

# Proposta de Classificação Climática Diária e de Perfis Higrotérmicos Diários para Medições Térmicas em Inspeções de Fachada

Rafael Barbosa Rios  
Orientadora: D.Sc. Vanda Zanoni

Dissertação de Mestrado  
2019



Universidade de Brasília





**FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**Dissertação de Mestrado**

---

**PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA E DE  
PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS PARA MEDIÇÕES  
TÉRMICAS EM INSPEÇÕES DE FACHADA**

**RAFAEL BARBOSA RIOS**

**ORIENTADORA: PROF. Dr<sup>a</sup>. VANDA ALICE GARCIA ZANONI**

**BRASÍLIA  
2019**

ii



**RAFAEL BARBOSA RIOS**

**PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA E DE  
PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS PARA MEDIÇÕES  
TÉRMICAS EM INSPEÇÕES DE FACHADA**

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito obrigatório para a obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

**Área de concentração:**

Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade

**Linha de Pesquisa:**

Tecnologia de Produção do Ambiente Construído

**Orientador: Prof. Dr. Vanda Alice Garcia Zanoni**

**BRASÍLIA  
2019**



**Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a):**

R586p	Rios, Rafael Proposta de Classificação Climática Diária e de Perfis Higrotérmicos Diários para Medições Térmicas em Inspeções de Fachada / Rafael Rios; orientador Vanda Alice Garcia Zaroni. -- Brasília, 2019. 143 p.  Dissertação (Mestrado - Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) -- Universidade de Brasília, 2019.  1. Inspeção Predial. 2. Inspeção de Fachadas. 3. Medições Térmicas. 4. Simulação Higrotérmica. 5. Classificações Climáticas. I. Alice Garcia Zaroni, Vanda, orient. II. Título.
-------	---

**REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

RIOS, R.B. (2019). PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA E DE PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS PARA MEDIÇÕES TÉRMICAS EM INSPEÇÕES DE FACHADA. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 143 p.

**CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Rafael Barbosa Rios

TÍTULO: Proposta de Classificação Climática Diária e de Perfis Higrotérmicos Diários para Medições Térmicas em Inspeções de Fachada.

GRAU: Mestre ANO: 2019

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

---

Rafael Barbosa Rios

e-mail: [rafaelb.rios@gmail.com](mailto:rafaelb.rios@gmail.com)

71.741-301 Brasília – DF - Brasil

Brasília, 20 de fevereiro de 2019

Dissertação de Mestrado defendida no Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília e aprovada pela Banca Examinadora constituída pelos membros:

Orientadora

**Prof. Dr. Vanda Alice Garcia Zanoni**

Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGFAU/UnB

Examinador Interno

**Prof. Dr. Caio Frederico e Silva**

Departamento de Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGFAU/UnB

Examinador Externo

**Prof. Dr. Elton Bauer**

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental  
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – PECC/UnB



## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que me capacitou e permitiu que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, Antonio Carlos e Yêda, que sempre serão meus exemplos e que me ensinaram os valores que devo seguir e batalhar. À minha irmã, Renata, e minha Tia, Yara, que sempre se preocuparam com meu bem-estar e sucesso.

À minha esposa, Marina, que esteve ao meu lado nesta etapa da vida, me incentivando e ajudando nos momentos difíceis.

À minha orientadora, prof. Vanda, por toda paciência e disponibilidade para resolver os obstáculos que encontrávamos pelo caminho.

Aos membros participantes da minha banca de defesa, pela honrosa presença e contribuições.

Ao prof. Elton Bauer, não apenas pelos conhecimentos passados em sala de aula, mas também pelas enriquecedoras conversas que ajudaram a moldar este trabalho.

Ao Prof. Caio, pelas contribuições no desenvolvimento da dissertação e pelo acolhimento em seus grupos de pesquisas e discussões.

Aos professores e colegas do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – PPGFAU/UnB, por todo conhecimento e oportunidades dados ao longo desses anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelo apoio financeiro tanto para a dissertação como para o programa Ciência Sem Fronteiras, fundamental no meu desenvolvimento acadêmico.

*“Se o dinheiro for a sua esperança de independência, você  
jamais a terá. A única segurança verdadeira consiste numa  
reserva de sabedoria, de experiência e de competência”*  
*(Henry Ford)*

## RESUMO

Nas inspeções prediais em sistemas de fachadas, a alta exposição aos agentes climáticos e às variações higrotérmicas dos sistemas construtivos ao longo do dia podem interferir nos procedimentos de coleta de dados e na representatividade dos resultados. A ausência de diretrizes, critérios e ferramentas para a caracterização climática em medições *in loco* dificulta a realização dos procedimentos de inspeção, a comparação entre resultados e a análise da ação dos agentes climáticos sobre o comportamento higrotérmico das edificações e de seus sistemas. O objetivo deste trabalho é propor um método de classificação climática diária e perfis higrotérmicos diários de referência para medições térmicas em inspeções de fachadas em revestimento cerâmico em Brasília-DF. Com base nos arquivos climáticos TMY-EPW, foi definida uma classificação climática diária. Em seguida, a partir da simulação realizada no programa WUFI Pro, de 6 tipologias de fachadas com revestimento cerâmico, para um ano típico de Brasília-DF, foram emitidos dados horários que, por meio da identificação de padrões por técnicas estatísticas, permitiu compor perfis higrotérmicos diários característicos de um ano típico, o qual considera as variações entre os períodos do ano, as orientações da fachada e a intensidade dos agentes climáticos. A classificação climática diária proposta contribui para a caracterização destes agentes em qualquer dia do ano, de modo a permitir a verificação da representatividade dos dados coletados em medições térmicas, quando comparados com os dias típicos ou de referência, ou entre medições realizadas em diferentes momentos ou locais. Os resultados desta pesquisa mostraram que, por meio de uma ferramenta visual, a definição dos perfis higrotérmicos diários facilitou a compreensão da ação dos agentes de exposição sobre os sistemas de fachada, e contribui para o levantamento dos fatores relevantes para a realização de medições térmicas em fachadas de modo a resultar em procedimentos de coleta de dados mais confiáveis, menos extensos, mais práticos e menos onerosos. A partir destas ferramentas, foi possível propor diretrizes para medições térmicas de fachadas em Brasília-DF.

Palavras-chaves: Inspeção Predial. Fachadas. Medições. Comportamento higrotérmico. Classificação Climática Diária. Perfil Higrotérmico Diário.



## ABSTRACT

In building's façade survey, the high exposure to the climate's agents and the façade's daily hygrothermal behavior may interfere with *in situ* tests and their result's reliability. The lack of guidelines, criteria and tools for climate's characterization during *in situ* tests may affect the inspection's procedures, the comparison between results and the climate effect on building hygrothermal behavior analysis. The main purpose is the establishment of a method for daily weather classification and daily hygrothermal profiles as tools for thermal measurements in ceramic tile façade's inspection in Brasília-DF. Based on the typical meteorological year weather files - TMY, it was developed the Daily Weather Classification. After that, the façade's hygrothermal behavior for a typical year, for 6 different façade's systems, was acquired by the software WUFI Pro. The data was applied on a statistical analysis, which identify patterns and allowed to establish daily hygrothermal profiles. Those profiles consider the year period, the façade's orientation and the climate's agents' intensity. The Daily Weather Classification allows the characterization of climate's agents, in any day of the year, which helps to verify the data relevance by comparing with typical project days, reference data or, also, other *in situ* measured data. The research results indicate that, by the establishment of visual tool, the daily hygrothermal profiles, there was a contribution for the comprehension of the influence of climate's agents into building's facades, which may lead to more practical, cheaper and faster façade thermal measurement's procedures. Also, based on those tools, it was defined guidelines for thermal measurements in building's facades in Brasília-DF.

Keywords: Building Survey. Facades. Data Measurement. Hygrothermal Behavior. Daily Weather Classification. Daily Hygrothermal Profile.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da Dissertação de Mestrado.....	7
Figura 2 – Fluxograma de processos da inspeção de fachadas .....	10
Figura 3 – Desempenho ao longo do tempo.....	16
Figura 4 – Principais tipos de falhas em juntas.....	21
Figura 5 – Principais ensaios e técnicas de medição de campo para inspeção de fachadas.....	23
Figura 6 – Escalas espaciais do clima no contexto de Brasília-DF.....	29
Figura 7 – Temperaturas médias anuais do Brasil. ....	32
Figura 8 – Componentes da Radiação Solar .....	33
Figura 9 – Carta Solar de Brasília-DF com a Radiação Global Horizontal .....	34
Figura 10 – Composição da radiação global em função da nebulosidade; (a) sob mesma nebulosidade; (b) em relação à condição de céu claro .....	36
Figura 11 - Frequência de ocorrência da direção dos ventos da série 2001-2013 em Brasília-DF .....	36
Figura 12 – Frequência da velocidade dos ventos (%) das classes de velocidade (m/s), da série de 2011-2013 para Brasília-DF.....	38
Figura 13 – Mapa e abordagem do Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	40
Figura 14 – Zonas de classificação térmica de acordo com o número de dias de aquecimento e de resfriamento.....	43
Figura 15 – Variação do teor de umidade em função da umidade relativa em materiais porosos .....	49
Figura 16 – Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro.....	50
Figura 17 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	55
Figura 18 – Fluxograma para definição da classificação climática diária para uma Zona Bioclimática .....	56
Figura 19 – Gráfico <i>Box Plot</i> para a identificação dos percentis de frequência das variáveis climáticas.....	57
Figura 20 – Procedimentos da Simulação Computacional.....	59
Figura 21 – Representação das Camadas dos Sistemas de Fachadas Simulados. ....	60
Figura 22 – Edificação em Estudo .....	64
Figura 23 – Vista Superior da Edificação e as Orientações das Fachadas .....	64
Figura 24 – Pontos de Medição na Fachada Noroeste .....	65
Figura 25 – Pontos de Medição na Fachada Sudoeste .....	65
Figura 26 – Pontos de Medição na Fachada Sudeste .....	65
Figura 27 – Pontos de Medição na Fachada Nordeste .....	66
Figura 28 – Exemplo de Análise de Importância das Variáveis Independentes .....	68
Figura 29 – Representação Gráfica do Perfil Higrotérmico de uma Orientação.....	70
Figura 30 – Exemplo de Perfil Higrotérmico Diário.....	70

Figura 31 – Identificação dos perfis de frequência para a Temperatura do Ar Mínima Diária (a); Temperatura do Ar Máxima Diária (b); Amplitude Térmica Diária do Ar (c); Umidade Relativa Média Diária (d) e Radiação Global Diária Acumulada (e).....	76
Figura 32 – Análise de Importância das variáveis independentes para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada.....	79
Figura 33 - Análise de Importância das variáveis independentes para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada.....	79
Figura 34 - Análise de Importância das variáveis independentes para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.....	80
Figura 35 – Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada médias para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	93
Figura 36 – Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada médias para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	93
Figura 37 – Período de Ocorrência das Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	94
Figura 38 – Período de Ocorrência da Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento das Fachadas para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	94
Figura 39 - Período de Ocorrência da Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento das Fachadas para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	94
Figura 40 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas médias para sistemas com blocos cerâmicos de diferentes condutividades térmicas em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).....	95
Figura 41 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas médias para sistemas com blocos cerâmicos de diferentes condutividades térmicas em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).....	95
Figura 42 - Amplitude Térmica Superficial Externas Médias para as Orientações Cardeais em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).....	96
Figura 43 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).....	97
Figura 44 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).....	97
Figura 45 – Período das Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	98
Figura 46 – Amplitudes Térmicas Superficiais Externas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).....	98
Figura 47 – Período de Inversão do Fluxo de Calor, no Aquecimento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	99

Figura 48 - Período de Inversão do Fluxo de Calor, no Resfriamento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	99
Figura 49 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	100
Figura 50 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	100
Figura 51 - Período das Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	101
Figura 52 - Amplitudes Térmicas Superficiais Externas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	101
Figura 53 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b). .....	102
Figura 54 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b). .....	102
Figura 55 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	103
Figura 56 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	103
Figura 57 - Período das Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). ..	104
Figura 58 - Amplitudes Térmicas Superficiais Externas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b). .....	104
Figura 59 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b). ...	104
Figura 60 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b). .....	105
Figura 61 – Gráfico <i>Box Plot</i> das Temperaturas Superficiais Mínimas Diária para Fachada Norte ao longo do ano. ....	106
Figura 62 - Gráfico <i>Box Plot</i> das Temperaturas Superficiais Externas Máximas Diárias para Fachada Norte ao longo do ano. ....	106
Figura 63 – Gráfico <i>Box Plot</i> da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Norte ao longo do ano. ....	106
Figura 64 - Gráfico <i>Box Plot</i> das Temperaturas Superficiais Mínimas Diárias para Fachada Sul ao longo do ano. ....	107
Figura 65 - Gráfico <i>Box Plot</i> das Temperaturas Superficiais Máximas Diárias para Fachada Sul ao longo do ano. ....	107
Figura 66 - Gráfico <i>Box Plot</i> da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Sul ao longo do ano. ....	107

Figura 67 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Mínimas para Fachada Leste ao longo do ano.....	108
Figura 68 - Gráfico <i>Box Plot</i> das Temperaturas Superficiais Máximas para Fachada Leste ao longo do ano.....	108
Figura 69 - Gráfico Box Plot da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Leste ao longo do ano.....	108
Figura 70 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Mínimas para Fachada Oeste ao longo do ano.....	109
Figura 71 - Gráfico <i>Box Plot</i> das Temperaturas Superficiais Máximas para Fachada Oeste ao longo do ano.....	109
Figura 72 - Gráfico Box Plot da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Oeste ao longo do ano.....	109
Figura 73 – Temperaturas Superficiais da Fachada Noroeste medidas em campo no dia 16/03/2018 em Brasília, nos revestimentos cinza claro e cinza escuro.....	112
Figura 74 – Dimensões do Bloco Cerâmico de 8 furos (9x19x19cm) .....	130

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto para os sistemas de subsistemas de fachadas. ....	15
Tabela 2 – Classificação de Nebulosidade.....	35
Tabela 3 – Média mensal da nebulosidade da série de 2001-2013 para Brasília-DF.....	35
Tabela 4 – Dados dos dias típicos de verão e inverno para Brasília-DF.....	41
Tabela 5 – Tabela de classificação das condições de exposição para fachadas rebocadas .....	44
Tabela 6 - Valores de absorvância e emissividade para diversos materiais e cores diferentes ....	47
Tabela 7 – Classificação Climática Diária de Brasília-DF em 23/07/2017.....	58
Tabela 8 – Definição dos Sistemas de Fachadas.....	60
Tabela 9 – Propriedades higrotérmicas dos materiais .....	61
Tabela 10 – Parâmetros de entrada para simulação .....	62
Tabela 11– Orientação das Fachadas .....	66
Tabela 12 - Especificações técnicas termômetro MINI MT-350A .....	66
Tabela 13 – Propriedades dos Sistemas de Fachadas em Revestimento Cerâmico Estudados ...	71
Tabela 14 – Classes de Intensidade para a Classificação Climática Diária da Zona Bioclimática 4 .....	75
Tabela 15 – Temperaturas Máximas Superficiais medidas em campo .....	111
Tabela 16 – Período das Temperaturas Superficiais Máximas medidas em campo.....	111
Tabela 17 - Classificação Climática Diária do Dia Típico de Verão de Brasília-DF.....	131
Tabela 18 - Classificação Climática Diária do Dia Típico de Inverno de Brasília-DF.....	131
Tabela 18 – Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Temperatura Mínima do Ar .....	132
Tabela 19 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Temperatura Máxima do Ar.....	132

Tabela 20 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Amplitude Térmica do Ar .....	132
Tabela 21 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Umidade Relativa do Ar .....	132
Tabela 22 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, d das Classes de Intensidade da Radiação Solar.....	132
Tabela 23 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, dos Sistemas Analisados em relação à Temperatura Superficial Externa Mínima. ....	137
Tabela 24 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, dos Sistemas Analisados em relação à Temperatura Superficial Externa Máxima. ....	137
Tabela 25 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, dos Sistemas Analisados em relação à Amplitude Térmica Superficial. ....	137

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo dos requisitos da NBR 15575 para os sistemas de vedação vertical externos .....	14
Quadro 2 - Classificação das anomalias em revestimentos cerâmicos.....	18
Quadro 3 – Escala anemométrica internacional de Beaufort .....	37
Quadro 4 – Principais classificações climáticas aplicadas à construção civil.....	39
Quadro 5 – Classificação Climática Global .....	42
Quadro 6 – Classificação Climática Europeia.....	42
Quadro 7 - Propriedades higrotérmicas básicas .....	45
Quadro 8 – Classes de classificação das variáveis climáticas com base nos percentuais de frequência.....	57
Quadro 9 – Cronogramas de medições térmicas .....	63
Quadro 10 – Variáveis da Análise de Variância (ANOVA 1-Way) da Classificação Climática Diária.....	67
Quadro 11 – Variáveis utilizadas no modelo de Rede Neural e na Análise de Importância.....	68
Quadro 12 – Critérios para a escolha das Classificações Climáticas Diárias utilizadas na elaboração dos Perfis Higrotérmicos Diários.....	69
Quadro 13 – Síntese dos Procedimentos Metodológicos e seus produtos.....	74
Quadro 14 – Lista dos Perfis Higrotérmicos Diários de acordo com o período do ano e a Classificação Climática Diária .....	81
Quadro 15 – Condições Climáticas em análise baseadas nas Classificação Climática Diária....	96





## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA .....	1
1.2	ENQUADRAMENTO DA PESQUISA .....	2
1.3	PROBLEMATIZAÇÃO E QUESTÕES DE PESQUISA.....	3
1.4	OBJETIVOS .....	5
1.4.1	Objetivo Geral.....	5
1.4.2	Objetivos Específicos .....	5
1.5	JUSTIFICATIVA.....	5
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	6
2	INSPEÇÃO PREDIAL EM SISTEMAS DE FACHADAS .....	9
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	9
2.2	PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS.....	9
2.2.1	Inspeção Preliminar .....	11
2.2.2	Inspeção Detalhada.....	11
2.2.3	Etapas após a Coleta de Dados.....	13
2.3	REQUISITOS DE DESEMPENHO DE FACHADAS.....	13
2.3.1	Vida Útil, Durabilidade e Manutenibilidade.....	15
2.3.2	Segurança.....	16
2.3.3	Estanqueidade .....	16
2.4	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS .....	17
2.4.1	Perda de Aderência.....	18
2.4.2	Fissuras e Trincas .....	19
2.4.3	Degradação das Placas Cerâmicas .....	20
2.4.4	Degradação das Juntas.....	21
2.5	ENSAIOS E MEDIÇÕES EM CAMPO DE FACHADAS.....	22
2.5.1	Ensaios e Medições Térmicas .....	23
2.5.2	Medições Térmicas Ambientais .....	24
2.5.3	Medições Térmicas Superficiais .....	25
2.5.4	Termografia.....	25
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO .....	27
3	CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO CLIMÁTICAS E O COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DOS SISTEMAS DE FACHADAS .....	29
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	29
3.2	VARIAÇÃO DOS AGENTES CLIMÁTICOS .....	30
3.2.1	Umidade do Ar.....	30
3.2.2	Precipitação e Chuva Dirigida .....	31
3.2.3	Temperatura do Ar .....	31
3.2.4	Amplitude Térmica.....	33
3.2.5	Radiação Solar .....	33

