de 1060 mm de largura, 540 mm de profundidade e 640 mm de altura. Tampas removíveis medindo 450mm x 480mm em placa de isopor (EPS) com 30 mm de espessura com puxador criativo em aço. Na Figura 47 mostra o pensamento inicial (croqui) antes dos desenhos definitivos finais.

Figura 47 - Croqui para montagem do modelo projetual



Fonte: Autora (2025)

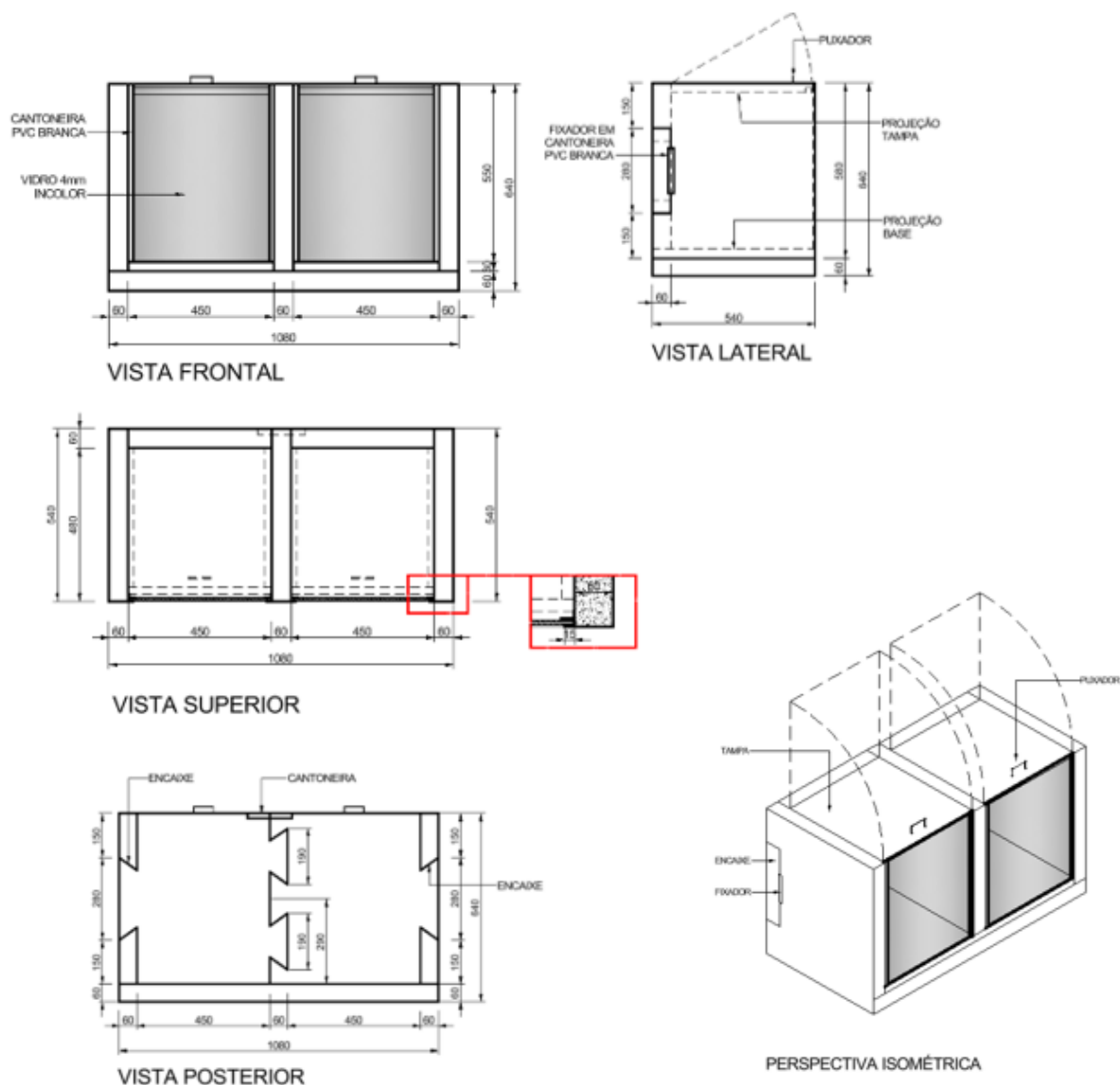
Para a construção do protótipo, foi definida uma geometria que simula, de forma fiel, uma porção de fachada. A modelagem da caixa foi baseada em medidas reais, o que garante a precisão necessária para comportar todos os componentes e simular o comportamento de uma envoltória de edifício em escala reduzida.

O processo de design começou com o desenho detalhado das vistas em planta baixa, elevações frontais e laterais. Nesses desenhos, foram especificadas as espessuras das paredes de 60 mm, utilizando EPS (poliestireno expandido), um material com alta capacidade de isolamento térmico. O vão frontal foi precisamente dimensionado para a instalação do vidro, o elemento central do estudo.

A modelagem também considerou detalhes de encaixe, essenciais para a montagem e a estabilidade do protótipo. Foi projetado um rebaixo para o encaixe de um perfil em U de PVC, o que proporciona um acabamento e uma fixação segura do vidro. Além disso, as placas de EPS foram desenhadas com um formato trapezoidal de encaixe, utilizando um sistema de macho e fêmea (Figura 48). Esse sistema de encaixe não apenas facilita a montagem, mas também melhora a estanqueidade do protótipo, minimizando a perda de calor e garantindo que os resultados dos testes sejam o mais

precisos possível. A combinação desses elementos resultou em uma estrutura robusta e funcional, pronta para a fase de testes.

Figura 48 - Desenho gráfico para montagem do modelo projetual



Fonte: Autora (2025)

Para complementar os testes experimentais realizados com o protótipo da caixa térmica desmontável, foi desenvolvido um conjunto de representações gráficas técnicas utilizando o software AutoCAD. O modelo digital permitiu detalhar com precisão as dimensões e componentes construtivos do sistema, auxiliando na validação do processo construtivo e na comunicação visual do experimento.

As vistas ortográficas – frontal, lateral, superior e posterior – foram construídas com base nas medidas reais do protótipo, utilizando escalas técnicas apropriadas (1:1) para garantir clareza nas proporções e nos encaixes. A espessura dos materiais, como as placas de EPS de 60 mm e o vidro incolor de 4 mm, foi rigorosamente respeitada. Além disso, as cantoneiras de PVC branco e os sistemas de encaixe e fixadores foram detalhados para ilustrar o sistema modular e desmontável da estrutura

A vista em perspectiva isométrica foi incluída para oferecer uma leitura tridimensional da montagem, evidenciando o movimento de abertura das tampas com puxadores, a posição dos vidros frontais e os encaixes das partes superiores. Esta abordagem visual contribui para demonstrar a lógica construtiva do sistema e facilitar a reprodução por outros pesquisadores.

Os desenhos foram organizados em pranchas técnicas, contendo identificação das partes (tampa, fixador, vidro, cantoneiras e encaixes) e detalhamento ampliado das interfaces entre os elementos (conforme indicado pelo corte em detalhe na vista superior). Esta representação gráfica desempenha papel fundamental no entendimento do protótipo, apoiando os ensaios térmicos, visuais e de radiação desenvolvidos nesta pesquisa.

3.1.2 Sistema de montagem - acabamento interno e funcionalidade

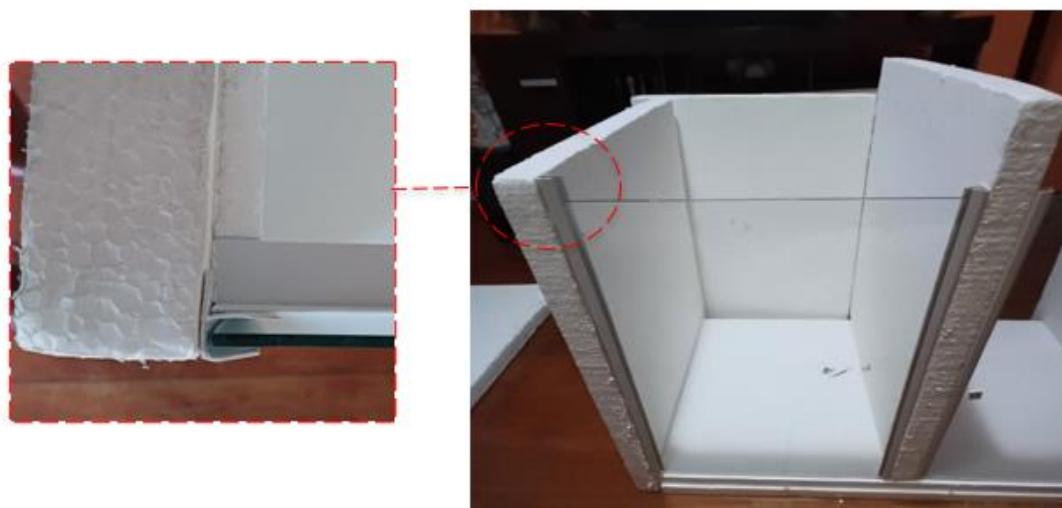
Internamente, as paredes do protótipo foram cuidadosamente revestidas com massa corrida. Esse acabamento foi escolhido por sua capacidade de criar uma superfície lisa e uniforme, que não só confere um visual mais refinado, mas também desempenha um papel técnico crucial.

O acabamento liso e reflexivo da massa corrida minimiza a absorção de calor pelas paredes internas, garantindo que os resultados dos testes de desempenho térmico se concentrem na performance do vidro, sem interferências da estrutura da caixa. Além disso, essa camada de revestimento confere maior resistência mecânica às paredes, protegendo o protótipo contra danos causados pela manipulação durante a montagem e os testes. O acabamento também ajuda a controlar a radiação refletida no interior do protótipo (Figura 49), assegurando que as medições de temperatura e luminosidade sejam mais precisas e representativas do comportamento real da fachada.

Figura 49 - Placas de Isopor emassadas

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A face frontal da caixa simula uma fachada envidraçada, composta por um vidro incolor de 4 mm de espessura, fixado em perfis tipo “U” em PVC branco, que garantem a sustentação e vedação da superfície translúcida. Esse elemento visa reproduzir as condições de entrada de radiação solar, permitindo a análise de seu impacto térmico no interior da caixa (Figura 50).

Figura 50 - Vidro x Perfil PVC

Fonte: Autora (2025)

O sistema foi projetado de forma modular e desmontável, facilitando o transporte, a substituição de componentes e a realização de ensaios experimentais com dois filmes em combinação aplicados ao vidro. Essa flexibilidade estrutural garante que o protótipo possa ser adaptado para diferentes cenários de simulação (Figura 51), como variações de orientação solar, tempo de exposição e análise comparativa entre proteção térmica e visibilidade das marcações contra impacto de aves.

Figura 51 - Desenvolvimento da caixa solar térmica (a) Vista frontal com vidro; (b) Vista lateral isométrica; (c) Vista posterior com encaixes; (d) Detalhe do encaixe sistema macho e fêmea; (e) Abertura da tampa; (f) Caixa sem a tampa; (g) Vista interna da caixa emassada



Com base nas imagens do quadro da figura 51, a descrição das etapas de montagem do modelo da caixa solar, destaca os processos realizados manualmente com os materiais visíveis (isopor, vidro, perfil PVC, extensor em nylon e como acabamento massa corrida).

As etapas subdividiram em processo com uma organização clara por ordem de execução, apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Etapas de montagem da caixa solar térmica

Etapas	Descrição da Atividade
1	Corte das placas de isopor (EPS 60 mm) nas dimensões projetadas para base, topo, laterais, fundo e divisória interna.
2	Montagem da estrutura base, encaixe das laterais, fundo, divisória e topo com cortes específicos em formato trapezoidal com forma de macho e fêmea.
3	Revestimento interno com massa corrida, aplicação em todas as superfícies internas para uniformização e reflexão térmica.
4	Instalação dos vidros incolores (4 mm) em cada compartimento, com encaixe nos perfis tipo “U” em PVC branco dimensões 450mm(largura) x 550mm(altura).
5	Vedação e ajustes finais, correções nas junções, acabamento externo e reforço das bordas com extensor de nylon.
6	Posicionamento do modelo sobre base elevada (mesa de centro com tampo de vidro), garantindo estabilidade para a montagem.

Fonte: Autora (2025)

A montagem do modelo inicialmente, teve as placas de isopor com 60 mm de espessura cortadas nas dimensões adequadas para compor a base, laterais, fundo, topo e divisória interna. Em seguida, a estrutura foi montada utilizando encaixes específico em formato trapezoidal, garantindo firmeza e modularidade. Com a caixa estruturada, aplicou-se massa corrida em todo o interior para nivelamento e melhoria do desempenho térmico-reflexivo. Posteriormente, foram instalados dois painéis de vidro incolor de 4 mm com dimensões 450mm x 550mm (largura x altura), fixados com perfis U de PVC branco, simulando fachadas envidraçadas. A quinta etapa consistiu na vedação das junções e acabamento dos encaixes. Por fim, a caixa foi posicionada sobre blocos de concreto para simular o uso em campo e permitir ensaios experimentais comparativos entre os compartimentos.

A montagem final permitiu o monitoramento da variação térmica interna sob diferentes condições de insolação, com a possibilidade de integrar sensores de temperatura, dispositivos de medição de radiação solar. Essa etapa envolveu a ideia

para o planejamento dos cenários de teste e a definição das variáveis a serem controladas e registradas.

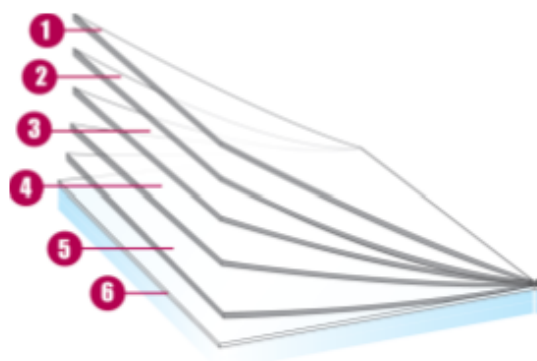
3.1.3 Definição da escolha dos filmes

Para implementação do método na escolha de controle solar, escolheu-se a tecnologia do filme fotocromático, que surgiu na área da química orgânica e da óptica na década de 1960, sendo inicialmente aplicada no desenvolvimento de lentes fotocromáticas para óculos. A descoberta foi atribuída a pesquisadores nos Estados Unidos, quando buscavam soluções para reduzir o desconforto visual em ambientes com variações intensas de luz (Pilato, 2013).

A escolha da película fotocrômica produzida no continente asiático com referência Eclipse 40-80 C – referência pesquisada e realizada a compra no período do Doutorado Sanduíche em Lisboa (Apêndice K) –, para aplicação no vidro incolor de 4 mm do protótipo da caixa solar térmica dupla desmontável, justifica-se por suas propriedades técnicas que aliam controle solar dinâmico, seletividade espectral e adaptabilidade à luz natural. Trata-se de um filme adesivo de aplicação interna, desenvolvido com tecnologia de partículas nanocerâmicas incorporadas ao substrato PET, capaz de alterar seu nível de transmissão luminosa conforme a intensidade da radiação solar incidente (Solar Screen, 2023a).

Com espessura de 55 micrômetros, essa película apresenta uma faixa de transmissão de luz visível variável entre 75 % e 20 %, característica típica de materiais fotocrômicos (Figura 52 e Anexo A). Essa propriedade permite que, em ambientes de alta luminosidade, o material escureça gradualmente, reduzindo o ofuscamento e a carga térmica no interior da caixa. De forma complementar, a Eclipse 40-80 C oferece uma rejeição de até +/- 93 % da radiação infravermelha, responsável pela maior parte da transferência de calor em fachadas envidraçadas, e bloqueia 99 % da radiação ultravioleta, protegendo superfícies e prolongando a vida útil dos materiais internos (Solar Screen, 2023a).

Figura 52 - Camadas da película de proteção solar



1. Camada dura e resistente aos riscos, permite uma boa durabilidade e de fácil limpeza;
2. Poliéster de alta qualidade ótica, com partículas nanocerâmicas antiinfravermelho;
3. Adesivo de ligação;
4. Poliéster de alta qualidade ótica;
5. Adesivo PS, com adesão no vidro em 15 dias;
6. Liner de proteção com adesivo.

Fonte: Solar Screen (2023a)

Sua aplicação foi adesivada em vidro incolor de 4 mm, encaixado com perfil U em PVC branco, simulando as condições de uma fachada translúcida convencional. A escolha desse substrato se baseia na sua ampla utilização em sistemas de fechamento vertical em edificações e na necessidade de testar a eficiência do filme em superfícies com baixa massa térmica. A compatibilidade da Eclipse 40-80 C com vidros simples e a instalação pela face interna garantem facilidade de aplicação e segurança durante os testes (Figura 53), além de permitir desmontagens para comparações posteriores com outras películas (Solar Screen, 2023b).

Figura 53 - Teste da película fotocromática em vidro incolor 4mm aplicado na janela

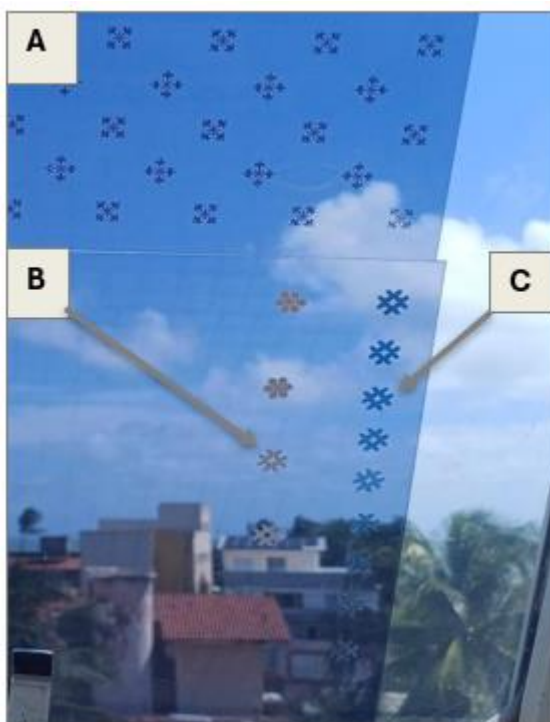


Fonte: Autora (2025)

Além do desempenho térmico e óptico, a escolha da película fotocromática também se justifica pela possibilidade de avaliar sua resposta fotossensível frente a diferentes condições de orientação solar, tempo de exposição e intensidade luminosa. Essa característica permite que o material atue como elemento ativo na composição do protótipo, ajustando-se às variações ambientais e contribuindo para o conforto térmico e eficiência energética passiva da edificação. Assim, sua aplicação reforça a proposta de superfícies adaptativas e ecoeficientes, alinhadas aos princípios da arquitetura sustentável (Solar Screen, 2023b).

Já o filme translúcido, quando impresso com padrões geométricos, desempenha papel fundamental na redução de colisões de aves, tornando o vidro visível à sua percepção. Com base na visão aviária, que inclui o espectro ultravioleta, os padrões funcionam como marcadores visuais, aumentando o contraste sem comprometer a entrada de luz natural. Como uma solução de design de superfície, este filme vai além da função protetiva, oferecendo versatilidade estética. Sua fácil aplicação permite combinar funcionalidade com a criação de uma identidade visual arquitetônica única.

Figura 54 - Teste das pigmentações aplicados na película fotocromática



Fonte: Autora (2025)

Os testes realizados com as impressões gráficas para aplicação sobre as películas tiveram diferentes abordagens, conforme apresentado na Figura 54, que ilustra a fixação experimental em uma janela residencial. As imagens foram desenvolvidas pela própria autora utilizando o software CorelDraw, com base em composições gráficas criativas e modulares, compostas por figuras geométricas de 10 mm × 10 mm, organizadas de forma a simular padrões visuais de impacto.

Na primeira tentativa (Figura 54A), foi realizada uma impressão direta sobre a película fotocromática utilizando impressora a laser com pigmentação preta. No entanto, o resultado foi considerado insatisfatório, devido à perda de definição, desbotamento progressivo da imagem e baixa visibilidade externa, ocasionada pelo escurecimento natural da película em resposta à radiação solar.

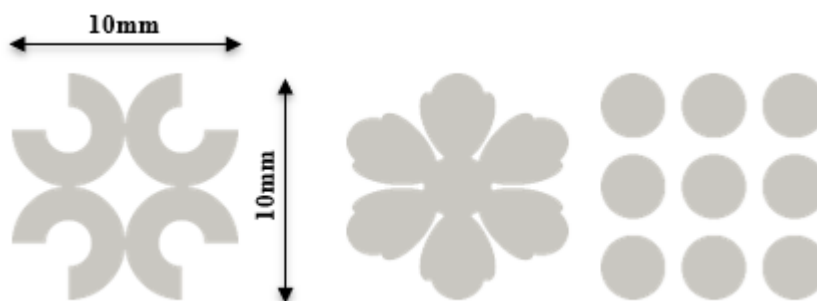
Na segunda experiência (Figura 54B), foi aplicada a técnica de impressão DTF UV direta na parte externa do vidro, o que gerou um sombreamento significativo no filme e um aspecto mais opaco. Embora a imagem tenha se tornado visualmente mais perceptível pelo lado interno, a interferência no desempenho óptico do filme pelo lado externo limitou sua aplicabilidade para o experimento. Porém sua adesivação pelo lado interno, proporcionou uma visualidade menos impactante aos olhos do usuário.

Por fim, na terceira abordagem (Figura 54C), optou-se pela impressão sobre vinil translúcido, utilizando tonalidades neutra 20% a 80% cinza sem variação de opacidade. As figuras foram recortadas com alta precisão por meio de lâmina controlada em base de corte, empregando o *Software Silhouette Studio*. Essa solução apresentou um visual discreto pelo lado interno, porém menor durabilidade, e tornou uma alternativa menos viável para os testes no protótipo da caixa térmica, por não mostrar visibilidade pelo lado externo do vidro.

A escolha gráfica das composições aplicadas sobre a superfície envidraçada foi fundamentada na busca por soluções que concilhassem eficiência na prevenção de impactos de aves e discríção visual para os usuários humanos. Foram desenvolvidos padrões com figuras geométricas em tonalidades de cinza, branco e amarelo, considerando estudos sobre a percepção visual das aves, que apresentam maior sensibilidade a essas cores. A intenção foi proporcionar uma marcação visível do lado externo — favorecendo a detecção pelos pássaros durante o voo —, e ao mesmo tempo, manter baixa interferência visual no ambiente interno, preservando a transparência e o

conforto dos ocupantes. Entre outros modelos estudados (Apêndice B), essa abordagem, ilustrada na Figura 55, orientou a escolha da solução final aplicada ao protótipo, por oferecer o equilíbrio ideal entre funcionalidade ecológica e estética arquitetônica.

Figura 55 - Modelos de padrões geométricos para impressão no filme UV



Fonte: Autora (2025)

Além disso, essa escolha trata-se de uma solução não invasiva, reversível e de fácil aplicação, que pode ser testada em protótipos e simulada em ambientes digitais, como propõe o escopo da pesquisa.

A combinação estratégica entre os dois tipos de filme – o fotossensível e o UV translúcido – permite ao design de superfícies criar modelos com desempenho ambiental multifuncional, respondendo simultaneamente a desafios de sustentabilidade energética e conservação da biodiversidade. Essa abordagem também está alinhada aos princípios do design biofílico, pois propõe soluções arquitetônicas que integram o ambiente construído com os processos ecológicos naturais, fortalecendo assim o compromisso com a arquitetura responsável e *eco-friendly* (Ferreira *et al.*, 2022).

3.1.4 Técnicas aplicadas ao modelo

Para a materialização deste projeto, a abordagem técnica selecionada integra os princípios do Design de Superfície com a inovadora tecnologia de impressão DTF UV. Essa combinação permite não apenas a criação de uma estética visualmente impactante, mas também garante funcionalidade, durabilidade e adaptabilidade do design proposto aos mais diversos materiais.

3.1.4.1 Design de Superfície: Consolidação de Diretrizes e Aplicabilidade

O Design de Superfície se estabelece como uma disciplina estratégica que transcende a mera decoração, sendo responsável por conceber e planejar o tratamento da "pele" de um produto ou ambiente (Barros, 2011). Em sua essência, essa área busca uma síntese coesa entre três pilares fundamentais: função (proteção e usabilidade), estética (padrões e cores) e identidade (comunicação da marca).

A diretriz principal de função para este Design de Superfície é o desempenho ambiental multifuncional, respondendo simultaneamente a desafios de sustentabilidade energética e conservação da biodiversidade.

Mitigação do Ganho de Calor: A aplicação da película fotocromática é o cerne da função de proteção térmica. Ela se ajusta dinamicamente à luz solar, escurecendo para reduzir o ofuscamento e a carga térmica no interior.

Proteção UV: O material deve bloquear uma alta porcentagem da radiação ultravioleta (UV) para proteger os usuários e prolongar a vida útil dos materiais internos.

Prevenção de Colisões Aviárias: Esta é uma função crítica e inovadora. O Design de Superfície utiliza padrões geométricos em filme translúcido (DTF UV) para tornar o vidro visível à percepção aviária (que inclui o espectro ultravioleta), funcionando como marcadores visuais que aumentam o contraste e previnem colisões.

A diretriz estética buscou conciliar a eficiência na prevenção de impactos de aves com a discrição visual para os usuários humanos.

Padrões Geométricos: A escolha gráfica final foi fundamentada em padrões com figuras geométricas (10 mm x 10 mm), organizadas para simular padrões visuais de impacto. Os testes focaram em tonalidades de cinza, branco e amarelo.

Discrição Visual para o Usuário: O objetivo é proporcionar uma marcação visível do lado externo (para os pássaros) e, ao mesmo tempo, manter a baixa interferência visual no ambiente interno, preservando a transparência e o conforto dos ocupantes.

A solução optada (impressão sobre vinil translúcido em tonalidades neutras de 20% a 80% cinza) ofereceu um visual discreto pelo lado interno, mas testes subsequentes mostraram que a impressão DTF UV com pigmentações UV pelo lado interno atingiu um equilíbrio mais eficaz.

A dimensão de identidade vincula o projeto a conceitos de vanguarda em sustentabilidade e design biofílico.

Design Biofílico/*Eco-friendly*: A abordagem está alinhada aos princípios do design biofílico, propondo soluções arquitetônicas que integram o ambiente construído com processos ecológicos naturais, reforçando o compromisso com a arquitetura responsável e *eco-friendly*.

Solução não invasiva e reversível: A aplicabilidade da impressão DTF UV sobre a película é uma solução não invasiva, reversível e de fácil aplicação, o que confere versatilidade e adaptação à identidade visual arquitetônica única, permitindo testar e simular em ambientes digitais.

Neste modelo de pesquisa, o design de superfície foi, portanto, a estratégia adotada para propor um sistema de revestimento em um modelo projetual para vidros de fachadas com a combinação de dois filmes, sendo a escolha da técnica de aplicação um passo crucial para garantir que essa visão criativa fosse executada com máxima fidelidade e qualidade.

3.1.4.2 Impressão DTF UV: tecnologia de execução

A técnica DTF UV (*Direct To Film UV*) representa um avanço recente no campo da personalização de superfícies rígidas, unindo a flexibilidade do processo DTF ao acabamento sofisticado proporcionado pela cura ultravioleta (UV).

O processo DTF teve suas primeiras aplicações no setor têxtil chinês, a partir de 2019, quando empresas especializadas em impressão digital passaram a utilizar filmes de poliéster (PET) como suporte intermediário para transferências por calor, especialmente em tecidos sintéticos e mistos (Liu, 2020).

Já no final de 2021, fabricantes asiáticos adaptaram o conceito de transferência DTF ao mercado de impressão UV, possibilitando a aplicação da técnica sobre substratos rígidos sem a necessidade de impressão direta. Essa adaptação permitiu maior versatilidade na personalização de superfícies como vidro, cerâmica, MDF e acrílico, além de eliminar etapas adicionais como o uso de primers (Zhang *et al.*, 2022).

A introdução de camadas de verniz, aplicadas no processo de impressão, ampliou ainda mais o leque de aplicações do método, tornando possível a criação de

efeitos táteis, relevo localizado e resistência mecânica adicional, mesmo em ambientes expostos a intempéries (Docan, 2022, p. 12).

Figura 56 - Filme *Transfer Liner UV*

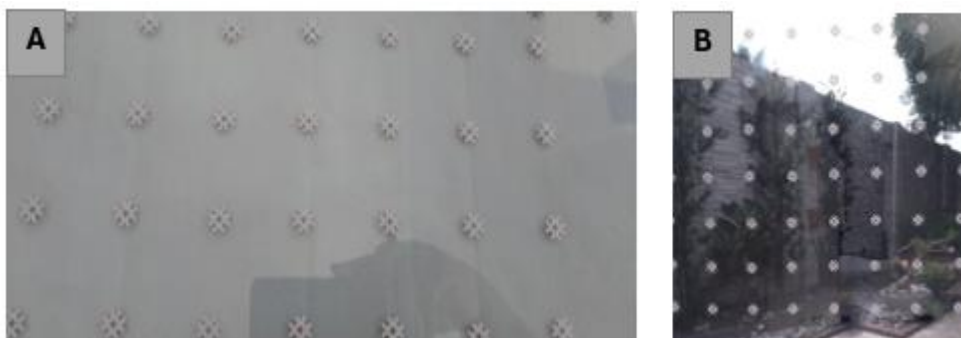


Fonte: Autora (2025)

O método DTF UV (Figura 56), utiliza uma película intermediária, conhecida como filme PET DTF UV, para realizar a impressão e posteriormente aplicação do material gráfico em superfícies rígidas.

De acordo com Silva et al. (2023), o processo consiste em quatro etapas principais: primeira a impressão da arte gráfica no filme PET *A-film* com tintas UV e, opcionalmente, camadas de verniz para realce visual e proteção; segunda com aplicação do Filme B – *transfer liner* – sobre a camada impressa, conferindo adesividade; terceira na remoção do *liner* para expor a camada adesiva e aplicar sobre o objeto final (Figura 57) e por último fixação por pressão manual ou mecânica.

Figura 57 - Vidro 4mm incolor e aplicação do Filme UV do lado externo (A) e interno (B)





Fonte: Autora (2025)

O uso da impressão em forma de pigmentos, oferece não apenas uma aparência sofisticada e com leve relevo, também aumentou significativamente a visão da impressão ao desgaste mecânico e à exposição ambiental, objetivando para o final do processo possa ter sua durabilidade de acordo o que oferece o produto para até 5 a 10 anos em ambientes internos e 2 a 5 anos em ambientes externos.

3.1.5 Escolha da instrumentação para acompanhamento dos testes

Para a avaliação do desempenho térmico e da incidência de irradiação no protótipo da caixa solar térmica dupla desmontável, foram utilizados dois instrumentos principais de medição: o Termohigrômetro Digital Higrômetro HTC-2 modelo E564 e o Sensor Manual de Radiação Ultravioleta KF-90 (Figura 58).

Figura 58 - a)) Termohidrômetro Digital HTC-2 e b) Sensor de irradiação UV KF-90

a) Termohidrômetro Digital HTC-2	b) Sensor de irradiação UV KF-90
Unidade de medida: Grau Celsius 	Unidade de medida: microwatts por centímetro quadrado 

Fonte: Autora (2025)

O termohidrômetro digital HTC-2 E564 é um equipamento multifuncional de precisão que permite o monitoramento simultâneo da temperatura e da umidade relativa do ar, com registro interno e externo. O equipamento fornece leituras com precisão de 1 °C para temperatura e 5 % para umidade relativa, com intervalo de medição entre – 50 °C e +70 °C, o que o torna adequado para estudos experimentais no modelo.

O Sensor Manual de irradiação UV modelo KF-90 foi empregado para a medição pontual da intensidade da irradiação ultravioleta incidente sobre a superfície frontal interna do protótipo. O equipamento opera por meio de captação direta da irradiação, fornecendo leitura instantânea dos níveis de UV em unidades de índice (UV Index), de acordo com a faixa recomendada pela Organização Mundial da Saúde.

A combinação desses instrumentos permitiu avaliar de forma empírica a eficiência da barreira térmica promovida pelas películas aplicadas ao vidro, bem como a proteção contra a radiação UV oferecida por cada material. Os dados obtidos subsidiaram a análise do comportamento passivo da solução testada, em conformidade com critérios de conforto térmico, seletividade espectral e proteção à saúde dos usuários em ambientes construídos.

3.2 MODELAGEM TRIDIMENSIONAL e SIMULAÇÃO DE DESEMPENHO

Com o intuito de aplicar e avaliar soluções ecoeficientes em um ambiente residencial que representasse de forma fidedigna a realidade construtiva contemporânea, a pesquisa utilizou como base projetual o modelo tridimensional de um flat com área de 36,80m² localizado no Condomínio Cais Eco Residência, em Muro Alto, Ipojuca. A obtenção desse modelo deu-se através do levantamento de dados técnicos do empreendimento real, permitindo a transposição de suas características geométricas e construtivas para o ambiente de simulação digital. A seleção dessa tipologia e localidade justificou-se pelo potencial de replicabilidade em empreendimentos similares na região litorânea, território de forte expansão econômica e imobiliária. O objeto de estudo incorporou elementos de design arquitetônico característicos da produção habitacional atual, como fachadas em alvenaria e esquadrias em alumínio com fechamento em vidro, configurando um cenário adequado para analisar, de forma integrada, o desempenho térmico, a proteção contra radiação e a eficácia das películas fotossensíveis propostas.

3.2.1 Modelo padrão: Desenho gráfico e modelagem tridimensional

O desenvolvimento do modelo gráfico seguiu os princípios da representação técnica de design de interiores, contemplando a elaboração de uma vista superior (planta baixa), produzidos no *Software Sketchup*. As dimensões do flat padrão foram obtidas a partir de dados técnicos fornecidos pelas plantas cadastrais do empreendimento e, posteriormente, adaptadas para fins do presente estudo. O ambiente apresenta configuração retangular recortada, com medidas internas de 5,35

m x 7,80 m (largura x profundidade). A altura livre, correspondente ao pé-direito entre a laje estrutural e o piso acabado, é de 2,75 m, enquanto a altura até o forro de gesso é de 2,60 m, resultando em uma área útil interna de 36,80 m².

As fachadas do flat são compostas majoritariamente por esquadrias de alumínio anodizado bronze com fechamento em vidro incolor de 6 mm, configurando elementos de grande relevância para a análise energética. A orientação predominante das aberturas volta-se para o sul, característica que favorece a investigação da incidência solar e seus efeitos térmicos ao longo do dia, especialmente nos períodos da manhã e da tarde. Essa configuração espacial permite analisar de forma detalhada as variações de radiação solar, bem como o desempenho das estratégias de controle aplicadas às superfícies envidraçadas.