3.2.6	Nebulosidade.....	35
3.2.7	Vento .....	36
3.3	CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS.....	38
3.3.1	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.....	39
3.3.2	Dia Típico de Projeto.....	40
3.3.3	Classificação Climática Global da BS ISO 15686-7.....	41
3.3.4	Classificação Climática da Organização Europeia de Aprovação Técnica ....	42
3.3.5	Classificação Climática da ASHRAE/ANSI 169.....	43
3.3.6	Classificação das Condições de Exposição de FLORES-COLEN (2009) ....	43
3.4	COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE FACHADAS.....	44
3.4.1	Transmissão de Calor .....	46
3.4.2	Transporte de Umidade.....	49
3.4.3	Simulação Computacional -WUFI PRO.....	51
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	52
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	55
4.1	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA.....	55
4.1.1	Definir Variáveis de Classificação Climática Diária.....	56
4.1.2	Coleta de Dados da Zona Bioclimática .....	56
4.1.3	Definição das Classes de Intensidade das Variáveis Climáticas.....	57
4.1.4	Aplicação ao Arquivo Climático de Brasília-DF .....	58
4.2	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	58
4.2.1	Dados de Entrada.....	59
4.2.2	Dados de Saída.....	62
4.3	MEDIÇÕES EM CAMPO.....	63
4.3.1	Edificação em Estudo .....	63
4.3.2	Procedimentos de Medição em Campo .....	64
4.4	ETAPAS DA ANÁLISE DE RESULTADOS .....	67
4.4.1	Análise de Sensibilidade da Classificação Climática Diária .....	67
4.4.2	Identificação dos Perfis Higrotérmicos Diários .....	69
4.4.3	Análise da Influência do Período do Ano.....	71
4.4.4	Análise da Influência das Propriedades do Sistema de Fachadas .....	71
4.4.5	Análise da Variação da Intensidade dos Agentes Climáticos.....	72
4.4.6	Análise do Comportamento Térmico Anual das Fachadas.....	73
4.4.7	Síntese dos Fatores Relevantes para as Medições Térmicas em Inspeções de Fachadas .....	73
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO .....	73
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	75
5.1	CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA.....	75
5.1.1	Análise de Sensibilidade da Classificação Climática Diária .....	77
5.2	PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS .....	81
5.2.1	Análise dos Perfis Higrotérmicos Diários .....	91

5.3	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SISTEMA DE FACHADAS.....	92
5.4	ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DOS AGENTES CLIMÁTICOS.....	96
5.5	ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO ANUAL DAS FACHADAS.....	105
5.6	ANÁLISE DAS MEDIÇÕES TÉRMICAS EM CAMPO .....	111
5.7	SÍNTESE DOS FATORES RELEVANTES PARA AS MEDIÇÕES TÉRMICAS EM INSPEÇÕES DE FACHADAS.....	113
6	CONCLUSÕES .....	119
6.1	SOBRE A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA.....	119
6.2	SOBRE OS PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS.....	119
6.3	CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	120
6.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	120
	REFERÊNCIAS.....	123
	APÊNDICE A – Cálculo da Condutividade Térmica do Bloco Cerâmico de 8 furos (9x19x19cm) com argamassa de assentamento de 1,5cm .....	130
	APÊNDICE B – Aplicação da Classificação Climática Diária nos Dias Típicos de Projeto de Brasília-DF .....	131
	APÊNDICE C – Resultado dos Pós-Teste de Tukey Classes de Intensidade da Classificação Climática Diária.....	132
	APÊNDICE D – Dados Médios da Simulação Computacional para as Classificações Climáticas Diárias selecionada nos Sistemas de Fachadas em estudo.....	133
	APÊNDICE E - Resultado dos Pós-Teste de Tukey dos Sistemas de Fachadas Analisados .....	137
	APÊNDICE F – Resultados das Medições Térmicas em Campo .....	138



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

Esta dissertação enquadra-se nos estudos de procedimentos de inspeção predial de fachadas, com ênfase no desenvolvimento de ferramentas para a etapa de levantamento das condições de ensaio para medições de temperatura superficial em fachadas, envolvendo o comportamento higrotérmico resultante de sua exposição às condições climáticas.

As fachadas, e os demais sistemas da envoltória, têm papel de delimitar o ambiente interno, assegurando o cumprimento das exigências de desempenho quanto à sustentabilidade, habitabilidade e segurança dos usuários, durante a Vida Útil de Projeto da edificação (ABNT, 2013a).

As fachadas devem garantir a segurança dos usuários, manter a edificação estanque às chuvas e à umidade accidental e de uso; além de contribuir com o desempenho térmico e com a arquitetura da edificação. Para isto, é fundamental que, além da concepção correta dos sistemas de fachada, sejam realizados os devidos procedimentos de manutenção para impedir que haja a degradação precoce da edificação (BS, 2012; BELISÁRIO, 2016).

Dentre as atividades contidas nos procedimentos de manutenção, as inspeções prediais, realizadas por meio de ensaios e métodos de inspeção, têm a função de balizar os demais procedimentos e intervenções, de modo a garantir a segurança, a funcionalidade e a durabilidade dos sistemas construtivos. Além disso, a inspeção contribui com a compreensão dos processos de degradação e, por sua vez, com a estimativa da vida útil dos sistemas (BS ISO, 2008; BS, 2012; ABNT, 2012).

Durante as inspeções nos sistemas da envoltória, devido a exposição às condições climáticas destes sistemas, é recomendável que tais condições sejam caracterizadas, visto que podem ser determinantes na análise dos resultados (BS ISO, 2008).

BRITO *et al.* (2017), ao analisarem o método para avaliação de desempenho em campo proposto pela NBR 15571-1 (ABNT, 2013b), verificaram que este método carece de procedimentos para caracterizar as condições climáticas dos dias em que foram realizadas as medições ou ensaios em campo. A falta desta caracterização impede a definição de critérios e, em alguns casos, compromete a análise comparativa dos resultados.

No contexto dos ensaios e métodos de medição em campo, é comum a realização de medições térmicas superficiais para identificação de solicitações térmicas e estudo do estado de conservação das fachadas. As solicitações de natureza térmica, como tensões diferenciais causadas pela dilatação, podem resultar em diversas manifestações patológicas, tais como descolamentos, destacamentos e fissuras. Essas anomalias podem comprometer a segurança, o conforto dos usuários e a estética da edificação (SILVESTRE; BRITO, 2009).

Além disso, as medições térmicas podem ser utilizadas para a quantificação da ação de agentes de degradação e a identificação de áreas degradadas, devido a variação do comportamento térmico nestas áreas (HOLST, 2000).

Para a realização das medições térmicas, seja para os estudos das solicitações ou das manifestações patológicas, os inspetores devem ter conhecimento não apenas dos processos de degradação, mas também do comportamento higrotérmico dos sistemas frente às condições de exposição.



As trocas de calor e umidade são determinantes para a execução de ensaios e para a análise dos resultados. Deste modo, alguns pesquisadores optam pelo uso de simulações computacionais para definir os períodos de medição e tornar o método mais eficaz (FREITAS *et al.*, 2014; FOX *et al.*, 2015; BAUER *et al.*, 2016a).

Devido à grande diversidade nas tipologias de fachadas, o presente trabalho se concentra no estudo de fachadas de bloco cerâmico vazado com revestimento cerâmico, pois além de ser um sistema amplamente usado em todo o Brasil, em particular em Brasília, é um sistema que sofre degradação pela ação dos agentes e mecanismos de origem térmica.

Portanto, o desenvolvimento de ferramentas para a caracterização climática, assim como para o estudo da ação dos agentes climáticos sobre o comportamento higrotérmico das edificações e seus sistemas contribui para o aprimoramento dos procedimentos de campo, nas inspeções prediais.

## 1.2 ENQUADRAMENTO DA PESQUISA

Para a definição de uma classificação climática diária foram verificados os fatores determinantes para as variações climáticas em diferentes escalas, tanto espacial quanto temporal, as formas como as condições de exposição climáticas influenciam no comportamento higrotérmico da edificação e os métodos de classificação climática existentes. Para isto, foram utilizados os seguintes marcos referenciais:

- Lamberts *et al.* (2013; 2016) descrevem os agentes climáticos na perspectiva do desempenho térmico, de modo a apresentar como esses agentes variam e interagem com a edificação;
- Freitas (1992), Henriques (2016), os manuais da ASHRAE (2017) e do WUFI (IBP, 2017) apresentam os mecanismos de trocas de calor e de umidade nos sistemas de fachadas. A compressão destes mecanismos é fundamental para o domínio das ferramentas de simulação computacional, como o WUFI Pro, utilizado nesta pesquisa;
- Zaroni (2015) e Nascimento (2016) estudam a ação dos agentes climáticos no comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas no clima de Brasília-DF. Os autores caracterizam as condições de exposição climáticas e identificam a sazonalidade dos agentes climáticos. Além disso, Zaroni (2015) verifica e define parâmetros para simulação computacional do comportamento higrotérmico aplicados à Brasília-DF;
- Nos estudos das classificações climáticas, as normas brasileiras NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) e NBR 15220-3 (ABNT, 2005c), a norma BS ISO 15686-8 (BS ISO, 2008), o manual da ASHRAE (2017) e FLORES-COLEN (2009) trazem classificações climáticas aplicadas à construção civil. Dentre elas se destacam o Zoneamento Bioclimático Brasileiro – ZBB e os Dias Típicos de Projeto da NBR 15575-1, fundamentais aos procedimentos brasileiros de avaliação de desempenho.

No âmbito das inspeções prediais de fachadas, buscou-se identificar os procedimentos básicos para os trabalhos de campo, as principais manifestações patológicas relacionadas com as variações térmicas, os requisitos, critérios e métodos para a avaliação de desempenho e os principais métodos para medições de temperatura superficiais. Para isto foram consultados os seguintes trabalhos:

- Norma internacional BS ISO 15686 (BS ISO, 2006; 2008; 2011) e suas partes que trazem os conceitos e métodos para definição e estimativas de vida útil;

- NBR 15575 (ABNT, 2013a; 2013b) que apresenta os requisitos e critérios de desempenho para edificações habitacionais. A norma ainda apresenta métodos para a verificação de desempenho;
- Lichtenstein (1986), Tutikian e Pacheco (2013) e o Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícias de Engenharia – IBAPE de São Paulo (2012a) que trazem os procedimentos básicos, as etapas e os critérios para realização de inspeções prediais;
- Normas americanas ASTM E2841– “*Standard Guide for Conducting Inspections of Building Facades for Unsafe Conditions*” (ASTM, 2011), a ASTM E2270 – “*Standard Practice for Periodic Inspection of Building Facades for Unsafe Conditions*” (ASTM, 2014a) e ASCE/SEI 30 – “*Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope*” (ASCE, 2014) que definem diretrizes para a realização de inspeções de fachadas;
- Cóias (2009), Flores-Colen (2009) e Silvestre e Brito (2009; 2010) trazem uma revisão dos diversos métodos de ensaios para os sistemas de fachadas, critérios para sua avaliação e listam possíveis relações de causa e efeito em diversas manifestações patológicas em sistemas de fachadas;
- Sorgato *et al.* (2012), Zanoni (2015) e Brito *et al.* (2017) expõem as carências do método para a avaliação de desempenho térmico em campo, definido pela NBR 15575 (ABNT, 2013b). Dentre as dificuldades observadas, há a baixíssima frequência de ocorrência dos parâmetros estabelecidos pelos Dias Típicos de Projeto, ausência de procedimentos para seleção, caracterização e análise de dias isolados com condições diferentes dos Dias Típicos de Projeto.
- Hoslt (2000); Bauer *et al.* (2016a; 2016b); Freitas *et al.* (2014); Fox *et al.* (2015); apresentam diferentes métodos para a aplicação da termografia em sistemas de fachadas, permitindo a identificação de descolamentos, fissuras, infiltrações e pontes térmicas.

O enquadramento da pesquisa colabora com a delimitação do campo conceitual para a caracterização dos agentes climáticos, a descrição do modo como estes agentes atuam sobre o comportamento higrotérmico das fachadas, a apresentação dos procedimentos de inspeção predial de fachadas, dos ensaios utilizados e, dentro do contexto dos ensaios e medições térmicas, a apresentação dos métodos utilizados e os parâmetros para as análises de resultado.

### **1.3 PROBLEMATIZAÇÃO E QUESTÕES DE PESQUISA**

Devido a influência dos agentes climáticos no comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas, é necessária a caracterização das condições de exposição climáticas. Essa caracterização tem como função permitir a definição de parâmetros de análise, especialmente durante a realização de ensaios e medições em curtos espaços de tempo, onde as variações climáticas podem influenciar os resultados alcançados.

Neste contexto, a NBR 15575 (ABNT, 2013b) apresenta os parâmetros dos Dias Típicos de Verão e de Inverno. Porém, vários autores já constataram que, devido à baixíssima frequência de ocorrência, dias com estas características são difíceis de serem encontrados em campo. Na prática, ao realizar medições em campo em dias que não estejam devidamente caracterizados, pode-se obter resultados pouco significativos ou representativos para a avaliação de desempenho (SORGATO *et al.*, 2012; ZANONI, 2015; BRITO *et al.*, 2017).

Pela ausência de uma metodologia consolidada para caracterizar um dia real de medição, não se pode comparar os resultados medidos, tampouco certificar se o dia escolhido é o mais propício para as medições ou simulações computacionais para avaliação de desempenho.

Outro aspecto que se deve observar durante as medições e ensaios de campo, é a influência do clima ao longo do dia nas diferentes orientações das fachadas; estes fatores podem determinar o período e os pontos mais adequados da medição.

Os períodos e pontos de coleta devem ser representativos, para permitir que os dados coletados e sua análise cumpram com o objetivo da inspeção. Portanto, com o objetivo de otimizar a realização de ensaios e assegurar a relevância dos dados coletados, estudos preliminares, como o levantamento das condições de ensaio, são fundamentais. Para as medições térmicas superficiais, normalmente, estes estudos são feitos de forma empírica e, em alguns casos, por meio de simulações computacionais (CÓAIS, 2009; FREITAS *et al.*, 2012; BAUER *et al.*, 2016a).

Porém, a utilização de simulações pode ser limitada pela falta de domínio dos softwares pelo inspetor, complexidade na análise dos resultados, entre outros fatores. Ainda, o estudo com base empírica está relacionado à experiência e ao conhecimento do inspetor, que podem ser limitados. Deste modo, o desenvolvimento de ferramentas simplificadas, como perfis higrótérmicos de referência, podem facilitar a definição de diretrizes para medições e ensaios durante as inspeções prediais.

Para melhor esclarecer as dificuldades e a lacuna existente neste campo do conhecimento, os problemas citados podem ser exemplificados pelo relatório do monitoramento realizado na Catedral Metropolitana de Brasília (SARASÁ, 2009). Este relatório, que balizou as intervenções realizadas nos vitrais da Catedral de Brasília, apresenta a caracterização da edificação, os procedimentos e a análise do monitoramento térmico dos vitrais.

Em relação às medições térmicas realizado na Catedral de Brasília, o monitoramento para a coleta de dados foi feito durante três dias do mês de julho e três dias do mês de outubro. No entanto, a análise se baseou em apenas dois dias da coleta, 16/07/2009 e 30/10/2009, representando os períodos frio e quente, respectivamente. As medições foram feitas nas 16 orientações dos vitrais, com coletas de 2 em 2 horas, começando à meia-noite do primeiro dia e terminando à meia noite do terceiro dia.

Analisando as informações contidas no relatório técnico do monitoramento da Catedral, foram observadas algumas lacunas: o relatório não apresentou uma caracterização dos agentes e das condições climáticas nos dias de medição, muito menos uma comparação com dados de uma série histórica ou um ano típico da cidade de Brasília. A falta de caracterização de agentes climáticos como a radiação solar, a temperatura do ar externo, a nebulosidade e a chuva dirigida reduz a relevância dos dados coletados, pois impede que sejam estabelecidos parâmetros de referência para análise ou comparação com outros casos de referência ou com futuras medições.

Outro aspecto observado no relatório técnico da Catedral foi a extensa medição realizada, a qual contemplou as 16 orientações dos vitrais durante 24 horas do dia, em 12 medições por dia. Os custos de operação poderiam ser reduzidos por meio de estudos preliminares, os quais identificariam os períodos e orientações críticas, tornando a coleta de dados mais objetiva. Além disso, o intervalo e espaçamento da coleta não foram adequadamente planejados, isto é, não foram contemplados horários que possivelmente atingiriam as temperaturas máximas nas fachadas críticas.

Portanto, partindo das lacunas apresentadas e exemplificadas, são colocadas as seguintes questões de pesquisa:

- 1) É possível definir uma classificação climática diária para a caracterização dos dados climáticos durante a coleta de campo, tornando a análise dos dados coletados mais representativos?
- 2) A partir de classificação climática diária, é possível identificar perfis higrotérmicos de dias de referência para os procedimentos de coleta e de análise da temperatura superficial de sistemas de fachadas?

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

- Desenvolver a classificação climática diária e perfis do comportamento higrotérmico, como suporte às medições térmicas em inspeções prediais em fachadas com revestimento cerâmico, na cidade de Brasília-DF.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Propor um método de classificação climática, baseado em múltiplos agentes climáticos, para caracterização climática de dias isolados.
- Elaborar perfis higrotérmicos diários para o período seco e chuvoso e para diferentes classificações climáticas de referência, baseadas na variação dos agentes climáticos e na frequência de ocorrência.
- Identificar as variações no comportamento higrotérmico diário de acordo com a resposta dos sistemas de fachadas em revestimento cerâmico, considerando o período do ano, a variação entre sistemas com diferentes propriedades e a intensidade dos agentes climáticos.
- Experimentar em medições em campo, a aplicabilidade das ferramentas propostas;
- Elaborar um quadro de diretrizes para medições térmicas superficiais com base nos perfis higrotérmicos diários, na análise de dados de simulação computacional e na realização de medições de campo.