A Figura 59 apresenta um estudo de caso com modelo digital do ambiente selecionado, representando um espaço residencial de pequeno porte, caracterizado por aberturas amplamente envidraçadas que estabelecem conexão direta entre o interior e o exterior. O contexto paisagístico no qual a edificação está inserida reúne elementos da Mata Atlântica e do oceano Atlântico, formando um habitat natural que abriga diversas espécies de aves. Tal condição confere maior relevância ao estudo, pois, além da análise do desempenho térmico e visual em condições reais de insolação, possibilita também a consideração de aspectos relacionados à sustentabilidade ambiental, como a prevenção de colisões de aves contra superfícies envidraçadas.

Figura 59 - Desenhos técnicos do Flat e fotos reais (Estudo de Caso)



Fonte: ARQEXPRESS Recife (2024)

As esquadrias externas foram concebidas em caixilhos de alumínio com fechamento em vidro incolor de 6 mm, adaptadas para a aplicação da película fotocromática, cuja função consiste em reagir à radiação ultravioleta, escurecendo progressivamente de acordo com a intensidade da luz solar incidente. Essa tecnologia foi combinada à aplicação de adesivos em filme especial DTF UV translúcido, pigmentados com padrões geométricos desenvolvidos a partir de princípios de visibilidade aviária

O padrão geométrico adotado nos vidros foi projetado com o objetivo de ampliar a percepção da superfície pelas aves, utilizando contrastes visuais compatíveis com a faixa de sensibilidade ao espectro ultravioleta. A disposição das pigmentações foi planejada de forma espaçada e estratégica, tomando como referência estudos sobre a média das trajetórias de voo e os impactos recorrentes de espécies litorâneas da região. Dessa forma, o sistema combina desempenho térmico e lumínico com atributos de mitigação de colisões aviárias, reforçando seu caráter ecoeficiente.

Destaca-se que o uso da modelagem digital foi essencial para prever o desempenho da técnica em diferentes condições de orientação solar. O ambiente analisado apresenta orientação predominante a sul, condição estratégica para observar o comportamento do sistema durante o período da tarde, quando ocorre maior incidência de radiação solar direta. A representação gráfica e construtiva do flat serviu como base tanto para a simulação computacional da percepção aviária, quanto para os testes empíricos de radiação e temperatura descritos nos capítulos subsequentes.

A modelagem tridimensional foi desenvolvida no *Software Sketchup*, possibilitando a representação detalhada dos elementos construtivos da sala, incluindo piso, forro, paredes e esquadrias. A fachada envidraçada recebeu, em sua face interna, a aplicação virtual da película fotocromática associada às pigmentações translúcidas em padrão geométrico, reproduzindo as condições propostas para a pesquisa. Além disso, a modelagem contemplou o memorial descritivo dos materiais (Quadro 3), sistematizando as características físicas e ópticas dos elementos construtivos, de modo a consolidar o conjunto como principal referência para as análises de desempenho térmico e de ganho solar.

Quadro 3 - Relação de acabamento interno da sala

SUPERFÍCIES	DESCRIÇÃO
PISO	1. Porcelanato 60x60 - Cimento queimado brilho
PAREDE	1. Alvenaria em bloco cerâmico revestido em argamassa e pintado na cor branco neve acetinado. 2. Pintura do flat em Elefante acetinado-Coral - (parede do sofá). 3. Esquadrias externas com caixilhos em alumínio anodizado bronze e vidro incolor 6mm com aplicação do filme fotocromático e pigmentos contrachocos dos pássaros em imagem geométrica. 4. Rodapé em porcelanato .60x.08 - Cimento queimado
TETO	1. Forro de gesso emassado e pintado na cor branco neve

Fonte: Autora (2025)

A seleção de materiais para o ambiente foca na funcionalidade, durabilidade e estética contemporânea.

Em suma, a escolha dos materiais reflete um planejamento cuidadoso para criar um ambiente de alta performance, visualmente harmonioso e com foco em soluções inteligentes como mostrar as Figura 60 e 61 e seu desenvolvimento no *Software Sketchup*.

Figura 60 - Modelo Tridimensional dos ambientes internos do Flat



Fonte: ARQEXPRESS Recife (2024)

Figura 61 - Modelo Tridimensional dos espaços e Vistas das Esquadrias



Fonte: ARQEXPRESS Recife (2024)

A representação tridimensional teve um papel essencial na validação da escala e proporções da proposta, além de auxiliar na geração de vistas esquematizadas utilizadas nos testes de percepção visual, radiação e conforto térmico. Também possibilitou uma avaliação prévia da viabilidade técnica de aplicação dos materiais selecionados, assegurando que o protótipo pudesse ser simulado de forma próxima à realidade da região situada.

Com isso, o modelo do Flat residencial passa a funcionar como ambiente de referência para simulação e testes do modelo, reforçando o caráter aplicado da pesquisa, sua pertinência regional e sua contribuição para soluções de design integradas ao contexto climático e ambiental.

3.2.2 Definição das técnicas e instrumentos de avaliação

Esta etapa apresenta ferramentas utilizadas na escolha dos métodos apoiado na utilização da modelagem no *Software SketchUp 2022* em combinação com o *Plugin Legacy Open Studio*⁴¹. O modelo adotado foi desenvolvido com base no simulador *EnergyPlus*, onde é amplamente utilizado para modelar o desempenho térmico e ganho solar de uma edificação.

3.2.2.1 Integração com ferramentas de simulação

A etapa de integração entre a modelagem do design de interiores e as ferramentas computacionais de simulação constitui um momento essencial para a análise do desempenho térmico e do ganho solar da edificação em estudo. Neste caso, o modelo tridimensional do flat de 36,80 m² foi inicialmente desenvolvido no *Software SketchUp*, que possibilitou a representação volumétrica precisa dos ambientes internos, das esquadrias e da orientação solar.

A fim de viabilizar a análise energética, o modelo foi exportado e parametrizado por meio do *Plugin Legacy Open Studio*, recurso que atua como intermediário entre a modelagem arquitetônica e a plataforma de simulação. Essa integração permitiu a conversão do modelo geométrico em dados compatíveis com o simulador *EnergyPlus*⁴², software amplamente validado e reconhecido no âmbito da simulação de edificações (Vidmar et al., 2024).

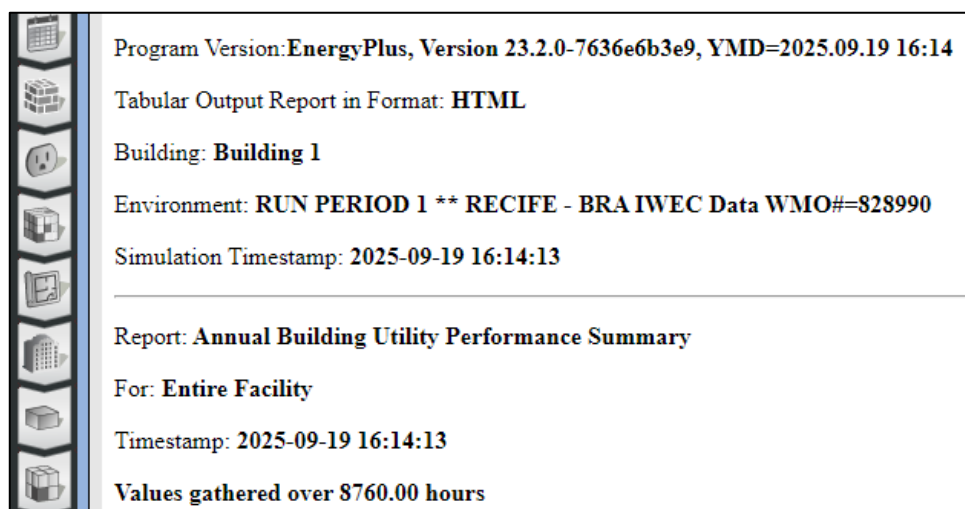
O *EnergyPlus* foi escolhido por sua capacidade de avaliar, de forma integrada, aspectos relacionados ao balanço térmico, às cargas internas, às propriedades dos materiais de fechamento e, sobretudo, ao comportamento da radiação solar incidente nas superfícies envidraçadas. Segundo Vidmar et al (2024), a utilização conjunta das três ferramentas (*SketchUp*, *Open Studio* e *EnergyPlus*) possibilita a obtenção de resultados

⁴¹ É um conjunto multiplataforma de ferramentas de software para auxiliar na modelagem energética de edifícios inteiros. <https://openstudio.net/>

⁴² É um software de simulação de energia para edifícios inteiros, utilizado por engenheiros, arquitetos e pesquisadores para representar o aquecimento, resfriamento, ventilação, iluminação e as demandas de eletricidade e processos no consumo energético. <https://energyplus.net/>

confiáveis e alinhados às condições reais de desempenho da edificação, permitindo a comparação entre diferentes cenários de aplicação de materiais desejáveis (Figura 62).

Figura 62 - Apresentação do Software *EnergyPlus*



Fonte: Dados obtidos no software (*Sketchup/Open Studio/EnergyPlus*, 2025)

Essa integração assegura maior precisão nos resultados, uma vez que a parametrização realizada no Open Studio contempla não apenas as geometrias e materiais definidos no *SketchUp*, mas também as condições climáticas, as cargas internas e os fatores de orientação solar exigidos pelo *EnergyPlus*. Assim, a combinação entre modelagem do design de interiores e simulação energética constitui uma abordagem metodológica robusta, garantindo uma análise abrangente dos impactos das soluções propostas sobre o desempenho térmico do flat em estudo.

3.2.2.2 Simulação do ganho solar e desempenho térmico

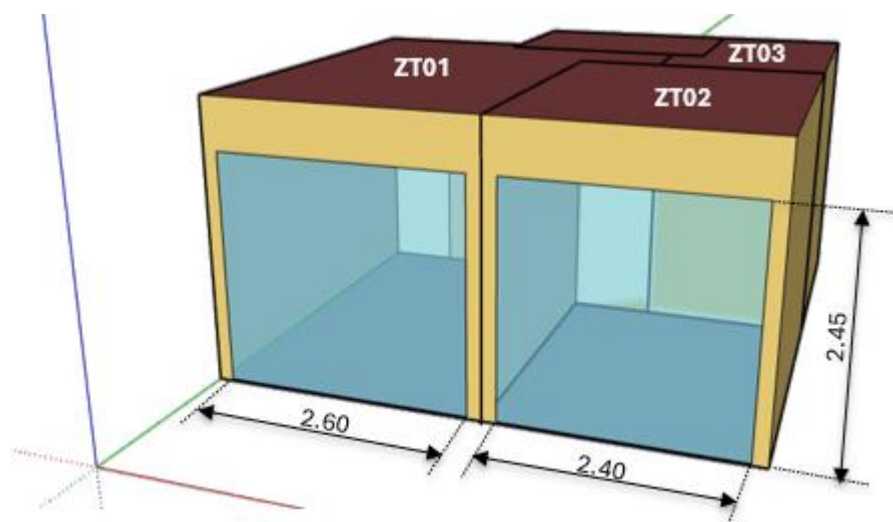
A definição da geometria do ambiente constituiu a primeira etapa da modelagem tridimensional, sendo determinante para a caracterização do desempenho térmico e da captação de radiação solar pelo flat em estudo.

Adicionalmente, a relação entre área construída, dimensões das fachadas e proporção de superfícies envidraçadas foi fundamental para a análise do ganho solar. Essa configuração permitiu avaliar como a incidência direta da radiação varia em função da orientação e da tipologia construtiva, fornecendo subsídios para a aplicação das

soluções de controle — película fotocromática e pigmentação translúcida em padrão geométrico.

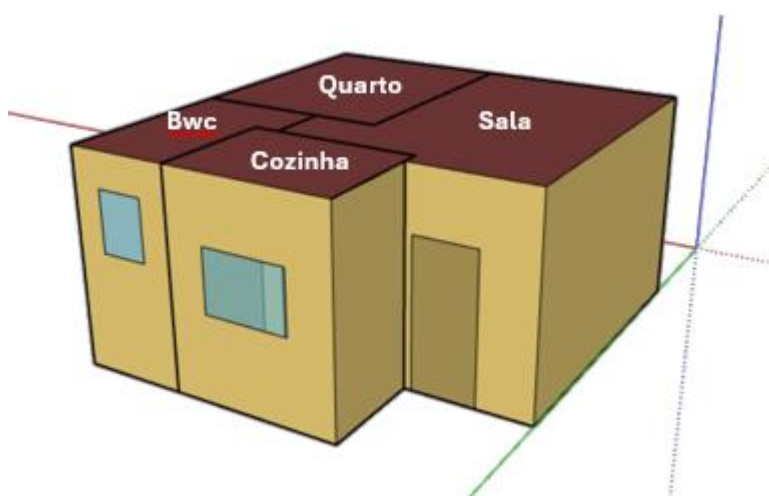
A Figura 63 e 64 ilustra a geometria do flat modelado, contemplando o modelo 3D representativo, o qual serviu de base para a parametrização das simulações de desempenho descritas nas etapas seguintes.

Figura 63 - Modelo Tridimensional de referência-Fachada Sul



Fonte: Autora (2025)

Figura 64 - Modelo Tridimensional de referência-Fachada Norte



Fonte: Dados obtidos no software (Sketchup/Open Studio/EnergyPlus, 2025)

O modelo representa uma volumetria compacta e simplificada. As linhas no telhado sugerem a divisão interna do modelo nas três zonas térmicas identificadas na simulação: sala/cozinha (ZT01), quarto (ZT02) e banheiro (ZT03). As cores são distintas para paredes, cobertura e vãos, são representações padrão para diferenciar os elementos construtivos no software.

A fachada frontal visível na imagem exibe uma grande área envidraçada. Esta corresponde à porta de vidro com área de 6,37 m² da sala e à janela do quarto com área 5,88 m², resultando na elevada taxa de abertura de 66,89% para orientação sul.

Com relação aos materiais selecionados para envoltória, foram escolhidos para paredes externas em alvenaria de vedação, laje de cobertura em concreto armado, forro em gesso acartonado, esquadrias de vidro encaixilhada em alumínio e outros materiais complementares para simulação. Esses elementos foram parametrizados no modelo com base em valores de referência para edificações em clima tropical úmido [ABNT NBR 15220-2, 2022], considerando espessura, condutividade e coeficiente de transmissão térmica (Tabela 1). O desempenho desses componentes é fundamental para o controle das trocas de calor entre o meio externo e interno, reduzindo a carga térmica do ambiente e assegurando maior precisão na simulação do balanço energético do flat (ABNT NBR 15220-2, 2022).

Tabela 1 - Propriedades dos Materiais Utilizados no Modelo

Material	Espessura(m)	Condutividade térmica(W/mk)	Densidade de massa (kg/m³)	Calor Específico (J/kgK)
Porta de madeira	0,03	0,15	614	2300
Vidro 6mm	0,006	1,00	-	-
Reboco de argamassa	0,025	1,15	2000	1000
Bloco de tijolo maciço	0,096	0,9	1764	920
Telha fibrocimento	0,007	0,95	1900	840
Laje de concreto	0,20	1,75	2200	1000
Forro de gesso	0,03	0,25	700	0,84
Piso em porcelanato	0,01	0,9	1600	920
Argamassa de assentamento	0,015	1,15	2000	1000

Fonte: Adaptado da NBR 15220-2 (2022)

As esquadrias do flat, em alumínio com vidro incolor de 6 mm, representam o principal elemento de entrada de radiação solar, dada a orientação da fachada. Foi simulado um cenário do vidro monolítico “SEM” película. Os parâmetros ópticos e térmicos do cenário foi inserido no simulador para avaliar o impacto sobre a

transmitância solar, o ganho de calor e o desempenho térmico do ambiente, conforme dados de referência técnica e valores experimentais obtidos em testes preliminares. Esses fatores foram sistematizados permitindo comparar o impacto de cada solução sobre a atenuação da radiação incidente e a consequente variação de temperatura no interior do flat.

A simulação utilizou dados climáticos com horários de Ipojuca-PE, permitindo estimar a incidência solar ao longo do ano, com destaque para o verão como período mais crítico. A orientação sul, portanto, foi decisiva para compreender tanto o desempenho térmico e energético quanto os efeitos sobre a percepção aviária.

3.2.2.3 *Análise por ambientes e avaliação dos resultados*

A avaliação térmica do flat foi realizada de forma segmentada, considerando os ambientes que compõem as principais zonas térmicas: quarto e sala/cozinha. Ambos apresentam características distintas de área, ocupação, cargas internas e aberturas, fatores determinantes para o desempenho térmico e o ganho solar do modelo (Tabela 2).

Tabela 2 – Análise dos ambientes do modelo

Ambiente	Área (m ²)	Volume (m ³)	Densidade de ocupação (m ² /pessoa)	Carga de iluminação (W/m ²)	Carga de equipamentos (W/m ²)	Aberturas
Quarto	9,31	26,07	2,06	21,39	35,31	Janela (5,19 m ²) e porta de vidro na fachada sul
Sala/Cozinha	18,07	50,60	3,60	16,19	61,35	Porta de vidro (6,12 m ²) na fachada sul e janela de 1,10 m ² na fachada norte

Fonte: Dados obtidos a partir da modelagem e simulação no software (*Sketchup/Open Studio/EnergyPlus*, 2025)

A análise iniciou-se no quarto, que possui área de 9,31 m² e volume de 26,07 m³, configurando uma densidade de ocupação de 2,06 m²/pessoa, valor que indica um espaço relativamente compacto em relação à sua capacidade de uso.

As cargas internas se destacam pelo impacto significativo no balanço térmico: a carga de iluminação foi de 21,39 W/m², enquanto a carga de equipamentos alcançou

35,31 W/m², representando a menor contribuição para o aquecimento interno do ambiente. Não foram contemplados na simulação o uso de climatização nos ambientes.

No que se refere às aberturas, o quarto apresenta uma janela de 5,19 m² com uma porta de vidro, ambas posicionadas na fachada sul. Essa configuração possibilita a entrada de radiação solar direta em determinados períodos do ano, especialmente nas primeiras horas da manhã e no final da tarde, dependendo da estação. Essa condição torna o ambiente particularmente sensível à variação da radiação incidente, intensificando as condições de desconforto térmico em dias de elevada insolação.

A segunda etapa da análise térmica concentrou-se no ambiente integrado de sala e cozinha. Este espaço representa a maior zona térmica do flat, com uma área de 18,07 m² e um volume de 50,60 m³. Com base na ocupação, a densidade de pessoas foi calculada em 3,60 m²/pessoa, o que é um fator importante para o cálculo das cargas internas.

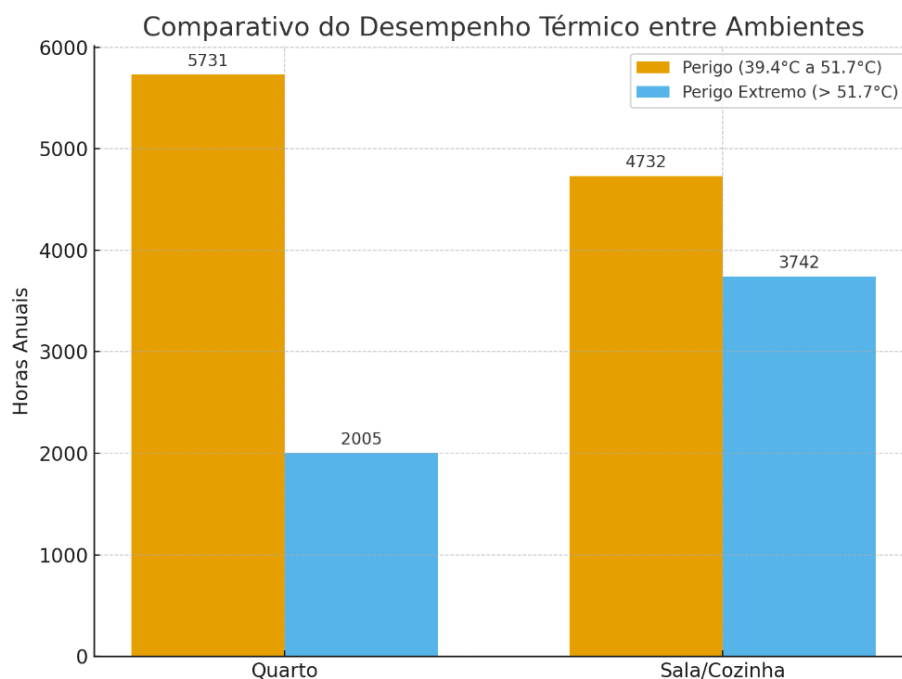
Embora as cargas internas desse ambiente sejam maiores em comparação com as do quarto, elas são significativas para o desempenho térmico. A iluminação artificial foi definida com uma carga de 16,19 W/m², contribuindo para o aquecimento do ambiente. A carga dos equipamentos é consideravelmente maior, atingindo 61,35 W/m², principalmente devido ao uso de eletrodomésticos, como geladeira, fogão e outros aparelhos de cozinha.

Em relação às aberturas, o ambiente possui uma configuração que o torna particularmente vulnerável ao ganho de calor. A porta de vidro de 6,37 m² na fachada sul é o elemento mais crítico. Essa grande superfície envidraçada exerce um papel determinante no ganho de calor solar, especialmente durante os horários de maior insolação. Embora a fachada sul receba menos sol direto no hemisfério sul, sua grande área e a insolação indireta ou de baixa inclinação nos horários de pico podem resultar em um aumento significativo da temperatura interna. A janela de 1,10 m² na fachada norte, por sua vez, contribui para a iluminação, mas em menor grau para o aquecimento, por estar dentro da área interna da edificação.

A presença da porta de vidro na fachada sul se configura, portanto, como o ponto mais crítico da análise, exigindo uma atenção especial para o desempenho da envoltória transparente.

A avaliação do desempenho térmico do flat considerou as condições ambientais internas sob a hipótese de ausência de climatização artificial, de modo a evidenciar a vulnerabilidade dos espaços frente às condições climáticas locais. Os resultados demonstram que tanto o quarto quanto a sala/cozinha (Gráfico 1) atingem temperaturas e índices de umidade extremamente elevados, incompatíveis com a ocupação prolongada sem a adoção de medidas de mitigação.

Gráfico 1 - Distribuição das horas anuais em condições de calor perigoso e extremo

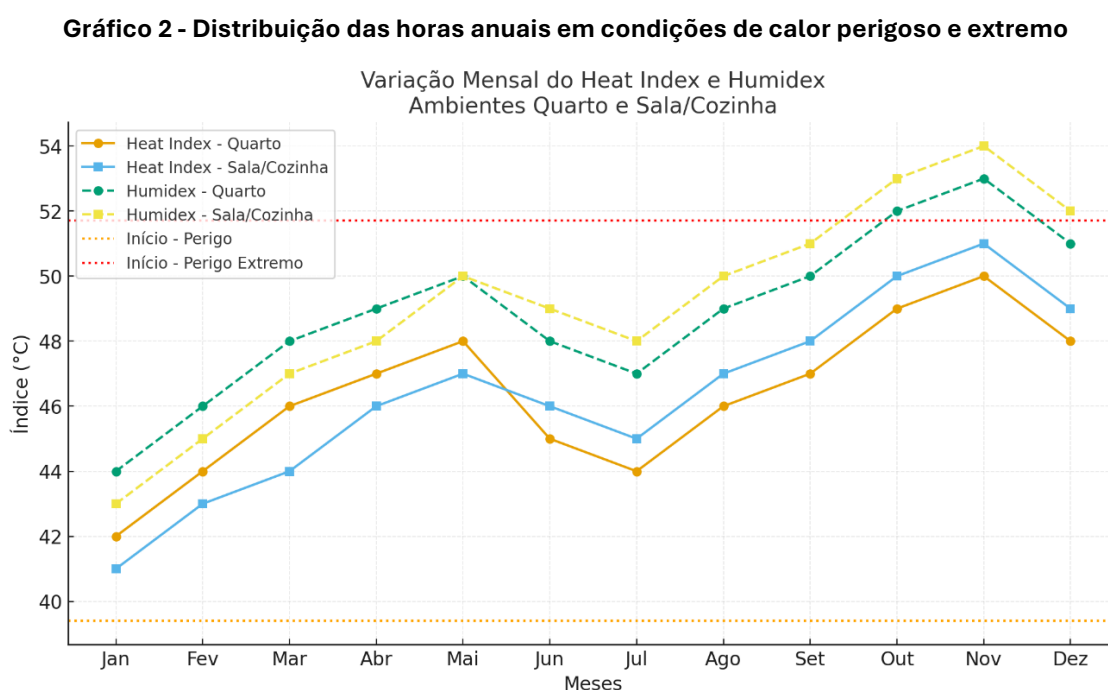


Fonte: Resultados da simulação computacional no *EnergyPlus* (2025)

A análise dos resultados obtidos a partir da simulação térmica evidencia que tanto o quarto quanto a sala/cozinha apresentam condições ambientais críticas para o conforto humano ao longo do período anual. Conforme os dados representados nos gráficos comparativos, observa-se que o quarto permaneceu por aproximadamente 5.730,67 horas na condição classificada como perigo (39,4 °C a 51,7 °C) e 2.005,00 horas em perigo extremo (acima de 51,7 °C). Já a sala/cozinha registrou 4.732,00 horas em Perigo e 3.741,67 horas em Perigo Extremo.

Esses valores demonstram que, sem climatização, o conforto térmico é severamente comprometido, sobretudo em função da carga interna do quarto e das amplas superfícies envidraçadas da sala/cozinha, voltadas para a fachada sul.

A análise pelo índice de *humidex*, que combina temperatura e umidade relativa, reforça os achados anteriores. Considerando o clima úmido característico de Recife, os ambientes atingem condições classificadas como perigosas e, em grande parte das horas ocupadas, como de AVC quase certo⁴³ (Gráfico 2), conforme indicado pelos índices de *Heat Index* e *Humidex*⁴⁴, indicando riscos à saúde humana pela sobrecarga térmica e hídrica.



Fonte: Resultados da simulação computacional no *EnergyPlus* (2025)

A elevada carga térmica interna, aliada à orientação solar das aberturas envidraçadas, intensifica o ganho de calor por radiação direta e indireta, agravando os níveis de desconforto nos dois ambientes. A análise evidencia, portanto, a necessidade de incorporar soluções projetuais e tecnológicas que minimizem os efeitos da insolação direta e promovam maior eficiência térmica. Entre as alternativas destacam-se o uso da película fotocromática (Figura 65A), além de ventilação natural assistida para os

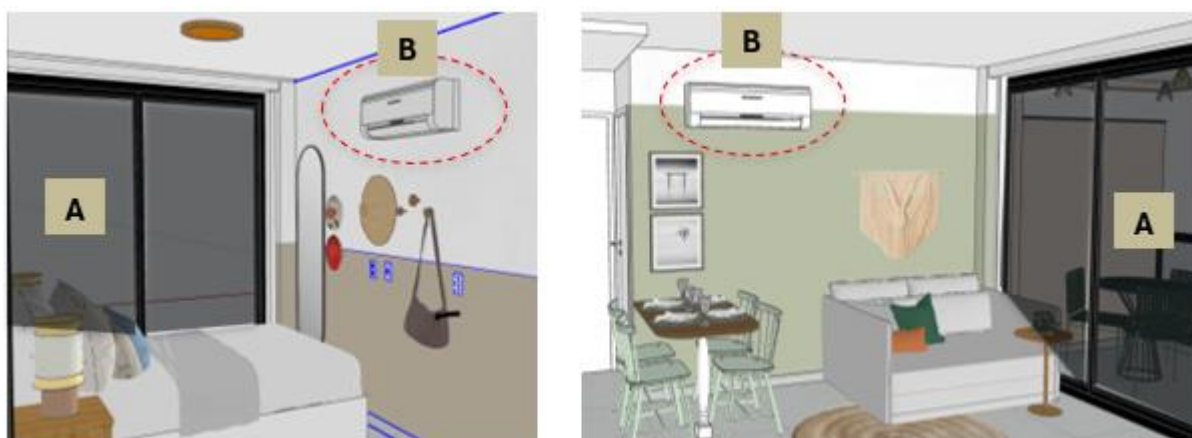
⁴³ Refere-se ao risco muito elevado de golpe de calor severo, em que a combinação de temperatura e umidade pode levar à falência do sistema de regulação térmica do corpo, aumentando drasticamente a probabilidade de colapso circulatório e neurológico.

⁴⁴ Índices de sensação térmica que combinam a temperatura do ar e a umidade relativa para descrever a temperatura percebida pelo corpo humano.

ambientes, que contribuem para reduzir a temperatura interna e, conseqüentemente, melhorar a habitabilidade dos espaços.

O projeto, portanto, tem a oportunidade de demonstrar como uma solução de design de superfície pode melhorar significativamente o conforto térmico e a habitabilidade do flat, sem a necessidade de sistemas de ar-condicionado. Segundo o escritório responsável pelo layout de interiores do flat, foi sugerido e proposto equipamentos de climatização condicionada (Figura 65B) localizados em uma das paredes que interligam os dois ambientes.

Figura 65 - Localização e definição final do flat



Fonte: ARQEXPRESS Recife (2024)

A inclusão de um sistema de climatização no flat, especificamente na sala e no quarto, alteraria significativamente a análise de desempenho e conforto. Em vez de focar na mitigação passiva do calor excessivo, a análise passaria a se concentrar na eficiência energética do sistema de climatização e no conforto térmico ativo proporcionado.

3.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O Capítulo 3, dedicado à Modelagem Projetual, estabeleceu a metodologia robusta e integrada que guiou a pesquisa, fundamentada na perspectiva do Research Through Design (RtD). Esta abordagem foi essencial, pois reconhece o processo de design como um meio legítimo de investigação científica, permitindo a criação de conhecimento pela prática e promovendo a sinergia entre investigação teórica, simulações digitais e experimentação prática. O trabalho demonstrou a importância de

integrar a modelagem computacional (SketchUp, Open Studio e EnergyPlus), que forneceu análises preditivas do desempenho térmico e do ganho solar do ambiente, com a experimentação prática em um protótipo de caixa solar térmica dupla e desmontável.

A essência desta metodologia reside na proposição de uma solução inovadora e multifuncional para fachadas envidraçadas. Esta solução combina:

- A Película Fotocromática Eclipse 40-80 C: Escolhida por sua capacidade de adaptação dinâmica (variando a transmissão luminosa entre 75% e 20%) e por oferecer alta eficiência no controle solar, com o bloqueio de 99% da radiação ultravioleta e alta rejeição de radiação infravermelha.
- Pigmentações em Padrão Geométrico por Impressão DTF UV: Desenvolvidas para atuar como uma barreira visual para as aves, aproveitando sua sensibilidade ao espectro ultravioleta (UV). Esta sobreposição busca alcançar um equilíbrio entre a segurança da fauna e o conforto estético e funcional para os usuários humanos.

Em suma, o capítulo validou a metodologia como um caminho para a validação científica e a aplicação prática, demonstrando que o design de superfície pode atuar como uma solução ecoeficiente. A abordagem integrada permitiu consolidar a proposta de um material que não apenas atende a requisitos de alto desempenho térmico e controle solar, mas também incorpora uma dimensão de responsabilidade ecológica ao mitigar colisões aviárias, estabelecendo um novo padrão para superfícies transparentes na arquitetura sustentável.

PARTE 4 – IMPLICAÇÕES DA PESQUISA

4 RESULTADOS

O principal objetivo desta tese é criar um sistema de revestimento que se integre a uma proposta de design para vidros destinados a fachadas, utilizando uma combinação de filmes que reduzem os ganhos térmicos e oferecem proteção contra colisões com aves. Para atingir esse objetivo, foram executados procedimentos distintos. Neste capítulo consiste uma análise detalhada e documentada dos testes e medições realizados no modelo da caixa térmica, com base em evidências qualitativas e quantitativas do desempenho térmico, resultados sobre a interceptação da radiação ultravioleta e a avaliação da película fotocromática Eclipse 40-80C de proteção solar.

Essas etapas, foram realizadas em uma residência localizada no bairro da Iputinga, na Região Metropolitana do Recife, com possibilidades de leituras nos horários da manhã e à tarde. Em conjunto, os experimentos asseguram a qualidade e a confiabilidade dos resultados alcançados, sendo cruciais para o progresso e êxito da pesquisa.

4.1 MONTAGEM EXPERIMENTAL

A avaliação do desempenho das películas em proteção contra radiação ultravioleta (UV) foi conduzida por meio de um sistema de teste que simula condições ambientais reais. A montagem experimental, consiste em um protótipo modular bipartido, fabricado em material isolante, com duas câmaras de medição idênticas e independentes. A referência para a construção do modelo concebeu como um instrumento epistemológico dentro da abordagem *Research Through Design* (RtD), permitindo a simulação de condições ambientais reais.

A estrutura foi construída a partir do encaixe de placas de EPS pré-cortadas, o design modular permitiu a montagem e desmontagem facilitada do sistema, conforme demonstrado no processo ilustrado na Figura 66A, B.

A configuração das caixas é composta por duas câmaras, equipada com um painel de vidro transparente, sem qualquer tipo de revestimento. Esta câmara serve

como base de comparação, registrando os valores de radiação e temperatura sem a intervenção da película. A câmara de teste, vem com um painel de vidro sobre o qual foi aplicada a película fotocromática em estudo. O aspecto mais escurecido do vidro (Figura 66C) demonstra a ativação parcial da película sob a luz solar.

Figura 66 - Protótipo modular A) Caixa desmontada, B) Processo de montagem e C) Caixa montada.



Fonte: Autora (2025)

A justificativa do protocolo de medição é essencial para a validade dos resultados experimentais e para a coerência metodológica da pesquisa. O uso do protótipo modular bipartido com dispositivos de medição de temperatura e umidade relativa em cada câmara se justifica por permitir a quantificação do ganho de calor solar e a moderação da umidade, validando a capacidade da solução em promover o conforto ambiental e mitigar a carga térmica.

As medições são conduzidas em ambiente externo sob exposição à luz solar direta para simular as condições mais críticas de fachada, garantindo a ativação dinâmica da película fotocromática.

Por fim, o protocolo de medição manual da irradiação UV em dois pontos (externo e interno) é fundamental para quantificar a eficácia protetiva do filme, calculando o nível de redução da radiação nociva, o que valida a função do sistema para a saúde dos usuários e a conservação de materiais.

4.1.1 Medição de temperatura

Para a medição da temperatura e da umidade interna do protótipo, foram utilizados termômetros digitais com termohigrômetro modelo HTC-2 (E564), dotados de sensores interno e externo. Para evitar o superaquecimento da parte interna e garantir que as medições de desempenho térmico fossem comparáveis em condições estáveis, a caixa térmica de cada compartimento precisou ter quatro aberturas de ventilação na parte posterior, com medições de 0.15cm x 0.05cm cada.