## **1.5 JUSTIFICATIVA**

Esta dissertação, por meio do estudo do comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas e dos métodos de inspeção predial, visa contribuir com ferramentas para o levantamento das condições de ensaio em medições térmicas de fachadas.

Inserido nas temáticas da área de concentração Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade e da linha de pesquisa Tecnologia de Produção do Ambiente Construído, do Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, assim como do grupo de pesquisa Simulação Computacional no Ambiente Construído – SiCAC, este trabalho pretende dar prosseguimento aos estudos da influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília, desenvolvidos na tese de Zanoni (2015).

Para a realização de ensaios e medições térmicas em sistemas de fachadas, a caracterização das condições climáticas é fundamental para a relevância e a significância dos dados coletados (BS ISO, 2006).

Na prática, a dificuldade em caracterizar as condições de exposição, como identificado no relatório do monitoramento da Catedral Metropolitana de Brasília (SARASÁ, 2009) e durante as medições de desempenho de habitação de interesse social realizadas em avaliação pós-ocupação por Brito *et al.* (2017), é consequência da falta de parâmetros, métodos ou procedimentos sistematizados para caracterização climática em escalas diárias.

Neste contexto, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) define os parâmetros dos Dias Típicos de verão e inverno para realização de medições em campo, porém os parâmetros desses dias típicos possuem uma baixíssima frequência de ocorrência, tornando-os difíceis de serem encontrados em um dia real em campo.

Justifica-se assim a necessidade do desenvolvimento de métodos de classificação climática diária e a elaboração de diretrizes normativas para a análise de desempenho, para contribuir com a realização de medições e ensaios em campo.

Outro aspecto identificado no enquadramento da pesquisa, foi a necessidade de conhecimento da ação dos agentes climáticos sobre o comportamento higrotérmico da edificação para a realização de medições de temperatura em fachadas, pois eles podem influenciar na escolha dos períodos de coleta, na qualidade dos dados e na análise dos resultados.

Porém, devido ao número de fatores que influenciam o comportamento higrotérmico de fachadas, como a variação dos agentes climáticos, as propriedades dos sistemas de fachadas, a orientação, entre outros, é comum o uso de simulações computacionais. No entanto, o uso de softwares de simulação higrotérmica ainda demanda conhecimento específico e pouco difundido.

Desta forma, a busca por ferramentas simplificadas pode contribuir tanto com os métodos de inspeção, facilitando a definição de diretrizes de medições térmicas, quanto a atualização das normas brasileiras para Inspeção Predial e a avaliação e monitoramento de desempenho de edificações em campo.

## **1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO**

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos, mais referências e apêndices, conforme apresentado na Figura 1. Neste capítulo é apresentada a introdução, com contextualização do tema, enquadramento da pesquisa, problematização, justificativa da pesquisa e objetivos geral e específicos.

Os capítulos 2 e 3 apresentam a revisão bibliográfica, onde são abordados os temas relacionados às medições de temperatura superficiais no contexto da inspeção predial.

No capítulo 2 são apresentados conceitos sobre inspeção predial, os procedimentos, os requisitos e critérios para a avaliação dos sistemas de fachadas em revestimento cerâmico, suas manifestações patológicas, as medições e ensaios de fachadas, e os métodos de medições térmicas.

No capítulo 3 são apresentados os estudos e conceitos sobre as condições de exposição climáticas, as classificações climáticas utilizadas para o estudo das edificações e a ação dos agentes climáticos sobre o comportamento higrotérmico de fachadas.

O capítulo 4 apresenta os procedimentos metodológicos utilizados nesta pesquisa, como o método para definição da classificação climática diária, os procedimentos de simulação computacional para o estudo da ação climática sobre as fachadas e os procedimentos estatísticos para definição dos perfis higrotérmicos diários e para a análise das variáveis independentes.

O capítulo 5 apresenta os resultados e as discussões. Neste capítulo são apresentados a Classificação Climática Diária para a Zona Bioclimática 4 e os Perfis Higrotérmicos Diários obtidos para Brasília-DF.

Enfim, no capítulo 6 estão as considerações finais sobre as ferramentas propostas, as conclusões do trabalho e sugestões para trabalhos futuros.

Nos apêndices deste documento são apresentados os cálculos desenvolvidos, as análises estatísticas efetuadas e os dados medidos em campo.

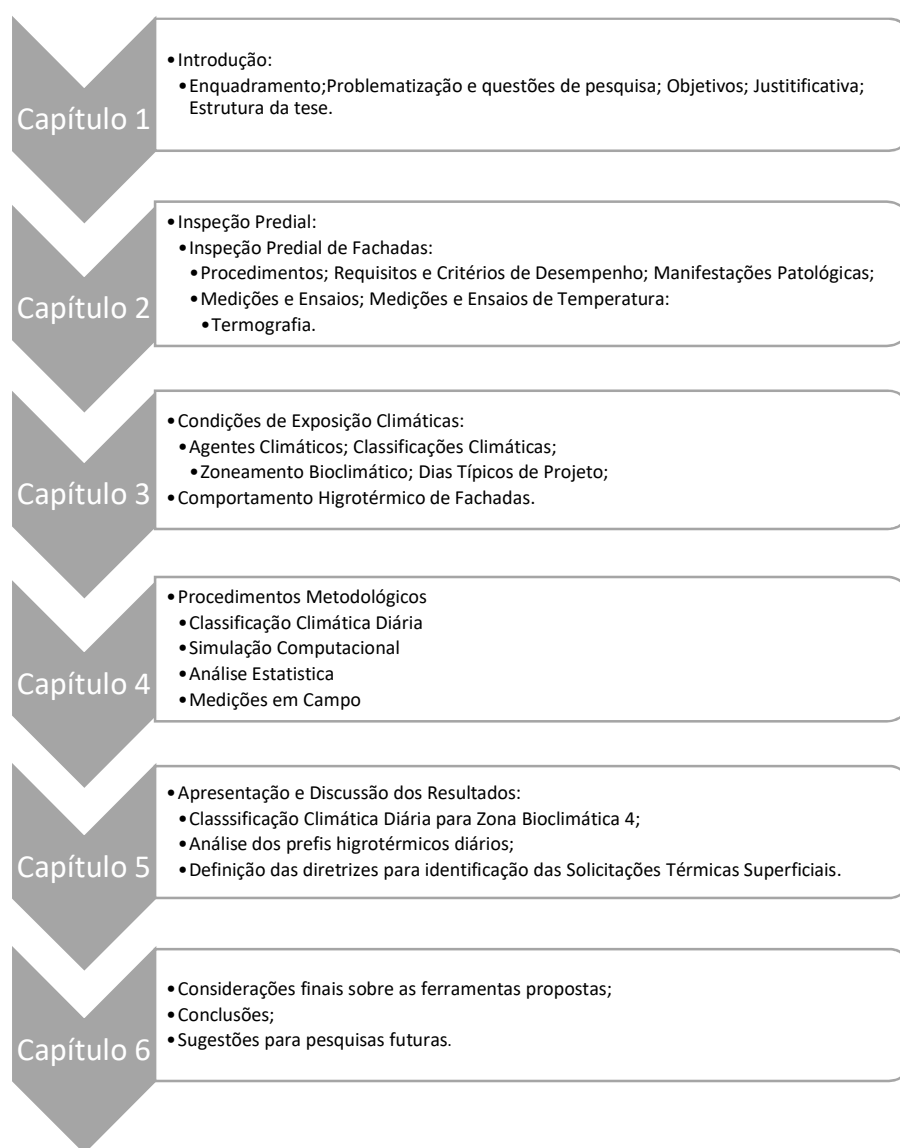


Figura 1 – Estrutura da Dissertação de Mestrado



## **2 INSPEÇÃO PREDIAL EM SISTEMAS DE FACHADAS**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A inspeção predial consiste na verificação técnica do estado de conservação e uso de uma edificação, com base em aspectos de desempenho, durabilidade, segurança, manutenção, operação e uso (BS ISO, 2006; BS, 2012; IBAPE, 2012).

Para o estudo da vida útil, a inspeção predial deve caracterizar não apenas as condições da edificação e seus sistemas, mas também todos os fatores que possam influenciar nos mecanismos de degradação, isso inclui os agentes climáticos, a qualidade de projeto e execução da edificação, a qualidade dos materiais empregados, as condições de manutenção e uso, entre outros (BS ISO, 2008).

O escopo da inspeção predial varia de acordo com seu objetivo. Em vistorias de entrega de imóveis ou de avaliações econômicas, a inspeção pode se restringir a um caráter preliminar, onde são identificadas apenas as manifestações patológicas e as não-conformidades.

Dentro da manutenção predial, a inspeção predial define diretrizes para a realização das intervenções a serem realizadas. Para isto, a inspeção deve realizar diagnósticos (identificação das causas) e de prognósticos (análise das consequências das manifestações patológicas). Porém, para a realização destas análises deve haver uma fundamentação sólida, podendo ser composta pelo conhecimento empírico, fundamentos técnicos, pela realização de ensaios e, até mesmo, por novas pesquisas científicas (LICHTENSTEIN, 1986; IBAPE, 2012).

### **2.2 PROCEDIMENTOS PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS**

As inspeções prediais, normalmente, contemplam as seguintes etapas: inspeção preliminar, inspeção detalhada, diagnóstico, prognóstico e terapia (LICHTENSTEIN, 1986).

Para os sistemas de fachadas, a norma americana ASCE/SEI 30 – “*Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope*” (ASCE, 2014) define procedimentos específicos para a inspeção destes elementos.

Os sistemas de fachadas são responsáveis por delimitar o ambiente interno em relação ao ambiente externo, prevenindo a entrada descontrolada ou inadequada de água ou vapor no ambiente interno. Além disso, as fachadas são determinantes no desempenho térmico e na estética da edificação (ASTM, 2011; 2014a).

Deste modo, as inspeções dos elementos de fachadas devem avaliar o estado de conservação e o desempenho dos sistemas em relação às seguintes exigências dos usuários: segurança, habitabilidade e sustentabilidade. Dentro dessas exigências devem estar contidas a estética da edificação, estanqueidade dos sistemas de vedação, a proteção de outros sistemas e desempenho térmico da edificação (ABNT, 2013a; ASCE, 2014).

Ao se realizar a inspeção desses sistemas é fundamental a caracterização das condições ambientais, tanto para avaliação de desempenho, como para a realização de ensaios e medições (BS ISO, 2006).

A Figura 2 ilustra os procedimentos descritos pela ASCE (2014) para a inspeção de fachadas, os quais se assemelham as etapas descritas por Lichtenstein (1986) na pela



norma BS ISO 15.686-7 – “*Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice*” (BS ISO, 2006).

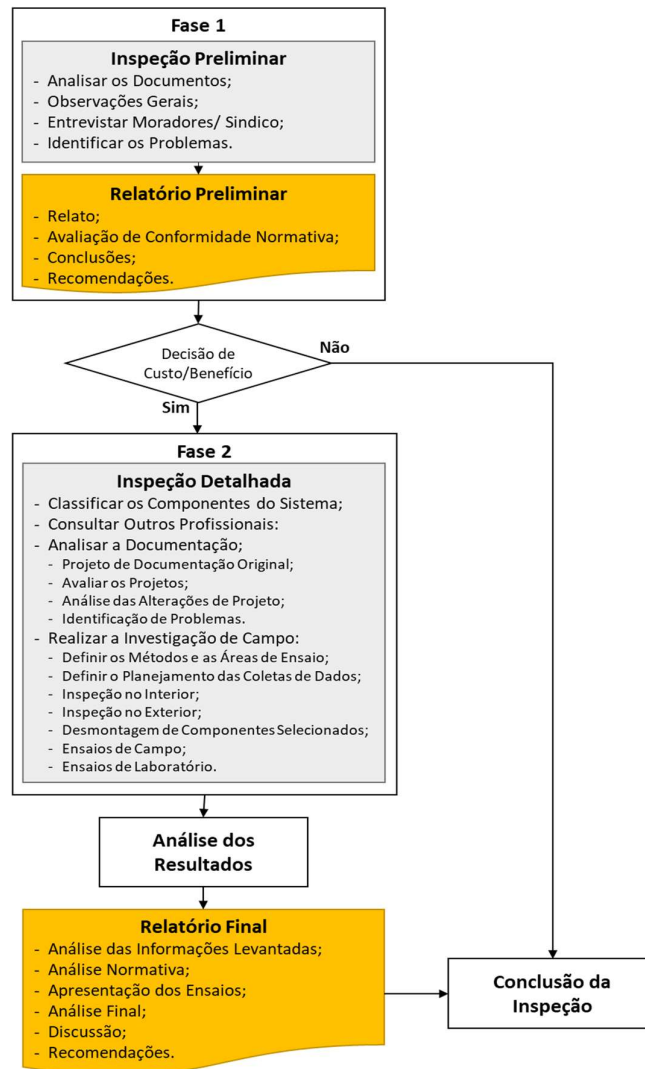


Figura 2 – Fluxograma de processos da inspeção de fachadas  
Fonte: (ASCE, 2014)

Para o início das inspeções deve haver a definição de seu objetivo, para isso devem ser levantados dados preliminares, normalmente de fácil acesso físico ou visual e que permitam a definição de diretrizes para a inspeção.

A partir da definição do objetivo da inspeção, deve ser realizado um planejamento e a coleta de dados. Tanto para Lichtenstein (1986), como para as normas (BS ISO, 2006; ASCE, 2014) fica evidente a preocupação com o planejamento e com a definição do método de coleta de dados, visto que o sucesso da inspeção ou do estudo tem relação direta com a relevância dos dados coletados em campo.

O presente trabalho, por meio do desenvolvimento de ferramentas para a caracterização do clima durante medições de campo e para a análise visual da resposta do edifício aos agentes climáticos, visa contribuir ao levantamento dos fatores relevantes ao planejamento e à definição dos métodos de coletas nos sistemas de fachadas.

Após a definição dos procedimentos e a realização da coleta de dados, o inspetor deverá verificar se as informações levantadas são suficientes para cumprir com o objetivo da inspeção. Caso as informações não sejam suficientes, o inspetor deve optar por outra estratégia ou aprofundar sua coleta de dados.

Portanto, baseado nos procedimentos de inspeção descritos por Lichtenstein (1986), os itens abaixo descrevem as etapas das inspeções de fachadas.

### **2.2.1 Inspeção Preliminar**

A inspeção preliminar é uma oportunidade para o inspetor se familiarizar com a tipologia da fachada, as condições de exposição, os materiais utilizados, o uso do sistema e as anomalias de fácil detecção, permitindo assim a definição do tipo de abordagem a ser realizada nas fases e atividades seguintes (ASCE, 2014).

Esta etapa é composta pela vistoria de aspecto geral, coleta e análise de documentos, entrevistas com moradores ou síndico e identificação de problemas.

A vistoria ou inspeção de aspecto geral deve inspecionar de forma abrangente, por meio de análises visuais e registros fotográficos dos elementos de fachadas e do interior da edificação, permitindo que o inspetor identifique anomalias e regiões críticas (ASTM, 2014a).

Também deve ser feito o levantamento de documentos e relatos dos usuários, esta etapa é conhecida como anamnese. Os documentos da edificação, como projetos, manuais de operação, uso e manutenção, histórico de intervenção, trazem informações técnicas, as quais os usuários dificilmente poderiam reportar ao inspetor (LICHTENSTEIN, 1986).

Os relatos dos usuários apesar de não possuírem caráter técnico, são extremamente úteis, pois permitem que o inspetor tenha um breve relato das condições encontradas pelos usuários, como manifestações patológicas, ruídos, tipos de uso, entre outros aspectos. Todavia, cabe ao inspetor verificar a veracidade e aplicabilidade destas informações (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

Desta forma, as informações levantadas pela anamnese em conjunto com a vistoria permitem que o inspetor identifique de forma superficial os problemas existentes no sistema de fachada e/ou na edificação. Caso esses problemas levem risco aos usuários, o inspetor deve avisar os usuários imediatamente e propor medidas para mitigar possíveis ocorrências (CÓIAS, 2009; IBAPE, 2012).

Por fim, as informações coletadas nesta etapa devem ser apresentadas em forma de relatório, ou laudo de inspeção, de modo a definir a continuidade ou não da inspeção (ASCE, 2014).

### **2.2.2 Inspeção Detalhada**

Após a inspeção preliminar há um refinamento do escopo e do objetivo da inspeção. Nesta fase se reduz a abrangência da inspeção e se aprofunda a análise às questões específicas. Assim, a inspeção detalhada deve ser capaz de responder às principais questões

levantadas na fase preliminar, utilizando ensaios e métodos de observação para respondê-las de forma mais clara possível (ASCE, 2014).

Para definir a abordagem da inspeção, recomenda-se que os componentes e áreas do sistema sejam classificados (BS ISO, 2006; ASCE, 2014). A classificação pode se basear no estado de conservação, nas condições de exposição e/ou a composição dos sistemas, visto que esses fatores são fundamentais para compreender como os agentes de degradação estão atuando sobre os sistemas.

Em alguns casos, as manifestações patológicas nos sistemas de fachadas podem ser oriundas do comportamento de outros sistemas, como da estrutura, de equipamentos industriais, entre outros. Assim, caso o inspetor necessite, podem ser feitas consultas a outros profissionais especializados (IBAPE, 2012).

Na inspeção detalhada deve-se aprofundar a análise de documentos, são consultados os documentos técnicos da obra, como projetos, manual de operação, manutenção e uso, cadernos técnicos de materiais utilizados, normas aplicáveis e até registros e mensagens da época da construção. Em seguida, o inspetor verifica se as especificações técnicas descritas na documentação foram respeitadas durante a construção e se o sistema está sendo utilizado corretamente (IBAPE, 2012; ASCE, 2014).

Além da documentação original da edificação, devem ser verificados as alterações e reparos realizados, tanto por meio de vistorias como pela análise de documentos. Este histórico pode ser determinante no diagnóstico dos problemas encontrados (CÓIAS, 2009; IBAPE, 2012).

Nesta etapa normalmente são utilizados ensaios de campo, ensaios de laboratório ou técnicas de monitoramento. Deve ser feito um planejamento prévio, definido de acordo com os dados coletados na inspeção preliminar. Além disso, nesta etapa é recomendável que o inspetor tenha conhecimento técnico específico sobre o elemento em análise e os procedimentos a serem realizados, pois a falta de capacidade técnica pode comprometer a coleta de dados e análise dos resultados (ASTM, 2011; TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

A escolha do ensaio deve considerar, dentre outros fatores, a composição do sistema, as anomalias identificadas, as condições de exposição, a acessibilidade, se o ensaio é destrutivo ou não. A área a ser ensaiada deve ser representativa do problema da edificação e/ou do comportamento do sistema, pois a falta de representatividade da área escolhida pode comprometer a análise dos resultados (ASCE, 2014; RIOS; ZANONI, 2018).

Caso ocorram variações significativas entre os períodos de coleta, deve haver um estudo para a definição do período, de modo a assegurar a representatividade dos dados e reduzir os custos de operação. Neste sentido, o estudo preliminar é fundamental para o planejamento das coletas (NERY, 2013).

Os ensaios devem ser acompanhados pelo inspetor, ou por pessoal técnico habilitado, com o intuito de garantir a correta execução e o registro de quaisquer fatores que possam influenciar o resultado (ASTM, 2014a).

Após a coleta de dados, composta pelas inspeções detalhada e preliminar, é realizada a análise dos resultados, que verifica se o sistema atende aos requisitos e critérios mínimos de desempenho. Além disso, a análise pode fundamentar o diagnóstico, o prognóstico e a terapia dos problemas encontrado (LICHTENSTEIN, 1986; ABNT, 2013b; ASCE, 2014).

### **2.2.3 Etapas após a Coleta de Dados**

#### **a) Diagnóstico**

Após a compilação das informações coletadas na inspeção predial, como os problemas identificados, as condições de exposição, as propriedades dos materiais e componentes, os resultados dos ensaios e demais atividades, realiza-se o diagnóstico, onde o inspetor deve identificar a origem, as causas e os mecanismos de degradação que levaram a perda de desempenho do sistema (LICHTENSTEIN, 1986; IBAPE, 2012).

O diagnóstico demanda uma visão sistêmica do problema, visto que a ocorrência das manifestações patológicas dificilmente ocorre por um único fator. Normalmente, as anomalias e seu agravamento estão relacionados a diversos fatores, como a qualidade do material e da execução, o uso e da manutenção do sistema, assim como as condições de exposição climáticas. Portanto, o inspetor deve ser capaz de identificar e correlacionar os fatores que levaram o sistema à perda de seu desempenho (IBAPE, 2012; CÓIAS, 2009).

#### **b) Prognóstico**

A partir do diagnóstico das manifestações patológicas, o prognóstico define a conduta que deve ser seguida. Para isto, são analisadas as consequências e como a manifestação patológica pode evoluir (TUTIKIAN; PACHECO, 2013).

Caso o dano comprometa a segurança dos usuários, a durabilidade do sistema ou alguma das exigências do usuário, a intervenção deve ser urgente. Caso contrário, devem ser adotadas medidas condizentes ao dano identificado. Em alguns casos, os danos são apenas estéticos e cabe ao técnico optar pela intervenção ou não (LICHTENSTEIN, 1986; CÓIAS, 2009; IBAPE, 2012).

#### **c) Terapia ou Intervenção**

A partir do prognóstico é definida a necessidade de uma intervenção imediata ou não. As terapias, ou intervenções, são as ferramentas para solucionar ou atenuar o efeito da manifestação patológica. Podem ser feitas por meio da proteção em relação ao agente de degradação, pelo reparo da área danificada ou pela restrição de uso (LICHTENSTEIN, 1986).

A terapia deve assegurar, primeiramente, a segurança dos usuários, depois são considerados a durabilidade e o desempenho do sistema. Para os sistemas de fachadas, quando há o destacamento do revestimento cerâmico, a primeira ação é a de restringir o uso de áreas sujeitas à projeção de material para posteriormente definir as medidas de reparo (IBAPE, 2012; ASTM, 2014a).

## **2.3 REQUISITOS DE DESEMPENHO DE FACHADAS**

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) define desempenho como o comportamento de uma edificação e de seus sistemas em uso. Para a avaliação de desempenho dos Sistemas de Vedação Vertical Externos – SVVE, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013a) define os requisitos (qualitativos) e os critérios (quantitativos e premissas) de avaliação. Estes têm como objetivo assegurar o cumprimento das exigências de segurança, habitabilidade e sustentabilidade dos usuários.

Para a avaliação de desempenho, além de identificar a função do sistema em estudo, deve-se compreender o conceito de Vida Útil, que segundo a BS ISO 15686-1 (BS ISO, 2011)

corresponde ao período no qual um edifício e/ou seus sistemas reais atendem ou superam os níveis de desempenho esperados.

Derivado deste conceito, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) apresenta a Vida Útil de Projeto – VUP, que corresponde a uma estimativa do período no qual uma edificação e/ou seus sistemas deverão atender aos requisitos de desempenho expostos em suas partes e nas demais normas aplicáveis.

Neste período, os sistemas de fachadas em revestimento cerâmico aderido devem atender não apenas aos requisitos da norma de desempenho (ABNT, 2013a), mas também às normas prescritivas, como a NBR 13755 – “Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante” (ABNT, 2017) e a NBR 13818 – “Placas cerâmicas para revestimento” (ABNT, 1997).

O Quadro 1 apresenta um resumo dos requisitos de desempenho, apresentados pela NBR 15575-4 (ABNT, 2013a), para os sistemas de fachadas de edifícios habitacionais. Tais requisitos devem ser atendidos ao longo da Vida Útil de Projeto, independentemente de sua composição. Para isto é fundamental que haja o cumprimento da periodicidade e da correta execução dos procedimentos de manutenção descritos no Manual de Uso, Operação e Manutenção da edificação (ABNT, 2013b).

Quadro 1 – Resumo dos requisitos da NBR 15575 para os sistemas de vedação vertical externos

Exigências dos Usuários		Requisitos
Segurança	Segurança Estrutural	Assegurar a estabilidade e resistência estrutural.
		Assegurar um limite de deslocamentos, fissuras e falhas.
		Resistir a solicitações externas (fixação de peças, impactos e ocupação).
	Segurança contra Incêndio	Minimizar o risco de colapso. Dificultar a propagação.
	Segurança na Operação e Uso	Assegurar a segurança dos usuários durante a operação e uso.
Habitabilidade	Estanqueidade	Assegurar a estanqueidade às fontes de umidade externas (chuvas) e internas (proveniente da ocupação e uso).
	Desempenho Térmico	Contribuir para o conforto térmico dos usuários por meio do uso de sistemas com propriedades térmicas e aberturas adequados.
	Desempenho Acústico	Atender os níveis de ruídos permitidos à habitação.
	Desempenho Lumínico	Permitir a entrada de luz natural durante o dia.
	Saúde, Higiene e Qualidade do Ar	Proporcionar condições salubres no interior da edificação.
	Conforto Tátil e Antropodinâmico	Não prejudicar as atividades normais dos usuários quando caminhar, apoiar, limpar brincar ou semelhantes.
Sustentabilidade	Durabilidade	Assegurar um limite de deslocamentos, fissuras ou falhas que possam comprometer a durabilidade do sistema.
		Manter a capacidade funcional e as características estéticas compatíveis com o envelhecimento natural durante sua Vida Útil de Projeto.
	Manutenibilidade	Analisar e realizar as manutenções previstas no manual de operação, uso e manutenção, de modo a garantir a capacidade funcional ao longo da Vida Útil de Projeto.
	Impacto Ambiental	Recomenda-se que os materiais utilizados reduzam os impactos ambientais relativos à extração de materiais primas.

Fonte: (ABNT, 2013a;2013b)

### 2.3.1 Vida Útil, Durabilidade e Manutenibilidade

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) define que, durante sua Vida Útil de Projeto, os sistemas devem manter a capacidade funcional (segurança, habitabilidade e sustentabilidade) compatíveis ao envelhecimento natural.

Para a definição da Vida Útil de Projeto Mínima, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) incorpora 3 conceitos essenciais: a consequência de uma falha de desempenho, a manutenibilidade do sistema e o custo de correção de uma falha. E com base nestes 3 conceitos é atribuída uma VUP mínima proporcional à VUP do sistema estrutural.

A Tabela 1 apresenta os requisitos mínimos e superiores para a Vida Útil de Projeto, definidos pela NBR 15575-1 (ABNT, 2013b), nos sistemas de fachadas e seus componentes

Tabela 1 – Vida Útil de Projeto para os sistemas de subsistemas de fachadas.

Parte da Edificação	Exemplos	VUP (anos)	
		Mínimo	Superior
Vedação Externa	Paredes de vedação externa e fachadas	≥40	≥60
Revestimento de Fachada (aderido e não aderido)	Revestimentos, moldura, componentes decorativos.	≥20	≥30
Pintura	Pinturas de fachadas e revestimentos sintéticos texturizados.	≥8	≥12
Esquadrias Externas	Janelas, grades de proteção, brises, cobogós, peitoris, soleiras e pingadeiras.	≥20	≥30

Fonte: (ABNT, 2013b).

A Vida Útil de Projeto é uma das principais referências para a avaliação de desempenho, porém outras normas apresentam métodos alternativos para a definição e estimativa da Vida Útil da edificação e de seus sistemas.

A norma BS ISO 15686-8 (BS ISO, 2008) apresenta o Método Fatorial, que estima a vida útil a partir de uma série de sete fatores, entre eles: a qualidade dos materiais, do projeto e da execução, as características ambientais externas e internas, e as condições de uso, operação e manutenção. Em relação à intensidade da degradação ao longo do tempo (perda de desempenho), deve-se considerar a ação dos ambientes externos (chuvas, variações de temperatura, radiação) e dos ambientes internos (água de lavagem e danos causados pela ocupação), assim como os procedimentos de manutenção.

A curva de desempenho, representada na Figura 3, ilustra a relação entre o desempenho do sistema, as manutenções e a vida útil do sistema.

A manutenção predial deve atenuar a degradação, ou a perda de desempenho, da edificação e de seus sistemas ao longo do tempo. Porém, ao se aproximar do fim da Vida Útil de Projeto, é inevitável que estas manutenções tornem cada vez mais dispendiosas (BELISIÁRIO, 2016; CÓIAS, 2009).

Visto a importância dos procedimentos de manutenção na preservação do desempenho, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) recomenda que toda edificação possua e atenda aos procedimentos descritos no manual de operação, uso e manutenção.

O desenvolvimento deste manual deve respeitar a NBR 14037 (ABNT, 2014a), que determina que se apresente em seu conteúdo os requisitos e critérios de desempenho mínimos, a vida útil dos sistemas que compõem a edificação, as rotinas de inspeção e manutenção, além de instruções para situações de emergência.

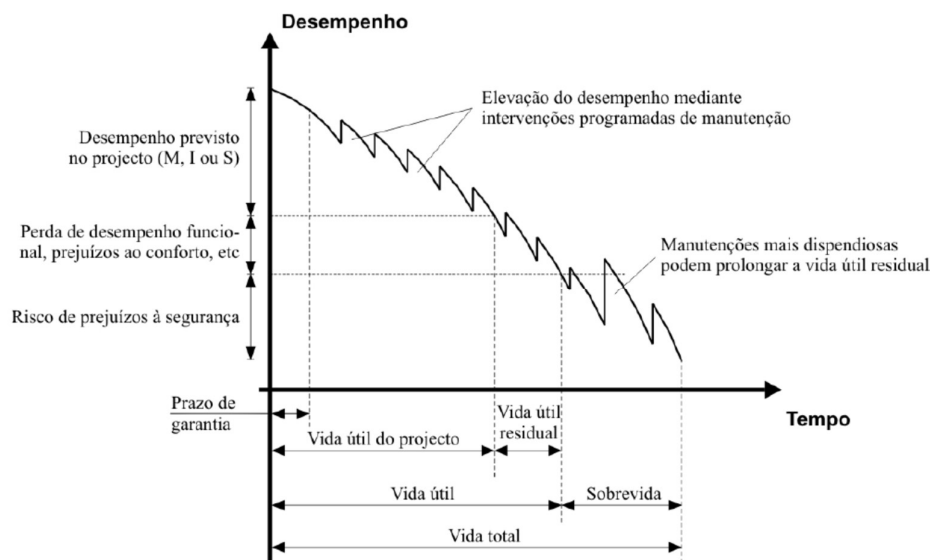


Figura 3 – Desempenho ao longo do tempo  
Fonte: (ABNT, 2008)

### 2.3.2 Segurança

Os requisitos de segurança visam preservar a integridade tanto das edificações como dos usuários. Usualmente, os sistemas de fachadas não possuem função estrutural. Contudo, as vedações ainda podem atuar como contraventamento de estruturas reticuladas ou sofrer ações causadas pelas deformações estruturais (ABNT, 2013a).

A norma de desempenho verifica a segurança dos sistemas de fachadas por meio da ocorrência de fissuras e descolamentos. Apesar do desenvolvimento de novos métodos, como a termografia, fotogrametria, entre outros, a norma recomenda que a verificação seja feita a olho nu por um observador a 1,00m da superfície em análise, num cone visual com ângulo igual ou inferior a 60°, ou por meio do exame de percussão (ABNT, 2013a).

A ocorrência de descolamentos é tolerável desde que não implique em descontinuidades ou na projeção de material e não ultrapasse áreas maiores que 0,1m<sup>2</sup> ou 5% da fachada (ABNT, 2013a).

Com objetivo de garantir a resistência à tração dos revestimentos cerâmicos aderidos, e para reduzir o risco de projeção de materiais, a NBR 13755 descreve os procedimentos de execução e determina que sejam realizados ensaios de aderência, também conhecidos como ensaios de arrancamento (ABNT, 2017).

Além disso, a NBR 15575-4 verifica outros aspectos mecânicos dos sistemas de fachadas, por meio de ensaios de carga, submetendo-os às solicitações como: a fixação de elementos suspensos, os impactos de corpos moles e duros e as cargas de ocupação (ABNT, 2013a).

### 2.3.3 Estanqueidade

Apesar da estanqueidade estar dentro das exigências de habitabilidade, este requisito é fundamental à durabilidade dos sistemas de fachadas, visto que a umidade pode atuar intensamente nos mecanismos de degradação (RIOS; ZANONI, 2017).

Para o cumprimento dos requisitos e critérios de desempenho, a NBR 15575-4 (ABNT, 2013a) recomenda que as paredes externas permaneçam estanques quando expostas à umidade causadas por chuvas, ocupação e uso. Para isto, os detalhes construtivos dos sistemas de vedação vertical externos devem garantir esta estanqueidade.

Para verificar a estanqueidade dos sistemas de fachadas, a norma propõe dois ensaios de desempenho. O primeiro consiste em um ensaio laboratorial que verifica a estanqueidade da parede externa à ação combinada da chuva com o vento. Neste ensaio é aplicado um volume de água constante junto a uma pressão pneumática, esta pressão é definida pela intensidade dos ventos na região brasileira onde será utilizado o sistema (ABNT, 2013a).

O segundo ensaio pode ser realizado em campo e verifica a permeabilidade do sistema de fachadas. O ensaio submete o sistema à presença de água, com pressão constante, por meio de uma câmara acoplada à parede. Deve-se verificar o volume de água infiltrado no sistema nos períodos de 30 min, 1h, 2h, 4h, 6h e 24h.

Para os sistemas de fachada em revestimento cerâmico, a NBR 13755 (ABNT, 2017) recomenda que as placas cerâmicas utilizadas não possuam absorção superior a 6% e, 3% para regiões onde haja temperaturas mínimas inferiores a 0°C. Além disso, as placas cerâmicas devem ser verificadas em relação a expansão por umidade - EPU, determinada conforme a NBR 13818 (ABNT, 1997), a qual não deve ultrapassar 0,6mm/m.

## **2.4 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS**

As manifestações patológicas são consequências da ação dos agentes e dos mecanismos de degradação, porém o processo de degradação pode ser potencializado por falhas de execução e de manutenção (CÓIAS, 2009).

As anomalias podem ser separadas em estéticas e funcionais. As anomalias funcionais afetam a durabilidade dos componentes e sistemas e podem levar riscos aos usuários. Já, as anomalias estéticas, apesar de não levarem risco ao usuário, podem evoluir para anomalias funcionais, quando não é feita a manutenção adequada (FLORES-COLEN, 2009).

Devido ao fato de as fachadas terem papel fundamental na valorização estética e econômica das edificações, em alguns casos, a preocupação com as anomalias estéticas pode se igualar às anomalias funcionais (IBAPE, 2012).

Silvestre e Brito (2008) propõe um sistema de classificação de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos, conforme o Quadro 2. A partir desta classificação, os autores analisam as possíveis causas, a relação de ocorrência entre anomalias, as formas de diagnóstico e os métodos de reparo.

A classificação proposta se assemelha às abordagens de outros autores que tratam das manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachadas (SABBATINI; BARROS, 2001; FIORITO, 2009; ANTUNES, 2010).



Quadro 2 - Classificação das anomalias em revestimentos cerâmicos

Anomalias	Subtipos
Perda de Aderência	Camada Externa
	Entre a camada de assentamento e a base
	Na camada de regularização
	Na própria base
Fissuras e Trincas	Camada externa
	Na base (resultando na camada externa)
	Nas juntas de dilatação
	Em áreas com concentração de tensões (próximo às aberturas)
Degradação das placas cerâmicas	Esmagamento ou lascamento das bordas
	Desgastes ou riscos
	Eflorescências ou Criptoflorescências
	Pequenas crateras na superfície
Degradação das juntas	Eflorescências ou Criptoflorescências
	Alteração de cor
	Fissuras ou perda de massa
	Descolamento
	Organismos vegetais
	Consistência pulverulenta
Anomalias estéticas	Irregularidades na superfície externa
	Alteração de cor ou brilho dos revestimentos cerâmicos
	Gretagem

Fonte: Adaptado de SABBATINI; BARROS, 2001; SILVESTRE; BRITO, 2008; ANTUNES, 2010)

A partir da listagem do Quadro 2, os itens abaixo apresentam uma descrição dos tipos de manifestações patológicas, os possíveis sintomas e causas, as consequências e, quando relacionados, a influência do clima sobre seus mecanismos.

#### 2.4.1 Perda de Aderência

A perda de aderência pode resultar no descolamento e/ou no destacamento dos revestimentos cerâmicos. Este processo pode ocorrer tanto no interior das camadas, quanto nas interfaces. Sua identificação pode ser feita por meio da percussão, onde o som cavo é um indicativo deste tipo de manifestação patológica (CARASEK; DJANIKIAN, 1997; SABBATINI; BARROS, 2001; FIORITO, 2009).

O descolamento e o destacamento dos revestimentos de fachadas não apenas trazem risco à segurança dos usuários, por meio da projeção de materiais, mas também podem comprometer a estanqueidade e a durabilidade dos sistemas de vedação. Deste modo, são consideradas anomalias graves nas inspeções prediais (IBAPE, 2012).