A sonda de temperatura externa foi posicionada no exterior de cada compartimento da caixa, por meio dessa abertura de ventilação na parte posterior, registrando a temperatura ambiente externa ao longo do dia (Figura 67 e 68). O equipamento digital permaneceu no ambiente interno, permitindo a comparação inicial entre áreas com e sem aplicação de película.

As medições foram realizadas em intervalos regulares de tempo de 15 minutos, em condições naturais de incidência solar, com o objetivo de avaliar a eficiência térmica do sistema envidraçado com a aplicação do filme Eclipse 40-80 C.

Figura 67 - Posicionamento do termohidrômetro digital HTC-2 no interior compartimento



Fonte: Autora (2025)

Figura 68 - Posicionamento da sonda do HTC-2 no exterior do compartimento e proteção solar



Fonte: Autora (2025)

Os dados coletados permitiram identificar a variação térmica entre os compartimentos e a influência da película fotocromática no controle passivo de calor.

4.1.2 Exposição à Irradiação UV

As medições foram conduzidas em horários definidos e rigorosos, estabelecendo um protocolo para registrar a intensidade da radiação incidente diretamente sobre o vidro, comparando os valores na câmara de teste (com película aplicada) com a incidência UV externa (Figura 69). Para este fim, foi utilizado o Sensor Manual de Irradiação UV modelo KF-90. O protocolo de medição manual da radiação foi estabelecido em dois pontos (externo e interno ao protótipo) para quantificar a eficácia da película fotocromática.

O principal objetivo dessa etapa foi verificar o nível de proteção à irradiação ultravioleta (UV) promovido pelo filme Eclipse 40-80 C, que, segundo o fabricante, possui a característica de bloquear até 99% da radiação ultravioleta (Anexo A). O registro contínuo e comparativo desses dados foi essencial para validar a eficácia do material em mitigar os efeitos da radiação nociva, o que é vital não apenas para o conforto e a saúde dos ocupantes, mas também para a conservação e durabilidade dos materiais internos expostos, que sofrem degradação quando submetidos à irradiação UV de forma contínua. Os dados coletados permitiram correlacionar a intensidade da radiação UV com as variações de temperatura nos compartimentos internos da caixa, considerando as diferenças entre as áreas com e sem aplicação do filme.

Figura 69 - Medição da Radiação Interna

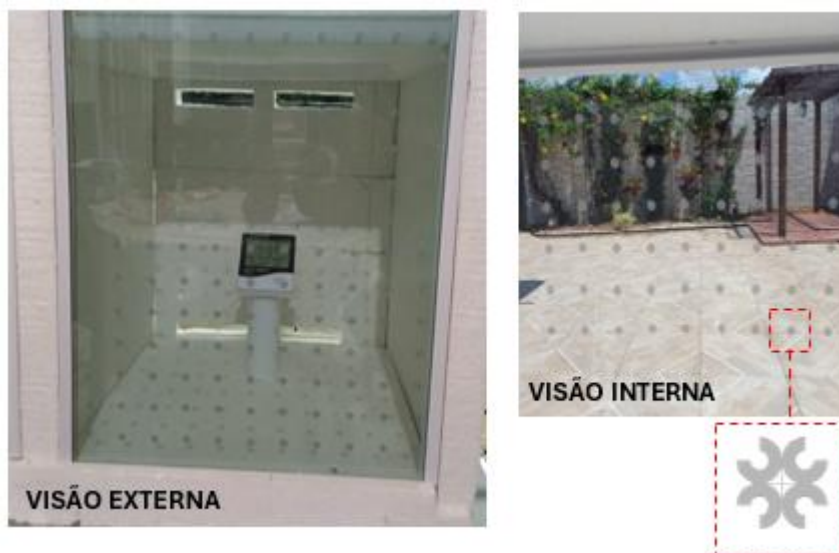
Fonte: Autora (2025)

O sensor foi utilizado ao longo do dia, em horários determinados pela manhã e tarde, em dias alternados, para correlacionar a intensidade da irradiação UV com as variações de temperatura nos compartimentos internos da caixa, considerando as diferenças entre áreas com e sem aplicação da película fotocrômica e dos pigmentos de impressão DTF UV.

4.1.3 Visibilidade para aves

Para avaliar a eficácia das marcações visuais aplicadas ao vidro na prevenção de colisões de aves, foram desenvolvidas composições gráficas com padrões geométricos modulares, impressas em filme *liner* DTF UV com tonalidades de cor cinza claro e adesivada diretamente na película pelo lado interno do vidro. A escolha baseou-se em estudos sobre a visão das aves, que possuem maior sensibilidade a tons claros, como branco, cinza e de cor amarelada. Os testes de visibilidade foram conduzidos por meio da análise visual externa e interna do protótipo, buscando verificar o equilíbrio entre a percepção pelas aves e a transparência para os usuários humanos. A avaliação considerou a nitidez das marcações sob diferentes condições de luminosidade, bem como a harmonia estética no ambiente interno. A composição escolhida do padrão geométrico elaborado pela autora, foi aquela que apresentou melhor contraste externo como interno, com mínima interferência na visão de dentro para fora, contribuindo para a segurança da fauna sem comprometer o conforto visual dos ocupantes (Figura 70).

Figura 70 - Teste de visibilidade dos pigmentos padrões geométricos



Fonte: Autora (2025)

As pigmentações em teste foram aplicadas individualmente na face interna do vidro, com espaçamento regular de 40 mm entre si, sendo sobrepostas à película fotocromática previamente instalada. O recorte das pigmentações em filme translúcido foi realizado com precisão de acordo com o sistema sobre um modelo opaco em filme especial DTF UV, com uma impressão de tinta UV curável e impresso em adesivo aplicado na peça, retirando o *liner* de alta qualidade, resultando em uma forma texturizada com relevo e uma boa resistência.

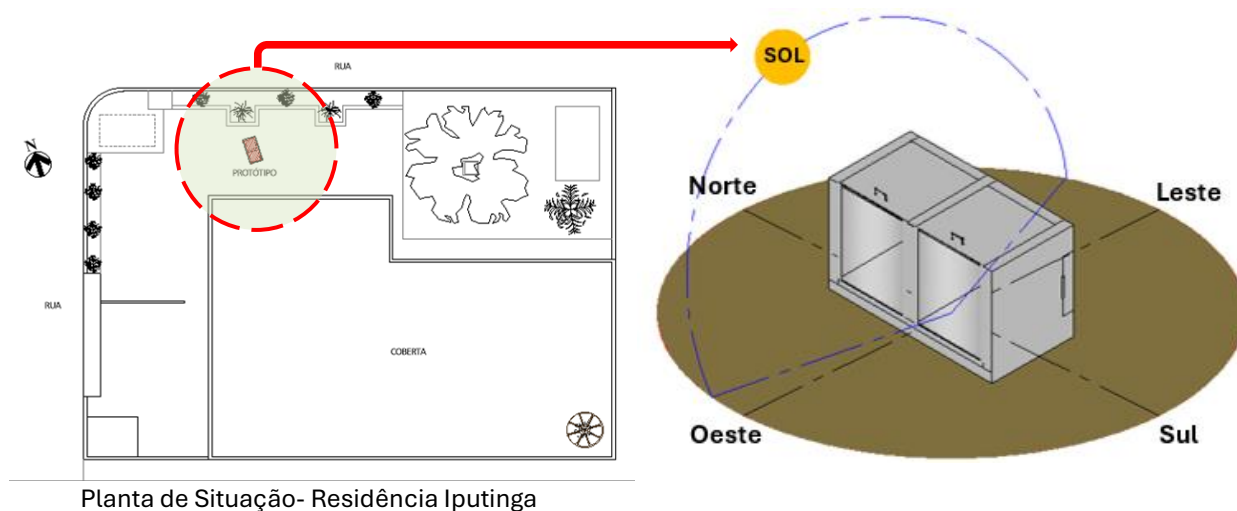
As medições foram realizadas simultaneamente em ambas as câmaras e no ponto externo em intervalos regulares entre 15 e 15 minutos no período da maior incidência de calor nos horários da tarde, garantindo que a comparação de dados fosse precisa e representativa das condições reais do local.

4.2 ANÁLISES E DOCUMENTAÇÕES DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta os principais resultados obtidos a partir dos ensaios experimentais realizados no protótipo da caixa solar térmica dupla desmontável com película fotocromática aplicada no vidro 4mm internamente e sem película em vidro incolor 4mm (Figura 70), com área 0,25m² de vidro. Os testes permitiram analisar o desempenho térmico, a eficácia na proteção contra irradiação UV, e a visibilidade

externa para aves. Os dados observados são discutidos a seguir com base em evidências quantitativas e qualitativas em comparação conforme dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de Recife e o posicionamento da caixa com os vidros direcionados para o poente (Oeste, Figura 71), onde a incidência do sol se torna mais crítica.

Figura 71 - Posicionamento da orientação solar no inverno



Fonte: Autora (2025)

A Figura apresenta o posicionamento do protótipo em relação à orientação solar no período de julho a setembro. A orientação adotada no ensaio favoreceu a captação direta da radiação, especialmente no período da tarde, quando o sol poente incide com maior intensidade sobre a face Oeste. Além disso, a escolha do período se mostrou adequada para a análise, uma vez que a insolação, embora menos intensa do que nos meses de verão, ainda apresenta valores elevados de radiação solar direta e de irradiação ultravioleta, permitindo avaliar o desempenho da película fotocromática em situação de maior exposição solar.

4.2.1 Desempenho Térmico - Comportamento das temperaturas iniciais

A fase de testes iniciais, realizada nos dias 20 e 21 de julho de 2025, teve como objetivo avaliar a capacidade do protótipo em manter os parâmetros dentro das faixas estabelecidas e criar estratégia para os testes posteriormente definitivos.

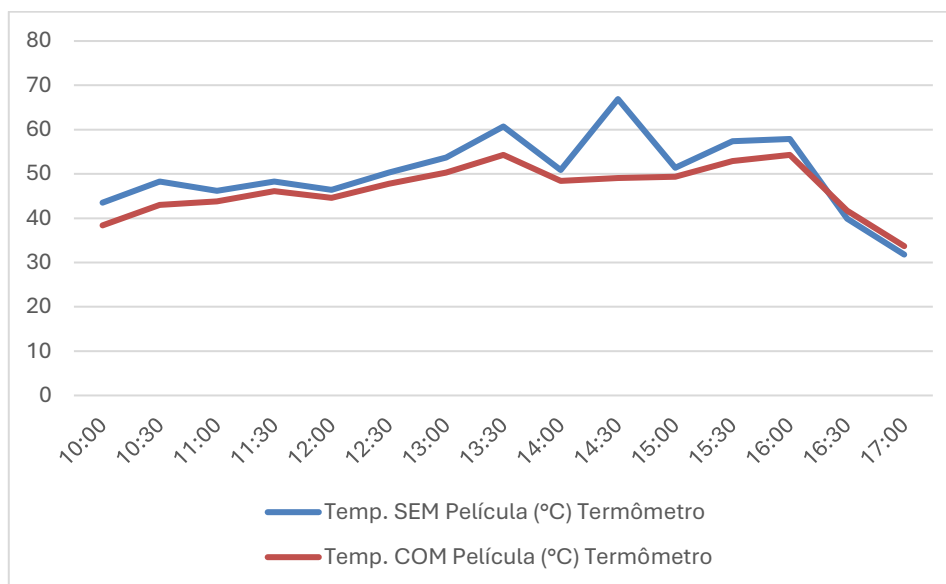
Os ensaios experimentais realizados permitiram observar o desempenho térmico comparativo entre os compartimentos da caixa de teste com vidro incolor e com aplicação da película fotocromática. As medições foram registradas em intervalos de 30 minutos (Apêndice C), abrangendo o período das 10h00 às 17h00, contemplando as horas de maior incidência de radiação solar (Tabela 3).

Tabela 3 - Variação da temperatura interna nos compartimentos COM e SEM película fotocromática
(Teste realizado no protótipo dia 20/07/25)

Data	Hora	Umidade Externa % Recife	Umidade % Termômetro COM película	Temp. Externa (°C) Recife	Temp. SEM Película (°C) Termômetro	Temp. COM Película (°C) Termômetro	Diferença Temp. (°C)
20/julho	10:00	81	63	26	43,5	38,4	5,1
	10:30	81	47	26	48,3	43	5,3
	11:00	81	39	26	46,2	43,8	2,4
	11:30	76	34	26	48,3	46,1	2,2
	12:00	77	35	27	46,4	44,6	1,8
	12:30	75	32	27	50,3	47,8	2,5
	13:00	72	30	27	53,7	50,3	3,4
	13:30	71	25	27	60,7	54,3	6,4
	14:00	71	28	27	50,9	48,4	2,5
	14:30	72	27	27	66,9	49,1	17,8
	15:00	72	30	27	51,4	49,4	2
	15:30	72	27	27	57,4	52,9	4,5
	16:00	72	24	27	57,9	54,3	3,6
	16:30	73	31	27	39,9	41,7	-1,8
	17:00	74	42	27	31,8	33,7	-1,9

Fonte: Autora (2025)

No dia 20 de julho, verificou-se que as temperaturas no compartimento sem película atingiram valores críticos, chegando a 60,7 °C às 13h30 e até 66,9 °C às 14h30. Em contraste, o compartimento com película apresentou valores de 54,3 °C e 49,1 °C nos mesmos horários, evidenciando uma redução significativa de até 17,8 °C (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Variação de temperatura por hora (testes realizados no protótipo dia 20/07/25)

Fonte: Autora (2025)

Essa diferença expressiva ocorreu nos horários de maior insolação, indicando a eficiência da película fotocromática em mitigar o ganho solar direto. Entretanto, em condições de menor intensidade de radiação, como às 16h30 e 17h00, foram registradas inversões, em que a temperatura do compartimento com película superou levemente a do vidro incolor, com diferenças negativas de -1,8 °C e -1,9 °C, respectivamente. Esse comportamento pode estar associado à menor dissipação térmica acumulada na câmara protegida.

No dia 21 de julho, o padrão de desempenho manteve-se semelhante, embora com diferenças menos acentuadas (Tabela 4). As maiores reduções foram registradas no início da tarde (Apêndice D), com destaque para o horário de 14h30, em que a temperatura do compartimento sem película alcançou 69,0 °C, enquanto o compartimento com película permaneceu em 60,0 °C, representando um decréscimo de 9,0 °C.

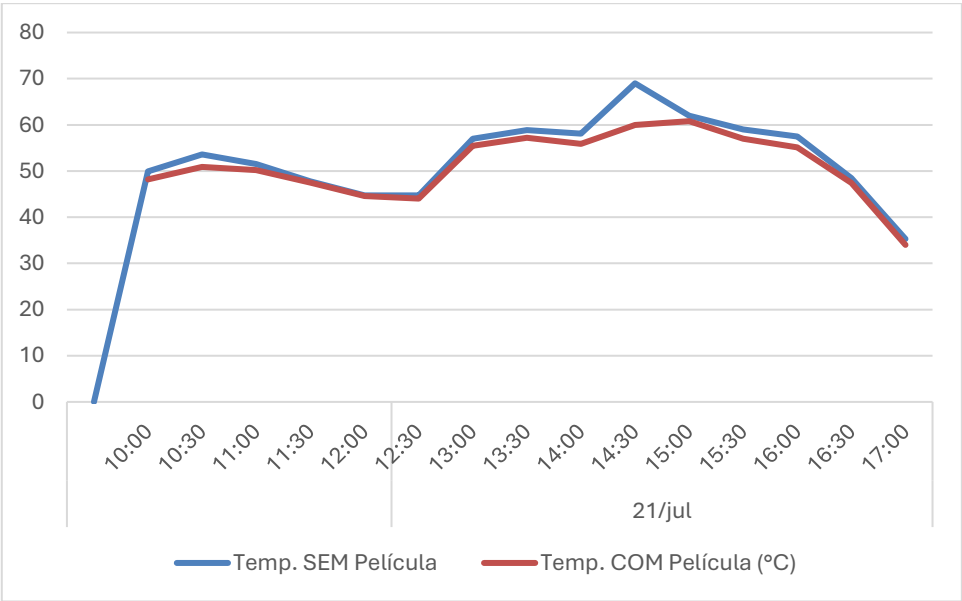
Tabela 4 - Variação da temperatura interna nos compartimentos COM e SEM película fotocromática (testes realizados no protótipo dia 21/07/25)

Data	Hora	Umidade Externa % Recife	Umidade % Termômetro COM película	Temp. Externa (°C) Recife	Temp. SEM Película (°C) Termômetro	Temp. COM Película (°C) Termômetro	Diferença Temp. (°C)
21/julho	10:00	71	29	27	49,9	48,2	1,7
	10:30	71	27	27	53,6	50,9	2,7
	11:00	66	27	28	51,5	50,2	1,3
	11:30	62	28	29	47,8	47,5	0,3
	12:00	60	31	29	44,7	44,6	0,1
	12:30	60	31	29	44,7	44	0,7
	13:00	55	24	31	57	55,5	1,5
	13:30	57	22	30	58,9	57,2	1,7
	14:00	56	23	30	58,1	55,9	2,2
	14:30	57	21	29	69	60	9
	15:00	57	21	29	62	60,8	1,2
	15:30	59	21	29	59	57	2
	16:00	58	22	29	57,5	55,1	2,4
	16:30	61	25	28	48,5	47,4	1,1
	17:00	61	37	28	35,3	34	1,3

Fonte: Autora (2025)

O Gráfico 4, demonstra que na maior parte do dia, as diferenças oscilaram entre 0,1 °C e 2,7 °C, indicando efeito moderado da película em condições de insolação menos crítica.

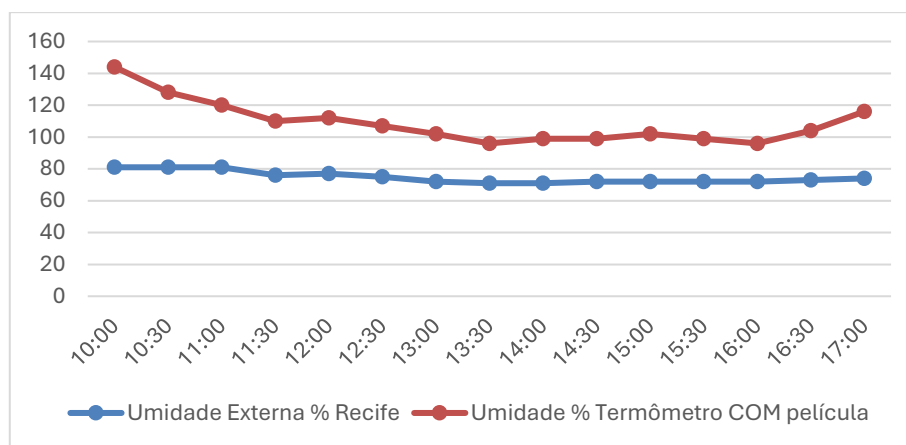
Gráfico 4 - Variação de temperatura por hora (testes realizados no protótipo dia 21/07/25)



Fonte: Autora (2025)

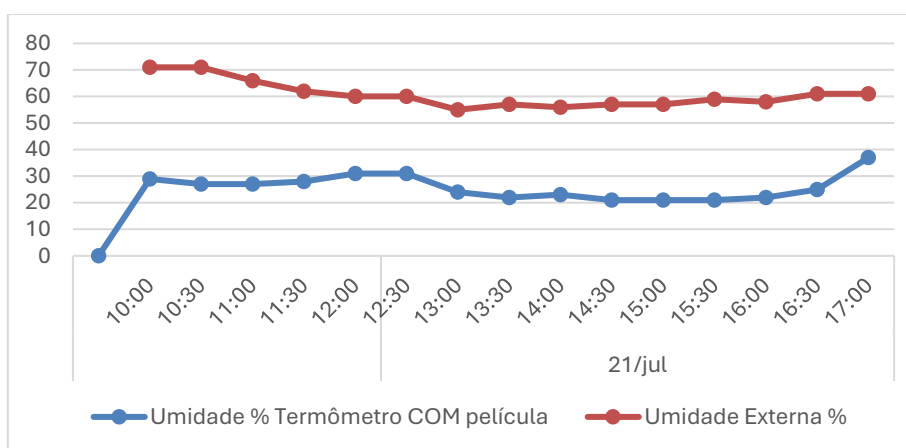
A análise da umidade, conforme exibido nos Gráficos 5 e 6, revela um desempenho mais consistente. O sistema de controle de umidade manteve a umidade relativa do ar em uma faixa estável durante os dois dias de teste, variando predominantemente entre 53% e 58%. Essa performance demonstra a eficácia do sistema em atingir e manter a condição ideal para os componentes internos, validando a abordagem de design para este parâmetro.

Gráfico 5 - Controle de umidade por hora (TESTES REALIZADOS NO PROTÓTIPO DIA 20/07/25)



Fonte: Autora (2025)

Gráfico 6 - Controle de umidade por hora (TESTES REALIZADOS NO PROTÓTIPO DIA 21/07/25)



Fonte: Autora (2025)

A comparação entre os valores registrados no protótipo e a temperatura ambiente de Recife evidencia um deslocamento significativo entre as condições externas e internas. Enquanto a temperatura do ar externo, segundo registros meteorológicos locais, situou-se em torno de 28 °C a 31 °C nos dias 20 e 21 de julho, as câmaras de

ensaio atingiram valores superiores a 60 °C, chegando a um máximo de 69 °C no compartimento com vidro incolor.

Esse contraste representa um aumento de mais de 30 °C em relação à temperatura ambiente, confirmando o elevado potencial de acúmulo de calor em superfícies envidraçadas expostas diretamente à radiação solar.

De modo geral, a análise dos dois dias demonstra que a película fotocromática atua de forma mais significativa durante os horários de pico de radiação solar, promovendo reduções térmicas expressivas, enquanto em períodos de menor intensidade o diferencial de desempenho tende a ser reduzido ou mesmo invertido.

4.2.2 Redução da irradiação UV – Mês julho/2025

A medição da densidade de irradiação ultravioleta nos dias 20 e 21 de julho possibilitou avaliar a eficácia da película fotocromática na redução da radiação incidente em condições de insolação direta. Os resultados apresentados na Tabela 5 evidenciam padrões distintos entre os dois dias, tanto em termos de intensidade máxima quanto no comportamento das curvas de atenuação.

Tabela 5 - Níveis de irradiação UV externa x interna (realizados no protótipo nos dias 20 e 21/07/25)

Data	Horário	UV Externo ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)	UV Interno ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Redução (%)	Data	Horário	UV Externo ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	UV Interno ($\mu\text{W}/\text{m}^2$)	Redução (%)
20/julho	10:00	916	319	65,16%	21/julho	10:00	1500	573	61,80%
	10:30	1062	471	55,65%		10:30	1500	237	84,20%
	11:00	1500	375	75,00%		11:00	1500	699	53,40%
	11:30	639	123	80,75%		11:30	1022	172	83,17%
	12:00	753	565	24,96%		12:00	1500	297	80,20%
	12:30	919	363	60,48%		12:30	1500	1500	0,00%
	13:00	1500	714	52,40%		13:00	1500	1032	31,20%
	13:30	1500	397	73,47%		13:30	1500	1179	21,40%
	14:00	1500	1500	0,00%		14:00	1500	1367	8,87%
	14:30	1500	1314	12,40%		14:30	1500	1139	20,25%
	15:00	1500	1034	31,07%		15:00	1500	1393	7,13%
	15:30	1303	911	30,09%		15:30	1500	745	50,33%
	16:00	491	139	71,69%		16:00	722	595	17,62%
	16:30	0	0	-		16:30	0	0	4,29%
	17:00	0	0	-		17:00	0	0	20,47%

Fonte: Autora (2025)

No dia 20, a irradiação externa variou de 800 a 1.500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, com reduções internas de até 50% entre 11h30 e 13h30, demonstrando bom desempenho da película, embora menos efetiva em picos de radiação (14h30). Já no dia 21, a radiação manteve-se estável entre 1.400 e 1.500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ por várias horas, e a película reduziu os valores internos em apenas 15% a 25%, revelando menor eficiência sob alta exposição contínua.

O comparativo entre os dois dias demonstra que a película fotocromática responde de forma mais eficiente quando submetida a variações irregulares e intermitentes de irradiação (como no dia 20), promovendo atenuações expressivas nos períodos de pico. Por outro lado, no dia 21, em cenários de radiação intensa e prolongada, sua capacidade de redução relativa é menor, sugerindo que a saturação do material limita o desempenho quando exposto por longos intervalos a níveis elevados de radiação solar. De modo geral, os testes confirmam a capacidade da película fotocromática de reduzir significativamente a irradiação UV incidente, especialmente em condições de variabilidade solar.

A condução dos experimentos ocorreu nos meses seguintes, especificamente em agosto e setembro. No entanto, a evolução mais significativa do estudo foi observada em setembro, devido a grande quantidade de chuvas em agosto, onde comprometeu a realização de diversos testes, resultando em uma coleta de dados menos representativa.

4.2.3 Análise experimental de temperatura e umidade – Parte 1

Com o objetivo de aprofundar a análise do desempenho térmico do protótipo, foram realizadas medições contínuas nos dias 02, 04 e 05 de setembro de 2025, contemplando o período crítico entre 12h00 à 17h00, quando a incidência solar atinge maior intensidade (Apêndice H, I e J). Nessas condições, buscou-se comparar o comportamento das câmaras com vidro incolor “SEM” e “COM” película fotocromática, avaliando as variações de temperatura e umidade relativa interna em relação as condições externas de Recife (Quadro 4).

Quadro 4 - Condições climática externa de Recife entre os dias 02 e 05/09/25

Data	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Chuva	Características	Chuva	Vento	Umidade	Sol
02/set	23°C	27 °C	99%	Sol, com chuvas com algumas nuvens. Chove rápido durante o dia e à noite	5.4mm - 99%	SSE - 19km/h	Mínima 71% Máxima 91%	Sol: 05:21:44 Pôr do sol - 17:18:41
04/set	22 °C	29 °C	96%	Sol com algumas nuvens. Chove rápido durante o dia e à noite.	21.8mm - 96%	SSE - 22km/h	Mínima 77% Máxima 91%	Sol: 05:20:00 Pôr do sol - 17:18:03
05/set	23 °C	29 °C	98%	Sol com algumas nuvens. Chove rápido durante o dia e à noite.	21.6mm - 98%	SE - 19km/h	Mínima 79% Máxima 92%	Sol: 05:19:28 Pôr do sol - 17:17:56

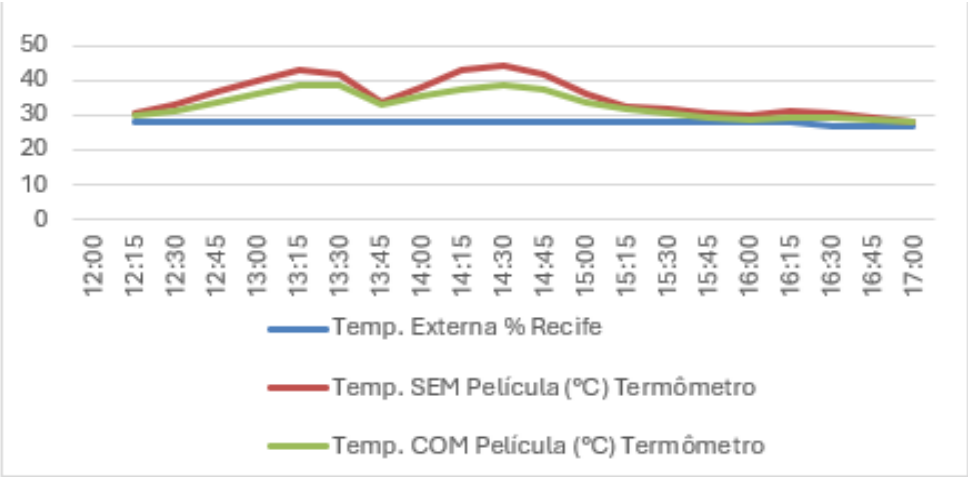
Fonte: Clima Tempo (2025)

Para a análise experimental dos dias 02, 04 e 05 de setembro, foram considerados os dados meteorológicos fornecidos pelo portal ClimaTempo (2025). No dia 02/09, a temperatura variou entre 23 °C (mínima) e 27 °C (máxima), com precipitação de 5,4 mm, ventos SSE a 19 km/h e umidade relativa entre 71% e 91%, predominando condição de sol com chuvas rápidas ao longo do dia. Já em 04/09, os registros indicaram 22 °C de mínima e 29 °C de máxima, precipitação de 21,8 mm, ventos SSE a 22 km/h e umidade entre 77% e 91%, sob predomínio de sol com variação de nuvens e pancadas de chuva. No dia 05/09, observou-se novamente variação térmica entre 23 °C e 29 °C, com precipitação de 21,6 mm, ventos SE a 19 km/h e umidade relativa entre 79% e 92%, mantendo o mesmo padrão climático de sol, nuvens e chuvas rápidas.

Esses dados foram fundamentais para correlacionar as medições de desempenho do protótipo em vidro incolor de 4 mm, testado tanto “SEM” quanto “COM” aplicação da película fotocromática, considerando as condições ambientais reais durante os experimentos (Gráficos 7, 8 e 9).

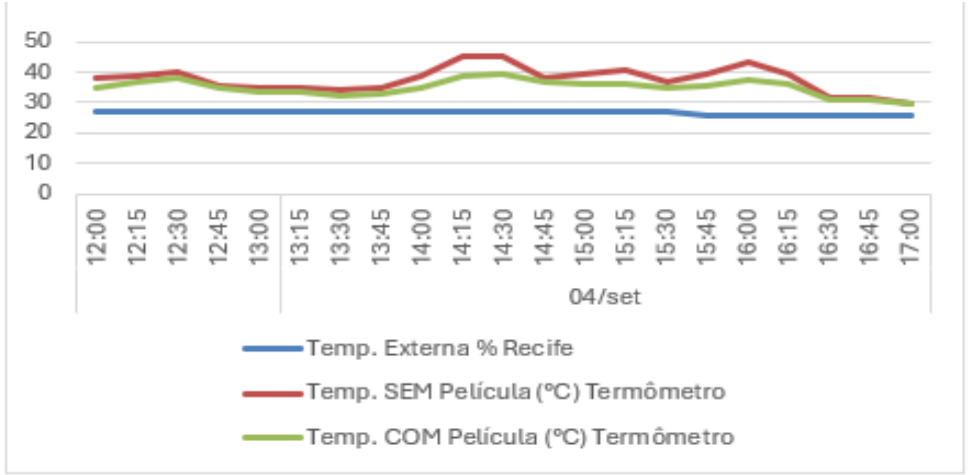
Esse conjunto de ensaios possibilitou compreender de forma mais detalhada o impacto da radiação solar direta sobre o protótipo simulado, bem como a eficácia da película aplicada na atenuação do ganho térmico e na manutenção de condições de conforto ambiental.

Gráfico 7 - Controle de temperatura por hora/dias (02/09/2025)



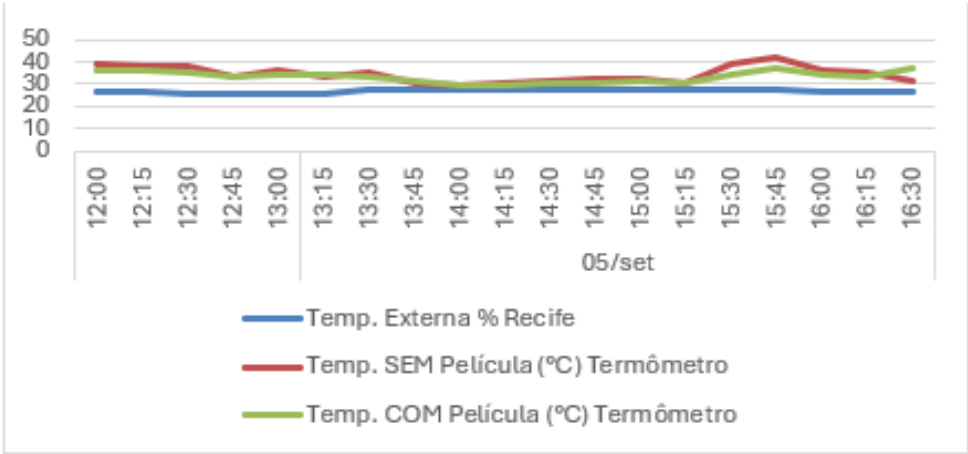
Fonte: Autora (2025)

Gráfico 8 - Controle de temperatura por hora/dias (04/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

Gráfico 9 - Controle de temperatura por hora/dias (05/09/2025)

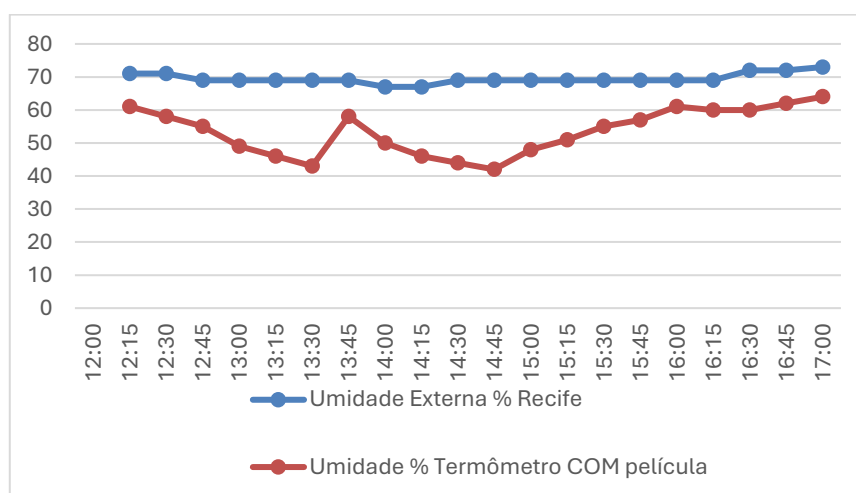


Fonte: Autora (2025)

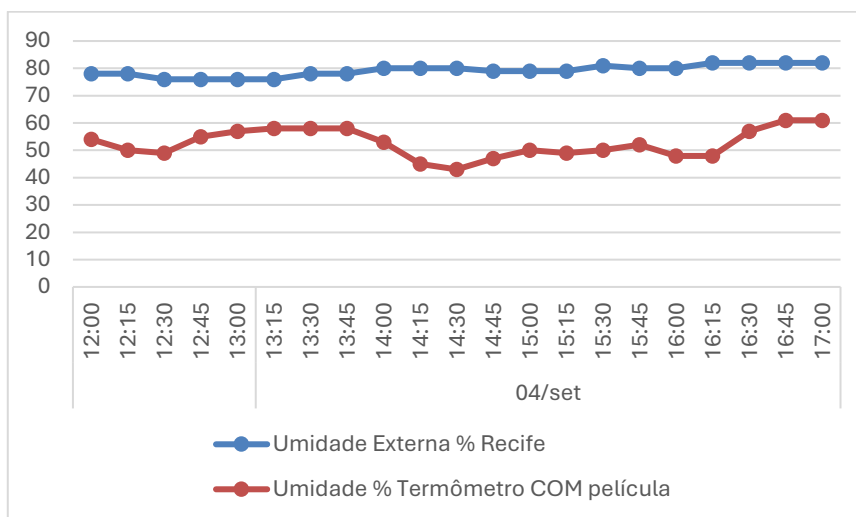
Os gráficos de temperatura revelam diferenças consistentes entre os compartimentos avaliados. No dia 02/09, a câmara sem película apresentou elevação térmica acentuada, atingindo cerca de 40 °C, enquanto a câmara com película registrou valores até 5 °C inferiores, demonstrando desempenho positivo na mitigação do ganho solar. No dia 04/09, observou-se o maior contraste, com temperaturas acima de 45 °C no compartimento sem proteção e valores estabilizados entre 38 °C e 40 °C na câmara com película, resultando em reduções médias de 6 a 7 °C. Já no dia 05/09, os valores foram mais moderados, com diferenças em torno de 3 a 4 °C, indicando menor intensidade da radiação incidente nesse período.

Portanto a umidade externa em Recife manteve-se elevada e estável (70% a 80%) durante os três dias analisados, enquanto os compartimentos internos apresentaram variações significativas em função do aquecimento (Gráficos 10, 11 e 12).

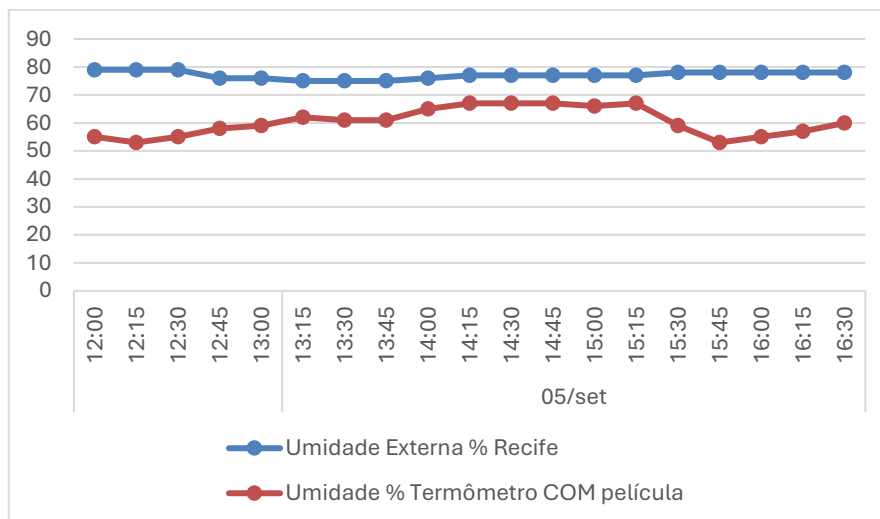
Gráfico 10 - Controle de umidade por hora/dias (02/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

Gráfico 11 - Controle de umidade por hora/dias (04/09/2025)

Fonte: Autora (2025)

Gráfico 12 - Controle de umidade por hora/dias (05/09/2025)

Fonte: Autora (2025)

No dia 02/09, a câmara com película manteve índices entre 55% e 65%, inferiores aos valores externos, mas ainda dentro da faixa de conforto aceitável. No dia 04/09, observou-se o cenário mais crítico, com quedas próximas a 50%, reflexo do aumento térmico mais acentuado. No dia 05/09, houve recuperação parcial, com valores estabilizados entre 60% e 70%, em consonância com a menor amplitude térmica observada.

4.2.3.1 Síntese Comparativa da análise - Parte 1

A análise dos três dias demonstra que a aplicação da película fotocromática contribuiu para reduções consistentes de temperatura, variando entre 3 °C e 7 °C, especialmente nas horas de maior insolação. Esse efeito refletiu também no controle parcial da umidade relativa, reduzindo os extremos de aquecimento e mantendo os ambientes simulados em condições menos críticas do que o compartimento sem proteção. O Quadro 5 sintetiza os resultados obtidos nos dias 02, 04 e 05 de setembro, evidenciando a contribuição da película fotocromática para a redução da temperatura interna e para a moderação da umidade relativa.

Quadro 5 - Resumo de Temperatura e Umidade (02, 04 e 05/09/2025)

Data	Temp. Máx. SEM Película (°C)	Temp. Máx. COM Película (°C)	Redução Média de Temp. (°C)	UR Mín. SEM Película (%)	UR Mín. COM Película (%)	Faixa de UR COM Película (%)
02/09/2025	40	35	5	52	58	55–65
04/09/2025	46	39	7	48	50	50–60
05/09/2025	39	35	4	55	60	60–70

Fonte: Autora (2025)

O quadro acima apresenta os valores máximos de temperatura e mínimos de umidade relativa (UR) nos compartimentos do protótipo com e sem película, bem como a redução média obtida nos ensaios experimentais realizados entre os dias 02 e 05 de setembro de 2025.

Observa-se que a temperatura máxima no compartimento sem película variou entre 39 °C e 46 °C, enquanto no compartimento com película os valores foram até 7 °C inferiores, especialmente no dia 04/09, quando se registrou a maior diferença. Quanto à umidade relativa, o compartimento protegido manteve valores entre 50% e 70%, contrastando com quedas mais acentuadas no compartimento sem película. Esses resultados confirmam o efeito mitigador da película, sobretudo em períodos de maior insolação, reforçando seu potencial como estratégia de controle solar em ambientes envidraçados.

4.2.4 Análise experimental de temperatura e umidade – Parte 2

A etapa experimental teve como objetivo avaliar o desempenho térmico da película fotocromática associada às pigmentações com filme DTF UV aplicadas pelo lado interno da caixa, comparando sua eficiência em relação à condição sem película.

Para tanto, foram monitoradas as variações de temperatura e umidade relativa em diferentes horários do dia, de modo a identificar o impacto do material na redução do ganho de calor por radiação solar. Os resultados apresentados a seguir referem-se aos dias 06 e 07 de setembro de 2025, no intervalo das 12h00 às 17h00 (Apêndice 08 e 09), período correspondente ao pico de insolação na Região Metropolitana do Recife (Quadro 6).

Quadro 6 - Condições climática externa de Recife entre os dias 06 e 07/09/25

Data	Temperatura Mínima	Temperatura Máxima	Chuva	Características	Chuva	Vento	Umidade	Sol
06/set	24 °C	30 °C	94%	Sol e aumento de nuvens de manhã. Pancadas de chuva à tarde e à noite.	8.8mm - 94%	SE - 21km/h	Mínima 73% Máxima 90%	Sol: 05:18:56 Pôr do sol - 17:17:49
07/set	23 °C	29 °C	95%	Sol com algumas nuvens. Chove rápido durante o dia e à noite.	10.7mm - 95%	SSE - 22km/h	Mínima 70% Máxima 89%	Sol: 05:18:23 Pôr do sol - 17:17:41

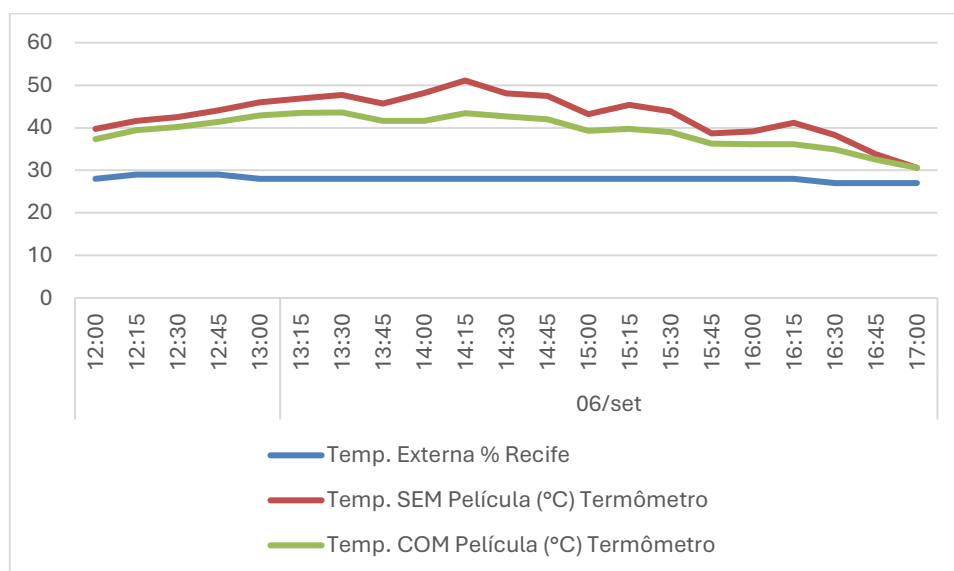
Fonte: Clima Tempo (2025)

Nos dias 06 e 07 de setembro de 2025, o clima em Recife apresentou características semelhantes, com temperaturas variando entre 23–30 °C e umidade relativa elevada (70–90%). Ambos os dias tiveram sol com períodos de nebulosidade e ocorrência de chuvas rápidas, acompanhadas de ventos em torno de 21–22 km/h (Climatempo, 2025). Esse padrão climático quente e úmido influenciou as variações registradas no experimento, especialmente pela presença de nuvens e precipitação no período da tarde.

A análise dos dados experimentais obtidos entre esses dias citado anteriormente, no intervalo das 12h00 às 17h00, demonstra diferenças significativas entre as condições avaliadas “COM” e “SEM” a aplicação da película fotocromática associada às pigmentações DTF UV adesivadas pelo lado interno da caixa. No dia 06/09/2025, a

temperatura externa em Recife manteve-se estável entre 26 °C e 29 °C, enquanto no interior da caixa sem película foram registrados valores variando de 38 °C a 51 °C, com pico por volta das 14h30. Já na condição com película, as temperaturas oscilaram entre 36 °C e 47 °C, evidenciando uma redução média de 3 °C a 4 °C nas horas de maior incidência solar (Gráfico 13).

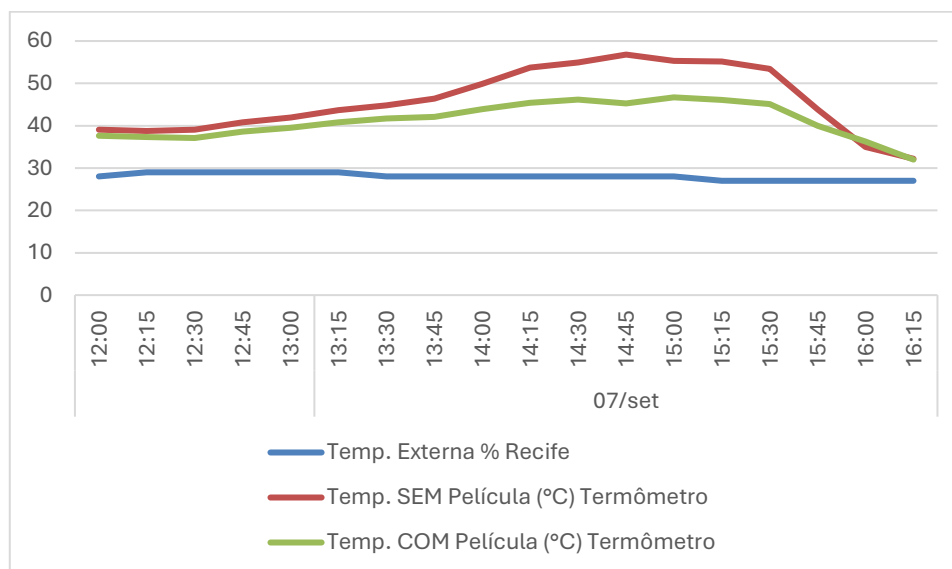
Gráfico 13 - Controle de temperatura por hora/dia (testes realizados no protótipo no dia 06/09/25)



Fonte: Autora (2025)

Os resultados obtidos no dia 06/09 evidenciam que a película fotocromática associada às pigmentações DTF UV proporcionou uma redução consistente das temperaturas internas em relação à condição sem película, alcançando diferenças médias de até 4 °C durante o período de maior insolação.

No dia 07/09/2025, a temperatura externa apresentou comportamento semelhante, com valores entre 26 °C e 29 °C. Entretanto, as temperaturas internas na caixa sem película foram mais elevadas, atingindo entre 57 °C e 59 °C entre 14h45 e 15h00. Na condição com película fotocromática e pigmentações DTF UV, o valor máximo registrado foi de aproximadamente 52 °C a 54 °C, resultando em uma diferença de 4 °C a 5 °C em relação à condição sem película. Observou-se, portanto, que a redução térmica foi mais acentuada no segundo dia, em função da maior incidência de radiação solar (Gráfico 14).

Gráfico 14 - Controle de temperatura por hora/dia (testes realizados no protótipo no dia 07/09/25)

Fonte: Autora (2025)

A eficiência da película fotocromática associada às pigmentações DTF UV mostrou-se ainda mais evidente, com reduções de até 5 °C nas temperaturas internas quando comparadas à condição sem película, especialmente no período crítico entre 14h45 e 15h00.

O clima dos dois dias, foi caracterizado por temperaturas externas ligeiramente mais amenas, alta umidade relativa e ocorrência de chuvas rápidas, que contribuiu para oscilações nos registros, mas não comprometeu a performance do sistema. Esses resultados confirmam que, em situações de maior intensidade de radiação solar, o material atua de forma mais eficaz, reforçando seu potencial.

4.2.4.1 Síntese Comparativa da análise - Parte 2

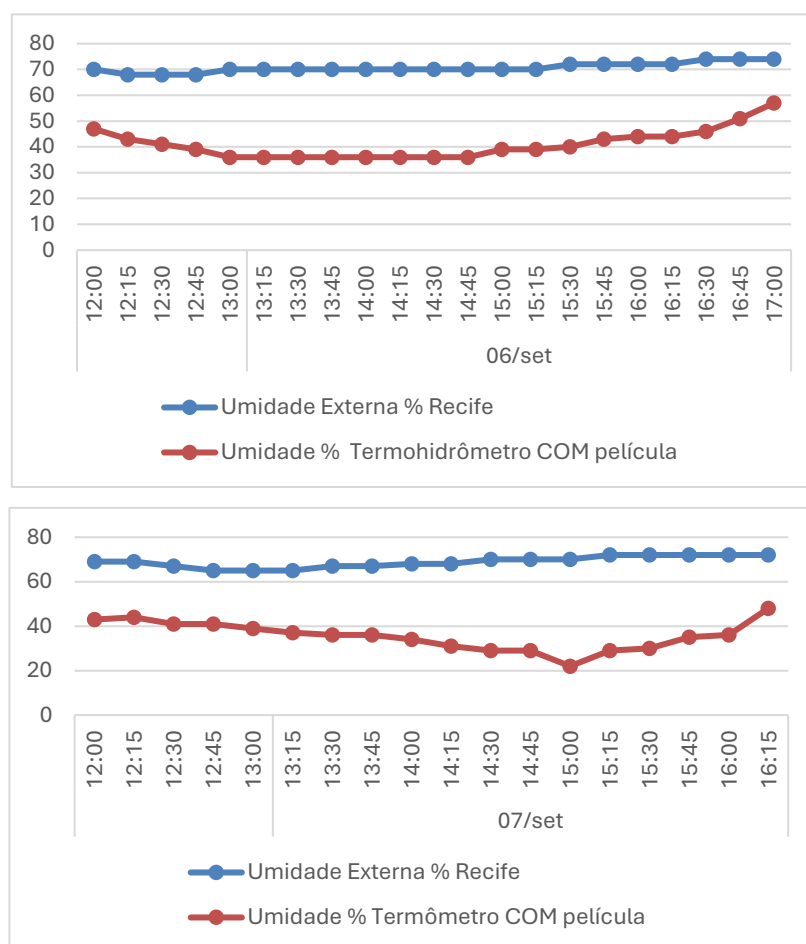
De modo geral, os resultados demonstram que a aplicação da película fotocromática com pigmentações DTF UV promoveu uma mitigação significativa no ganho de calor, reduzindo de 3 °C a 5 °C a temperatura interna em comparação ao cenário sem película.

A análise dos dados de 06 e 07 de setembro mostrou que, em ambos os dias, a caixa com a película manteve uma temperatura interna consistentemente mais baixa do que a caixa sem proteção. O efeito foi particularmente notável no dia 07, confirmando

que o sistema com a película é eficiente em mitigar o ganho de calor. Assim, o sistema proposto apresenta potencial como solução ecoeficiente em superfícies envidraçadas, conciliando controle térmico e preservação ambiental.

Com relação a umidade relativa interna da caixa, apresentou no dia 06/09 queda moderada nas primeiras horas de exposição, mas manteve-se em níveis entre 34% e 48%, com recuperação gradual no final da tarde. Essa tendência reflete a influência direta da radiação solar sobre o ambiente interno, ainda que atenuada pelo uso da película fotocromática com pigmentações DTF UV (Gráfico 15). A estabilidade maior registrada ao longo do período evidencia que o sistema contribui para mitigar variações bruscas, mesmo em condições de elevada umidade externa.

Gráfico 15 - Controle de umidade por hora/dias (testes realizados no protótipo no dia 06 e 7/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

No dia 07/09, a redução da umidade relativa interna foi mais acentuada, atingindo valores mínimos próximos de 22% entre 14h30 e 15h00, coincidindo com o pico de temperatura interna. Apesar da posterior recuperação, os níveis de umidade permaneceram bem abaixo externamente durante quase todo o período de análise. Esse comportamento indica que, em dias de maior radiação solar, o impacto da elevação térmica intensifica a queda da umidade.

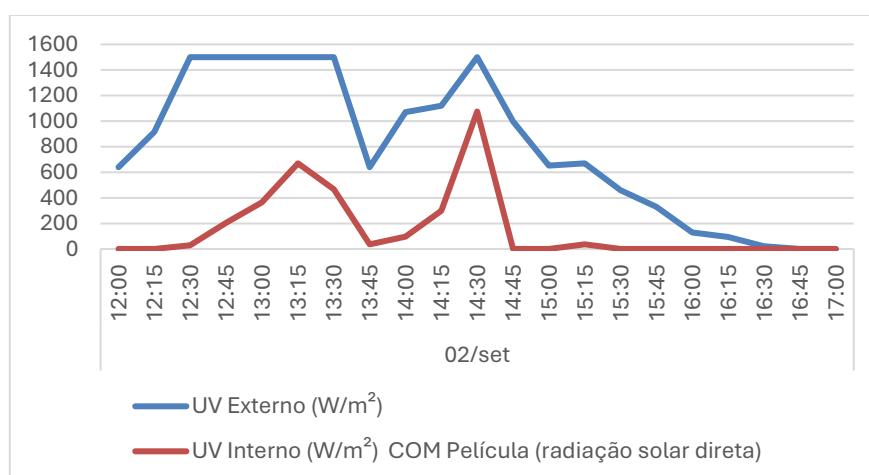
De forma comparativa, os resultados evidenciam que, embora o uso da película fotocromática com pigmentações DTF UV contribua para reduzir a temperatura interna entre 3 °C e 5 °C, sua ação não impede quedas significativas de umidade relativa em dias de maior insolação. No dia 06/09, as oscilações foram mais equilibradas, enquanto no dia 07/09 as condições climáticas mais severas intensificaram a perda de umidade.

4.2.5 Avaliação geral da redução da irradiação UV – Mês setembro

A análise da irradiação ultravioleta (UV) entre os dias 02 e 07 de setembro de 2025 evidencia o comportamento diferenciado da película fotocromática associada às pigmentações DTF UV diante de distintas condições climáticas.

No dia 02/09, a irradiação externa atingiu valores máximos próximos de 1500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, entre 14h30 e 15h00, enquanto no interior da caixa com película os valores permaneceram em torno de 900 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, correspondendo a uma redução média de 40% em relação à radiação direta incidente (Gráfico 16).

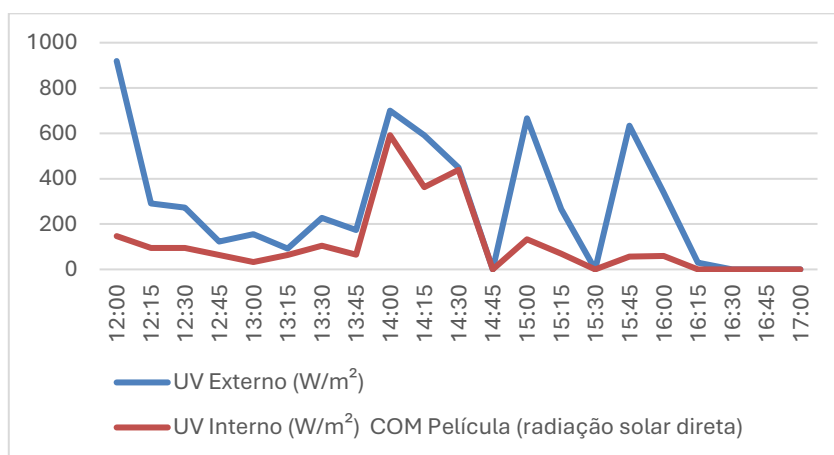
Gráfico 16 - Leitura da Irradiação UV (testes realizados no protótipo no dia 02/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

No dia 04/09, a irradiação solar apresentou menor intensidade, com máximos próximos a $900 \mu\text{W}/\text{m}^2$ (Gráfico 17). A medição interna com película atingiu cerca de $600 \mu\text{W}/\text{m}^2$, o que correspondeu a reduções entre 20% e 30%. O comportamento observado sugere a presença de maior nebulosidade, que limitou a intensidade da irradiação solar nesse período.

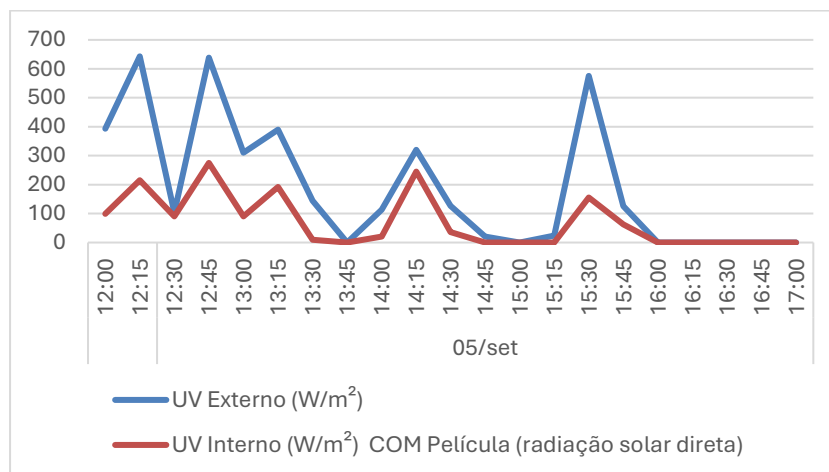
Gráfico 17 - Leitura da Irradiação UV (testes realizados no protótipo no dia 04/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

No dia 05/09, os índices foram ainda mais baixos, com valores externos não superiores a $700 \mu\text{W}/\text{m}^2$. Nesse cenário, a irradiação interna permaneceu reduzida, variando entre $50 \mu\text{W}/\text{m}^2$ e $300 \mu\text{W}/\text{m}^2$, evidenciando elevada eficiência da película em situações de menor insolação (Gráfico 18).

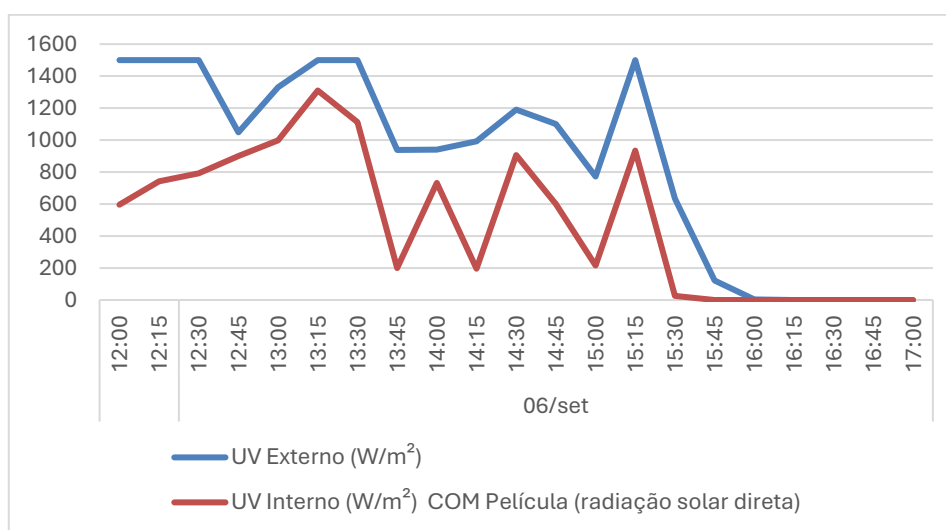
Gráfico 18 - Leitura da Irradiação UV (testes realizados no protótipo no dia 05/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

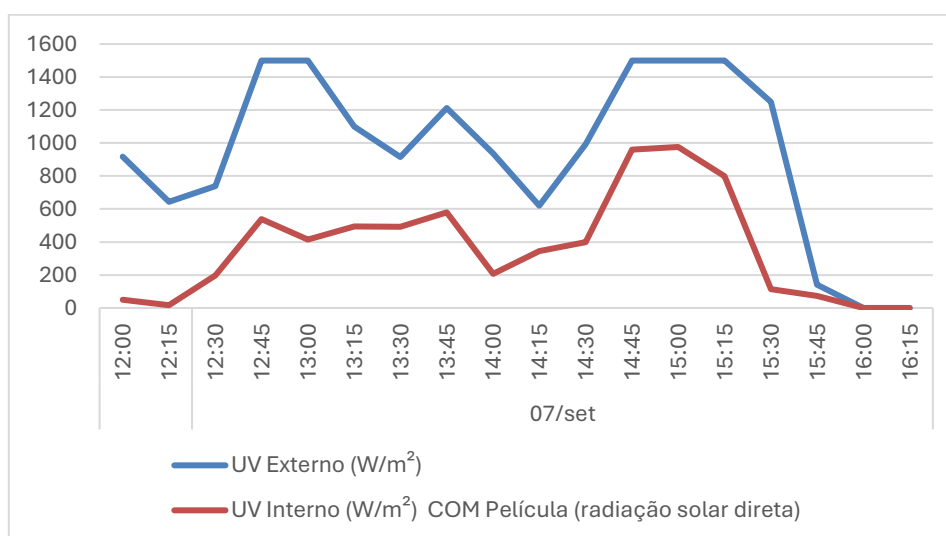
Nos dias 06/09 e 07/09 verificaram-se os maiores picos de irradiação externa, novamente próximos de $1500 \mu\text{W}/\text{m}^2$, caracterizando elevada incidência solar. Nesses dias, a radiação interna medida no ambiente com película apresentou máximos entre $1100 \mu\text{W}/\text{m}^2$ e $1200 \mu\text{W}/\text{m}^2$, correspondendo a reduções entre 25% e 40% em relação aos valores externos. Ainda que tenha havido penetração significativa da radiação UV, a barreira proporcionada pela película manteve desempenho consistente, atenuando os efeitos da alta insolação (Gráficos 19 e 20).

Gráfico 19 - Leitura da Irradiação UV (testes realizados no protótipo no dia 06/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

Gráfico 20 - Leitura da Irradiação UV (testes realizados no protótipo no dia 06/09/2025)



Fonte: Autora (2025)

De forma comparativa, constata-se que a eficiência relativa da película foi maior nos dias de menor intensidade de irradiação (04 e 05/09), alcançando reduções superiores a 50%, enquanto nos dias de maior insolação (02, 06 e 07/09) as reduções variaram entre 25% e 40%. Esses resultados indicam que a ação da película e das pigmentações DTF UV apresenta variação conforme a intensidade da radiação solar incidente, mantendo, entretanto, desempenho satisfatório em todas as situações analisadas.

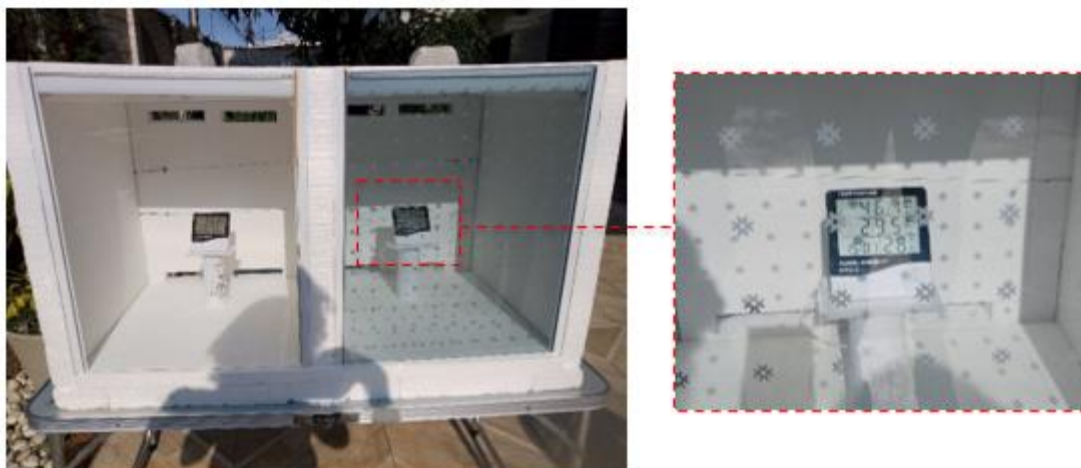
Conclui-se, portanto, que o sistema de proteção estudado contribui de forma consistente para a mitigação da radiação ultravioleta, reduzindo a transmissão entre 25% e 50% no interior da caixa experimental. Tal comportamento reforça o potencial do uso da película fotocromática associada às pigmentações DTF UV como estratégia ecoeficiente para o controle da radiação solar em superfícies envidraçadas, especialmente em contextos de elevada exposição à irradiação direta.

4.3 DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos ao longo das medições experimentais demonstram a relevância da aplicação da película fotocromática associada às pigmentações DTF UV no desempenho térmico e óptico do sistema, bem como na contribuição para a visibilidade aviária e o conforto visual dos usuários. É fundamental ressaltar que o modelo experimental em escala reduzida e em ambiente controlado permitiu apenas a análise da percepção e visibilidade das marcações pelas aves, não havendo a possibilidade de realizar testes práticos que comprovem a segurança aviária (ou a redução efetiva de colisões) no âmbito desta pesquisa.

A análise das temperaturas evidenciou reduções médias de 3 °C a 7°C} nos compartimentos protegidos, atenuando o ganho de calor em horários de maior insolação¹. Do mesmo modo, a película contribuiu para a mitigação parcial das quedas de umidade, embora em dias de radiação solar mais intensa, como em 07/09 (Figura 72), tenham sido registradas reduções críticas da umidade interna, reflexo direto da elevação térmica². O registro dessas reduções pode ser visto nos Apêndices H e I no final do documento.

Figura 72 - Registro de redução da umidade interna da película



Fonte: Autora (2025)

No que se refere à irradiação ultravioleta, os testes apontaram reduções entre 25% e 50% da intensidade incidente, confirmando o potencial da película em atenuar a radiação nociva ao ambiente interno. Esse desempenho reforça a função protetiva do material tanto para os usuários humanos, que se beneficiam da filtragem dos raios UV, quanto para a conservação de materiais internos, que sofrem degradação quando expostos a essa radiação de forma contínua. Os apêndices F, G, H, I e J demonstram as diferenciações variadas das reduções nos períodos dos experimentos nos dias (02, 04, 05, 06 e 07/09).

Com base na correção do parágrafo anterior, onde se ressaltou que o protótipo não permitiu comprovar a segurança (redução de colisões), mas sim a visibilidade (percepção), o texto deve ser ajustado para refletir essa limitação metodológica.

Entretanto, a contribuição do sistema vai além da eficiência térmica e da proteção solar. O acréscimo das pigmentações em padrões geométricos, aplicados sobre a película, demonstrou ser um fator fundamental para a visibilidade das marcações para a visão aviária sem comprometer de forma significativa a transparência visual interna (Figura 73). É crucial esclarecer que o modelo experimental permitiu avaliar a percepção visual desses padrões pelas aves, mas não houve a possibilidade de realizar testes práticos que comprovassem a segurança aviária (ou a redução efetiva de colisões). Essa integração da visibilidade dos padrões com o conforto visual dos usuários representa um ponto central da proposta em período da manhã, tarde e noite,

conciliando o potencial de proteção da fauna com o conforto estético e funcional do ambiente construído.

Figura 73 - Integração da visualidade das pigmentações – Interna e Externa



Fonte: Autora (2025)

A abordagem adotada responde, portanto, a duas demandas simultâneas: a mitigação dos impactos ambientais causados pelas colisões de aves em superfícies envidraçadas e o atendimento aos requisitos de desempenho térmico e de conforto visual em edificações. O equilíbrio alcançado demonstra que soluções projetuais ecoeficientes podem ser implementadas sem comprometer a experiência dos usuários, e ainda assegurando benefícios ecológicos relevantes.

4.3.1 Comparação dos resultados virtuais com os testes físicos realizados

Os resultados obtidos ao longo das medições experimentais demonstram a relevância da aplicação da película fotocromática associada às pigmentações DTF UV tanto no desempenho térmico e óptico do sistema, quanto na contribuição para a visibilidade aviária e no conforto visual dos usuários. A análise das temperaturas

evidenciou reduções médias de 3°C a 7 °C nos compartimentos protegidos, atenuando o ganho de calor em horários de maior insolação. Do mesmo modo, a película contribuiu para a mitigação parcial das quedas de umidade, ainda que em dias de radiação solar mais intensa, como em 07/09 (Figura 72), tenham sido registradas reduções críticas da umidade interna, reflexo direto da elevação térmica. O registro dessas reduções pode ser visto nos Apêndices H e I no final do documento. No que se refere à radiação ultravioleta, os testes apontaram reduções entre 25% e 50% da intensidade incidente, confirmando o potencial da película em atenuar a radiação nociva ao ambiente interno. Esse desempenho reforça a função protetiva do material tanto para a saúde dos usuários quanto para a conservação de materiais internos expostos.

Entretanto, a contribuição do sistema vai além da eficiência térmica e da proteção solar. O acréscimo das pigmentações em padrões geométricos, aplicados sobre a película, demonstrou ser um fator fundamental para a visibilidade das marcações para a visão aviária sem comprometer de forma significativa a transparência visual interna (Figura 73). É crucial esclarecer que o modelo experimental em escala reduzida permitiu apenas avaliar a percepção visual desses padrões pelas aves, não havendo a possibilidade de realizar testes práticos que comprovem a segurança aviária (ou a redução efetiva de colisões). Essa integração da visibilidade dos padrões com o conforto visual dos usuários representa um ponto central da proposta em período da manhã, tarde e noite, conciliando o potencial de proteção da fauna com o conforto estético e funcional do ambiente construído.