Dentre as principais causas da perda de aderência dos revestimentos cerâmicos estão a má execução, o uso de materiais inadequados, as falhas devido aos ciclos de temperatura e umidade causados pelo clima e por solicitações mecânicas excessivas (FIORITO, 2009).

Wetzel *et al.* (2012) fez o monitoramento de um painel de revestimento cerâmico, e em seu estudo identificou como ocorria e propagava a perda de aderência. Dentre os processos e observações realizadas pelos autores, estão:

- As fissuras iniciais, tanto na argamassa de assentamento como no rejunte e na interface entre o rejunte e a placa cerâmica, favorecem a ação de outros agentes de degradação, principalmente da água;

- Durante o período chuvoso, devido a entrada de água por capilaridade e das tensões geradas nas áreas periféricas das placas, houve uma perda de aderência e uma propagação das fissuras;
- Os ciclos de molhagem e secagem, assim como de aquecimento e resfriamento, levam à fadiga dos materiais que por sua vez resulta na perda de aderência e no desenvolvimento de outras manifestações patológicas como fissuras, eflorescências, entre outros.

Os ciclos de aquecimento e resfriamento dos sistemas estão entre os principais mecanismos de degradação dos revestimentos cerâmicos, pois estes ciclos são capazes de gerar tensões nos sistemas de revestimento resultando na fadiga dos materiais e reduzindo sua aderência.

Estas tensões variam de acordo não apenas da intensidade dos agentes climáticos, mas também, com a absorvância do sistema, as propriedades, a geometria dos materiais e a composição do sistema. Diversos estudos buscam avaliar quais os principais fatores, desenvolver modelos matemáticos para identificação de tensões, avaliar a fadiga dos sistemas de revestimento e comparar com resultados de campo (SARAIVA, 1998; UCHÔA, 2007; ZURBRIGGEN; HERWEGH, 2015).

Estas anomalias podem ser identificadas por ensaios de percussão, pelo som cavo das áreas com descolamento, e por meio da termografia, pois o bolsão causado pelo afastamento entre as camadas do sistema pode alterar a transmitância nas áreas degradadas (CÓIAS, 2009; BAUER *et al.*, 2016a).

#### **2.4.2 Fissuras e Trincas**

As fissuras são consequências dos alívios de tensões, podem ocorrer dentro de um elemento ou na interface entre dois elementos aderidos. Esse alívio ocorre quando os esforços aplicados ultrapassam a resistência do material ou da aderência entre elementos (LORDSLEEM JÚNIOR, 1997).

A NBR 15575-2 (ABNT, 2013c) define fissuras como uma abertura na superfície ou em toda seção transversal do elemento, causada por tensões normais ou tangenciais. As fissuras podem ser classificadas em ativas, quando há uma variação na abertura em função de variações higrotérmicas e das solicitações, ou passivas, quando a abertura apresenta dimensões constantes. Nos sistemas de fachadas, devido a sua exposição aos agentes climáticos, as fissuras tendem a ser ativas, pois sempre estarão sujeitas às variações higrotérmicas.

O local e a geometria da fissura são extremamente úteis ao seu diagnóstico. Assim, a correlação entre as características das fissuras e suas possíveis causas são frequentemente estudadas (SABBATINI; BARROS, 2001; CÓIAS, 2009; ANTUNES, 2010). Portanto, são listadas algumas possíveis correlações entre a tipologia da fissura e suas causas:

- A ausência ou insuficiência de vergas e/ou contra-vergas em regiões com concentração de tensões, como junto aos vértices das janelas e portas, podem gerar fissuras próximas a estes vértices.
- Movimentos diferenciais entre a estrutura e a alvenaria e/ou a deficiência na ancoragem, principalmente no encontro entre os pilares e a alvenaria, podem gerar fissuras nestas interfaces.

- A retração por secagem da argamassa (excesso de componentes finos, elevada relação água/cimento, finura do cimento e/ou a falta de cura) podem gerar fissuras sem padrão geométrico, conhecidas como fissuras mapeadas.
- As solicitações de origem térmica, na interface entre a cobertura e a platibanda, ou em matérias com diferentes dilatações térmicas podem resultar em fissuras.
- Nos andares inferiores a umidade ascendente pode gerar fissuras horizontais próximas às vigas baldrames.
- A presença de tubulações pode gerar fissuras geométricas nos locais de sua passagem.

Essas fissuras tornam-se caminhos propícios à entrada de agentes de degradação, principalmente a água. As infiltrações, além de comprometer a estanqueidade dos sistemas de fachadas, podem levar ao surgimento de outras manifestações patológicas, como manchas, bolor, corrosão de armaduras, descolamento de placas cerâmicas e eflorescências (THOMAZ, 2003).

A identificação de trincas e fissuras normalmente é feita pela inspeção visual, porém devido a entrada de água nestas cavidades e as variações higrotérmicas resultantes, sua identificação também é possível por meio da termografia (HOSLT, 2000; BAO; WANG, 2017; BAUER *et al.*, 2018).

### **2.4.3 Degradação das Placas Cerâmicas**

As placas cerâmicas têm suas propriedades e características alteradas de acordo com a ação dos agentes de degradação. Dentre as principais manifestações patológicas nas placas cerâmicas há os danos mecânicos (rupturas e danos às superfícies), as eflorescências e as criptofloreências, e o gretamento (SILVESTRE; BRITO, 2008; ANTUNES, 2010).

Os danos mecânicos normalmente são resultado de impactos acidentais e/ou o assentamento inadequado do revestimento. As falhas de preenchimento no assentamento das placas cerâmicas podem gerar pontos frágeis, que rompem quando expostas a esforços mecânicos ou solicitações térmicas (SABATTINI; BARROS, 2001; FIORITO, 2009).

As eflorescências e criptofloreências são resultado da ação da umidade junto a presença de cristais de sal nas superfícies (eflorescência) ou em seu substrato (criptofloreências). A água infiltra por capilaridade, reage com os sais que são transportados até a superfície externa. Ao chegar à superfície, a água evapora e os sais são depositados na superfície externa, provocando manchas. Apesar do caráter estético, essas manchas indicam a entrada de umidade no material (CÓIAS, 2009).

Dentre os tipos de eflorescência, há o engobe que é fruto do processo de produção das placas cerâmica. Sua presença não compromete a utilização da placa, desde que não interfira na aderência entre a placa e a argamassa de assentamento (FIORITO, 2009).

A presença de umidade nas placas cerâmicas pode causar expansão por umidade – EPU. A NBR 13818 (ABNT, 1997) define um limite máximo para a expansão de umidade da placa. As variações de volume, causadas pela presença de água, podem levar à perda de aderência, o fissuramento da placa e de outros componentes (GASTALDINI; SICHIERI, 2010).

O gretamento é uma manifestação patológica típica das placas cerâmicas. Consiste no aparecimento de fissuras no esmalte da placa cerâmica, com espessuras similares a um

fio de cabelo. O gretamento pode ser resultado de falhas nos processos produtivos da placa cerâmica, ou pelos esforços a que estão submetidas, como os causados pelas variações de umidade e/ou temperatura (FIORITO, 2009).

#### 2.4.4 Degradação das Juntas

Os rejuntas, ou juntas de assentamento, normalmente, são compostos por argamassas a base de cimento, eles têm função de auxiliar o desempenho estético, estabelecer regularidade superficial, contribuir à estanqueidade dos revestimentos de fachadas, permitir a difusão de vapor d'água e proporcionar o alívio de tensões nos revestimentos externos (JUNGINGER; MEDEIROS, 2004; ZURBRIGGEN; HERWEGH, 2015).

Os rejuntas são materiais porosos e frágeis, portanto dentre as principais manifestações patológicas estão: a fissuração, a lixiviação, a fadiga e a contaminação química e biológica. A falha nestes componentes pode estar relacionada às condições de exposição, a má aplicação ou detalhamento do material, assim como a movimentações excessivas ou falhas de outros sistemas (JUNGINGER; MEDEIROS, 2004).

Há também juntas de movimentação e de dessolidarização, que normalmente essas são compostas por selantes de base orgânica. Essas juntas proporcionam o alívio de tensões causadas por movimentações, por solicitações mecânicas e térmicas, e por tensões presentes na interface de diferentes materiais. Assim como o rejunte, essas juntas devem preservar a estanqueidade e os fatores estéticos das fachadas (RIBEIRO; BARROS, 2010).

As juntas de movimentação e de dessolidarização, normalmente são selantes de base orgânica e têm a radiação ultravioleta como principal agente de degradação. A ação da radiação pode alterar a coloração, gerar um enrijecimento e fissurações nas juntas.

Além do envelhecimento causado pela radiação solar, falhas nos processos de execução, como a falta de limpeza no substrato ou a falta do tarugo de polipropileno, podem levar à degradação precoce, como o descolamento do selante ou a ruptura do selante, em ambos os casos comprometendo a estanqueidade. A Figura 4 ilustra os principais tipos de falhas nas juntas de movimentação, tanto causadas por falhas nos materiais como na execução (BELTRAME; LOH, 2009; RIBEIRO; BARROS, 2010).

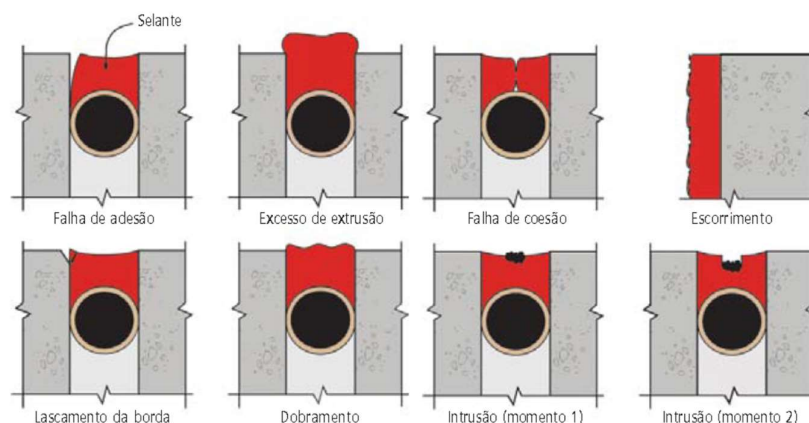


Figura 4 – Principais tipos de falhas em juntas

Fonte: (FEMME; OLIVEIRA, 2003 apud BELTRAME; LOH, 2009 p.47)

A degradação das juntas, sejam as de movimentação ou os rejuntas, pode resultar em diversas manifestações patológicas, dentre elas estão: o manchamento do revestimento

externo, as eflorescências, a perda da estanqueidade do sistema de vedação, as rupturas localizadas e, em casos mais graves, o destacamento dos revestimentos de fachadas (CÓIAS, 2009).

A identificação destas anomalias normalmente pode ser feita por inspeção visual, todavia devido à dificuldade de identificar danos visíveis nos primeiros anos, é comum fazer a abertura das juntas para verificar se sua execução atende as recomendações descritas na NBR 13755 (RIBEIRO; BARROS, 2010; ABNT, 2017).

## **2.5 ENSAIOS E MEDIÇÕES EM CAMPO DE FACHADAS**

A presença de manifestações patológicas indica a degradação dos sistemas, no entanto há casos onde o sistema não apresenta anomalias visíveis, mas já houve uma redução significativa do seu desempenho. Portanto, além das vistorias, é fundamental que sejam realizados ensaios para avaliar o desempenho, por meio de parâmetros e critérios estabelecidos em norma, e para quantificar agentes de degradação que atuam sobre o sistema.

Os ensaios são procedimentos sistematizados, que por meio de parâmetros e referências, visam permitir a avaliação e comparação dos resultados da coleta de dados (ASCE, 2014). Portanto, esses ensaios contribuem aos estudos dos mecanismos de degradação e por sua vez à capacidade de diagnosticar e prever a evolução das manifestações patológicas (BS ISO, 2006).

Para viabilizar a comparação de dados medidos e assegurar a relevância dos dados coletados é fundamental a realização de um planejamento, o qual considere os efeitos sinérgicos de fatores relevantes à realização do ensaio e a análise de resultados (BS ISO, 2006; NERY, 2013; ASCE, 2014).

Nesta etapa o inspetor deve ser capaz de selecionar o ensaio que se adeque ao objetivo da inspeção. Para a escolha dos ensaios em fachadas deve-se considerar a dificuldade de acesso, a extensão da fachada e a representatividade da coleta em relação ao sistema.

Devido a estas dificuldades, muitos inspetores restringem os procedimentos de coleta à inspeção visual. Porém, em alguns casos, a falta de ensaios mais precisos ou detalhados podem comprometer o diagnóstico e as etapas consequentes (CÓIAS, 2009; FLORES-COLEN, 2009; RIOS; ZANONI, 2018).

Além disso, diferentes ensaios podem ser utilizados para atingir um mesmo objetivo. Assim, a escolha entre ensaios “similares” pode ser baseada em diferentes fatores e limitações, como: custo, dificuldade de acesso, garantia de integridade material, segurança, tempo de ensaio e até mesmo a privacidade dos usuários (FLORES-COLEN, 2006; RIOS; ZANONI, 2018).

A Figura 5 lista os principais ensaios e métodos de medição para inspeção de fachadas *in loco*, as técnicas são divididas de acordo com os princípios de análise (mecânico, ultrassônico, térmicos, hidrodinâmico, químico, elétrico e sensoriais).

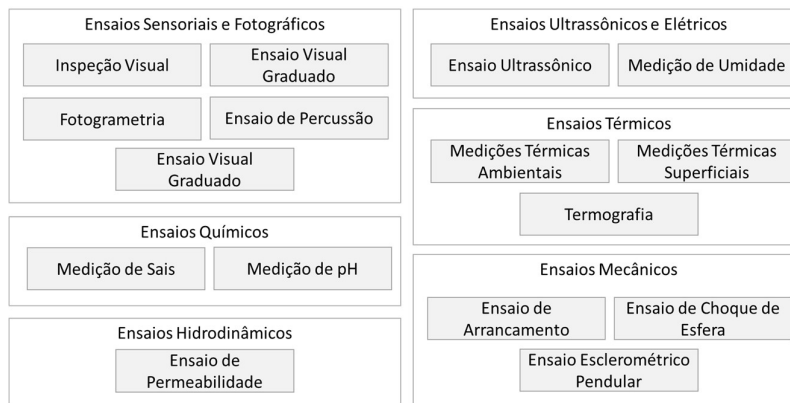


Figura 5 – Principais ensaios e técnicas de medição de campo para inspeção de fachadas  
Baseado em: (FLORES-COLEN, 2009)

A tipologia ou princípio do ensaio determinam os resultados e suas possíveis inferências. Desta forma, para a aplicação dos ensaios, o inspetor deve compreender os mecanismos físico-químicos que determinam os procedimentos do ensaio em questão, pois a falta da compreensão destes mecanismos pode causar falhas na execução do ensaio e/ou na análise dos resultados (CÓIAS, 2009).

Para os ensaios de desempenho térmico é fundamental a caracterização das condições de exposição climáticas. Os agentes climáticos atuam não apenas nos mecanismos de degradação, mas também no comportamento higratérmico destes sistemas, de modo a influenciar na definição do período de coleta, na análise de resultados e na comparação entre outros casos (BS ISO, 2006; SORGATO *et al.*, 2012; BRITO *et al.*, 2017).

### 2.5.1 Ensaios e Medições Térmicas

Este trabalho tem como proposta o desenvolvimento de ferramentas que auxiliem a realização de ensaios e medições térmicas, portanto este item descreve as principais técnicas e os fatores que influenciam a realização dos ensaios e sua análise de resultados.

Dentre as possíveis aplicações das medições térmicas há a avaliação de conforto térmico dos usuários, a verificação das solicitações térmicas nos sistemas construtivos e a quantificação de agentes de degradação. A primeira normalmente utiliza medições ambientais, e está relacionada a outros agentes, como a umidade e o vento. As demais normalmente realizam a medição na superfície ou no próprio material (HAAGNERUD, 2004; WYPYCH, 2013; LAMBERTS *et al.*, 2013).

Para a realização de ensaios e medições em sistemas de fachadas existentes é fundamental que o inspetor observe e caracterize as ações climáticas (radiação solar, temperatura do ar, umidade, nebulosidade, vento), pois além de influenciar nos mecanismos de degradação, o clima age nos mecanismos de troca de calor e de umidade, podendo influenciar na execução dos ensaios e em seus resultados (LAMBERTS *et al.*, 2013; ASCE, 2014).

Além disso, o inspetor deve observar as propriedades do sistema (absortância, transmitância, detalhes construtivos), o uso e a ocupação (equipamentos, pessoas, atividades) (LAMBERTS *et al.*, 2013).

Devido ao comportamento cíclico sazonal do clima, a realização de estudos preliminares aos ensaios, considerando os fatores citados, permite uma melhor escolha dos locais e períodos de medição (BAUER *et al.*, 2016a).

Em relação aos equipamentos de medição, há os termômetros de contato, os termômetros de ambiente e os termômetros infravermelhos.

Os termômetros de contato e de ambiente, normalmente, utilizam termopares ou termorresistências como sensores de medição. A principal diferença dos termômetros de ambiente é o isolamento do sensor em relação a outros agentes como a radiação solar e o vento (BS EN ISO, 2001).

Os termômetros infravermelhos medem a temperatura da superfície por meio de radiômetros, que quantificam a radiação infravermelha emitida pelas superfícies. A temperatura da superfície é definida pela radiação emitida e a emissividade da superfície. Além disso, o inspetor deve identificar a parcela da radiação externa que incide na superfície e é refletida, denominada de temperatura refletida (HOLST, 2000).

Deste modo, para as medições térmicas com termômetros infravermelhos é fundamental a definição da emissividade e da temperatura refletida, conforme os métodos descritos nas normas ASTM E1933 – “Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers” (ASTM, 2014c) e ASTM E1862 – “Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers” (ASTM, 2014b) respectivamente, pois esses fatores podem influenciar significativamente nos resultados obtidos (MALDAGUE, 1993).

### **2.5.2 Medições Térmicas Ambientais**

As medições térmicas ambientais medem a energia, em forma de calor, contida no ar. Essas medições são úteis tanto para a verificação das condições de conforto térmico, quanto para o estudo dos mecanismos de degradação, principalmente os que sofrem influência da temperatura ambiental (ASHRAE, 2017; HAAGENRUD, 2004).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) define procedimentos para a avaliação de desempenho térmico de edificações por meio de medições *in loco*. O inspetor deve atender as especificações de equipamentos e de montagem dos sensores, descritos na ISO 7726 (BS EN ISO, 2001), cujo ponto de coleta deve estar localizado no centro do cômodo, a 1,20 m do piso.