A análise comparativa entre os resultados obtidos pela modelagem computacional (SketchUp/Open Studio/EnergyPlus) e os testes práticos no protótipo confirmou essa relevância, identificando convergências significativas nas tendências de redução térmica e atenuação da radiação solar. A modelagem tridimensional serviu como base técnica para a parametrização da simulação e para a construção do protótipo físico, validando o modelo computacional como uma ferramenta preditiva confiável. Contudo, as diferenças nas magnitudes das medições são justificadas, pois as simulações utilizam parâmetros fixos, enquanto os testes físicos sofreram interferência direta e imediata de variáveis externas e imprevisíveis como nebulosidade, vento e umidade relativa, o que impacta o desempenho dinâmico da película. Em última análise, a convergência reforça a confiabilidade da metodologia e confirma que a solução de

película fotocromática associada às pigmentações DTF UV é uma inovação significativa que atua como um sistema de fachada multifuncional.

4.3.2 Considerações sobre a coerência dos resultados entre a simulação e os dados coletados

A combinação da modelagem digital e da experimentação prática reforça a confiabilidade da metodologia adotada. O modelo tridimensional do flat serviu como base tanto para a simulação computacional quanto para os testes empíricos. Essa convergência metodológica confirma que a utilização conjunta de softwares como SketchUp, Open Studio e EnergyPlus permite a obtenção de resultados confiáveis e alinhados com o desempenho real da edificação.

As simulações virtuais indicaram tendências de redução térmica e atenuação da radiação solar semelhantes às observadas nos ensaios práticos, ainda que em magnitudes variáveis. Essa correspondência valida o modelo computacional como uma ferramenta preditiva.

Todavia, é importante ressaltar que as simulações apresentam limitações inerentes aos parâmetros fixos. Por outro lado, os testes físicos sofrem interferência direta de variáveis externas e imprevisíveis, como nebulosidade, vento e umidade relativa, o que explica as eventuais pequenas discrepâncias observadas em alguns intervalos de medição. Essas variações não invalidam os achados, mas demonstram que a aplicação do modelo em diferentes condições climáticas e escalas de projeto é um desafio metodológico que exige o balanceamento entre a precisão controlada do virtual e a dinâmica real do ambiente.

Essa abordagem integrada valida a pertinência da proposta, que transcende a otimização de uma única característica e se posiciona como uma alternativa verdadeiramente *eco-friendly* para superfícies envidraçadas (Figura 74).

A sinergia entre a tecnologia fotocromática, que ajusta dinamicamente a passagem da luz solar, e as pigmentações, que criam um padrão visual detectável por pássaros, atesta a viabilidade e a eficácia de uma solução que alinha inovação tecnológica, sustentabilidade e preservação ambiental. Ao mitigar o superaquecimento

interno e, ao mesmo tempo, prevenir a colisão de aves, o projeto oferece uma resposta holística aos desafios contemporâneos da arquitetura sustentável.

Figura 74 - Integração do vidro com o ambiente

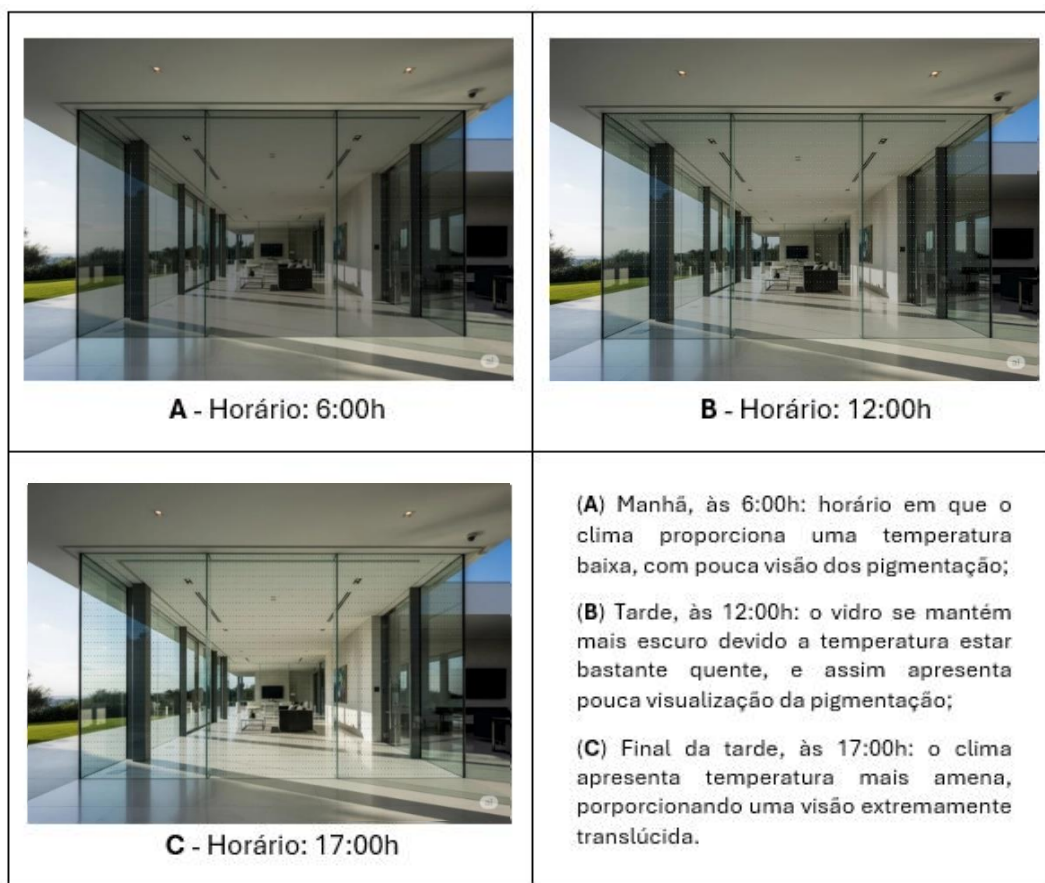


Fonte: Gerada por inteligência artificial (2025)

Diante da iniciativa de explorar e, posteriormente, implementar novos métodos, realizou-se uma simulação visual para a alternativa de uma aplicação tecnológica específica. O objetivo foi criar uma representação clara e tangível do conceito, a fim de avaliar a percepção do usuário e o impacto estético da solução proposta.

A simulação consistiu em uma composição de imagem e transparência pelo *software Corel Draw*, onde as camadas visuais foram sobrepostas para replicar o efeito desejado. Isso permitiu que o usuário tivesse uma visão aplicada da combinação de elementos sugeridos, testando a sinergia entre eles e sua viabilidade no ambiente real (Figura 75).

Figura 75 - Aplicação da película e pigmentação no vidro



Fonte: Autora (2025)

Com essa ferramenta, a percepção sobre o ambiente externo na edificação, como a vista e a entrada de luz, pôde ser analisada e otimizada. A simulação, embora simples, foi crucial para validar a ideia e fornece uma base sólida para projetos futuros.

4.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

De modo conclusivo, o conjunto de análises realizadas neste capítulo evidencia que a película fotocromática associada às pigmentações adesivada com o filme DTF UV apresenta um desempenho notável em múltiplos aspectos. A solução proposta não apenas atende a requisitos técnicos de alta performance, mas também concilia inovação e responsabilidade ambiental de forma exemplar.

Em primeiro lugar, o sistema se mostra altamente eficiente no controle térmico, ajustando dinamicamente a passagem de luz solar para manter a temperatura interna em níveis confortáveis. Isso resulta em uma redução significativa do consumo de energia

com sistemas de climatização. Além disso, a tecnologia garante uma proteção robusta contra a radiação ultravioleta, salvaguardando a saúde dos ocupantes e a integridade de móveis e objetos expostos. Outro benefício importante é a manutenção parcial da umidade relativa do ambiente, o que contribui para um microclima interno mais agradável e saudável.

No que se refere à segurança e à ecologia, a combinação de pigmentações cria um padrão visual que é crucial para a visibilidade aviária, atuando como elemento fundamental na prevenção de colisões, uma ameaça crescente em edifícios com grandes superfícies de vidro. É importante ressaltar que o modelo demonstrou a viabilidade da percepção dos padrões para a visão aviária, mas não a segurança aviária em si, o que exigiria testes em escala real. Essa característica, que alinha o potencial de proteção da fauna com a segurança da edificação, é alcançada sem comprometer a visibilidade dos usuários, mantendo a conexão visual com o exterior.

A integração de todas essas variáveis — controle térmico, proteção UV, umidade relativa e potencial de proteção aviária — reforça o caráter verdadeiramente multifuncional do sistema. Ao aliar inovação tecnológica e responsabilidade ambiental, a solução se consolida como uma alternativa ecoeficiente e de vanguarda para superfícies envidraçadas em edificações contemporâneas, oferecendo um novo padrão de conforto, segurança e sustentabilidade.

PARTE 5 - CONSIDERAÇÕES

5 CONCLUSÃO

O presente capítulo tem como finalidade apresentar a discussão final e as conclusões da pesquisa, retomando o objetivo central que associa desempenho térmico, proteção contra radiação ultravioleta, prevenção de colisões aviárias.

Em seguida aborda a escolha do método adotado caracterizando a integração entre investigação na teoria, simulações digitais e experimentação prática, explora as contribuições que a pesquisa trouxe para os campos tecnológico, ambiental e acadêmico, evidenciando sua relevância como proposta inovadora de material e como referência para estudos futuros para o design de superfície e projetos sustentáveis. Ao mesmo tempo, reconhece-se a existência de limitações relacionadas ao período de coleta de dados, à durabilidade do material e à escala experimental reduzida, que não invalida os resultados, mas aponta a necessidade de aprofundamentos.

A partir dos resultados obtidos nos experimentos práticos e nas simulações computacionais, foi possível demonstrar a eficiência da película fotocromática com pigmentações translúcidas, que se destacou pela capacidade de reduzir o ganho de calor, atenuar a incidência de irradiação UV e, simultaneamente, contribuir para a segurança da fauna aviária.

Por fim, são apresentadas as perspectivas futuras da investigação, que incluem a ampliação de testes em diferentes contextos climáticos, a exploração de novos padrões de pigmentação, a integração da solução com outras estratégias de conforto ambiental e as diretrizes técnicas consolidadas para vidros de envoltórias para facilitar a aplicação prática e a consulta rápida em projetos de design e arquitetura.

5.1 OBJETIVO CENTRAL

O estudo alcançou o objetivo de propor um sistema de revestimento para superfícies envidraçadas baseado na combinação de dois filmes, concebido para atuar de forma integrada em diferentes dimensões de desempenho. A solução desenvolvida (Película Fotocromática + Pigmentações DTF UV) mostrou-se capaz de reduzir o ganho

térmico, atenuar a incidência da irradiação UV e, simultaneamente, contribuir para o potencial de prevenção de colisões aviárias, sem comprometer a visibilidade dos usuários. Dessa forma, o trabalho consolidou a proposta de um material multifuncional que integra inovação tecnológica, eficiência ambiental e responsabilidade ecológica, reafirmando sua pertinência como alternativa ecoeficiente para a arquitetura contemporânea e o design de superfície.

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO ADOTADO

O método adotado nesta pesquisa, estruturado na perspectiva do Research Through Design (RtD), se consolidou como adequado, permitindo a integração entre a investigação teórica, as simulações digitais e a experimentação prática.

- **Validação Integrada:** A abordagem possibilitou a construção de conhecimento a partir do próprio processo de design, onde a formulação de hipóteses, a prototipagem e a validação empírica foram etapas complementares.
- **Modelo Preditivo:** As simulações computacionais (SketchUp, Open Studio e EnergyPlus) permitiram prever cenários de desempenho e validar virtualmente os potenciais da solução, enquanto os experimentos práticos com o protótipo de caixa térmica confirmaram essas tendências em variáveis reais de temperatura, umidade e radiação solar.
- **Coerência dos Resultados:** A coerência geral observada entre os resultados da simulação virtual e os dados coletados na prática, apesar das inevitáveis interferências de variáveis externas (nebulosidade, vento e umidade) nos testes físicos, valida o modelo como uma ferramenta preditiva confiável para diferentes escalas de projeto.

5.3 CONTRIBUIÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa apresentou contribuições significativas em três dimensões principais.

- No campo tecnológico, demonstrou a aplicabilidade da película fotocromática associada às pigmentações com filme DTF UV como uma solução multifuncional

para fachadas envidraçadas, oferecendo desempenho térmico e óptico de forma integrada.

- Na dimensão ambiental, a investigação destacou-se ao propor uma estratégia capaz de reduzir o impacto das colisões aviárias e, ao mesmo tempo, mitigar o ganho térmico e a transmissão da irradiação ultravioleta em edificações.
- Já no âmbito acadêmico e científico, o estudo se consolidou ao reunir fundamentação teórica, modelagem computacional e experimentação prática, resultando em evidências que fornecem subsídios para futuras pesquisas dentro do Design, como alternativa de desenvolver ou criar modelos de forma geométrica ou tridimensional para as pigmentações a ser inserida película fotocromática, materiais inteligentes e sistemas ecoeficientes aplicados à arquitetura.

5.4 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Apesar das contribuições alcançadas por esta pesquisa, é necessário pontuar certas limitações que circunscreveram a coleta e a análise dos dados. Primeiramente, o período experimental restringiu-se a meses específicos, o que impediu uma avaliação mais aprofundada das variações sazonais e de como o comportamento dos materiais responderia a diferentes inclinações solares ao longo de um ciclo anual completo.

No tocante aos componentes técnicos, a durabilidade da película fotocromática não pôde ser monitorada em longo prazo, permanecendo em aberto questões fundamentais sobre o desgaste químico, a necessidade de manutenção e a estabilidade das propriedades do material sob uso real contínuo. Adicionalmente, o processo de medição enfrentou obstáculos meteorológicos, sendo verificada a impossibilidade de realizar leituras precisas durante períodos de chuvas intensas. Tais intempéries não apenas prejudicam a aderência temporária dos filmes em testes de campo, como também obstruem a irradiação solar direta, elemento indispensável para a ativação das propriedades fotossensíveis do material estudado.

Por fim, destaca-se que a escala experimental se limitou a um protótipo em caixa térmica. Embora este método tenha se mostrado eficiente para o controle rigoroso das variáveis isoladas e para a prova de conceito, os resultados obtidos ainda demandam

validação futura em fachadas reais de edificações, onde as condições ambientais e estruturais apresentam maior complexidade.

5.5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Os resultados evidenciaram que, sob condições de elevada insolação, a película fotocromática promoveu reduções consistentes de temperatura interna entre 3 °C e 7 °C, atenuando o ganho térmico nos horários críticos do dia. Quanto à irradiação UV, foram verificadas reduções de 25% a 50% em diferentes cenários climáticos, confirmando a eficácia do sistema na proteção dos usuários e na preservação de materiais internos. A análise da umidade demonstrou desempenho relativo, mantendo valores mais equilibrados em comparação à condição sem película, ainda que em dias de maior radiação solar tenham ocorrido quedas acentuadas.

No campo da proteção aviária, a incorporação das pigmentações DTF UV em padrões geométricos mostrou-se eficiente para a prevenção de colisões, atendendo aos princípios da percepção visual das aves, que são mais sensíveis a tonalidades claras. Ao mesmo tempo, as marcações apresentaram baixa interferência na visibilidade interna, assegurando transparência e conforto visual aos usuários. Essa dualidade confirma o potencial da solução como uma estratégia projetual que concilia funcionalidade arquitetônica e responsabilidade ecológica.

5.6 PERSPECTIVAS FUTURAS

As perspectivas futuras para a continuidade desta pesquisa visam à validação em escala ampliada e à otimização da solução.

- **Ampliação de Testes:** Realização de testes em diferentes contextos climáticos e orientações solares para avaliar a performance do sistema em distintas regiões.
- **Durabilidade e Manutenção:** Análise da durabilidade da película em médio e longo prazo, considerando o desgaste dos pigmentos e a estabilidade do material em uso real.
- **Otimização do Design:** Exploração de novos padrões e cores de pigmentação que dialoguem tanto com a percepção das aves quanto com a estética arquitetônica.

- Integração de Sistemas: Investigação da associação da película com outros recursos de interligação, como a integração em vidro duplo ou a formação de um vidro laminado (8mm), para potencializar a eficiência energética e a sustentabilidade do sistema em diferentes escalas.
- Diretrizes técnicas: Consolidam parâmetros para o projeto de envoltórias envidraçadas, unindo desempenho termoenergético e segurança biológica.

Quadro 7 - Diretrizes Técnicas para Envoltórias Inteligentes e Sustentáveis

Categoria	Diretriz Técnica	Referência / Objetivo
Materiais Inteligentes	Integrar películas fotossensíveis/termocrômicas para controle solar passivo e dinâmico.	Redução de carga térmica e ativação autônoma.
Design de Superfície	Aplicar padrões geométricos conforme a regra "2x4" ou "5x10" (pontos/listras).	Prevenção de colisões de aves em até 98%.
Mitigação de Impactos	Aplicar impressões serigráficas ou digitais preferencialmente na face externa do vidro.	Garantir a visibilidade do padrão para aves independente de reflexos.
Composição Técnica	Associar tecnologias (ex: Low-e + Filme fotocromático) para elevar o isolamento térmico.	Prolongar vida útil e estabilidade do sistema.
Eficiência Energética	Dimensionar áreas envidraçadas e aberturas conforme a latitude e orientação solar.	Otimizar ganho de calor no inverno e ventilação natural.
Normatização	Atender aos critérios de desempenho da ABNT NBR 7199 e NBR 16023.	Garantia de segurança, transmitância e fator solar mínimo.
Conforto Visual	Utilizar películas que atenuem o ofuscamento sem comprometer a iluminação natural.	Bem-estar humano e economia de iluminação artificial.
Segurança e Proteção	Utilizar filmes que bloqueiem até 99% da irradiação UV.	Proteção da integridade de mobiliário e materiais internos.

Fonte: Autora (2025)

Em síntese, o conjunto de diretrizes técnicas resultantes desta tese oferece um suporte robusto para que arquitetos e designers projetem fachadas sustentáveis de forma consciente. Ao replicar o modelo projetual unificado — que integra o design de superfície à tecnologia de filmes inteligentes —, os profissionais podem aprimorar o desempenho global das edificações, otimizando o controle solar e mitigando riscos ambientais, como as colisões de aves, de maneira replicável e escalável em contextos urbanos.

5.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, conclui-se que a combinação entre película fotocromática e pigmentações DTF UV configura uma solução inovadora e multifuncional para superfícies envidraçadas, capaz de reduzir impactos ambientais, ampliar a segurança aviária e contribuir para a eficiência energética das edificações. O estudo demonstrou, por meio da convergência entre experimentos práticos e simulações computacionais, que é possível atenuar o ganho de calor solar de forma passiva sem comprometer a transparência necessária à habitabilidade humana.

Para que esses resultados teóricos e experimentais possam ser aplicados de forma efetiva na práxis profissional, os achados desta tese consolidaram um arcabouço de diretrizes operacionais. Tais recomendações priorizam a integração de películas fotorresponsivas para o controle solar passivo e a aplicação de padrões gráficos — baseados nas regras de espaçamento 2x4 ou 5x10 — preferencialmente na face externa do vidro, garantindo a visibilidade para as aves independentemente de reflexos. Além disso, destaca-se a importância de associar tecnologias complementares, como vidros Low-e e filmes inteligentes, para elevar o isolamento térmico e prolongar a estabilidade química do sistema.

As diretrizes também enfatizam o dimensionamento das áreas envidraçadas conforme a latitude e orientação solar, respeitando as exigências de transmitância e fator solar estabelecidas pelas normas ABNT NBR 7199 e NBR 16023. O uso de filmes que bloqueiam até 99% da irradiação UV surge como medida essencial para a proteção de mobiliários e o conforto visual dos usuários.

REFERÊNCIAS

ACHTEN, H. **One and many: an agent perspective on interactive Architecture** source. Fonte: ACADIA 14: Design Agency, Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Los Angeles, p. 479-486.

ALASSAF, Y. Comprehensive Review of the Advancements, Benefits, Challenges, and Design Integration of Energy-Efficient Materials for Sustainable Buildings. **Buildings** 2024, 14, 2994.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI Z97.1:2015 – Safety glazing materials used in buildings – Safety performance specifications and methods of test**. Washington, D.C.: ANSI, 2015.

ANSI/ASHRAE 55, **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Edição de 2023. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> Acesso em: 01 out. 2024.

ANDA – Agência de Notícias de Direitos Animais. **Milhões de aves morrem por ano devido à colisão com janelas**. 2016. Disponível em: <https://anda.jor.br/2016/01/milhoes-aves-morrem-colisao-janelas>. Acesso em: 3 jun. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 16023:2012 – Vidros na construção civil – Películas autoadesivas para controle solar – Requisitos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7199:2022 – Vidros na construção civil – Projeto, execução e aplicações**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16023:2022 – Vidros para a construção civil – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14698:2001 – Vidros de segurança – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16023: Vidros na construção civil – Terminologia, requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Componentes e elementos construtivos - Resistência, transmitância térmica - Métodos de cálculo**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO. **Manual técnico do vidro plano**. São Paulo: ABIVIDRO, 2022.

BASÍLIO, L. G.; MORENO, D. J.; PIRATELLI, A. J. **Main causes of bird-window collisions: a review**. In: Academia Brasileira de Ciências, v. 92, n. 1, 2020.

BARROS, Lilian Ried Miller. **A cor no processo criativo**: um estudo sobre a Bauhaus e a teoria de Goethe. 4. ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2011.

BRASIL. Câmara dos Deputados. Comissão do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. *Projeto de lei sobre prevenção de colisões de aves em fachadas envidraçadas*. Brasília, 2020.

CALHAU, M. I. C. **Análise experimental do impacte de sombreamentos inovadores no conforto ambiental interior**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Técnico Lisboa, 2014.

CARDOSO, A. B. **Esquadria de alumínio no Brasil** – Histórico, tecnologia, linhas atuais, gráficos de desempenho. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://fesqua.com.br/category/pdf>>. Acesso em: 05 out. 2021.

CARDOSO, A. B. **Esquadria de alumínio no Brasil** – Esquadrias de alumínio: a conquista do desempenho. São Paulo: All Print, 2022.

CARVALHO, D. S. Aplicações da impressão digital em vidro no contexto da arquitetura brasileira. **Revista de Design, Tecnologia e Sustentabilidade**, v. 5, n. 2, p. 59–72, 2022.

Chic Película Adesivas, 2023. **Faixas amiga dos pássaros**. Disponível em: <<https://www.peliculachic.com.br/faixas-amigas-dos-passaros.html>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

CHOHFI, R. E. Alcance Iluminação Natural, Eficiência Energética, Geração de Eletricidade e Certificação LEED com Duas Tecnologias Avançadas de Vidro: 1. Vidro Termocrômico e 2. Vidro Fotovoltaico. **Greenbuilding Brasil**, 2017.

CLIMATEMPO. **Previsão do tempo**. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/previsao-do-tempo>. Acesso em: 17 set. 2025.

CROSS, Nigel. **Designerly Ways of Knowing**. London: Springer, 2006.

CSA Group. (2019, June). CSA A460:19 **Bird-friendly building design**. <https://www.csagroup.org/store/product/CSA%20A460:19/> (see also: <https://birdsafeca.ca/csabfbd/>)

CUI, Y. et al. **Thermochromic VO₂ for Energy**-Efficient Smart Windows, Joule, Volume 2, Issue 9, 2018.

CUTHILL, I. C. et al. Ultraviolet vision in birds. **Advances in the Study of Behavior**, v. 29, p. 159–214, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0065-3454\(08\)60105-9](https://doi.org/10.1016/S0065-3454(08)60105-9).

DIAS, L. S. **Desempenho termoenergético e lumínico de fachadas envidraçadas com brise-soleil em edificações multipavimentos climatizadas: tipos de vidros e tipologias de brises.** / Luma de Souza. 2021.

DOCAN DIGITAL TECHNOLOGY. **UV DTF Printer Operation Manual.** Shenzhen: Docan, 2022.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 12600:2002 – Glass in building – Pendulum test – Impact test method and classification for flat glass.** Brussels: CEN, 2002.

EVANS, B. S. et al. Building collisions by migratory birds: Urban design factors and potential solutions. **Urban Ecology Review**, Washington, v. 14, n. 1, p. 45–58, 2020.

FABIANO, A. **Tecnologia da impressão digital em vidro: possibilidades e aplicações.** São Paulo: Editora Técnica, 2016.

FERREIRA, H. et al. **A importância do gerenciamento de projetos na execução em fachadas de vidro: estudo de caso de três torres na cidade do Recife.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Mestrado em Engenharia Civil, 2018.

FERREIRA, H.; MOREIRA, F.; ARRUDA, A. Uma abordagem sobre modelos e técnicas projetuais de design e arquitetura nas fachadas biointeligentes. **Revista Jatobá**, v. 5, 2023.

FERREIRA, H. et al. **Conforto térmico e lumínico nos invólucros envidraçados: estudo empírico com filme de polímeros termocrômicos integrados no vidro.** ENSUS 2024 – XII Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UFMG – Belo Horizonte, 2024.

FRAYLING, C. Research in Art and Design. *Royal College of Art Research Papers*, v. 1, n. 1, p. 1–5, 1993. Disponível em: <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/research-through-design>. Acesso em: 26 maio 2025.

FORNAZARI, G. A; SALDANHA, A.; LANGE, R. R.; FROES, TILDE; KLEM, D.; MOORE, BRET A.; Montiani-Ferreira, Fabiano. **Colisões de aves em janelas no Brasil: fatores epidemiológicos e avaliações radiográficas e de necropsia.** Revista de Medicina e Cirurgia Aviana. 35, pág. 313-324, ISSN: 1082-6742, 2021.

FUJIYAMA, I. M. B. **Análise Dos Padrões De Mortalidade De Aves Nas Vidraças Dos Prédios Da Universidade De Brasília - Campus Darcy Ribeiro.** 2020.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

GIVONI, Baruch. **Man, climate and architecture**. 2. ed. London: Applied Science Publishers, 1998.

GRANQVIST, C. G. **Handbook of Inorganic Electrochromic Materials**. Amsterdam: Elsevier, 2007.

GRANZOTTO, R.; ALMEIDA, F.; LOPES, J. **Design e inovação no uso de vidros impressos digitalmente**. *Revista de Arquitetura e Urbanismo*, v. 24, n. 3, p. 45–58, 2018.

GRATZEL, M.; REIS, P. **Materiais inteligentes para arquitetura sustentável**. Lisboa: IST Press, 2015.

GROAT, L. N.; WANG, D. **Architectural research methods**. 2. edition ed. New York, USA: Wiley, 2013.

GOMES, R. M.; FERNANDES, A. R. **Durabilidade e desempenho de películas externas aplicadas em fachadas envidraçadas**. *Construção & Tecnologia*, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 70-81, 2020.

GÓMEZ-MORENO, V. D. C. et al. Mortalidad de aves causadas por colisión en Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. In: **Huitzil**, v. 24, n. 1, 2023.

HAGER, Stephen B. et al. Window area and development drive spatial variation in bird-window collisions in an urban landscape. **PloS one**, v. 8, n. 1, p. e53371, 2013.

HAGER, Stephen B. Bird-window collisions: A review of patterns, causes, and prevention. **Ecological Applications**, v. 30, n. 3, p. e02038, 2020.

HENRY, M. R. **Photochromic Materials: Fundamentals and Applications**. Berlin: Springer, 2020.

HORNE, B. V.; GUY, D. et al. A framework for assessing the effectiveness of visual markers in preventing bird-window collisions. **Ecological Applications**, v. 30, n. 6, e02100, 2020.

KLEM J., D. 1990. Collisions between birds and windows: mortality and prevention. **Journal of Field Ornithology** 6: 120-128.

KLEM, D. Preventing bird–window collisions. **Wilson Journal of Ornithology**, v. 121, n. 2, p. 314-321, 2009.

KLEM JR., D. **Avian mortality at windows: The second largest human source of bird mortality on Earth**. In: RICH, T. D. et al. (Ed.). *Tundra to tropics: Connecting birds*,

habitats and people. Proceedings of the 4th International Partners in Flight Conference, McAllen, TX. [S.L.]: Partners in Flight, 2009. p. 244–251.

LAWSON, Bryan. **How Designers Think: The Design Process Demystified**. 4. ed. Oxford: Architectural Press, 2006.

LEE, W.; HWANG, J. Recent Developments in Photochromic Materials for Smart Window Applications. **Materials Today**, v. 21, n. 5, p. 500–513, 2018.

LI, S. Y. et al. Thermochemical VO₂ films for energy-efficient smart windows. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 145, p. 98–103, 2016.

LI, Xiaofeng et al. Recent advances in thermochromic materials and their applications. **Chemical Society Reviews**, v. 49, n. 3, p. 1144–1172, 2020. DOI: 10.1039/C9CS00676K.

LIAO, Y. et al. Recent advances in photochromic smart windows: Materials, performance and applications. **Journal of Materials Chemistry C**, v. 10, p. 3193–3215, 2022.

LIMA, E.; FERREIRA, H.; MATEUS, L.; ARRUDA, A. Integration of Thermo-Responsive Materials Applied to Bio-Inspired Structures. **Biomimetics**, 2025, v. 10, n. 2, p. 68. 22 january 2025.

LIPOWICZ-BUDZYŃSKA, Alina. Visual interference in the glass facade. *In: IOP Conference Series: materials science and engineering*. Bristol: IOP Publishing, 2020. p. 042079.

LIPOWICZ-BUDZYŃSKA, Alina. Articulation of Facade Graphics and Techniques of its Implementation. *In: IOP Conference Series: materials science and engineering*. Bristol: IOP Publishing, 2021. p. 022016.

LIPOWICZ-BUDZYŃSKA, Alina. Facade art glass in three contexts: urban landscape, elevation of the building and its interior. *In: IOP Conference Series: materials science and engineering*. Bristol: IOP Publishing, 2019. p. 042051.

LOSS, S. R. et al. Bird-building collisions in the United States: Estimates of annual mortality and species vulnerability. **The Condor**, Washington, v. 116, n. 1, p. 8–23, 2014.

LIU, C. Development of Direct to Film Technology for Digital Textile Printing. **Beijing: Textile Technology Press**, 2020.

MORIN, F. J. Oxides which show a metal-to-insulator transition at the Neel temperature. **Physical Review Letters**, v. 3, n. 1, p. 34–36, 1959.

MANZINI, E. **Design: quando todos fazem design: uma introdução ao design para inovação social**. São Leopoldo: Unisinos, 2017.

MARTIN, B.; HANINGTON, B.: **Choice reviews online universal methods of design: 100 ways to research complex problems, develop innovative ideas, and design effective solutions**. 2012. United States of America: Rockport Publishers. Película Chic, 2021. Disponível em: <https://www.peliculachic.com.br/amiga-dos-passaros.html>. Acesso em: 05 mar. 2022.

MARTINS, A. **Impressão Digital em Vidro: Técnicas e Aplicações**. São Paulo: Editora GlassTech, 2020.

MARTINS, D. L.; COSTA, P. M. Avaliação da durabilidade óptica de películas fotossensíveis. **Revista de Química Aplicada**, Campinas, v. 16, n. 1, p. 22–30, 2018.

MATTER, S. V. **Milhões de aves morrem em colisão com janelas todos os anos**. Agência de Notícias de Direitos Animais – ANDA, 2016. Disponível em: <https://anda.jor.br/2016/01/milhoes-aves-morrem-colisao-janelas>. Acesso em: 4 jun. 2025.

MENEZES, C.; SILVA, P. O vidro como elemento gráfico e comunicacional: estudos de caso com impressão digital. **Revista Interdisciplinar de Design**, v. 12, n. 1, p. 73–84, 2020.

MOHER, D. et al. Principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análise: A recomendação PRISMA. **Epidemiologia e serviços de saúde**, 24(2), p. 335-342. doi: 10.5123/s1679-49742015000200017, 2015.

MENACHO-ODIO, R. M.; CRUZ, M. G.; ARÉVALO, J. E. Ecología, endemismo y estatus de conservación de aves que han colisionado contra ventanas de vidrio en Monteverde, Costa Rica. In: **Revista de Biología Tropical**, v. 67, n. 2, 2019.

MOREIRA, T. A.; CASTRO, M. L. Impressão digital em vidro: tecnologia e aplicações na arquitetura contemporânea. **Revista Materiais e Construção**, v. 7, n. 2, p. 89–101, 2018.

MOURA, L. F.; MARTINS, C. S. Aplicações de películas adesivas em arquitetura corporativa: estudo de caso em edifício comercial de médio porte. **Revista Brasileira de Arquitetura e Sustentabilidade**, v. 7, n. 2, p. 45–58, 2019.

MOTTA, L. F. **A vida de pássaros conta**. Congresso em foco, 2021. Disponível em: <https://congressoemfoco.uol.com.br/temas/meio-ambiente/a-vida-de-passaros-counta/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

OLGYAY, V. **Projeto bioclimático: uma abordagem ecológica à arquitetura**. 6. ed. São Paulo: Bookman, 2012.

OLIVEIRA, L. F. et al. Pigmentos termocrômicos: fundamentos e aplicações. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 1, p. 1–12, jan. 2019. Disponível em:

<https://www.revistas.ufrj.br/index.php/materia/article/view/23022>. Acesso em: 16 maio 2025.

ORAFOL. **Manual técnico de aplicação de vinis adesivos**. Bréscia: Orafol Europe GmbH, 2020.

PACHECO, T. D. **Conservação de aves em ambiente urbano**: compromisso ético necessário à saúde global. In: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

PEREIRA, J. L.; MORAES, D. F. Avaliação de métodos de aplicação de películas de controle solar: comparação entre técnicas artesanais e profissionais. **Cadernos de Arquitetura e Sustentabilidade**, v. 7, n. 1, p. 34-47, 2019.

PILATO, L. **Advanced and High-Performance Protective Coatings**. Oxford: Elsevier, 2013.

PINHEIRO, R. T.; FREITAS, D. B. A colisão de aves em janelas e fachadas de vidro em áreas urbanas: uma problemática crescente. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 28, n. 1, p. 56-62, 2020.

PIVA, R. **Serigrafia e Vidro: Fundamentos e Processos**. Rio de Janeiro: VidroArte, 2013.

PTW Architects. **Watercube. Centro Nacional de Natação**. 2003. Disponível em: <https://ptw.com.au/project>. Acesso em: 15 dez. 2022.

QUEIROZ, N. **Projeto da envoltória guiado por desempenho**: método paramétrico interoperável com enfoque no desempenho térmico, visual e luminoso: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023.

REIS, M. N. dos. **Esquadrias de Alumínio: análise dos critérios de escolha destes componentes em edifícios de apartamentos, padrão médio-alto, na cidade de São Paulo**. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

RIBEIRO, A. P. **Materiais de construção: propriedades e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

RODRIGUES, F.; SOUZA, A. **O uso de vidro impresso digitalmente na arquitetura brasileira contemporânea**. *Revista Brasileira de Arquitetura e Construção*, v. 18, n. 1, p. 34-47, 2019.

ROSSLER, M., NEMETH, E., BRUCKNER, A. 2015. **Glass pane markings to prevent bird-window collisions**: less can be more. *De Gruyter 70/4*: 535-541, doi: 10.1515/biolog-2015-0057.

SALAMATI, M. et al. Preparation of TiO₂@W-VO₂ thermochromic thin film for the application of energy efficient smart windows and energy modeling studies of the produced glass. **Construction and Building Materials**, Volume 218, 2019.

SANTOS, M. R.; LIMA, D. **Sustentabilidade e inovação em fachadas de vidro com impressão digital**. *Cadernos de Arquitetura e Construção Sustentável*, v. 6, n. 2, p. 29–40, 2021.

SANTOS, L. P. S., ABREU, V. F., VASCONCELOS, M. F. 2017. Bird mortality due to collisions in glass panes on an Important Bird Area of southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, 25(2): 90–101.

SEGAWA, H. **Arquiteturas no Brasil 1900 - 1990**. 2ª edição, São Paulo, Edusp, 1999.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO (SINDUSCON-SP). **Esquadria com foco em eficiência energética**: guia orientativo para projetos de edificações eficientes. São Paulo: SINDUSCON-SP, Publicado em 05/12/2018.

SILVA, R. M.; MACHADO, E. F. Técnicas de impressão digital em superfícies vítreas: fundamentos e avanços. **Revista Brasileira de Tecnologia e Design**, v. 10, n. 1, p. 22–35, 2020.

SILVA, R.; MOURA, T.; OLIVEIRA, D. **Impressão digital com verniz UV: propriedades e aplicações**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Impressão e Substratos, 2023.

SHEPPARD, C.; PHILLIPS, S. **Bird-friendly building design**. 2. ed. New York: American Bird Conservancy, 2015. Disponível em: <https://abcbirds.org>. Acesso em: 16 maio 2025.

SHEPPARD, C. D. **Bird-friendly building design**. 2. ed. Chicago: American Bird Conservancy, 2019.

SOLAR SCREEN. **Ficha técnica – Eclipse 40-80C**. Luxemburgo: Solar Screen International, 2023a. Disponível em: <https://www.solarscreen.eu>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SOLAR SCREEN. **Recomendações de instalação para películas interiores**. Luxemburgo: Solar Screen International, 2023b. Disponível em: <https://www.solarscreen.eu>. Acesso em: 20 nov. 2024.

SOUZA, A. M.; LIMA, R. F. Técnicas de deposição de filmes fotocromáticos em substratos plásticos. **Revista Brasileira de Materiais Funcionais**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 45–53, 2019.

SOUZA, E. **Infográfico: A Evolução do Vidro**. ArchDaily Brasil. 2019. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/914991/infografico-a-evolucao-do-vidro>> ISSN 0719-8906. Acessado 19 Set 2023.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL. **LEED v4 for Building Design and Construction**. Washington, DC: USGBC, 2019. Disponível em: <https://www.usgbc.org/resources/leed-v4-building-design-and-construction-current-version>. Acesso em: 3 jun. 2025.

VIDRO IMPRESSO. **Impressão digital: técnica cria diferentes tipos de imagem com alta qualidade de resolução e durabilidade**. Ano 9, n. 51, p. 50, 2020.

VIDMAR, R. G. et al. A Influência da Abertura de Janelas na Eficiência Energética de Edifícios de Escritórios. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, [S. l.], v. 12, n. 39, 2024. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/5466. Acesso em: 3 set. 2025.

YIN, R. K. **Case study research, design and methods** (applied social research methods). Thousand Oaks. California: Sage Publications, 2009.

ZHANG, Q. et al. Recent advances in thermochromic smart windows: Materials design and performance evaluation. **Applied Energy**, v. 258, p. 114022, 2020.

ZHANG, W.; HUANG, L.; XU, J. Hybrid UV-DTF Transfer Printing: A Novel Solution for Rigid Surface Personalization. **Journal of Advanced Digital Printing**, v. 18, n. 4, p. 232-241, 2022.

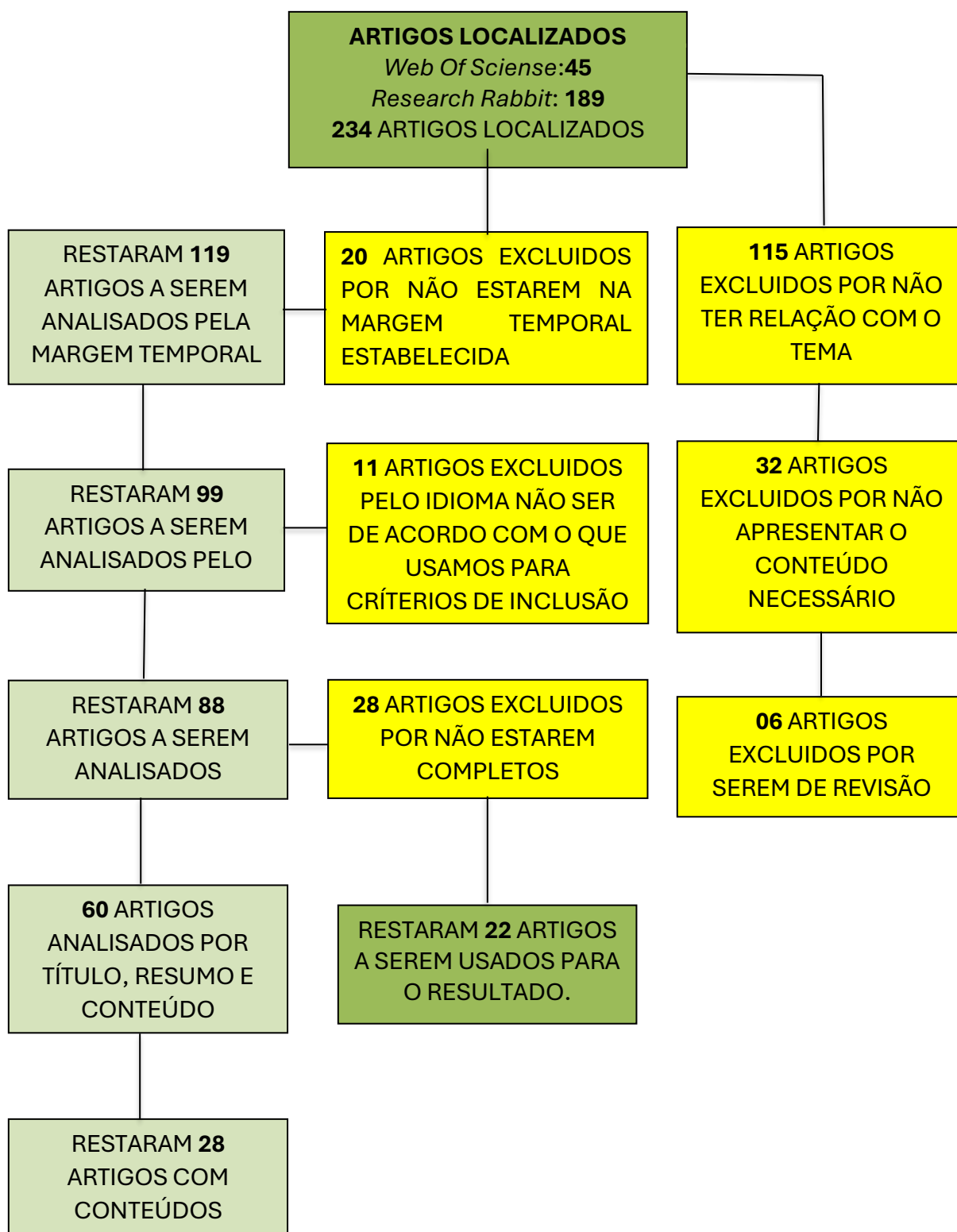
ZHAO X. P. et al. Durability-enhanced vanadium dioxide thermochromic film for smart windows, **Materials Today Physics**, Volume 13, 2020.

WESTPHAL, F. S. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificação**. São Paulo: Abividro, 2016.

3M. **Catálogo técnico de filmes para vidros e sinalização**. São Paulo: 3M Brasil, 2022. Disponível em: <https://www.3m.com.br>. Acesso em: 15 maio 2025.

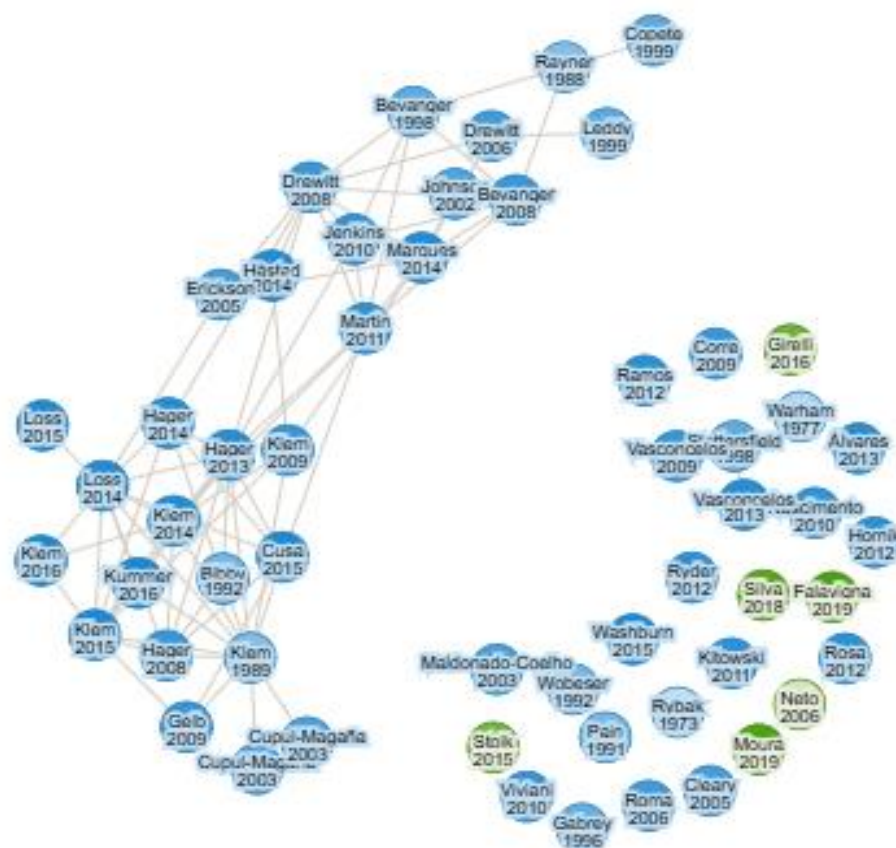
APÊNDICE A

Fluxograma A-1: Seleção de artigos para revisão de literatura



Fonte: Autora (2024)

Diagrama A-1: Revisão dos autores por palavras-chave (Colisão de pássaros)



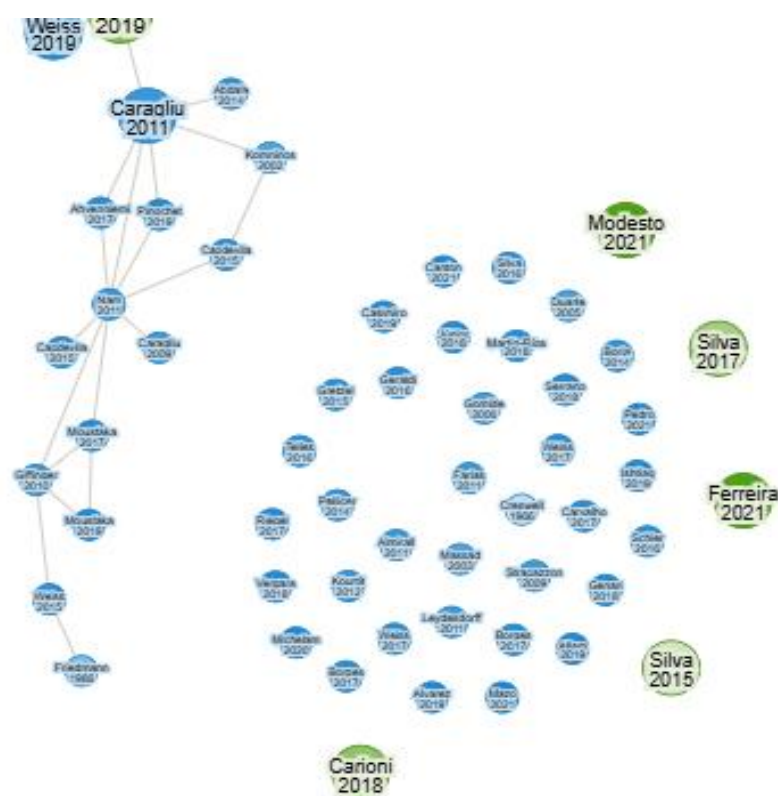
Fonte: Autora (2025)

Diagrama A-2: Revisão dos autores por palavras-chave (Vidro de fachadas)



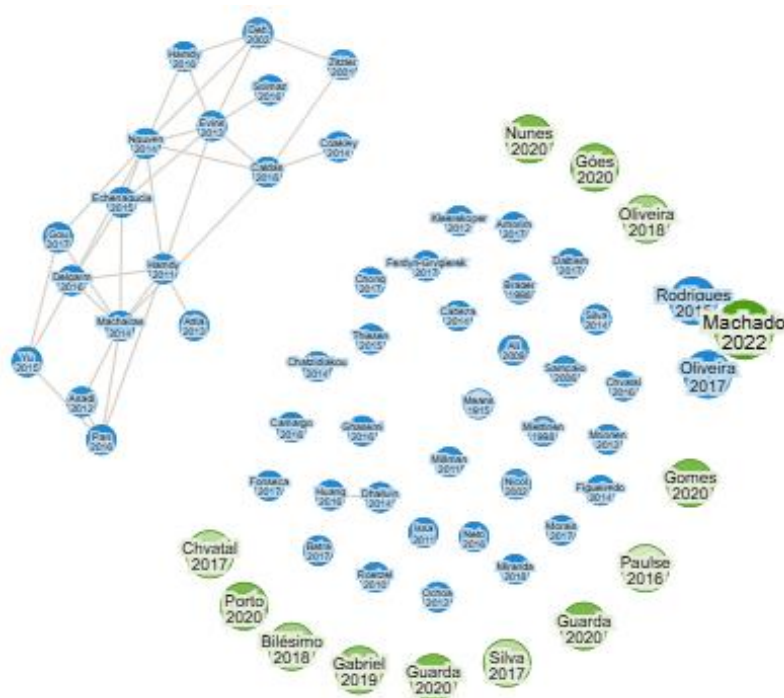
Fonte: Autora (2025)

Diagrama A-3: Revisão dos autores por palavras-chave (Eficiência energética)



Fonte: Autora (2025)

Diagrama A-4: Revisão dos autores por palavras-chave (Desempenho térmico)



Fonte: Autora (2025)

Quadro A-1: Tabulação das informações estratificadas

#	Título / plataforma de pesquisa	Autor(es)	Ano de publicação	Publicação
1	<i>Comprehensive Review of the Advancements, Benefits, Challenges, and Design Integration of Energy-Efficient Materials for Sustainable Buildings (Web of Science)</i>	Yahya Alassaf	2024	Publicado: 21 de setembro de 2024 Doi: https://doi.org/10.3390/buildings14092994
2	Esquadria de alumínio no Brasil – Histórico, tecnologia, linhas atuais, gráficos de desempenho. (Documentário)	Antônio B. Cardoso	2019	Disponível em: https://fesqua.com.br/category/pdf
3	Alcance Iluminação Natural, Eficiência Energética, Geração de Eletricidade e Certificação LEED com Duas Tecnologias Avançadas de Vidro: 1. Vidro Termocrômico e 2. Vidro Fotovoltaico. (Palestra)	Reinaldo Escada Chohfi	2017	Greenbuilding Brasil
4	<i>Thermochromic VO2 for Energy-Efficient Smart Windows. (Research Rabbit)</i>	Yuanyuan Cui, Yujie Ke, Chang Liu, Zhang Chen, Ning Wang, Liangmiao Zhang, Yang Zhou, Shancheng Wang, Yanfeng Gao, Yi Long	2018	Volume 2, Issue 9 https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.06.018
5	Desempenho termoenergético e lumínico de fachadas envidraçadas com brise-soleil em edificações multipavimentos climatizadas: tipos de vidros e tipologias de brises (Tese)	Luma de Souza Dias	2021	http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/17391
6	Análise Dos Padrões De Mortalidade De Aves Nas Vidraças Dos Prédios Da Universidade De Brasília - Campus Darcy Ribeiro	Ilza Maria Barros Fujiyama	2020	Universidade de Brasília – Trabalho de Conclusão do Curso
7	<i>Thermochromic Materials for Smart Windows: A State-of-Art Review (Research Rabbit)</i>	Xiuqiang Li	2020	Chemical Society Reviews, v. 49, n. 3, p. 1144–1172, 2020. DOI: 10.1039/C9CS00676K.
8	<i>Research in Art and Design. Royal College of Art Research Papers Articulation of Facade Graphics and Techniques of its Implementation. (Research Rabbit)</i>	Frayling, C.	1993	Disponível em: https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-

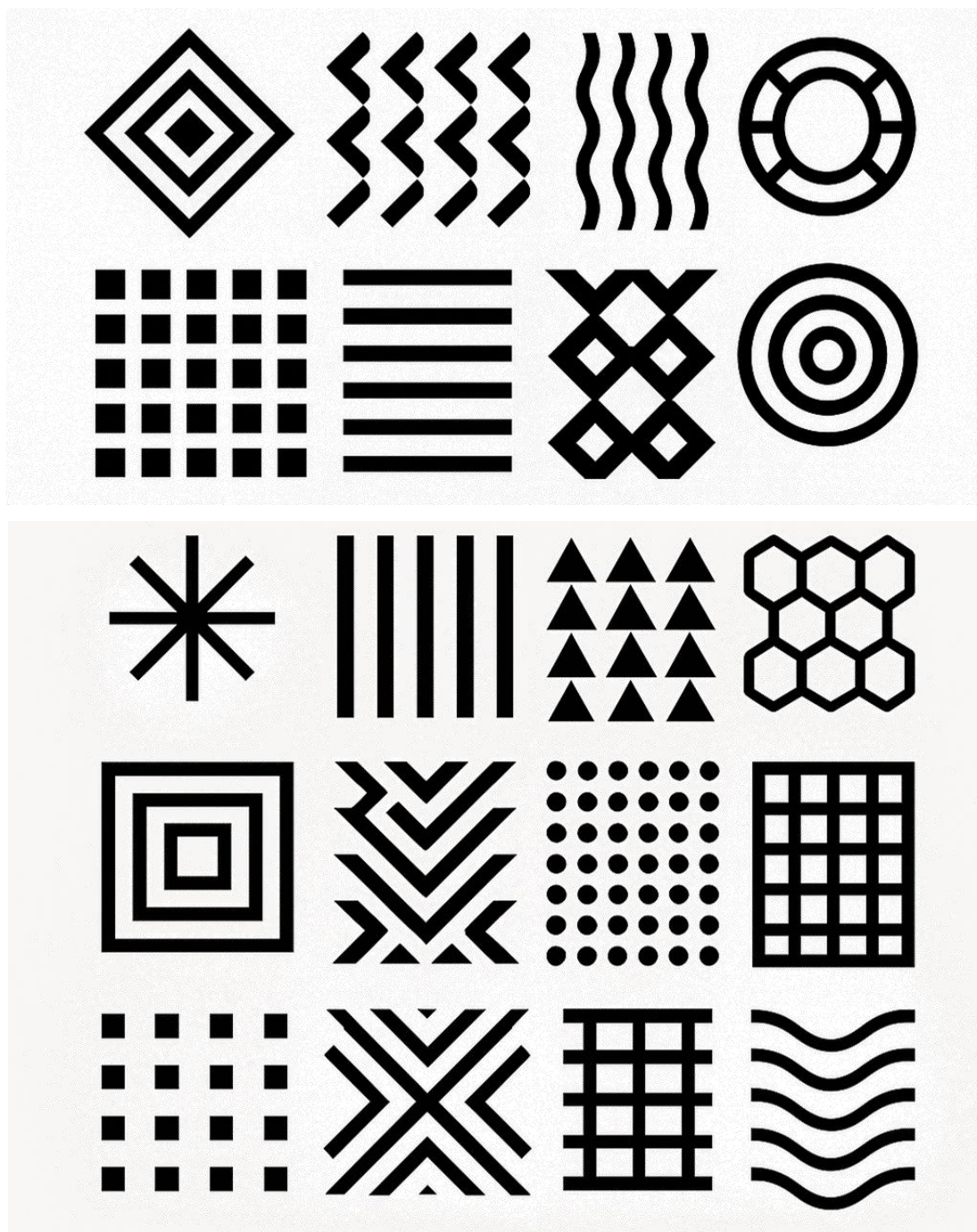
				ed/research-through-design.
9	A vida de pássaros conta (Congresso)	United States of America: Rockport Publishers. Película Chic,	2021	Disponível em: https://congressoemfoco.uol.com.br/temas/meio-ambiente/a-vida-de-passaros-conta/
10	<i>Design Considerations for Adopting Kinetic Facades in Building Practice (Research Rabbit)</i>	Sharaidin, Kamil; Salim, Flora	2019	Disponível em: https://www.revistas.ufrj.br/index.php/materia/article/view/23022
11	Projeto da envoltória guiado por desempenho: método paramétrico interoperável com enfoque no desempenho térmico, visual e luminoso (Tese)	Natália de Queiroz	2023	Universidade Federal de Santa Catarina. https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/251590
12	Esquadria com foco em eficiência energética: guia orientativo para projetos de edificações eficientes. (SINDUSCON-SP)	Sinduscon	2018	https://sindusconsp.com.br/download/guia-esquadria-com-foco-em-eficiencia-energetica-2/
13	Glass pane markings to prevent bird-window collisions:	Martin Rössler Erwin Nemeth Alexandre Bruckner	2015	De Gruyter 70/4: 535-541, doi: 10.1515/biolog-2015-0057.
14	Manual Técnico do Vidro Plano para Edificação	Westphal, F. S	2016	Abividro-São Paulo
15	<i>Preparation of TiO₂@W-VO₂ thermochromic thin film for the application of energy efficient smart windows and energy modeling studies of the produced glass (Web of Science)</i>	Mohammad Salamati, Ghazal Kamyabjou, Mohadese Mohamadi, Katayoun Taghizade, Elaheh Kowsari	2019	Volume 218, 10 September 2019, Pages 477-482
16	A Influência da Abertura de Janelas na Eficiência Energética de Edifícios de Escritórios (Periódico Técnico e Científico)	Vidmar, R. G.; Cunha, E. G.; Ribeiro, L. A.; Silva, T. L.	2024	Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/cidades_verdes/article/view/5466
17	<i>Durability-enhanced vanadium dioxide thermochromic film for smart windows (Research Rabbit)</i>	X.P. Zhao, S.A. Mofid, T. GAO, G. Tan, B.P. Jelle, X.B. Yin, R.G. Yang	2020	Materials Today Physics, Volume 13
18	<i>Bird-friendly building design (Research Rabbit)</i>	Sheppard, C.; Phillips, S	2015	2ª ed. New York: American Bird Conservancy
19	<i>Articulation of Facade Graphics</i>	Alina Lipowicz-	2021	IOP Conference

	<i>and Techniques (Research Rabbit)</i>	Budzyńska		Series: Materials Science and Engineering, Volume 1203, Papers
20	<i>Visual Interference in the Glass Facade (Research Rabbit)</i>	Alina Lipowicz- Budzyńska	2020	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 960, 5th World Multidisciplinary Civil
21	<i>Letter Graphics in the Facade of a Building – Composition and Message (Research Rabbit)</i>	Alina Lipowicz- Budzyńska	2021	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 1203, Papers
22	<i>Color in Selected Artistic Glass Compositions by Tomasz Urbanowicz as an Element of Intervention in Historic Buildings and Contemporary Architecture (Research Rabbit)</i>	Barbara Ewa Gronostajskaa nd Konrad Urbanowicz	2021	Arts 2021, 10, 79.

Fonte: Autora (2022)

APÊNDICE B

Figura B-1: Elaboração de modelos de pigmentações



Fonte: Autora (2025)

APÊNDICE C

Medições dos experimentos manuais - Orientação Solar OESTE (Poente)

Figura C-1: Medição dia 20/07/2025

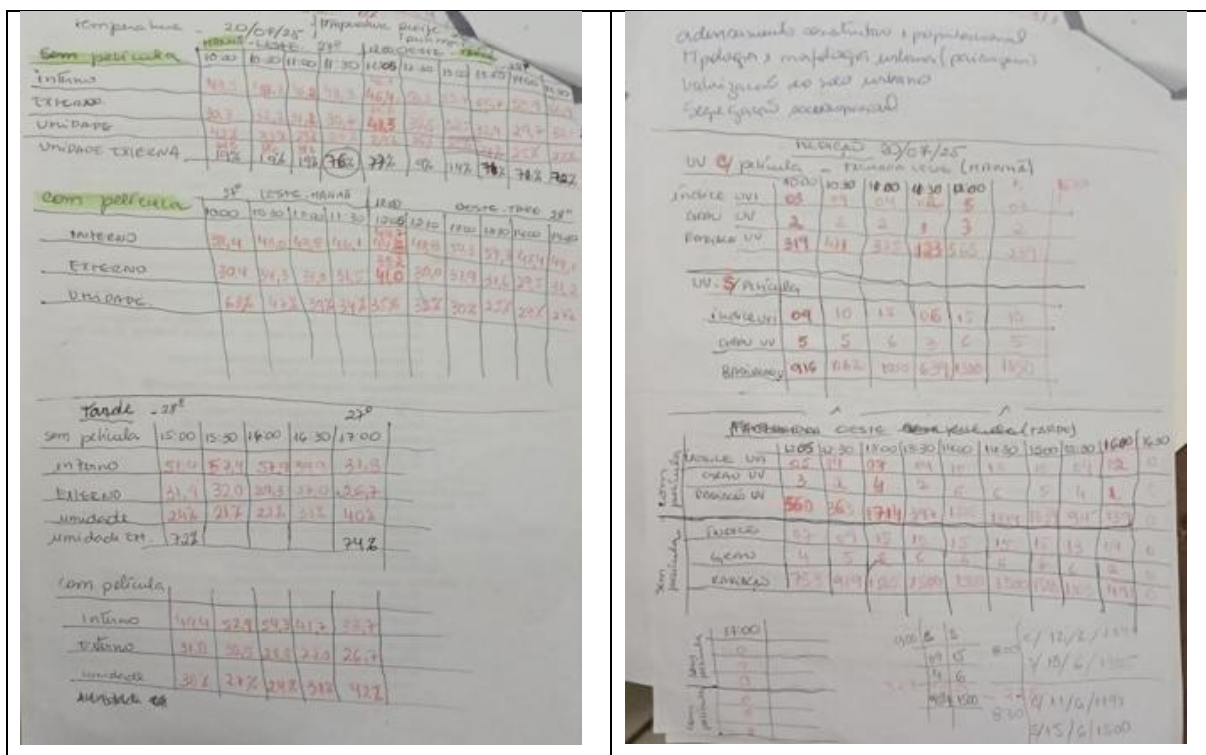


Figura C-2: Medição dia 21/07/2025 e dia 02/09/2025

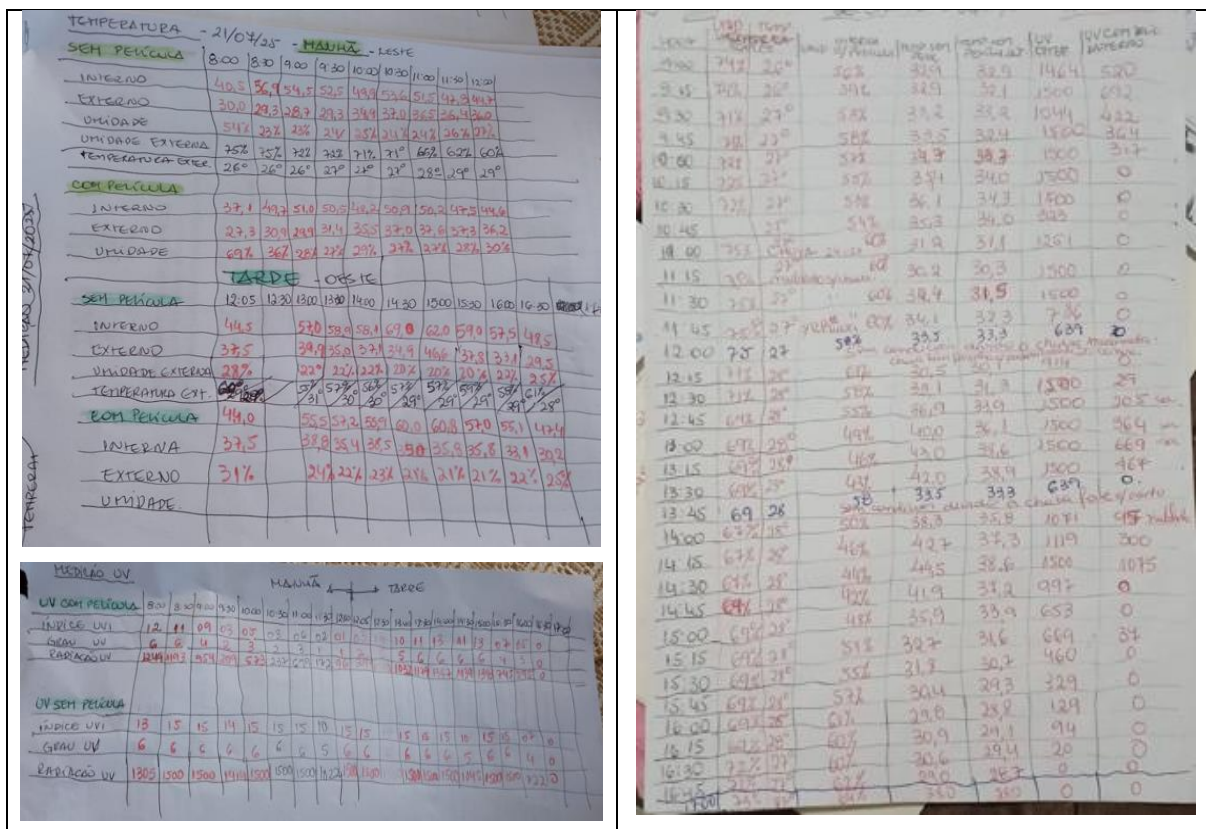


Figura C-3: Medição nos dias 04/09/2025 e 05/09/2025

Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Velocidade do Vento (km/h)	UV-Cam (m)	UV-Cam (m)	UV-Cam (m)	UV-Cam (m)
CHUVA FORTE							
9:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
9:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
9:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0

Figura C-4: Continuação de Medição nos dias 06/09/2025 e 07/09/2025

Horário	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Velocidade do Vento (km/h)	UV-Cam (m)	UV-Cam (m)	UV-Cam (m)	UV-Cam (m)
CHUVA FORTE							
9:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
9:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
9:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
10:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
11:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
12:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
13:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
14:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
15:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:00	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:15	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:30	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0
16:45	28°	68%	32,5	31,2	1500	0	0

Medições de TEMPERATURA e UMIDADE (Datas – 02 a 07/set/25)

Orientação Solar OESTE (Poente)

Tabela C-1: Mediação de temperatura e umidade no dia 02/09/2025

Hora	Umidade Externa % Recife	Umidade % Termômetro COM película	Temp. Externa % Recife	Temp. SEM Película (°C) Termômetro	Temp. COM Película (°C) Termômetro	Diferença (ΔT) Temperatura	Diferença (ΔT) Umidade
12:00						0	0
12:15	71	61	28	30,5	30,1	0,4	10
12:30	71	58	28	33,1	31,3	1,8	13
12:45	69	55	28	36,9	33,9	3	14
13:00	69	49	28	40	36,1	3,9	20
13:15	69	46	28	43	38,6	4,4	23
13:30	69	43	28	42	38,9	3,1	26
13:45	69	58	28	33,5	33,3	0,2	11
14:00	67	50	28	38,3	35,8	2,5	17
14:15	67	46	28	42,7	37,3	5,4	21
14:30	69	44	28	44,5	38,6	5,9	25
14:45	69	42	28	41,9	37,2	4,7	27
15:00	69	48	28	35,9	33,9	2	21
15:15	69	51	28	32,7	31,6	1,1	18
15:30	69	55	28	31,8	30,7	1,1	14
15:45	69	57	28	30,4	29,3	1,1	12
16:00	69	61	28	29,8	28,8	1	8
16:15	69	60	28	30,9	29,1	1,8	9
16:30	72	60	27	30,6	29,4	1,2	12
16:45	72	62	27	29	28,7	0,3	10
17:00	73	64	27	28	28	0	9

Tabela C-2: Mediação de temperatura e umidade no dia 04/09/2025

04/set	12:00	78	54	27	37,8	35,1	2,7	24
	12:15	78	50	27	38,8	37,1	1,7	28
	12:30	76	49	27	40,2	38	2,2	27
	12:45	76	55	27	35,7	35	0,7	21
	13:00	76	57	27	34,9	33,7	1,2	19
	13:15	76	58	27	35	33,4	1,6	18
	13:30	78	58	27	34,3	32,4	1,9	20
	13:45	78	58	27	34,7	33,1	1,6	20
	14:00	80	53	27	38,9	35	3,9	27
	14:15	80	45	27	45	39	6	35
	14:30	80	43	27	45,1	39,7	5,4	37
	14:45	79	47	27	38,3	36,7	1,6	32
	15:00	79	50	27	39,1	36	3,1	29
	15:15	79	49	27	40,6	36,1	4,5	30
	15:30	81	50	27	36,8	34,9	1,9	31
	15:45	80	52	26	39,6	35,3	4,3	28
	16:00	80	48	26	43,1	37,7	5,4	32
	16:15	82	48	26	39,1	36,3	2,8	34
	16:30	82	57	26	31,7	31,2	0,5	25
	16:45	82	61	26	31,4	31,2	0,2	21
	17:00	82	61	26	29,5	29,6	-0,1	21