Para a avaliação de desempenho térmico em uma edificação existente a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) recomenda avaliar as seguintes situações:

- No verão: o recinto deve possuir uma janela voltada para Oeste e uma parede exposta voltada para o Norte;
- No inverno: o recinto deve possuir uma janela voltada para o Sul e uma parede exposta voltada para o Leste;

Caso as orientações das janelas não correspondam a estas especificações, deve-se priorizar as unidades que tenham o maior número de paredes expostas ao clima externo e cujas janelas tenham orientações próximas às especificadas.

Para medições em unidades que façam parte de um conjunto habitacional, em unidades térreas, ou edifícios de múltiplos pisos, o inspetor pode escolher uma ou mais unidades que possibilitem a avaliação de desempenho. No caso de edifícios com múltiplos pisos, deve-se selecionar as unidades do último andar.

Para a definição do período de medição, o dia tomado deve corresponder a um Dia Típico de Projeto, de Verão ou Inverno, precedido por um ou mais dias com características semelhantes. A NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) ainda recomenda que se trabalhe com uma

sequência de três dias e que a análise se concentre nos dados do último dia. A norma define a medição ao longo dos três dias, porém não há recomendações em relação aos horários de medição.

Sorgato *et al.* (2012), Zanoni (2015) e Brito *et al.* (2017) levantaram dificuldades na aplicação deste método, onde observaram a baixíssima frequência de Dias Típicos de Projeto, ou similares. Além disso, os autores observaram a falta de procedimentos para caracterização e análise de dias isolados com condições diferentes dos Dias Típicos de Projeto.

### **2.5.3 Medições Térmicas Superficiais**

As medições térmicas superficiais permitem o estudo do comportamento dos sistemas de revestimento e suas solicitações, por meio do estudo das dilatações térmicas e de interações com demais agentes de degradação. Além disso, essas medições podem ser utilizadas para identificação de manifestações patológicas, principalmente as quais alterem o comportamento higrotérmico dos sistemas nas áreas degradadas (HOPPER *et al.*, 2012; FOX *et al.*, 2015; BAUER *et al.*, 2016a).

Nos sistemas de fachadas há variações térmicas entre as superfícies externa e interna, nos diferentes pontos da fachada, nas proximidades de elementos estruturais, de áreas sãs e degradadas e de passagem de equipamentos, entre outros.

Portanto, caso o estudo tenha o objetivo de analisar o comportamento do sistema, o inspetor deve ser capaz de identificar os pontos representativos do comportamento do sistema, como áreas mais quentes, mais frias ou de maior oscilação térmica (HOSLT, 2000; WYPYCH, 2013).

Caso a medição tenha o objetivo de identificar as áreas degradadas, o inspetor deve compreender os fatores que levam às variações de temperaturas entre diferentes regiões do sistema e ser capaz de diferenciar as variações causadas por manifestações patológicas (HOSLT, 2000; VIÉGAS, 2015; BAUER *et al.*, 2016a).

### **2.5.4 Termografia**

Os recentes avanços tecnológicos e científicos resultaram em um avanço da termografia no campo da inspeção de fachadas. A termografia consiste na formação de uma imagem do espectro térmico por meio de um conjunto de medições pontuais do espectro infravermelho da superfície. Nas inspeções prediais de fachadas, esta técnica permite identificar falhas e danos nos sistemas de fachadas (MALDAGUE, 1993; BARREIRA, 2004; CÓIAS, 2009).

A termografia pode ser classificada em termografias ativa e passiva. As termografias ativas correspondem às medições em elementos que estão sujeitos ao aquecimento ou resfriamento controlados pelo operador. Enquanto na termografia passiva, o operador não tem controle sobre as condições de exposição, como a radiação e a temperatura do ar (EDIS *et al.*, 2014).

Para os sistemas de fachadas, devido a sua geometria e exposição aos agentes climáticos, normalmente, é utilizada a termografia passiva. Deste modo, a compreensão dos agentes que influenciam o comportamento higrotérmico das fachadas é fundamental, tanto em relação à variação ao longo do dia, quanto às diferentes orientações (FOX *et al.*, 2015; BAUER *et al.*, 2016a).



Dentre as principais aplicações da termografia, há a verificação do isolamento térmico, normatizado pela ASTM C1060 (ASTM, 2015) – “*Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings*”, e a identificação e quantificação de manifestações patológicas, onde há diferentes métodos para análise, variando tanto na definição dos fatores determinantes ao contraste térmico, quanto em relação ao tipo de manifestação patológica a ser identificada (EDIS et al., 2014; FREITAS et al., 2014; FOX et al., 2015; BAUER et al., 2016a; 2016b; 2016c).

Para a verificação do isolamento térmico, a ASTM C1060 (ASTM, 2015) recomenda que sejam verificadas as cavidades próximas às aberturas das fachadas, como portas, janelas, dutos, porém sem ignorar possíveis pontes térmicas nos panos das fachadas. Para isto, são definidas condições adequadas para a realização da termografia, como estas apresentadas a seguir:

- É necessário que durante o ensaio haja uma diferença entre as temperaturas interna e externa ( $\Delta T \geq 10^\circ\text{C}$ ) no período de 4 horas antes do ensaio; estas temperaturas devem ser medidas preferencialmente em relação às superfícies.
- Não deve haver radiação solar direta nas superfícies em estudo por aproximadamente 3 horas antes do ensaio. Esse tempo pode ser reduzido quando a diferença de temperaturas interna e externa for superior a  $10^\circ\text{C}$ .
- Deve-se evitar a realização de medições com ventos superiores a 6,7 m/s, assim como a fachada deve estar seca, pois a umidade e a ação do vento podem comprometer a análise de resultados.
- O inspetor deve ser capaz de identificar e analisar quaisquer outros fatores que possam influenciar as medições, como variações térmicas causadas pela geometria, pela vegetação, por equipamentos, etc.

Para a identificação das manifestações patológicas, a termografia deve ser capaz de identificar e diferenciar as regiões com manifestações patológicas das regiões sãs. A diferenciação entre essas áreas é feita pela análise das regiões com variações nos fluxos de calor, nas quais o inspetor deve ser capaz de identificar o fator que levou a esta alteração, dentre esses fatores há as manifestações patológicas, a ocupação, os detalhes construtivos, entre outros (BAUER; PAVÓN, 2017).

Em busca de identificar os melhores períodos para identificação das áreas degradadas, diversos estudos buscam verificar os fatores que influenciam no comportamento térmico das manifestações patológicas. Dentre os fatores listados há a diferença entre a temperatura superficial e o ambiente externo, o fluxo de calor, a troca de direção do fluxo de calor, a radiação solar, entre outros (HOLST, 2000; BARREIRA et al., 2015; FREITAS, 2005; FREITAS et al., 2013; BAUER et al., 2014; 2016a; 2016b; 2016c; EDIS et al., 2013; 2014; FOX et al., 2014; USAMENTIAGA et al., 2014).

A partir destes estudos, foram selecionadas algumas diretrizes para a definição de procedimentos e análise de resultados:

- A direção do fluxo de calor interfere na interpretação dos resultados, como por exemplo, áreas com descolamento na fase de aquecimento apresentam uma temperatura superior às áreas sãs, e ao inverter o fluxo, a superfície demora mais a esquentar que as demais áreas.
- A inversão da direção do fluxo de calor é um momento favorável à identificação de manifestações patológicas. Enquanto nos momentos de temperaturas superficiais máximas, as manifestações normalmente já estão em equilíbrio térmico.

- A orientação da fachada é determinante para a definição de períodos de medição, visto que a orientação influencia diretamente na incidência solar.
- A irradiância solar direta possui divergências entre os autores, para alguns, o pico de radiação e sua incidência direta aumentam a diferença de temperaturas nas áreas degradadas e favorece sua identificação. Enquanto para outros, a irradiância solar direta contribui para a ocorrência de temperatura refletida e, nos momentos onde a radiação incidente é máxima, as manifestações patológicas já estão em equilíbrio térmico com as áreas adjacentes.
- Devido aos processos evaporativos, a umidade contribui para identificação de diversas manifestações patológicas, dentre elas as infiltrações, fissuras, trincas e descolamentos. Por outro lado, a umidade pode maquiar os resultados, dificultando a quantificação das áreas degradadas.

## 2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPITULO

As inspeções prediais são uma série de procedimentos para a verificação das condições de uso e operação da edificação e seus sistemas, dentre eles os sistemas de fachadas. As inspeções balizam a manutenção da edificação e podem levantar dados para o estudo da vida útil e demais atividades relacionadas às condições de uso e operação, como as avaliações de desempenho, as perícias, entre outras.

Para a inspeção dos sistemas da edificação deve-se considerar a função do sistema e seus componentes e suas condições de exposição. Em relação aos sistemas de fachadas, esses sistemas têm função de delimitar o ambiente interno, controlando a entrada de agentes do meio externo para o ambiente interno, garantindo a segurança dos usuários e contribuindo com a estética da edificação e com o conforto dos usuários.

Assim, esses sistemas podem ser avaliados com base no seu estado de conservação e diferentes requisitos e critérios de desempenho, como estanqueidade do sistema, riscos aos usuários e influência sobre a habitabilidade no ambiente interno. Deste modo, com o intuito de tornar essa verificação objetiva e padronizada, são definidos diferentes tipos de ensaios para a avaliação do estado de conservação e critérios de desempenho.

Dentre os diferentes tipos de ensaio, os ensaios térmicos permitem a verificação dos sistemas de fachadas tanto em relação ao seu comportamento de seus componentes, como identificação de manifestações patológicas nos revestimentos, identificação de falhas de isolamento térmico e de estudo das dilatações térmicas, assim como em relação ao conforto térmico do usuário, por meio da medição das temperaturas ambientais.

Para os ensaios térmicos, devido à exposição climática dos sistemas de fachadas e dos diversos fatores que influenciam as trocas de calor e umidade nestes sistemas, é fundamental realizar o levantamento das condições de ensaio. Esses estudos devem analisar a eficiência do método, definir os pontos e períodos de coleta dos ensaios.

Nestes estudos é fundamental avaliar a ação climática sobre a fachada, visto que os agentes climáticos possuem comportamento sazonal e não há controle sobre sua intensidade e frequência. O desconhecimento sobre a ação do clima nos mecanismos de trocas de calor e umidade podem tornar os resultados irrelevantes ou até mesmo induzir o inspetor ao erro.

O capítulo a seguir apresenta uma revisão sobre a influência das condições de exposição climáticas no comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas.



### 3 CONDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO CLIMÁTICAS E O COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DOS SISTEMAS DE FACHADAS

#### 3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As condições de exposição climáticas, por meio das variações no comportamento higrotérmico e da ação direta de seus agentes de degradação, afetam a durabilidade e o desempenho das edificações e de seus sistemas. Portanto tais condições devem ser consideradas ao longo do ciclo de vida da edificação, desde a fase de projeto à fase operação e de uso (BS ISO, 2007; BS, 2012).

Para a análise das condições de exposição climáticas é fundamental que seja definida a escala para sua realização, pois ela define os fatores a serem levantados, seus procedimentos de coleta e os procedimentos de análise (HAAGENRUD, 2004). Desta forma, a Figura 6 representa as diferentes escalas de análise do clima.

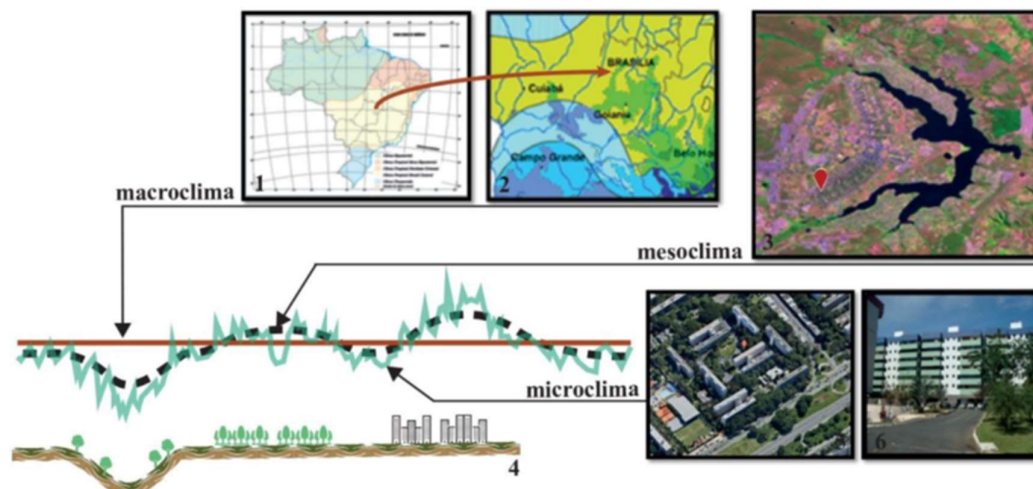


Figura 6 – Escalas espaciais do clima no contexto de Brasília-DF  
Fonte: (ZANONI, 2015)

No âmbito deste trabalho, o estudo se concentra na escala do clima local, que representa o mesoclima, quando a configuração é dada pelos aspectos específicos da localização, onde as características da região são fortemente influenciadas pelos fatores climáticos. Os climas locais representam zonas metropolitanas e cidades, e são caracterizados pelo relevo, vegetação, tipo de superfície do solo e de ocupação urbana, entre outros (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; LAMBERTS *et al.*, 2013; ROMERO, 2015).

Para os sistemas de fachadas, devido sua alta exposição aos agentes climáticos, o estudo do comportamento higrotérmico resultante da ação climática contribui para a definição de diretrizes construtivas, para os procedimentos de inspeção e manutenção, e o estudo dos processos de degradação (ZANONI, 2015; FLORES-COLEN, 2009).

Em função da variação dos agentes climáticos ao longo do tempo e do espaço, o uso de classificações para caracterização destes agentes contribui ao estudo dos mecanismos de degradação, ao estudo da vida útil e à definição de diretrizes para medições em campo (BS ISO, 2008; SORGATO *et al.*, 2012; ABNT, 2013a; BRITO *et al.*, 2017).

Porém, pela complexidade da análise dos fluxos de calor e umidade nos sistemas de fachadas e pelo número de fatores envolvidos, como a ação climática, a composição do sistema, a orientação, a geometria da edificação, entre outros, o uso de ferramentas computacionais se torna extremamente útil. As simulações do comportamento higrotérmico de fachadas reduzem significativamente os custos e tempo necessários, especialmente, quando comparadas às medições em campo (HENSEN; LAMBERTS, 2011).

Portanto, para o desenvolvimento desta pesquisa, foi necessário a compreensão de alguns tópicos dentro dos estudos das condições de exposição climáticas, tais como, a variação dos agentes climáticos, as classificações climáticas e o comportamento higrotérmico de fachadas.

## **3.2 VARIAÇÃO DOS AGENTES CLIMÁTICOS**

Os agentes climáticos variam de forma cíclico sazonal, ou seja, definem um certo padrão de variação ao longo do tempo, seja numa escala diária ou ao longo do ano. Apesar da intensidade dos agentes serem resultados de diversas interações, ainda é possível inferir um padrão e identificar os fatores preponderantes (WYPYCH, 2013).

Portanto, este tópico visa descrever o comportamento dos principais agentes climáticos relativos ao comportamento higrotérmico de fachadas, ao longo do dia e do ano, em relação às condições de exposição.

### **3.2.1 Umidade do Ar**

A ação da água, sob diversas formas e mecanismos, é um dos principais agentes de degradação de fachadas. Em sistemas porosos, a presença de umidade além de acelerar os processos de degradação, influenciam o comportamento higrotérmico dos sistemas, podendo afetar as condições de habitabilidade e conforto dos usuários (CÓIAS, 2009).

O teor de umidade no ar é resultado dos processos evaporativos e de evapotranspiração. A umidade relativa pode ter variações abruptas em um mesmo local causada pela ação de outros agentes climáticos; assim como, variações abruptas entre locais próximos, causados pela composição do ambiente (VAREJÃO-SILVA, 2006; ROMERO, 2015).

Ao longo do dia é comum que a umidade relativa do ar varie de acordo com a circulação do ar, da temperatura e da radiação solar. Porém, dentre esses fatores, há uma preponderância em relação à temperatura do ar, pois de acordo com o aumento da sua temperatura, há uma redução na sua umidade (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Em relação à Brasília, a variação de umidade relativa do ar ao longo do ano possui forte relação com os períodos de chuva, conforme descrito por Zanoni (2015).

*“Como Brasília está localizada no Planalto Central, em uma região de Cerrado e longe das grandes massas de água, a umidade relativa do ar está fortemente ligada à sazonalidade da precipitação e aos ciclos diários de temperatura, além do armazenamento e transporte de vapor de água nas camadas superiores da atmosfera”*

*(ZANONI, 2015).*

No estudo do comportamento higrotérmico de fachadas, a umidade do ar é determinante para os processos de molhagem e secagem das fachadas, visto que a vapor d'água tende a ir da região mais úmida para a mais seca. Além disso, o vapor d'água contido no ar pode

condensar nas superfícies da fachada, isso ocorre quando atinge o ponto de orvalho (HENRIQUES, 2016).

### 3.2.2 Precipitação e Chuva Dirigida

A precipitação ocorre quando um conjunto de partículas de água, provenientes dos processos evaporativos na superfície terrestre, se aglomeram nas nuvens e caem em formas de gotas d'água ou de gelo. Para que as precipitações ocorram, deve haver uma concentração de vapor de água suficiente para desencadear este processo (VAREJÃO-SILVA, 2006).

As precipitações são fonte de umidade para a superfície terrestre, sendo capazes de influenciar a umidade relativa do ar. Deste modo, durante os períodos chuvosos há uma tendência ao aumento da umidade relativa do ar, especialmente em regiões afastadas de grandes corpos hídricos (WYPYCH, 2013).

Em Brasília, devido à forte sazonalidade demarcada pela pluviometria ao longo do ano, é possível subdividir o ano em 2 períodos, caracterizados como os períodos seco e chuvoso. Essa subdivisão foi utilizada para o estudo da ação da chuva nos sistemas de fachadas por Zanoni (2015), onde foram definidos dois períodos com o mesmo tamanho temporal, o período seco definido pelos meses de abril a setembro; e o período chuvoso definido pelos meses de outubro a março.

A precipitação isolada, sem considerar a ação conjunta com o vento, é ineficaz para o estudo de fachadas, pois a chuva que incide nas fachadas - a chuva dirigida - é resultado de um processo combinado da ação do vento com a precipitação (LACY, 1976 *apud* HAAGENRUD, 2004, p.22; BAUER, 1987).

A partir desta afirmativa, foram desenvolvidos diversos estudos sobre a ação da chuva dirigida nos sistemas de fachadas. Dentre os aspectos observados destacam-se: a incidência nos sistemas de fachadas não ser homogênea, que ocorre uma parábola de molhagem, onde a molhagem inicia no topo da fachada e depois essa umidade é distribuída pelo sistema; a influência de fatores da geometria, da composição da fachada e de seu entorno nos processos de molhagem pela chuva dirigida; assim como, os processos de degradação relacionados a esta molhagem (MELO JUNIOR, 2010; BLOCKEN *et al.*, 2013; ZANONI, 2015; ZANONI *et al.*, 2018).

Devido às dificuldades para medição da incidência da chuva dirigida em fachadas, foram desenvolvidas ferramentas computacionais, que tornaram o estudo destes fenômenos mais acessíveis (BLOCKEN *et al.*, 2013).

Em função da influência das chuvas nos processos evaporativos, normalmente, se evita realizar medições e ensaios térmicos durante as chuvas ou em períodos próximos. Porém, alguns estudos usam o efeito evaporativo para identificação de manifestações patológicas (HOSLT, 2000).

### 3.2.3 Temperatura do Ar

A temperatura do ar consiste na quantidade de energia térmica contida no ar. Apesar da radiação solar ser a principal fonte de energia térmica do planeta, a temperatura do ar é resultado da incidência da radiação solar sobre as superfícies (ASHRAE, 2017).

A temperatura do ar tem um comportamento cíclico diário. Normalmente as temperaturas do ar mínimas diárias ocorrem antes do nascer do sol, se elevam ao longo do dia, chegam às máximas 2 horas depois da passagem sobre o meridiano do observador e depois

resfriam até um novo nascer do sol. Os processos convectivos podem causar variações abruptas na temperatura do ar, como a chegada de massas de ar e a presença de chuvas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Ao longo do ano, as variações na temperatura do ar têm forte relação com a radiação solar global e com a composição da atmosfera. Estes fatores determinam a energia incidente na superfície terrestre e a fração de calor retida na atmosfera terrestre (ASHRAE, 2017).

Na escala do mesoclima, a temperatura do ar sofre influência da latitude e da distância em relação às grandes massas de água, pois o aumento da umidade do ar, causado por essas grandes massas de água, reduz a amplitude térmica; já a latitude tem relação com a incidência solar, e nas regiões próximas aos polos há uma redução desta incidência, de modo a reduzir as temperaturas, conforme fica evidenciado na Figura 7 (MORELLI, 2008).

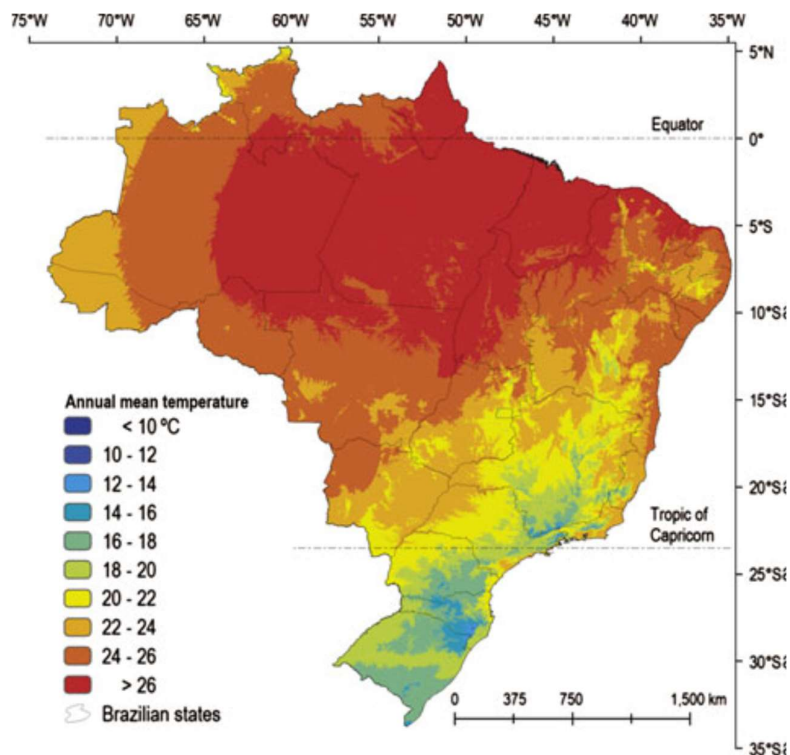


Figura 7 – Temperaturas médias anuais do Brasil.

Fonte: (ALVARES *et al.*, 2013).

No contexto do comportamento higrotérmico de fachadas, a temperatura do ar é determinante ao transporte de calor nos elementos de vedação, visto que o fluxo de calor sempre flui do elemento, ou ambiente mais quente, para o mais frio. A temperatura do ar também influencia os processos de secagem, pois fornece energia para os processos evaporativos (HENRIQUES, 2016).

Durante as medições e ensaios térmicos é recomendável o registro da temperatura do ar ao longo da coleta de dados. Para a avaliação de desempenho térmico, definida na NBR 15575-1 (ABNT, 2013b), a temperatura do ar é parâmetro utilizado para avaliar o dia de medição em relação aos Dias Típicos de Projeto.

### 3.2.4 Amplitude Térmica

A amplitude térmica é a diferença entre a temperatura máxima e mínima do ar ao longo das 24 horas de um dia. Em geral, as regiões tropicais possuem amplitudes térmicas maiores que as observadas em latitudes não tropicais. Outro aspecto a ser observado é que ambientes com baixas umidades relativas proporcionam amplitudes térmicas muito maiores que as encontradas em ambientes úmidos (WYPYCH, 2013).

Deste modo, a presença de grandes corpos hídricos, devido a suas grandes massas e capacidades térmicas, gera uma inércia térmica que reduz a amplitude térmica ao longo dos dias e do ano. Porém, as variações térmicas podem ser causadas por outros fatores, como os movimentos de massas de ar e a incidência solar. Estes fatores também podem resultar em grandes amplitudes térmicas (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Em Brasília, observou-se que a amplitude térmica diária é maior durante os meses de seca, o que evidencia a influência da umidade na amplitude térmica. Além disso, devido a seu afastamento de grandes corpos hídricos, identificou-se as amplitudes térmicas diárias como variáveis a serem consideradas nos mecanismos de degradação dos sistemas de fachadas em revestimento em argamassa para Brasília (ZANONI, 2015).

### 3.2.5 Radiação Solar

A radiação solar é a principal fonte de energia térmica do planeta e ao atingir a atmosfera terrestre começa a sofrer interferências causadas pela absorção e reflexão das partículas que compõem a atmosfera. Ao chegar na atmosfera terrestre, a radiação solar é separada em 3 parcelas: radiação direta, radiação difusa e radiação refletida, representadas na Figura 8 (LAMBERTS *et al.*, 2013).

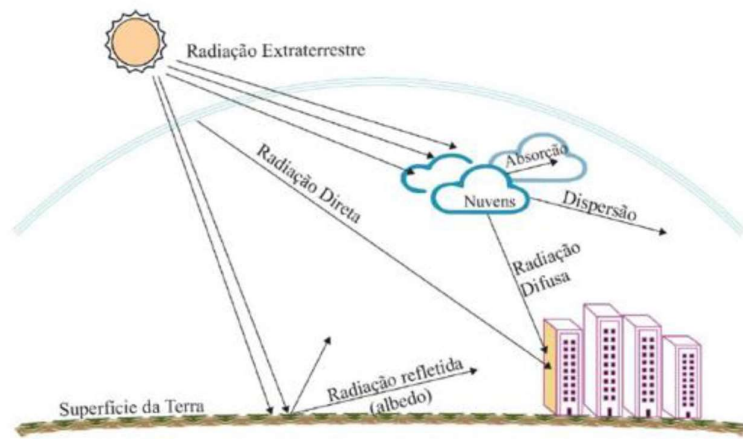


Figura 8 – Componentes da Radiação Solar  
Fonte: (ZANONI, 2015)

A radiação solar direta é a principal fonte de calor e luz das edificações. Esta parcela é resultado da radiação extraterrestre que atravessa a atmosfera e incide diretamente nas superfícies. (LAMBERTS *et al.*, 2013).

A radiação difusa é a parcela resultante do espalhamento na atmosfera terrestre. O espalhamento é causado por nuvens e partículas da atmosfera, que alteram a direção da radiação solar por meio de processos de difusão, reflexão e absorção (ASHRAE, 2017).

A radiação refletida é a parcela dos raios solares que incide na superfície e são refletidos na atmosfera. O albedo representa o poder refletor da superfície e é determinado pela



relação entre a radiação refletida e a incidente. Deste modo, quanto maior o albedo, maior a radiação difusa nas superfícies adjacentes (ASHRAE, 2017).

Apesar da radiação solar possuir um comportamento cíclico, sua intensidade é resultado de um grande número de variáveis, tais como a distância da Terra em relação ao Sol, número de horas de Sol, ângulo de incidência solar e a interferência da atmosfera. Deste modo, há uma certa dificuldade para estimar a radiação incidente em períodos mais curtos como horas e dias (FORTUNA *et al.*, 2016).

Para o estudo da radiação solar é fundamental a compreensão do movimento translacional da Terra em relação ao Sol, pois este movimento determina a distância da Terra em relação ao Sol e o ângulo de incidência solar. Essa distância da Terra em relação ao Sol altera a intensidade da radiação que chega à atmosfera; enquanto, o ângulo de incidência é resultado da trajetória solar para determinada latitude, orientação e inclinação da superfície incidente (LAMBERTS *et al.*, 2013).

Nos dados meteorológicos é comum a utilização da variável radiação global horizontal. Esta variável corresponde à radiação solar que incide na superfície horizontal para determinado local. Ao longo do ano, sua variação é causada pela distância em relação ao sol e pela composição atmosférica ao longo dos meses, como nuvens, umidade relativa, poluição. Em relação ao seu comportamento diário, a radiação global horizontal tende a ser máxima próximo ao meio-dia, quando o ângulo de incidência é praticamente perpendicular ao horizonte, e mínima ao nascer e pôr do sol, devido a inclinação dos raios incidentes (WYPYCH, 2013; ZANONI, 2015).

Para o estudo de fachadas, em função da trajetória solar, as suas diferentes orientações recebem quantidades distintas de radiação solar. A trajetória solar é determinada pelo período do ano e a latitude da edificação, e para seu estudo a carta solar (Figura 9) se apresenta como uma ferramenta eficaz (LAMBERTS *et al.*, 2013).

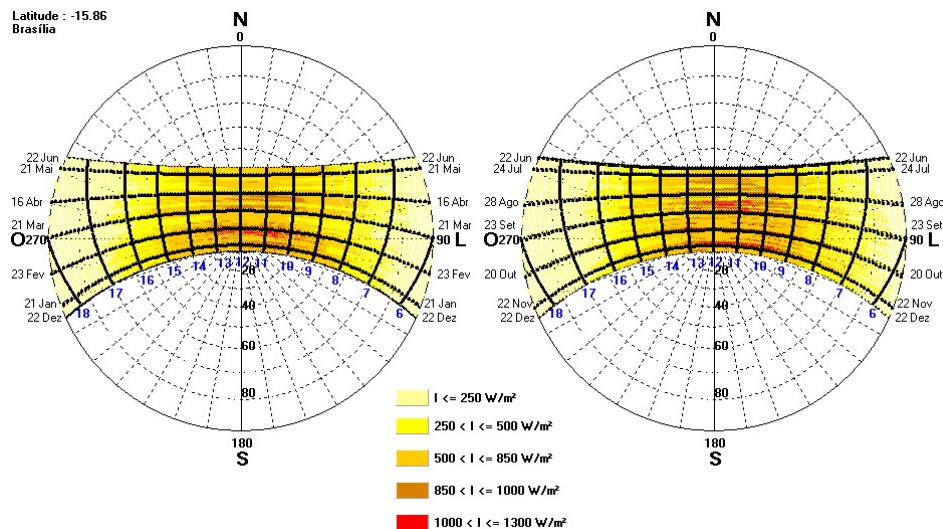


Figura 9 – Carta Solar de Brasília-DF com a Radiação Global Horizontal  
Fonte: (SOL-AR 6.2)

Em Brasília, Nascimento (2016) analisou a irradiância para as 4 orientações cardeais de fachadas, comparando o período seco (abril a setembro) e o período chuvoso (março a outubro).

O autor observou que ao longo do ano e durante o período seco houve uma predominância da irradiância solar na fachada Norte, porém, no período chuvoso esta fachada obteve a menor irradiância solar média. Já a fachada Sul, apesar de possuir a menor média ao longo do ano, possui uma irradiância solar média superior a observada na fachada Norte no período chuvoso (NASCIMENTO, 2016).

Por fim, as fachadas Leste e Oeste apresentaram comportamentos similares e constantes ao longo do ano. Porém, conforme apresentado na carta solar, a irradiância na fachada Leste ocorre durante a manhã, enquanto na fachada Oeste a incidência solar ocorre no período da tarde.

### 3.2.6 Nebulosidade

A nebulosidade é o índice que representa a fração do céu coberta pelas nuvens. As nuvens são determinantes no balanço radioativo da Terra, por seu topo ser um importante refletor da radiação solar (WYPYCH, 2013).

A formação de nuvens ao longo do ano está relacionada à evaporação, que por sua vez está relacionada à radiação solar. Portanto, em meses com alta radiação há uma maior nebulosidade, enquanto, naqueles de radiação amena, há uma redução na nebulosidade (MOOJEN *et al.*, 2012; ZANONI, 2015).

A medição da nebulosidade é feita por observação visual e indicada por oitavos ou décimos de céu encoberto. Para condições de céu claro, é atribuído o valor zero a nebulosidade. Portanto, para a classificação da nebulosidade, a Tabela 2 apresenta a relação entre os valores observados visualmente e as classificações de nebulosidade (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Tabela 2 – Classificação de Nebulosidade

Condição de Céu	Classificação
0 a 3,9	Céu claro (baixa nebulosidade)
4,0 a 6,9	Céu parcialmente nublado (média nebulosidade)
7,0 a 10,0	Céu encoberto (alta nebulosidade)

Fonte: (WOLLMANN; SARTORI, 2006 *apud* ZANONI, 2015, p.40)

Em Brasília, nos meses de junho, julho, agosto, contidos no período seco há uma predominância de céu claro, conforme apresentado na Tabela 3. No período seco, a baixa nebulosidade é acompanhada da baixa pluviometria e de baixas umidades relativas médias mensais (ZANONI, 2015).

Tabela 3 – Média mensal da nebulosidade da série de 2001-2013 para Brasília-DF

	Período Chuvoso	Período Seco
Janeiro	8,1	
Fevereiro	7,5	
Março	7,3	
Abril		6,0
Maiο		4,8
Junho		3,5
Julho		3,0
Agosto		2,8
Setembro		4,4
Outubro	6,6	
Novembro	8,0	
Dezembro	8,0	
Média do Período	7,6	4,1
Anual	5,8	

Fonte: (ZANONI, 2015)

Em seus estudos, Moojen *et al.* (2012) identificou que além da nebulosidade causar a redução da irradiância solar, seu aumento altera a proporção da radiação difusa em relação à radiação direta, conforme representado na Figura 10(a).

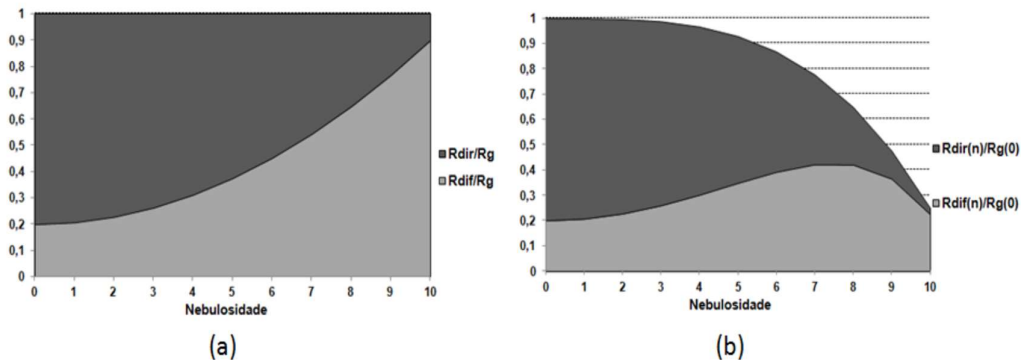


Figura 10 – Composição da radiação global em função da nebulosidade; (a) sob mesma nebulosidade; (b) em relação à condição de céu claro

Fonte: (MOOJEN *et al.*, 2012).

Onde:

$R_{dir}$  – Radiação Solar Direta

$R_{dif}$  – Radiação Solar Difusa

$R_g$  – Radiação Solar Global Horizontal

A figura 10(a) ilustra as parcelas de radiação direta e difusa em dias de mesma nebulosidade e conclui que o aumento da nebulosidade eleva a parcela de radiação difusa. Na figura 10(b) fica evidenciado que a partir do aumento da nebulosidade há uma redução da radiação solar global horizontal (MOOJEN *et al.*, 2012).

Durante ensaios e medições térmicas de campo, é necessário caracterizar a nebulosidade, visto que as nuvens podem atenuar a radiação solar reduzindo não apenas a temperatura do ar, mas também a temperatura superficial nos componentes da edificação.

### 3.2.7 Vento

Os ventos são causados pelas diferenças de pressão, resultado do aquecimento diferenciado da atmosfera e influenciados pelo movimento de rotação da Terra (VAREJÃO-SILVA, 2006; ZANONI, 2015).

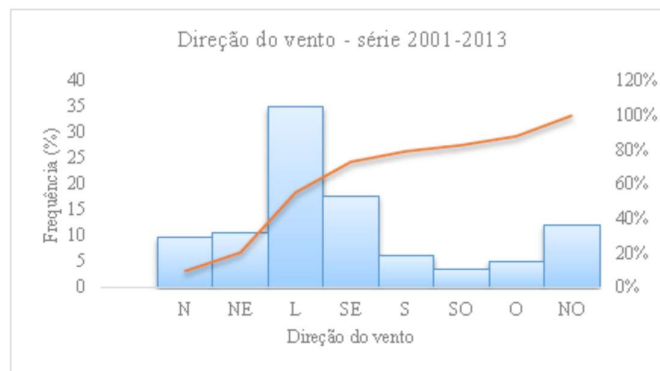


Figura 11 - Frequência de ocorrência da direção dos ventos da série 2001-2013 em Brasília-DF

Fonte: (ZANONI, 2015)

O vento atua tanto no balanço térmico como nos mecanismos de molhagem e secagem das fachadas por meio dos processos convectivos somado a outros agentes. Sua incidência nas fachadas pode atuar como dissipador de calor e de vapor d'água superficial, assim como, sua ação em conjunto com as precipitações resulta na chuva dirigida, o principal mecanismo de molhagem dos sistemas de fachadas (LAMBERTS *et al.*, 2013; ZANONI, 2015).