Tabela C-3: Mediação de temperatura e umidade no dia 05/09/2025

05/set	12:00	79	55	27	38,7	36,1	2,6	24
	12:15	79	53	27	38,3	36	2,3	26
	12:30	79	55	26	37,7	35,4	2,3	24
	12:45	76	58	26	33,5	33,3	0,2	18
	13:00	76	59	26	36,2	34,3	1,9	17
	13:15	75	62	26	33,5	33,9	-0,4	13
	13:30	75	61	28	35,5	33,1	2,4	14
	13:45	75	61	28	30,7	31,4	-0,7	14
	14:00	76	65	28	29	29,7	-0,7	11
	14:15	77	67	28	30,9	29,9	1	10
	14:30	77	67	28	31,5	30,5	1	10
	14:45	77	67	28	32	30,9	1,1	10
	15:00	77	66	28	32,2	31,5	0,7	11
	15:15	77	67	28	30,3	30,5	-0,2	10
	15:30	78	59	28	39,2	34,6	4,6	19
	15:45	78	53	28	42,2	36,9	5,3	25
	16:00	78	55	27	36,7	34,4	2,3	23
	16:15	78	57	27	35,1	33,1	2	21
	16:30	78	60	27	31,5	37	-5,5	18
	16:45						0	0
	17:00						0	0

** chuva moderada (parte grifada em vermelho)

Tabela C-4: Mediação de temperatura e umidade no dia 06/09/2025

Data	Hora	Umidade Externa % Recife	Umidade % Termômetro COM película	Temp. Externa % Recife	Temp. SEM Película (°C) Termômetro	Temp. COM Película (°C) Termômetro	Diferença (ΔT) Temperatura	Diferença (ΔT) Umidade
06/set	12:00	70	47	28	39,7	37,3	2,4	23
	12:15	68	43	29	41,6	39,4	2,2	25
	12:30	68	41	29	42,5	40,2	2,3	27
	12:45	68	39	29	44,1	41,4	2,7	29
	13:00	70	36	28	46	42,9	3,1	34
	13:15	70	36	28	46,9	43,5	3,4	34
	13:30	70	36	28	47,7	43,6	4,1	34
	13:45	70	36	28	45,7	41,6	4,1	34
	14:00	70	36	28	48,2	41,6	6,6	34
	14:15	70	36	28	51,1	43,4	7,7	34
	14:30	70	36	28	48,1	42,7	5,4	34
	14:45	70	36	28	47,5	42	5,5	34
	15:00	70	39	28	43,2	39,3	3,9	31
	15:15	70	39	28	45,4	39,7	5,7	31
	15:30	72	40	28	43,9	39	4,9	32
	15:45	72	43	28	38,7	36,3	2,4	29
	16:00	72	44	28	39,1	36,1	3	28
	16:15	72	44	28	41,2	36,1	5,1	28
	16:30	74	46	27	38,3	34,9	3,4	28
	16:45	74	51	27	33,8	32,5	1,3	23
	17:00	74	57	27	30,6	30,6	0	17

Tabela C-5: Mediação de temperatura e umidade no dia 07/09/2025

Data	Hora	Umidade Externa % Recife	Umidade % Termômetro COM película	Temp. Externa % Recife	Temp. SEM Película (°C) Termômetro	Temp. COM Película (°C) Termômetro	Diferença (ΔT) Temperatura	Diferença (ΔT) Umidade
07/set	12:00	69	43	28	39,1	37,6	1,5	26
	12:15	69	44	29	38,8	37,3	1,5	25
	12:30	67	41	29	39,1	37,1	2	26
	12:45	65	41	29	40,8	38,6	2,2	24
	13:00	65	39	29	41,9	39,5	2,4	26
	13:15	65	37	29	43,7	40,8	2,9	28
	13:30	67	36	28	44,8	41,7	3,1	31
	13:45	67	36	28	46,4	42,1	4,3	31
	14:00	68	34	28	49,9	43,9	6	34
	14:15	68	31	28	53,7	45,4	8,3	37
	14:30	70	29	28	54,9	46,2	8,7	41
	14:45	70	29	28	56,8	45,3	11,5	41
	15:00	70	28	28	55,3	46,7	8,6	42
	15:15	72	29	27	55,2	46,1	9,1	43
	15:30	72	30	27	53,4	45,1	8,3	42
	15:45	72	35	27	43,8	40	3,8	37
	16:00	72	36	27	35	36,3	-1,3	36
	16:15	72	48	27	32,2	32	0,2	24

Medições de RADIAÇÃO UV (Datas – 02 a 07/set/25)

Tabela C-6: Mediação de Radiação UV nos dias 02/09/2025 e 04/09/2025

Data	Horário	UV Externo (W/m ²)	UV Interno (W/m ²) COM Película (radiação solar direta)	Redução (%)
02/set	12:00	639	0	100,00%
	12:15	914	0	100,00%
	12:30	1500	29	98,07%
	12:45	1500	205	86,33%
	13:00	1500	364	75,73%
	13:15	1500	669	55,40%
	13:30	1500	467	68,87%
	13:45	639	37	94,47%
	14:00	1071	95	91,13%
	14:15	1119	300	73,19%
	14:30	1500	1075	28,33%
	14:45	997	0	100,00%
	15:00	653	0	100,00%
	15:15	669	37	94,47%
	15:30	460	0	100,00%
	15:45	329	0	100,00%
	16:00	129	0	100,00%
	16:15	94	0	100,00%
	16:30	20	0	100,00%
	16:45	0	0	N/A*
	17:00	0	0	N/A*
04/set	12:00	919	147	84.00%
	12:15	291	95	67.35%
	12:30	273	94	65.60%
	12:45	123	64	48.00%
	13:00	156	33	78.85%
	13:15	92	63	31.52%
	13:30	227	104	54.18%
	13:45	173	65	62.43%
	14:00	700	592	15.43%
	14:15	591	363	38.60%
	14:30	449	439	2.23%
	14:45	0	0	0.00%
	15:00	666	133	80.03%
	15:15	265	69	74.00%
	15:30	0	0	0.00%
	15:45	634	57	91.01%
	16:00	339	59	82.60%
	16:15	30	0	100.00%
	16:30	0	0	N/A*
	16:45	0	0	N/A*
	17:00	0	0	N/A*

Tabela C-7: Mediação de Radiação UV nos dias 05/09/2025 e 06/09/2025

05/set	12:00	393	99	74.81%
	12:15	643	215	66.56%
	12:30	104	90	13.51%
	12:45	639	275	56.96%
	13:00	310	90	70.97%
	13:15	390	192	50.80%
	13:30	145	10	93.10%
	13:45	0	0	0.00%
	14:00	114	21	81.58%
	14:15	320	245	23.44%
	14:30	127	36	71.65%
	14:45	21	0	100.00%
	15:00	0	0	0.00%
	15:15	24	0	100.00%
	15:30	576	156	72.92%
	15:45	126	63	50.00%
	16:00	0	0	N/A*
	16:15	0	0	N/A*
	16:30	0	0	N/A*
	16:45	0	0	N/A*
	17:00	0	0	N/A*
06/set	12:00	1500	597	60.20%
	12:15	1500	743	50.47%
	12:30	1500	792	47.20%
	12:45	1049	900	14.11%
	13:00	1330	999	24.90%
	13:15	1500	1310	12.70%
	13:30	1500	1113	25.80%
	13:45	939	199	78.81%
	14:00	940	732	22.13%
	14:15	992	195	80.34%
	14:30	1190	906	23.90%
	14:45	1100	600	45.45%
	15:00	772	216	72.02%
	15:15	1500	935	37.67%
	15:30	635	26	95.91%
	15:45	121	0	100.00%
	16:00	4	0	N/A*
	16:15	0	0	N/A*
	16:30	0	0	N/A*
	16:45	0	0	N/A*
	17:00	0	0	N/A*

Tabela C-7: Mediação de Radiação UV no dia 07/09/2025

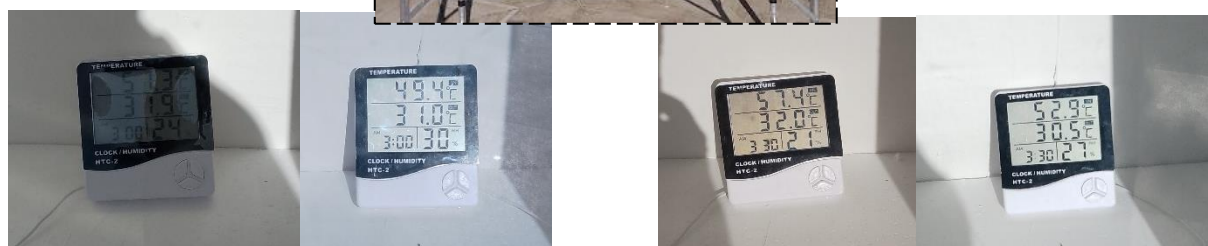
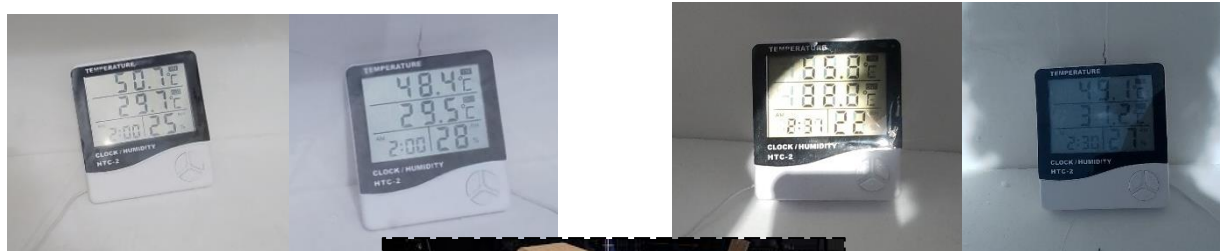
07/set	12:00	917	49	94.66%
	12:15	643	16	97.51%
	12:30	739	197	73.34%
	12:45	1500	539	64.07%
	13:00	1500	415	72.33%
	13:15	1100	494	55.10%
	13:30	915	493	46.12%
	13:45	1212	579	52.23%
	14:00	936	206	77.99%
	14:15	620	344	44.49%
	14:30	993	399	59.82%
	14:45	1500	959	36.07%
	15:00	1500	976	34.93%
	15:15	1500	799	46.73%
	15:30	1250	113	90.96%
	15:45	141	74	47.45%
	16:00	0	0	N/A*
	16:15	0	0	N/A*

APÊNCIDE D

Fotografias medições dia 20/07/2025 – **SEM** (esquerdo) e **COM** (direito) película



Orientação Solar
OESTE (Poente)



Fotografias medições dia 20/07/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película
Orientação Solar OESTE (Poente)

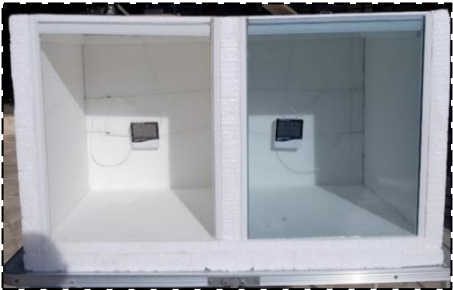


APÊNDICE E

Fotografias medições dia 21/07/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película



Orientação Solar
OESTE (Poente)



APÊNDICE F

Fotografias medições dia 02/09/2025 – **SEM** (esquerdo) e **COM** (direito) película



Orientação Solar
OESTE (Poente)



Fotografias medições dia 02/09/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película



APÊNDICE G

Fotografias medições dia 04/09/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película



Orientação Solar
OESTE (Poente)



Fotografias medições dia 04/09/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película
Orientação Solar OESTE (Poente)



APÊNDICE H

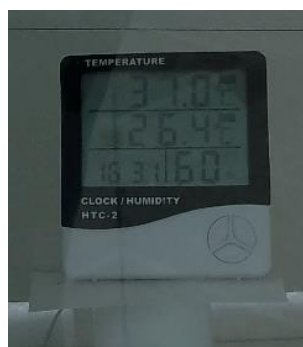
Fotografias medições dia 05/09/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película



Orientação Solar
OESTE (Poente)



Fotografias medições dia 05/09/2025 – SEM (esquerdo) e COM (direito) película
Orientação Solar OESTE (Poente)

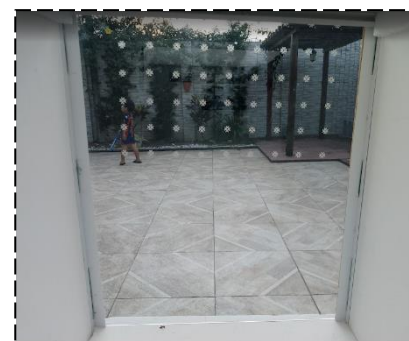
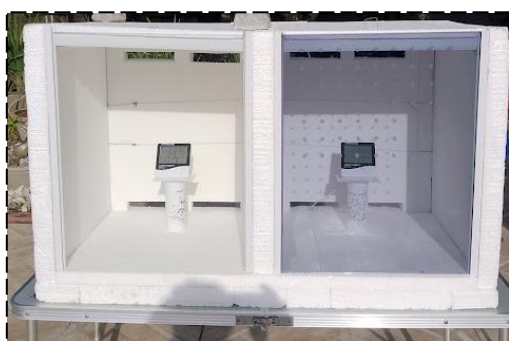


APÊNDICE I

Fotografias medições dia 06/09/2025 – SEM e COM película + pigmentos



Fotografias medições dia 06/09/2025 – SEM e COM película + pigmentos



APÊNDICE J

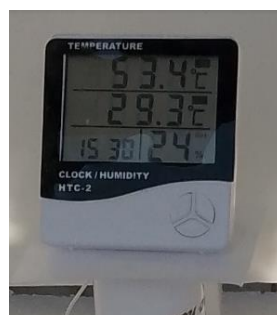
Fotografias medições dia 07/09/2025 – SEM e COM película + pigmentos



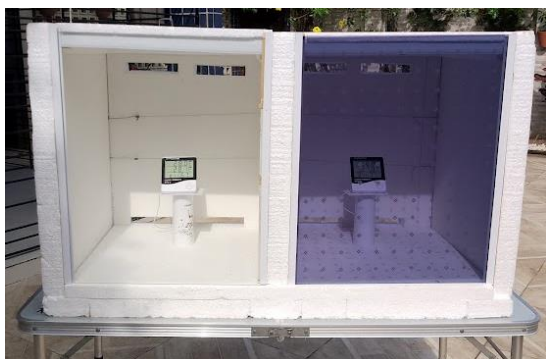
Orientação Solar
OESTE (Poente)



Fotografias medições dia 07/09/2025 – SEM e COM película + pigmentos
Orientação Solar OESTE (Poente)



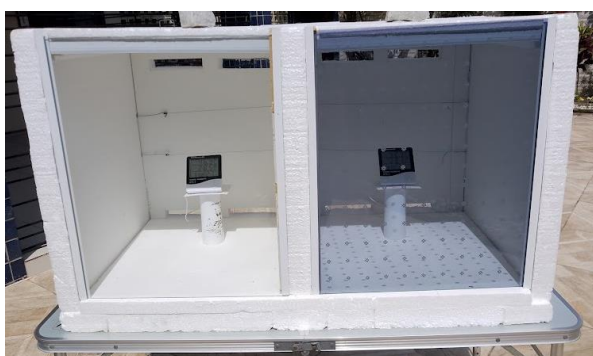
Fotografias medições dia 07/09/2025 – Orientação Solar LESTE (Nascente)



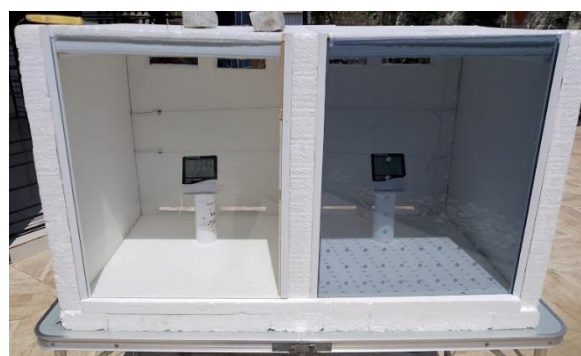
8:00hs



8:30hs



9:00hs



9:30hs



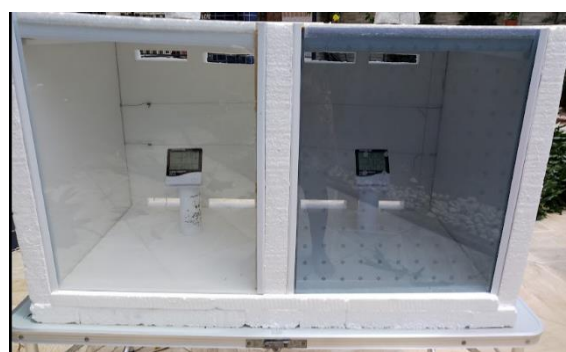
10:00h



10:30h



11:00h



11:30h

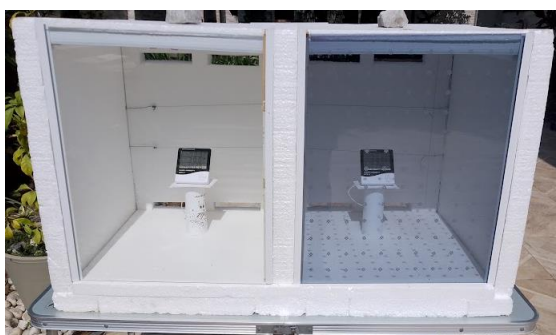
Fotografias medições dia 07/09/2025 – Orientação Solar OESTE (Poente)



12:00h



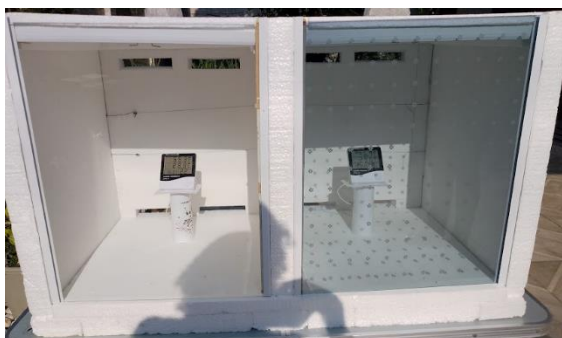
13:00h



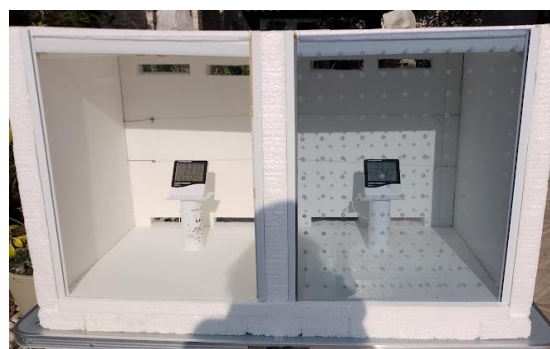
14:00h



14:30h



15:00h



15:30h




16:00h




16:30h

APÊNDICE K

Relatório Doutorado Sanduiche – Lisboa

 <div>Programa Institucional de Internacionalização CAPES - PDI</div>	
APÊNDICE 11 - RELATÓRIO DE ATIVIDADES	
1 – DADOS CADASTRAIS	
1.1 Nome do Beneficiário Hilma de Oliveira Santos Ferreira	1.2 CPF / Passaporte 707.751.094-87/01332267
1.3 Instituição Universidade Federal de Pernambuco – UFPE	1.4 Programa CAPES/ PDI do AUIPE PDI / Edital nº 06/2024 Processo: 88881.980634/2024-01
1.5 Projeto Design de Produto	1.6 Coordenador Projeto Amlton Arruda
2 – BENEFÍCIO	
2.1 Modalidade () Mestrado (X) Bolsa de Doutorado Sanduiche no Exterior	
2.2 Instituição de Destino Universidade de Lisboa – FACULDADE DE ARQUITETURA/Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design-CLAUD. Coordenador: Luís Miguel Cotrim Mateus	2.3 Período de Atividade 2.3.1 Início 01/09/2024 2.3.2 Término 26/02/2025
3 – RECURSOS RECEBIDOS (R\$)	
3.1 Auxílio-deslocamento	990 Euros
3.2 Auxílio-instalação	1.300 Euros
3.3 Seguro-saúde	540 Euros
3.4 Adicional-localidade	2.400 Euros
3.5 Mensalidade	7.800 Euros
3.6 Auxílio-diário	-

13/10 à 27/10/2024 – Pausa das atividades por LUTO e RESPEITO à morte da minha mãe. (Figura 6)
28/10/2024 – Meta 3 – Participação em homenagem ao escritor Fernando Pessoa na Associação Portuguesa dos Poetas (APP-Lisboa). (Fotografia 7)
25/10/2024 – Meta 4 – Reunião junto ao grupo de pesquisa no exterior para o desenvolvimento inicial do artigo de publicação internacional da Revista MDPI. (Fotografia 8)
28/10/2024 – Meta 4 – Evolução da pesquisa para desenvolvimento do artigo.
30/11/2024 – Meta 5 – Visita de campo no espaço Design Geodésico com intuito de estudar a forma, estrutura e leitura da eficiência termoacústica e temperatura dos Dómus. (Fotografia 9)
13/11/2024 – Meta 5 – Visita externa na inauguração da exposição da Coleção Paulo Perra, "Beuhaus-Ulm", na reitoria da Universidade de Lisboa. (Fotografia 10)
26/11/2024 – Meta 5 – Visita ao Museu do Azulejo em Lisboa para visualização e exploração da História dos mosaicos e designers em companhia do amigo de estudo Elton Lima. (Fotografia 11)
04/12/2024 – Meta 5 – Visita na Universidade Fasilzoo na Exposição dos trabalhos acadêmicos das turmas de mestrados do curso de Arquitetura e Urbanismo (Fotografia 12)
13/12/2024 – Meta 6 – Publicação do artigo científico em Anais do XV Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design - P&D Design Manaus e finalização do artigo internacional e entrega para avaliação às cegas da Revista MDPI. (Fotografia 13)
16/12/2024 – Meta 7 – Experimento do filme fotossensível aplicado na janela existente em Lisboa como visualização para solução positiva futura da escolha do produto para ser inserido como teste na Tese (Fotografia 14)
23/12/2024 à 03/01/2025 – Pausa Letiva de Natal da Universidade Fasilzoo
18/01/2024 – Meta 6 – Artigo científico aceito para publicação na Revista Internacional MDPI (Fotografia 15) e finalização de outro artigo para publicação internacional com título: Guidelines for the Convergence of Bio-architecture and Neuroarchitecture based on the WELL Building Standard – Autor principal/ Elton Lima, acompanhado dos orientadores Luís Mateus e Amlton Arruda.
28/01/2025 – Meta 4 – Reunião realizada Meet do primeiro encontro com Orientador do Brasil e grupo de estudo Biodesign, para iniciar pontuações das atividades a respeito do Espaço Aldeia. (Fotografia 16)
31/01/2025 – Meta 6 – Artigo científico enviado às cegas para aceitação com participação no XIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto ENGUS 2025, que será realizado entre os dias 28,29/07 e 01/08 em Florianópolis SC. (Fotografia 17)
19/02/2025 – Meta 7 – Acompanhamento de experimentação do protótipo realizado no Brasil, de um quadro de esquadria em alumínio e vidro da aluna Taciene Andrade (Doutora da Universidade de Lisboa) como auxílio de conhecimento técnico sobre o produto. (Fotografia 18)
12/02/2025 – Meta 7 – Visita a Empresa ComfortFilm localizada em Amadora, Lisboa para mais conhecimento técnico do filme fotocrômico Elipse 40-80 e entender sua especificidade com relação à aplicação, durabilidade e efeito.
25/02/2025 e 26/02/2025 – Meta 3 – Participação do 19 Simpósio Internacional NeuroUrbanismo e NeuroArquitetura - Mapeando as cidades através dos sentidos de quem as habita - MAAT Central, em Belém Lisboa. (Fotografia 19)
27/02/2025 – Meta 8 – Retorno ao Brasil, para dar aprofundamento a pesquisa e preparação para defesa do Doutorado e compartilhar junto ao PPGDesign, contatos, experiências e conhecimentos adquiridos durante o estágio no exterior.

 <div>Programa Institucional de Internacionalização CAPES - PDI</div>
4 – DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES
4.1 Objetivos da missão: (estabelecer correlação com os objetivos do projeto) Os objetivos do projeto de doutorado sanduiche aprovado junto ao projeto CAPES-PDI - Programa Institucional De Doutorado Sanduiche no Exterior foram traçados com base nos objetivos e metas desse referido projeto de internacionalização. Cada objetivo esteve acompanhado de algumas metas de caráter mais específico, conforme segue: <ul style="list-style-type: none"> • Objetivo 1 - Enriquecer teórico-conceitual e metodologicamente a pesquisa de doutorado <ul style="list-style-type: none"> ○ Meta 1 - Realizar pesquisas bibliográficas com produção textual que reúna contribuições do debate acerca da composição de polímeros termoplásticos coloridos; ○ Meta 2 - Buscar aportes metodológicos que qualifiquem o processo de pesquisa, guiando, por exemplo, acerca da abordagem dos componentes em fachadas de vidro real, mas relevantes para atingir a identidade do material. • Objetivo 2 - Compartilhar conhecimentos buscando qualificação internacional enquanto pesquisador em formação: <ul style="list-style-type: none"> ○ Meta 3 - Participar de ao menos um evento científico internacional e/ou curso; ○ Meta 4 - Participar de reuniões junto ao orientador no exterior e grupo de pesquisa, vivenciando seu ambiente intelectual com foco relacionado ao tema de tese; ○ Meta 5 - Realizar ao menos uma saída de campo com foco de interesse enquanto pesquisadores em formação para conhecimento específico em Design com foco relacionado ao tema de tese; • Objetivo 3 - Contribuir para a aprovação entre o PPGDesign e o CLAUD, no processo de conhecimento nos experimentos exploratórios dos materiais estudados: <ul style="list-style-type: none"> ○ Meta 6 - Elaborar ao menos um artigo científico em parceria com o orientador no exterior e e/ou com outros pesquisadores portugueses; ○ Meta 7 - Realizar os experimentos exploratórios das amostras dos materiais pesquisados; ○ Meta 8 - Compartilhar junto ao PPGDesign, estágio, após o retorno ao Brasil, contatos, experiências e conhecimentos adquiridos durante o estágio no exterior.
4.2 Atividades Realizadas: (listar atividades) 13/08/2024 – Chegada em Lisboa. 09/09/2024 – Primeira visita ao Câmpus de FAULisboa e localização dos futuros locais de utilização: biblioteca, gabinete de estudo: Prof. Luís Miguel Cotrim Mateus, Restaurante Universitário, etc. (Fotografia 1) 12/09/2024 – Meta 1 - Conhecimento técnico e bibliográfico do produto da pesquisa com relação ao material ao filme termoplástico. (Fotografia 2) 12/09/2024 – Meta 6 – Publicação do artigo científico na ARCHITECTON-Revista de Arquitetura e Urbanismo. ISSN 2236-6848, Vol. 8, No 13, 2023-2024. p. 42-56 (Fotografia 3) 16/09 à 04/10/2024 – Meta 2 – Abordagem dos componentes vitrosos/películas em fachadas reais com localização em Lisboa, Porto, Barcelona, Madrid e Toledo (Fotografia 4) 08/10 à 12/10/2024 – Meta 3 – Participação da Conferência Internacional whataroundesign em Portimão/Portugal) acompanhada do Orientador do Brasil Amlton Arruda + apresentação do artigo científico elaborado com o grupo de estudo Biodesign-UFPE. (Fotografia 5)
4.3 Resultados e/ou Impactos: A experiência do doutorado sanduiche em Lisboa teve um impacto significativo na minha tese, permitindo aprofundar a pesquisa e coletar dados mais precisos. A Universidade de Lisboa ofereceu acesso a recursos e infraestrutura de alta qualidade, o que permitiu desenvolver habilidades de pesquisa avançadas e colaborar com especialistas em minha área de pesquisa. Além disso, a experiência de escrever artigos científicos e capítulos de tese permitiu aprimorar a escrita científica e comunicar resultados de pesquisa de forma clara e eficaz. De maneira mais específica, em relação à tese em desenvolvimento, ao concluir o doutorado sanduiche, acredito ter alcançado um significativo avanço em termos teóricos, conceituais e metodológicos, juntamente com uma contribuição empírica, resultante da experiência de observar e interagir com uma realidade semelhante ao objeto de estudo. Em relação ao aspecto teórico e conceitual da pesquisa, é importante mencionar que a imersão no contexto de produção portuguesa sobre fachadas de vidro foi um marco, considerando que esse país possui uma notável história no debate acerca desses conceitos ligados ao conforto e à sustentabilidade, por meio do design inovador de fachadas. A pesquisa realizada durante o período de seis meses, permitiu coletar dados valiosos que contribuíram significativamente para a tese, além de desenvolver modelos e teorias inovadoras que contribuíram para a uma nova oportunidade de ideias no desenvolvimento do produto. Os resultados da pesquisa têm implicações práticas significativas, podendo ser aplicados em contextos reais para melhorar a eficiência e eficácia de processos e sistemas. É importante destacar que várias dessas experiências abrangem pelo menos um dos três objetivos propostos. Exemplos disso incluem o aprofundamento teórico e metodológico da pesquisa, assim como a interação com outros estudantes e pesquisadores, tanto brasileiros quanto estrangeiros, de diferentes áreas. Após este tempo de retorno, permanecem em aberto dois dos objetivos que foram definidos inicialmente: Objetivo 7 - Conduzir experimentos exploratórios com as amostras dos materiais analisados; objetivo 8 - Dividir, junto ao PPGDesign, após voltar ao Brasil, contatos, vivências e saberes obtidos durante o estágio no exterior. Ao final, assim como é habitual para todos os estudantes brasileiros que vão para o exterior, acredito ter voltado com melhores perspectivas para a realização de pesquisas científicas que tenham um impacto social significativo no Brasil. Em particular, enverg o doutoramento como um ponto de partida para uma carreira de investigadora e pesquisadora qualificada.

APÊNDICE TÉCNICO

Fotografia 1 – Registro da primeira visita de conhecimento à Universidade de Lisboa



Fotografia 2 – Condição técnica e biográfico do polímero termoplástico colorido



Fotografia 3 – Publicação do artigo científico na ARCHITECTON-Revista de Arquitetura e Urbanismo.



Fotografia 4 – Abordagem dos componentes vidro x película em fachadas reais



BARCELONA



MADRI



TOLEDO



Fotografia 5 – Participação da Conferência Internacional whataroundesign em Portimão



Orientador Prof. Amilton Arruda - UFPE



Fotografia 6 – Falecimento da minha querida mãe em um período que buscava meus objetivos e crescimento. Amor de mãe é o maior do mundo e a dor desta perda pode ser difícil de explicar o que senti no momento. É assim sobrevivi com o coração apertado de saudade e tristeza, mas também com orgulho de a ter conhecido como mãe. Sei que a melhor homenagem que poderei lhe fazer é seguir com a minha vida, honrando sua memória e lutando pela minha felicidade. E é isso que farei, esperando que lá de cima ela me acompanhando sempre.



Fotografia 7 – Visita na Homenagem ao Escritor Fernando Pessoa na Associação Portuguesa dos Poetas.



Fotografia 8 – Reunião dos estudos e conceitos do artigo no gabinete do Orientador Luiz Mateus



Amigo do grupo de estudo Elton Lima – CIAUD / UFPE



Esquema para desenvolvimento do artigo



Fotografia 9 – Visita de campo no espaço Jardim do Eden (Florestal de Monsanto-Lisboa) com modelo específico em Design Geodésico e transparência visual em sua estrutura.



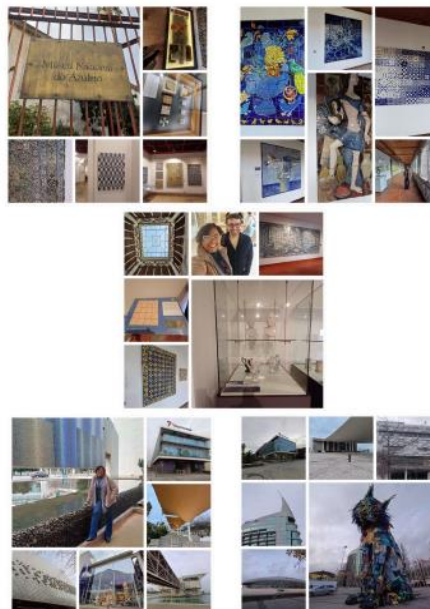
Estudo de forma, estrutura e leitura de eficiência termoscústica e temperatura dos domus

Fotografia 10 – Visita de campo na Lisboa, exposição de artes Bauhaus

Inauguração da exposição da Coleção Paulo Ferra, 'Bauhaus+Ulm', na reitoria da Universidade de Lisboa. Oportunidade única de ver peças dos melhores designers alemães, entre os quais se destacam Walter Gropius, primeiro diretor da Bauhaus, Max Bill, primeiro diretor da escola de Ulm e Marianne Brandt, primeira designer industrial. Acompanhada sempre com meu amigo e companheiro Elton Cristóvão, todas as horas de estudo e dedicação ao Doutorado em Lisboa.



Fotografia 11 – Visita de campo no Museu Nacional do Azulejo, como experiência no conhecimento técnico nas construções e aplicação das peças decorativas dos azulejos, como uma Tour no entorno do Parque das Nações ao lado de Elton Lima.



Fotografia 12 – Exposição dos trabalhos acadêmicos das turmas de maquetes do curso de Arquitetura e Urbanismo.



Fotografia 13 – Publicação do artigo científico apresentado no 15º Congresso Brasileiro Pesquisa e Desenvolvimento Em Design P&D 2024 – Apresentação em vídeo gravado



Fotografia 14 – Experimento do filme fotossensível na janela de vidro incolor do quarto onde tinha moradia em Lisboa



Fotografia 15 – Publicação do artigo científico internacional da Revista MDPI



Fotografia 16 – Primeiro encontro com Orientador do Brasil Amilton Amadeu e grupo de estudo Biodesign, Para darmos início as atividades acadêmicas do Espaço Aldeia



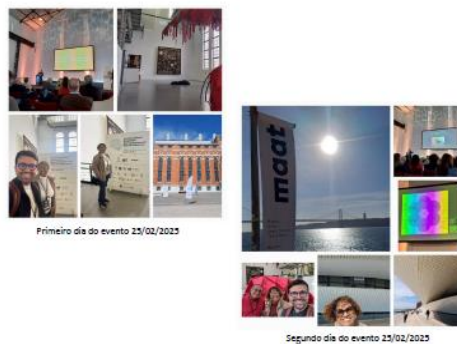
Fotografia 17 – Artigo para participar no ENSUS2023 - XIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto Universidade Federal de Santa Catarina



Fotografia 18 – Acompanhamento da experimentação do protótipo realizado no Brasil, do quadro de esquadria em Alumínio e vidro de aluna Taciara Andrade (Doutora da Universidade de Lisboa) como auxílio de conhecimento técnico sobre o produto.



Fotografia 19 – Participação do 12 Simpósio Internacional NeuroUrbanismo e NeuroArquitetura - Mapeando as cidades através dos sentidos de quem as faz-MAAT Central



5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS DA EXPERIÊNCIA NO EXTERIOR

A experiência do doutorado sânduche no exterior na Universidade de Lisboa no Centro de Arquitetura e Urbanismo e Design (CIAUD), foi extremamente enriquecedora e contribuiu significativamente para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. Ao longo desse período, tive a oportunidade de desenvolver habilidades acadêmicas, como pesquisa, análise em produtos e escrita científica, além de aprofundar meus conhecimentos em áreas específicas.

A Universidade de Lisboa ofereceu um ambiente acadêmico de alta qualidade, com orientador que proporcionou suas experiências de melhor forma e pesquisadores renomados em suas áreas de especialização. Além disso, tive a oportunidade de interagir com estudantes e pesquisadores de diferentes países na participação nos Congressos e Conferências, o que enriqueceu minha perspectiva acadêmica e me permitiu estabelecer uma rede de contatos internacionais.

Do ponto de vista pessoal, a experiência do doutorado sânduche foi fundamental para o meu desenvolvimento. Tive que lidar com desafios e mudanças, o que me permitiu desenvolver resiliência e adaptação. Além disso, tive que aprender a gerenciar meu tempo e priorizar minhas atividades, o que me permitiu desenvolver habilidades de gestão e organização no conhecimento técnico na escolha do produto para inserir experimentos na minha tese final.

Em resumo, a experiência no exterior na Universidade de Lisboa foi fundamental para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal. As habilidades e conhecimentos adquiridos durante esse período serão fundamentais para o meu sucesso futuro.

Hilma Santos

ANEXOS - CERTIFICADOS






APÊNDICE L

Produção de artigos durante o Doutorado

Quadro L-1: Resumo das participações e produções de artigos

EVENTOS	CAPA DOS ARTIGOS
<p>II Seminário de Pesquisa PPGDesign Título: BIOMIMÉTICA E DESIGN: um estudo sobre técnicas e modelos conceituais nas fachadas inteligentes Ano: 2021 vol. 2 P. 320/518 DOI: 10.5151/9786555502077-19</p>	 <p>BIOMIMÉTICA E DESIGN: UM ESTUDO SOBRE TÉCNICAS E MODELOS CONCEITUAIS NAS FACHADAS INTELIGENTES</p> <p>Hilma de Oliveira Santos Ferreira / UFPE Amilton Arruda / UFPE Max Andrade / UFPE</p>
<p>P&D Design – 14º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design Título: ANÁLISE NAS FACHADAS CINÉTICA E DINÂMICA: um estudo de design sobre técnicas e modelos conceituais Ano: 2022 vol. 10 num. 5 - p.1725-1741 DOI: 10.5151/ped2022-6947492 ISSN: 2318-6968</p>	 <p>14º Congresso Brasileiro de Design ESDI Escola Superior de Desenho Industrial ESPM Escola Superior de Propaganda e Marketing</p> <p>Análise nas fachadas cinética e dinâmica: um estudo de design sobre técnicas e modelos conceituais <i>Kinetic and dynamic facades analysis: a design study on techniques and conceptual models</i></p> <p>FERREIRA, Hilma de Oliveira Santos; Doutoranda em Design; Universidade Federal de Pernambuco; hilma.santos@ufpe.br ARRUDA, Amilton; Professor Associado PPG-Design; Universidade Federal de Pernambuco amilton.arruda@ufpe.br ANDRADE, Max; Professor Associado do Dep. Expressão Gráfica e MDU; Universidade Federal de Pernambuco; max.andrade@ufpe.br</p>
<p>ENSUS 2023 – XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto Título: FACHADAS INTELIGENTES BIOINSPIRADAS: uma abordagem nos modelos projetuais de arquitetura e design e Marcas Brasileiras Bioinspiradas Ano: 2023 V11 n4 p. 333-345 DOI:10.29183/2596-237x.ensus2023</p>	 <p>Fachadas Inteligentes Bioinspiradas: uma abordagem nos modelos projetuais de arquitetura e design</p> <p><i><u>Bioinspired Smart Facades: an approach in architectural and design project models</u></i></p> <p>Hilma Ferreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco hilma.santos@ufpe.br Fernanda Moreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco fernanda.regueira@ufpe.br Amilton Arruda, Professor do PPG Design, Universidade Federal de Pernambuco amilton.arruda@ufpe.br</p>  <p>Marcas brasileiras e Biomimética: inovação e estética como estratégia</p> <p><i><u>Brazilian brands and Biomimicry: innovation and aesthetics as strategy</u></i></p> <p>Fernanda Lucia Regueira Moreira, doutoranda, UFPE. fernandalregueira@gmail.com Hilma de Oliveira Santos Ferreira, UFPE. hilma.santos@ufpe.br Amilton José Vieira de Arruda, UFPE. amilton.arruda@ufpe.br</p>

EVENTOS	CAPA DOS ARTIGOS
<p>AHFE Internacional Conference Starting In Título: ECO PARAMETRIC ARCHITECTURE: Circular Design & Digital Fabrication Ano: 2023 Vol. 77 pag. 14-23 doi.org/10.54941/ahfe1003359</p>	<p><i>Ergonomics In Design</i>, Vol. 77, 2023, 14-23 https://doi.org/10.54941/ahfe1003359</p> <p>AHFE International</p> <hr/> <p>Eco Parametric Architecture: Circular Design & Digital Fabrication</p> <p>Fernanda Moreira¹, Antônio Nogueira¹, Hilma Santos¹, Amilton Arruda¹, and Elton Cristovão²</p> <p>¹PPGD/Departamento de Design/, Biodesign_Lab - UFPE, Recife, Brazil ²Lisbon School of Architecture, University of Lisbon, Portugal</p>
<p>IX Simpósio de Design Sustentável/SDS 2023 Título: COMPOSIÇÃO GRÁFICA EM VIDRO: técnica e modelo conceitual no design bioinspirado Ano: 2023 pag. 889-900 https://doi.org/10.29183/978-65-00-87779-3.sds2023.p889-900</p>	<p>SDS 2023 Virtuhab </p> <p>https://doi.org/10.29183/978-65-00-87779-3.sds2023.p889-900</p> <p>Composição Gráfica em Vidro: técnica e modelo conceitual no design bioinspirado</p> <p><i>Graphic Composition on Glass: technique and conceptual model in bio-inspired design</i></p> <p>Hilma Ferreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco hilma.santos@ufpe.br Fernanda Moreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco fernanda.regueira@ufpe.br Amilton Arruda, Professor do PPG Design, Universidade Federal de Pernambuco amilton.arruda@ufpe.br</p> <p>[Linha temática: T7. Design biofílico, design bioinspirado, biônica, biomimética]</p>
<p>Revista Jatobá ISSN: 2675- 1119 / 2023 Título: Uma Abordagem sobre Modelos e Técnicas Projetuais de Design e Arquitetura nas Fachadas Biointeligentes. Ano: 2023 Vol.5 https://doi.org/10.5216/revjat.v5.76243</p>	<p>JATOBÁ ISSN: 2675-1119</p> <p>UMA ABORDAGEM SOBRE MODELOS E TÉCNICAS PROJETUAIS DE DESIGN E ARQUITETURA NAS FACHADAS BIOINTELIGENTES</p> <p>AN APPROACH ON MODELS AND PROJECTUAL TECHNIQUES OF DESIGN AND ARCHITECTURE IN BIOINTELLIGENT FACADES</p> <p> Hilma Santos Universidade do Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil hilma.santos@ufpe.br</p> <p> Fernanda Moreira Universidade do Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil fernanda.regueira@ufpe.br</p> <p> Amilton Arruda Universidade do Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil amilton.arruda@ufpe.br</p>
<p>Fórum UFSC-ENSUS 2024 – XI Encontro de Sustentabilidade em Projeto Título: CONFORTO TÉRMICO E LUMÍNICO NOS INVÓLUCROS ENVIDRAÇADOS: estudo empírico com filme de polímeros termocrômicos integrados no vidro. Ano: 2024 n1.p1230-1242 https://doi.org/10.29183/2596-237x.ensus2024.v12</p>	<p>UFMG ENSUS </p> <p>Conforto térmico e lumínico nos invólucros envidraçados: estudo empírico com filme de polímeros termocrômicos integrados no vidro</p> <p><i>Thermal and lighting comfort in glazed enclosures: empirical study with thermochromic polymer film integrated into the glass</i></p> <p>Hilma Ferreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco hilma.santos@ufpe.br Jullyene Costa, Mestre em Design, Universidade Federal de Pernambuco Jullyene.costa@ufpe.br Tarciana Andrade, Doutora em Design, Universidade de Lisboa em regime de cotutela com a Universidade Federal de Pernambuco andrade.tarci@gmail.com Amilton Arruda, Professor do PPG Design, Universidade Federal de Pernambuco amilton.arruda@ufpe.br</p>

EVENTOS	CAPA DOS ARTIGOS
<p>Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación 2024 Título: Adaptive façades bioinspired by the nastic movements of plants Ano: 2024 https://doi.org/10.18682/cdc.vi239.115 30 e https://doi.org/10.18682/cdc.vi239.115 27</p>	<div> <div> <p>Fecha de recepción: mayo 2024 Fecha de aceptación: junio 2024 Versión final: julio 2024</p> </div> <div> <p>Adaptive façades bioinspired by the nastic movements of plants Tarciana Andrade ⁽¹⁾, José Nuno Beirão ⁽²⁾, Amilton José Vieira de Arruda ⁽³⁾, Hilma Santos ⁽⁴⁾ and Jullyene Costa ⁽⁵⁾</p> </div> </div> <hr/> <p>Abstract: The core concept of biomimetics is transferring biological principles to technology, which occurs under a transdisciplinary approach. Nastic movements correspond to plant movements regardless of the direction of the stimulus. The current state of knowledge demonstrates the emergence of bio-inspired solutions for façades based on nastic movements. This article highlights six solutions for adaptive façades that aim to promote reversible movements in response to environmental conditions, whether for shading or ventilating. The showcased projects include Air Flow(er), AlBahr Towers, Bimetal Bio-</p> <div> <div> <p>Fecha de recepción: mayo 2024 Fecha de aceptación: junio 2024 Versión final: julio 2024</p> </div> <div> <p>Smart biophilic patterns: a study on guidelines as an innovative tool for the renovation of internal environments of social housing Jullyene Costa ⁽¹⁾, Hilma Santos ⁽²⁾, Tarciana Andrade ⁽³⁾ y Amilton José Vieira de Arruda ⁽⁴⁾</p> </div> </div> <hr/> <p>Abstract: Studies on biophilic patterns emerge as an essential and ongoing tool for improving connections between nature, human biology, and user interaction in built environments. This work aims to apply guidelines in social housing, using analysis of biophilic patterns. The study in question analyzed thirty proposals for different housing complexes Imburi I, II, and III, located in the village of Mangabeiras, in the city of Pilar, metropolitan region of Maceió-AL, which demonstrated the intuitive application of the aforementioned</p>
<p>Revista - Boletim do Observatório Ambiental Título: ANÁLISE EMPÍRICA NAS FACHADAS ENVIDRAÇADAS: aplicação do filme de polímeros termocrômicos integrado no vidro para conforto térmico e lumínico Ano: 2024 n1.p1230-1242 DOI: 10.19180/2177-4560.v18n12024p89-109</p>	<div> <div> <p>Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego</p> </div> <div>  </div> </div> <p>Artigo Original e-ISSN 2177-4560 DOI: 10.19180/2177-4560.v18n12024p89-109 Submetido em: 06 set. 2024 Aceito em: 02 dez. 2024</p> <hr/> <p>Análise empírica nas fachadas envidraçadas: aplicação do filme de polímeros termocrômicos integrado no vidro para conforto térmico e lumínico</p> <p><i>Empirical analysis of glazed façades: application of thermochromic polymer film integrated into the glass for thermal and lighting Comfort</i></p> <p><i>Análisis empírico de fachadas acristaladas: aplicación de una película polimérica termocrómica integrada en el vidrio para confort térmico y lumínico</i></p> <p>Hilma Ferreira  https://orcid.org/0009-0007-8495-2090 Universidade Federal de Pernambuco.</p>
<p>P&D Design – 15º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design Título: TENDÊNCIA CONTEMPORÂNEA EM DESIGN: elementos inteligentes como técnicas no vidro de fachadas envidraças em harmonia com a natureza. Ano: 2024 DOI: 10.29327/5457226.1-433</p>	<div> <div>  </div> <div> <p>15º Congresso Brasileiro Pesquisa e Desenvolvimento em Design</p> </div> </div> <p>TENDÊNCIA CONTEMPORÂNEA EM DESIGN: elementos inteligentes como técnicas no vidro de fachadas envidraças em harmonia com a natureza</p> <p><i>CONTEMPORARY DESIGN TREND: intelligent elements as a technique in glass façades in harmony with nature</i></p> <p>Hilma Ferreira, Doutora em Design, Universidade Federal de Pernambuco hilma.santos@ufpe.br</p> <p>Jullyene Costa, Mestre em Design, Universidade Federal de Pernambuco jullyene.costa@ufpe.br</p> <p>Tarciana Andrade, Doutora em Design, Universidade de Lisboa em regime de cotutela com a Universidade Federal de Pernambuco andrade.tarci@gmail.com</p> <p>Amilton Arruda, Professor do PPG Design, Universidade Federal de Pernambuco amilton.arruda@ufpe.br</p>

EVENTOS	CAPA DOS ARTIGOS
<p>Conferência Internacional – Portimão - Portugal</p> <p>Título: DIGITAL CULTURE, PREFABRICATED CONSTRUCTION, BIOINSPIRED DESIGN, BIOSPHERE AT TREEHOTEL.</p> <p>Ano: 2024</p>	 <p>ASPECTS OF DIGITAL CULTURE IN COMPACT PREFABRICATED BUILDINGS: Case Study of the Biosphere at Treehotel</p> <p>Plácido Caluete Neto^a, Marina Borges^b, Hilma Santos^c, Amilton Arruda^d</p> <p>^a Universidade Federal de Pernambuco - UFPE ^b Universidade do Porto - U.PORTO ^c Universidade Federal de Pernambuco - UFPE ^d Universidade Federal de Pernambuco - UFPE</p>
<p>Revista MDPI - Biomimetics 2025, 10, 68</p> <p>Título: Integration of Thermo-Responsive Materials Applied to Bio-Inspired Structures</p> <p>Ano: 2025</p> <p>https://doi.org/10.3390/biomimetics10020068</p>	 <p>Integration of Thermo-Responsive Materials Applied to Bio-Inspired Structures</p> <p>Elton Lima ^{1,2,*}, Hilma Ferreira ², Luis Mateus ¹ and Amilton Arruda ²</p> <p>¹ CIAUD, Research Centre for Architecture, Urbanism and Design, Lisbon School of Architecture, Univ. de Lisboa, 1349-063 Lisboa, Portugal; lmateus@fa.ulisboa.pt ² Biodesign Lab, Federal University of Pernambuco, Recife 50740-550, Brazil; hilma.santos@ufpe.br (H.A.A.) * Correspondence: elton.lima@fa.ulisboa.pt</p>
<p>Fórum UFSC-ENSUS 2025 – XIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto</p> <p>Título: Bio-inspired solutions in thermochromic regulation for the built environment – pág. 2420-2431</p> <p>Título: DESIGN BIOFÍLICO EM HABITAÇÃO SOCIAL: uma revisão sistemática dos padrões e impactos no ambiente construído - pág. 2592-2605</p> <p>Ano: 2025</p>	 <p>DESIGN BIOFÍLICO EM HABITAÇÃO SOCIAL: Uma revisão sistemática dos Padrões e Impactos no ambiente construído</p> <p><i>BIOPHILIC DESIGN IN SOCIAL HOUSING: a systematic review of standards and impacts on the built environment</i></p> <p>Jullyene Américo da Silva da Costa, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco jullyene.costa@ufpe.br Hilma de Oliveira Santos Ferreira, Doutoranda, UFPE hilma.santos@ufpe.br Antônio Roberto, Professor Doutor em Design antonio.roberto@professor.ufpe.edu.br Tarciana Araújo Brito de Andrade, Doutora, Universidade Lisboa em Regime de Cotutela com a UFPE taby@cesar.school Amilton José Vieira de Arruda, Doutor, UFPE amilton.arruda@ufpe.br</p>  <p>Bio-inspired solutions in thermochromic regulation for the built environment</p> <p><i>Soluções bio-inspiradas em regulação termocrômica para o ambiente construído</i></p> <p>Hilma Ferreira, Doutoranda em Design, Universidade Federal de Pernambuco hilma.santos@ufpe.br Elton Lima, Doutorando em Arquitetura, Universidade de Lisboa com duplo acordo de grau com a Universidade Federal de Pernambuco elton.lima@edu.ulisboa.pt Amilton Arruda, Professor do PPG Design e Coordenador do Grupo de Pesquisa em Biodesign e Artefatos Industriais, Universidade Federal de Pernambuco amilton.arruda@ufpe.br</p>

EVENTOS	CAPA DOS ARTIGOS
<p>Mix Sustentável</p> <p>Título: THERMOCHROMIC BIOMIMICRY IN ARCHITECTURE: BIOINSPIRED STRATEGIES FOR ADAPTIVE AND ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS</p> <p>BIOMIMÉTICA TERMOCRÔMICA NA ARQUITETURA: estratégias bioinspiradas para edifícios adaptativos e energeticamente eficientes</p> <p>Ano: 2025 - AGUARDANDO PUBLICAÇÃO</p>	<p>THERMOCHROMIC BIOMIMICRY IN ARCHITECTURE: BIOINSPIRED STRATEGIES FOR ADAPTIVE AND ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS</p> <p>BIOMIMÉTICA TERMOCRÔMICA NA ARQUITETURA: ESTRATÉGIAS BIOINSPIRADAS PARA EDIFÍCIOS ADAPTATIVOS E ENERGETICAMENTE EFICIENTES</p> <p>Hilma de Oliveira Santos Ferreira, MSc (Federal University of Pernambuco); Elton Cristovão da Silva Lima, MSc (University of Lisbon); Amilton José Vieira de Arruda, PhD (Federal University of Pernambuco)</p> <p>KEY WORDS</p> <p>Biomimetics; Thermochromism; Sustainable Architecture; Thermal Regulation; Material Science</p>

ANEXO A

Ficha técnica Película Elipse 40-80C



ECLIPSE 40-80 C

Advanced
Advanced Solar Protection



Photochromic film. This PET base, combined with nanoceramic technology, will tint depending on the light and thus offer a variable shade while effectively protecting from solar heat.

Certifications



Warranty SOLAR SCREEN®
2 years
See the 'New guarantees for outdoor products' notice



Fire-Resistance Rating
M1



Storage From -5°C To +40°C
3 years



Reach Rohs Compliant
Respected



Widths Available
152cm

Construction

1. Hard scratch resistant layer, for durability and ease of maintenance during window cleaning
2. High optical quality polyester, with nanoceramic anti IR particles deposition
3. Bonding adhesive
4. High optical quality polyester
5. PS adhesive, glass polymerization within 15 days
6. Protection release liner, disposable after installation

Maintenance Instructions

Soapy water solution (ref. 600-F0355 Film on), do not clean for at least a month and do not apply any type of sticker or adhesive on the film. _To prevent a possible oxidation of the metal alloys, it is mandatory to use our sealing varnish (reference number 0771) on the corners of the film, after installation_

Technical Datasheet

Ultraviolet Transmission	1%
Visible Light Transmission	75-20%
Reflection Of External Visible Light	10%
Reflection Of Internal Visible Light	9%
Total Solar Energy Rejected	50%
Total Solar Energy Rejected 2*	45%
Solar Ratio :	
Solar Energy Reflection	13%
Solar Energy Absorption	54%
Solar Energy Transmission	23%
Reduction In Solar Glare	80%
G-Value	0.36
U-Value	4.9
Rejected Infrared (760-2500 Nm)	+/-93%
Installation Type	Interior
Roll Length	30.5 meters m
Film Composition	PET
Thickness	55µ
Colour From The Outside	SMOKED

Installation Advice

Vertical position and standard glass surface*

Clear Single Pane	✓
Tinted Single Pane	!
Reflective Tinted Single Pane	!
Clear Double Pane	!
Tinted Double Pane	✗
Reflective Tinted Double Pane	!
Gas-Filled Double Pane - Low E	!
Stadip Ext. Clear Double Pane	!
Stadip Int. Clear Double Pane	✗

✓ Yes ✗ Not Recommended ! Caution

*Recommendations provided on the basis of a glazed surface covering up to 2.5m², contact us for definitive details or to obtain a thermal chock analysis report.

The information on this data sheet is not binding; SOLAR SCREEN® reserves the right to change the composition of its products at any time. Please consult our warranty terms and general sales conditions.

Nota da compra da Película Elipse 40-80C – Portugal 2025



ATCUD:JFY4TSN8-533



Comfortfilm, Ida AVº PADRE BARTOLOMEU DE GUSMÃO, Nº 41 LOJA A AMADORA 2720-426 DAMAIA Contribuinte: 508950546 Telefone: 210998738 /E-Mail: geral@comfortfilm.pt Telemovel: 919272368 Matriculado na Conservatória do Registo Comercial de AMADORA 508950546 Capital Social :50000	HILMA FERREIRA
---	-----------------------

FACTURA Data : 2025-03-01	FT 23A/533 2025-03-01T12:07:15	Data de Vencimento : 2025-03-01	Data Entrega 2025-03-01
--	--	--	--

Nº de Cliente :	Contribuinte :	Cond. Pagamento :	Modo Exp.:
2015	308600827		Por Carro

Referência	Descrição	Enc.	Quant.	Preço Unit.	Dsc.1	Dsc.2	IVA	Valor
2	Fornecimento de Película Eclipse40-80 , 3m x 1.52m	0	1	195,00	0,00	0,00	23	195,00

Os artigos/serviços faturados foram colocados à disposição do adquirente nesta data.

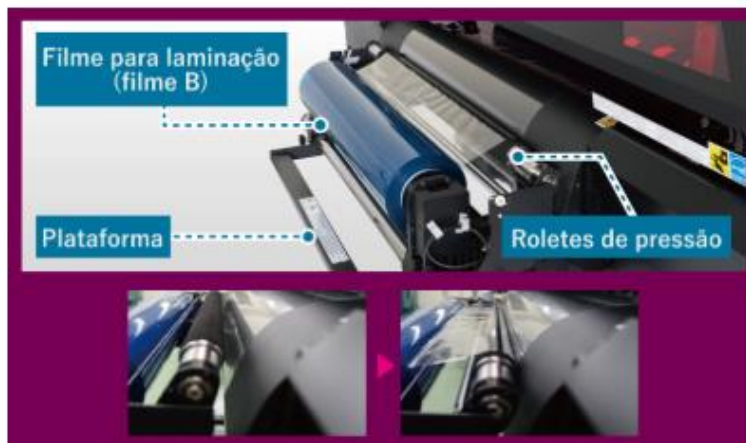
Documento 2º via Original					TOTAL	
Incid.	0,00	Taxa	0,00	Iva	0,00	Total Líquido 195,00
Incid.	0,00	Taxa	6,00	Iva	0,00	Total IVA 44,85
Incid.	0,00	Taxa	13,00	Iva	0,00	Desc. Linha 0,00
Incid.	195,00	Taxa	23,00	Iva	44,85	Desc. Global 0,000% 0,00
Retenção na fonte de 0,00%				0,00		239,85
Observações :		Carga: 2025-03-01N/Instalações			Matricula:	
NIB: 0036.0027.9910.0144.4127.5 Montepio Geral		Descarga: Morada do Cliente			Hora Carga 12:16:04 Hora Descarga	

ANEXO B

Ficha técnica Impressão DTF UV

Processo de alimentação e configuração da mídia

A laminação é aplicada com facilidade.



Sistema de rebobinamento

Rebobina automaticamente filme DTF UV na parte traseira da impressora.

A mídia é rebobinada com precisão, garantindo uma impressão mais estável.



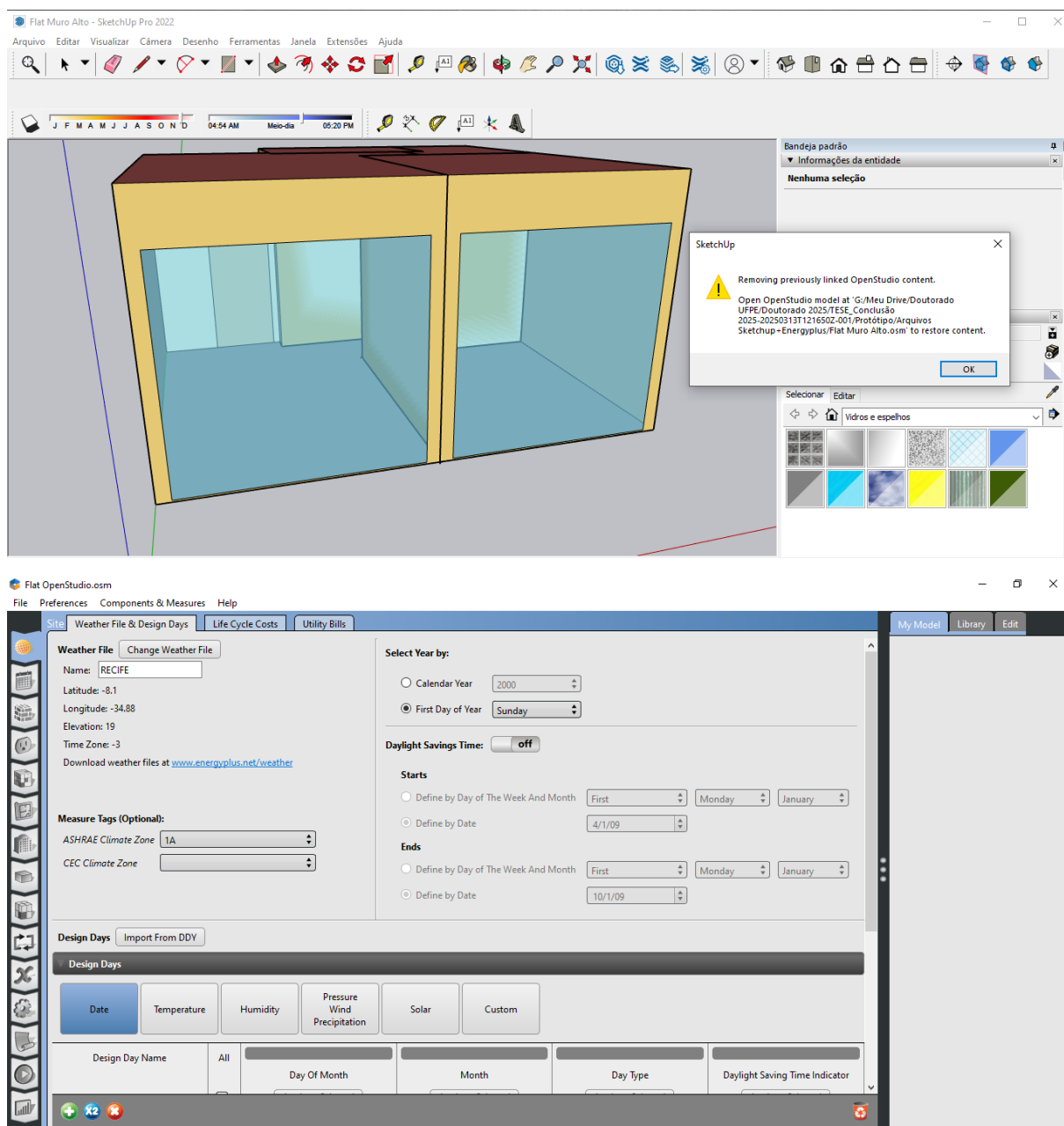
ANEXO C**NBR 12220- 2 - Desempenho térmico de edificações - Parte 2: Componentes e elementos construtivos - Resistência, transmitância térmica - Métodos de cálculo.**

Rio de Janeiro: ABNT, 2022.



ANEXO D

Software de Simulação - Sketchup 2022 e Plugin OpenStudio



Program Version: **EnergyPlus, Version 23.2.0-7636e6b3e9, YMD=2025.12.08 21:18**

Tabular Output Report in Format: **HTML**

Building: **Building 1**

Environment: **RUN PERIOD 1 ** RECIFE - BRA IWECC Data WMO#=828990**

Simulation Timestamp: **2025-12-08 21:18:24**

Report: **Annual Building Utility Performance Summary**

[Table of Contents](#)

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2025-12-08 21:18:24**

Values gathered over 8760.00 hours

Site and Source Energy

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	8.06	254.65	
Net Site Energy	8.06	254.65	
Total Source Energy	25.52	806.46	
Net Source Energy	25.52	806.46	

Site to Source Energy Conversion Factors

	Site=>Source Conversion Factor
Electricity	3.167
Natural Gas	1.084
District Cooling	1.056
District Heating Water	3.613
District Heating Steam	1.200
Gasoline	1.050
Diesel	1.050
Coal	1.050
Fuel Oil No 1	1.050
Fuel Oil No 2	1.050
Propane	1.050

Other Fuel 1	1.000
Other Fuel 2	1.000

Building Area

	Area [m2]
Total Building Area	31.65
Net Conditioned Building Area	0.00
Unconditioned Building Area	31.65

Report: Annual Thermal Resilience SummaryFor: **Entire Facility**Timestamp: **2025-12-08 21:18:24****Heat Index Hours**

	Safe ($\leq 26.7^{\circ}\text{C}$) [hr]	Caution ($> 26.7^{\circ}\text{C}, \leq 32.2^{\circ}\text{C}$) [hr]	Extreme Caution ($> 32.2^{\circ}\text{C}, \leq 39.4^{\circ}\text{C}$) [hr]	Danger ($> 39.4^{\circ}\text{C}, \leq 51.7^{\circ}\text{C}$) [hr]	Extreme Danger ($> 51.7^{\circ}\text{C}$) [hr]
THERMAL ZONE: SPACE 101	3083.00	2395.50	2390.67	890.83	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 102	3317.50	2378.67	2253.17	810.67	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 103	2662.00	3183.17	2504.50	410.33	0.00
Min	2662.00	2378.67	2253.17	410.33	0.00
Max	3317.50	3183.17	2504.50	890.83	0.00
Average	3020.83	2652.44	2382.78	703.94	0.00
Sum	9062.50	7957.33	7148.33	2111.83	0.00

Heat Index OccupantHours

	Safe ($\leq 26.7^{\circ}\text{C}$) [hr]	Caution ($> 26.7^{\circ}\text{C}, \leq 32.2^{\circ}\text{C}$) [hr]	Extreme Caution ($> 32.2^{\circ}\text{C}, \leq 39.4^{\circ}\text{C}$) [hr]	Danger ($> 39.4^{\circ}\text{C}, \leq 51.7^{\circ}\text{C}$) [hr]	Extreme Danger ($> 51.7^{\circ}\text{C}$) [hr]
THERMAL ZONE: SPACE 101	135.45	443.21	1388.57	697.43	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 102	101.20	280.97	671.31	320.08	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 103	49.51	160.71	334.71	74.63	0.00
Min	49.51	160.71	334.71	74.63	0.00
Max	135.45	443.21	1388.57	697.43	0.00
Average	95.39	294.96	798.20	364.05	0.00
Sum	286.16	884.89	2394.59	1092.15	0.00

Heat Index OccupiedHours

	Safe ($\leq 26.7^{\circ}\text{C}$) [hr]	Caution ($> 26.7^{\circ}\text{C}, \leq 32.2^{\circ}\text{C}$) [hr]	Extreme Caution ($> 32.2^{\circ}\text{C}, \leq 39.4^{\circ}\text{C}$) [hr]	Danger ($> 39.4^{\circ}\text{C}, \leq 51.7^{\circ}\text{C}$) [hr]	Extreme Danger ($> 51.7^{\circ}\text{C}$) [hr]
THERMAL ZONE: SPACE 101	797.33	1290.17	2291.67	890.83	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 102	932.83	1357.83	2168.67	810.67	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 103	828.83	1610.00	2420.83	410.33	0.00
Min	797.33	1290.17	2168.67	410.33	0.00
Max	932.83	1610.00	2420.83	890.83	0.00
Average	853.00	1419.33	2293.72	703.94	0.00
Sum	2559.00	4258.00	6881.17	2111.83	0.00

Humidex Hours

	Little to no Discomfort (≤ 29) [hr]	Some Discomfort ($> 29, \leq 40$) [hr]	Great Discomfort; Avoid Exertion ($> 40, \leq 45$) [hr]	Dangerous ($> 45, \leq 50$) [hr]	Heat Stroke Quite Possible (> 50) [hr]
THERMAL ZONE: SPACE 101	14.00	5581.17	2287.83	877.00	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 102	16.50	5697.33	2207.83	838.33	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 103	8.50	5979.50	2396.33	375.67	0.00
Min	8.50	5581.17	2207.83	375.67	0.00
Max	16.50	5979.50	2396.33	877.00	0.00
Average	13.00	5752.67	2297.33	697.00	0.00
Sum	39.00	17258.00	6892.00	2091.00	0.00

Humidex OccupantHours

	Little to no Discomfort (≤ 29) [hr]	Some Discomfort ($> 29, \leq 40$) [hr]	Great Discomfort; Avoid Exertion ($> 40, \leq 45$) [hr]	Dangerous ($> 45, \leq 50$) [hr]	Heat Stroke Quite Possible (> 50) [hr]
THERMAL ZONE: SPACE 101	0.51	630.98	1352.83	680.33	0.00

THERMAL ZONE: SPACE 102	0.40	383.71	662.51	326.95	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 103	0.10	213.67	337.93	67.86	0.00
Min	0.10	213.67	337.93	67.86	0.00
Max	0.51	630.98	1352.83	680.33	0.00
Average	0.33	409.46	784.42	358.38	0.00
Sum	1.00	1228.37	2353.26	1075.14	0.00

Humidex OccupiedHours

	Little to no Discomfort (\leq 29) [hr]	Some Discomfort ($>$ 29, \leq 40) [hr]	Great Discomfort; Avoid Exertion ($>$ 40, \leq 45) [hr]	Dangerous ($>$ 45, \leq 50) [hr]	Heat Stroke Quite Possible ($>$ 50) [hr]
THERMAL ZONE: SPACE 101	4.33	2129.33	2259.33	877.00	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 102	5.50	2245.83	2180.33	838.33	0.00
THERMAL ZONE: SPACE 103	3.33	2510.17	2380.83	375.67	0.00
Min	3.33	2129.33	2180.33	375.67	0.00
Max	5.50	2510.17	2380.83	877.00	0.00
Average	4.39	2295.11	2273.50	697.00	0.00
Sum	13.17	6885.33	6820.50	2091.00	0.00