Para a caracterização do vento é fundamental identificar sua velocidade e direção. Porém devido a sua variação contínua, sua representação normalmente está relacionada à frequência ou à predominância, como representadas na Figura 11.

Para o estudo do vento no microclima, além da velocidade e da direção, devem ser consideradas a influência da vegetação, das edificações e outros obstáculos naturais ou artificiais (ROMERO, 2015).

Para as medições *in loco*, a escala anemométrica internacional de Beaufort (Quadro 3) é uma ferramenta útil, pois, por meio de indicadores visuais é possível estimar a velocidade e a categoria do vento (CEPAGRI, 2017).

Quadro 3 – Escala anemométrica internacional de Beaufort

Escala Beaufort	Categoria	Velocidade do Vento		Indicações Visuais na Superfície Terrestre
		m/s	km/h	
0	Calma	0,0 – 0,2	<1	Não se nota o menor deslocamento nos mais leves objetos. Folhas de árvores sem movimento. A fumaça sobe verticalmente.
1	Aragem	0,3 – 1,5	1 – 5	A direção do vento é indicada pelo desvio da fumaça, mas não pelos cata-ventos.
2	Brisa leve	1,6 – 3,3	6 – 11	Sente-se o vento no rosto. Folhas das árvores são levemente agitadas. Cata-ventos comuns são agitados.
3	Brisa fraca	3,4 – 5,4	12 – 19	Bandeiras leves começam a se estender. As folhas das árvores e os pequenos arbustos ficam em movimento.
4	Brisa moderada	5,5 – 7,9	20 – 28	Movem-se os pequenos galhos das árvores, poeira e pedaços de papéis.
5	Brisa forte	8,0 – 10,7	29 – 38	Árvores pequenas e folhagem oscilam. Surgem ondas com cristas nas superfícies dos lagos.
6	Vento fresco	10,8 – 13,8	39 – 49	Galhos grandes das árvores são agitados. Ouve-se o assovio produzido pelo vento ao passar pelos fios telegráficos. Torna-se difícil usar o guarda-chuva.
7	Vento forte	13,9 – 17,1	50 – 61	Árvores inteiras oscilam. Torna-se difícil caminhar contra o vento.
8	Ventania	17,2 – 20,7	62 – 74	Galhos de árvores são quebrados. Impossível andar contra o vento.
9	Ventania forte	20,8 – 24,4	75 – 88	Ocorrem pequenos danos em edificações (chaminés e telhas são arrancadas).
10	Tempestade	24,5 – 28,4	89 – 102	Árvores são derrubadas. Danos consideráveis nas edificações.
11	Tempestade violenta	28,5 – 32,6	103 – 117	Ocorrem grandes destruições.
12-17	Furacão/ Tornado	>32,7	>118	Fenômenos extremos.

Fonte: ZANONI (2015)

Para Brasília, conforme representado na Figura 11, há uma predominância de frequência dos ventos na direção Leste. Porém, ao analisar o período chuvoso, a direção predominante passa ser na direção Noroeste. Em relação à velocidade do vento, os ventos

entre 1,6 e 3,3 m/s são predominantes tanto em relação ao período do dia como ao período do ano (seco ou chuvoso) (ZANONI, 2015).

Ao longo do dia, Zanoni (2015) observou que há uma frequência maior de ventos fortes do que em relação à noite, tanto para o período seco quanto para o período chuvoso, conforme representado na Figura 12.

Para a realização de ensaios térmicos em campo, como a termografia, devido a forte influência do vento nos processos convectivos, principalmente nas camadas superficiais, deve-se evitar períodos com ventos fortes ou rajadas de vento (ASTM, 2015).

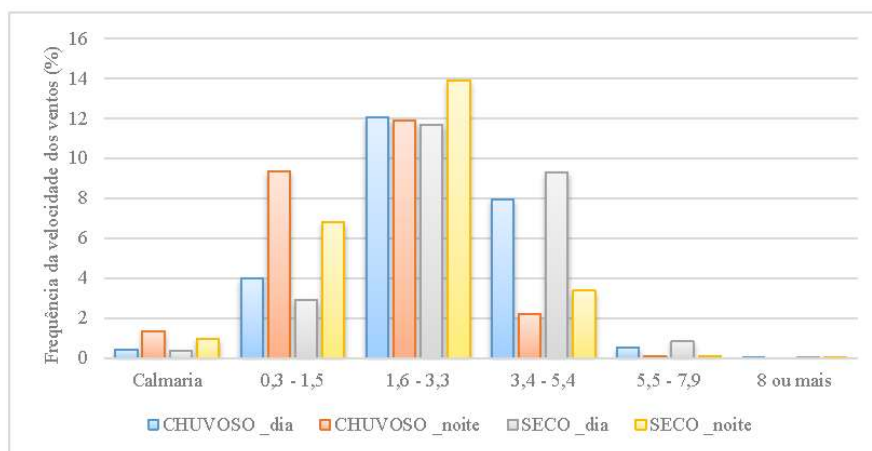


Figura 12 – Frequência da velocidade dos ventos (%) das classes de velocidade (m/s), da série de 2011-2013 para Brasília-DF  
Fonte: (ZANONI, 2015)

### 3.3 CLASSIFICAÇÕES CLIMÁTICAS

As classificações climáticas têm como objetivo facilitar a análise do clima e permitir a definição de diretrizes para os respectivos climas. As classificações são definidas com base na análise dos agentes climáticos e podem variar tanto na escala espacial como na escala temporal (NÓBREGA, 2010; LAMBERTS *et al.*, 2013; ALVAREZ *et al.*, 2013).

Os principais elementos do clima (temperatura, precipitações, radiação solar, vento) e suas variações ao longo dos espaços têm servido de base para o estabelecimento de classificações climáticas nos meios urbanos (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; LAMBERTS *et al.*, 2013).

O uso de agentes isolados para a classificação climática se mostra ineficiente. Como por exemplo, o uso da temperatura de forma isolada, que apesar de ser uma das principais diretrizes para classificação climática, se mostra ineficaz para diferenciar as regiões úmidas, secas ou desérticas (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007).

Assim, para que as classificações permitam uma subdivisão climática eficaz, a temperatura do ar deve ser relacionada a outros fatores, como: pluviometria, umidade, fauna, flora, distância relativa ao mar, período de estações frias e quentes, sazonalidade das massas de ar, entre outros (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007; NÓBREGA, 2010).

Por outro lado, o aumento do número de parâmetros não necessariamente suprirá as expectativas dos pesquisadores e/ou usuários. Deste modo, o uso e desenvolvimento de novas classificações climáticas deve buscar atingir um objetivo específico, e cabe ao

usuário ou pesquisador compreender sua composição e suas limitações (NÓBREGA, 2010).

O uso de classificações climáticas na construção civil, seja para estudo dos mecanismos de degradação, para a definição de diretrizes de projeto ou para definição de parâmetros para realização de ensaios ou testes, têm o objetivo de permitir a definição de diretrizes e de análises de acordo com a ação do clima sobre as edificações e seus componentes (HAAGENRUD, 2004; LAMBERTS *et al.*, 2013).

Assim, o Quadro 4 apresenta algumas das principais classificações climáticas no âmbito da construção civil, identificando sua escala, critérios de classificação e objetivo:

Quadro 4 – Principais classificações climáticas aplicadas à construção civil

Classificação Climática	Escala	Crítérios	Objetivo
Zoneamento Bioclimático Brasileiro (NBR 15220)	Mesoclima	- Estratégias de condicionamento baseado na temperatura e umidade do ar	Definir diretrizes de projeto para o condicionamento térmico passivo
Dia Típico (NBR 15575-1)	Clima Local	- Temperatura do Ar; - Temperatura de Bulbo Úmido; - Radiação Solar; - Nebulosidade;	Caracterizar um dia de referência para decisões de projeto.
Classificação Ambiental (EOTA)	Mesoclima	- Temperatura do Ar; - Agentes Químicos; - Radiação Solar;	Caracterizar agressividade ambiental para previsão de vida útil de produtos da indústria da construção europeia.
Classificação Climática Global (BS ISO 15.686)	Mesoclima	- Precipitação/Umidade Relativa; - Temperatura do Ar;	Método simplificado de classificação climática para o estudo da vida útil na construção civil.
Classificação Climática (ASHRAE 169)	Clima Local	- Temperatura do Ar - Precipitação	Definir diretrizes para o condicionamento térmico.
Classificação das Condições de Exposição de Fachadas (FLORES-COLEN)	Mesoclima e Microclima	- Radiação Solar - Temperatura do Ar; - Umidade Relativa; - Precipitação; - Vento; - Agentes Químicos; - Características da Edificação	Classificar a agressividade ambiental para fachadas em argamassa.

Fonte: (ABNT, 2005c; 2013b; BS ISO, 2006; ASHRAE, 2013; FLORES-COLEN, 2009)

Dentre os aspectos observados no Quadro 4, a escolha dos critérios de classificação e da escala de análise relaciona principalmente com o objetivo da classificação e a influência dos agentes climáticos em determinada escala. Os itens a seguir apresentam e discutem as diferentes classificações climáticas apresentadas.

### 3.3.1 Zoneamento Bioclimático Brasileiro

A NBR 15220-3 (ABNT, 2005c) propõe o Zoneamento Bioclimático Brasileiro – ZBB como uma ferramenta para a definição de recomendações técnico-construtivas, adaptadas ao clima, para a otimização do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social.

O Zoneamento Bioclimático Brasileiro é dividido em 8 zonas, conforme apresentado na Figura 13. As zonas são definidas com base nas estratégias de condicionamento térmico, propostas pela carta bioclimática de Givoni (1992).

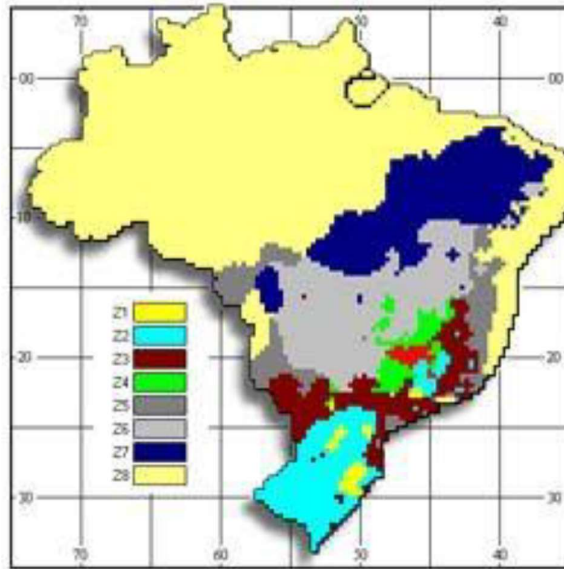


Figura 13 – Mapa e abordagem do Zoneamento Bioclimático Brasileiro  
 Fonte: (ABNT, 2005c)

Apesar do Zoneamento Bioclimático Brasileiro utilizar dados climáticos consolidados, como as Normais Climatológicas, diversos autores apontam a ocorrência de variações climáticas significativas dentro de uma mesma zona bioclimática. Em alguns casos, estas variações podem comprometer a eficiência das diretrizes propostas. Neste sentido, em busca de tornar a classificação mais precisa, algumas pesquisas propõem a revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro (BRITO *et al.*, 2017a; MARTINS *et al.*, 2011; RORIZ, 2012a; SILVA, 2013).

Martins *et al.* (2011) fizeram estudos do desempenho térmico de cidades contidas da Zona Bioclimática Brasileira 8. Em seus resultados foram identificadas variações significativas entre as cidades, reforçando a necessidade da revisão da classificação climática de algumas cidades.

A partir disso, foram feitas outras propostas para revisão do Zoneamento Bioclimático Brasileiro, como a apresentada por Roriz (2012a). Sua proposta utilizou dados horários históricos, período de 2000 a 2010, de estações automáticas e convencionais do INMET, onde o Zoneamento Bioclimático passaria a ter 20 classificações, baseadas nas temperaturas médias anuais e a amplitude térmica mensal. Todavia, esta proposta não foi consolidada na NBR 15575-1 (ABNT, 2013b).

No contexto do Distrito Federal, Silva (2013) observou que além da classificação do zoneamento bioclimático (ZBB 4), a região ainda poderia ser subdividida em 3 subcategorias climáticas. Esta subdivisão seria feita com base nos critérios propostos pela classificação de Köppen e pela proposta revisão do ZBB proposta por Roriz (2012a) e teria como objetivo tornar as diretrizes de desempenho térmico mais precisas.

### 3.3.2 Dia Típico de Projeto

Os Dias Típicos são utilizados tanto para balizar o desenvolvimento de projetos e a verificação do conforto térmico por meio de simulações, como para a realização de medições e ensaios de campo (ABNT, 2013b).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) define os Dias Típicos, de Verão e de Inverno, como dias reais caracterizados pela média do período dos últimos 10 anos para os dias mais

quente e mais frio do ano, respectivamente, considerando as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento e radiação solar incidente em superfície horizontal.

Para a avaliação de desempenho térmico em campo, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013b) define os Dias Típicos das principais cidades brasileiras e caso uma cidade não possua tal referência, a norma permite que se utilize os Dias Típicos de cidades próximas.

A definição dos dias típicos é feita com base nos níveis de exigência, que quanto maiores, menores são as porcentagens de frequência acumulada permitidas (1%, 2,5%, 5%, 10%). Ou seja, o aumento do nível de exigência resulta em uma menor probabilidade de encontrar tais condições em campo (SIQUEIRA *et al.*, 2005).

Deste modo, apesar do aumento dos níveis de exigência resultarem em projetos com maior eficiência térmica, devido suas diretrizes estarem baseadas em dias extremos, algumas pesquisas apontam que esse aumento do nível de exigência resulta em uma baixíssima frequência de ocorrência de dias similares, praticamente inviabilizando a realização de ensaios e medições de campo com os parâmetros descritos na NBR 15575-1 (SORGATO *et al.*, 2012; ZANONI, 2015; BRITO *et al.*, 2017).

Em Brasília, Zanoni (2015) analisou uma amostra de dados climáticos de 2001 a 2013, e comparou com os parâmetros de dias típicos definidos por norma, apresentados na Tabela 4.

Ao comparar os dados dos Dias Típicos de Projeto com sua amostra, a autora identificou uma baixíssima frequência de ocorrência tanto para os dias típicos de verão, quanto para os de inverno, com frequências inferiores a 1%. Outros autores também identificaram as mesmas dificuldades para outros locais do Brasil (SORGATO *et al.*, 2012; BRITO *et al.*, 2017).

Tabela 4 – Dados dos dias típicos de verão e inverno para Brasília-DF

Dia Típico	Temperatura máxima diária (°C)	Temperatura mínima diária (°C)	Amplitude diária de temperatura (°C)	Temperatura de Bulbo Seco (°C)	Radiação solar (Wh/m <sup>2</sup> )	Nebulosidade (Décimos)
Verão	31,2		12,5	20,9	4625	4
Inverno		10,0	12,2	14,8	4246	3

Fonte: (ABNT, 2013b)

Desta forma, Brito *et al.* (2017) defendem que durante as medições em campo, o inspetor deve ser capaz de caracterizar as condições climáticas encontrados em campo, principalmente quando diferem dos Dias Típicos, e identificar a frequência de ocorrência destas condições, permitindo-se definição do grau de rigor da avaliação.

### 3.3.3 Classificação Climática Global da BS ISO 15686-7

A classificação climática global da BS ISO 15686-7 (BS ISO, 2006) é um método simplificado para caracterização das condições climáticas ao estudo da vida útil. A classificação utiliza dados anuais, preferencialmente de uma série histórica ou uma normal climatológica. Esta classificação ainda permite a classificação em conjunto com outras condições de exposição, como a poluição e a maresia.

Este método consiste em apenas duas variáveis: temperatura e umidade, ou precipitação, como representado no Quadro 5.



Quadro 5 – Classificação Climática Global

	Classificação	Condições
Chuva/umidade	Seco	Precipitação anual de 400mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am <50%.
	Sub-úmido	Precipitação anual entre 400 e 800mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am entre >50% e <70%.
	Úmido	Precipitação anual entre 800 e 1300mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am entre >70% e <80%.
	Muito úmido	Precipitação anual acima de 1300mm ou Umidade relativa média anual às 9:00 am acima de <80%.
Temperatura	Frio	A Temperatura mensal mínima é <-5°C por mais de 2 meses ao ano Ou a temperatura mensal máxima para o mês mais quente é menor que 10°C
	Temperado	A Temperatura mensal mínima é <-5°C por não mais que um mês ao ano E a temperatura mensal máxima é >35°C para no máximo um mês do ano.
	Quente	A temperatura mensal máxima é >35°C para mais de um mês do ano.

Fonte: (BS ISO, 2006)

Esse método é recomendado para uma abordagem preliminar, pois para os estudos de vida útil é necessária a caracterização de diversos agentes e fatores, conforme é apresentado em métodos mais precisos, como o método fatorial da ISO 15686-7 (BS ISO, 2006), a classificação das condições de exposição apresentadas pela NBR 6118 (ABNT, 2014b) ou a classificação apresentada por FLORES-COLEN (2009).

Deste modo, esta classificação busca ser abrangente e de fácil aplicação, cabendo ao pesquisador ou usuário aprofundar suas análises de acordo com o sistema ou material em estudo.

### 3.3.4 Classificação Climática da Organização Europeia de Aprovação Técnica

A Organização Europeia de Aprovação Técnica – EOTA propõe subdivisões climáticas para caracterização do clima. Essas subdivisões são definidas com base nas condições de verão e inverno, de acordo com as temperaturas máximas e mínimas, e a altitude, conforme apresentado no Quadro 6.

O objetivo desta classificação é a definição de diretrizes e normas para produtos e serviços da indústria da construção civil europeia.

Quadro 6 – Classificação Climática Europeia

Zona	Condições de Inverno	Condições de Verão
A	Invernos frios Meses com temperatura raramente acima de 0°C Temperatura diária média menor que 0°C Temperaturas Mínimas podem ser menor que -30°C	Temperaturas Máximas raramente acima de 30°C
B	Invernos Moderados Neve frequente Temperatura diária média entre 0°C e 5°C Temperaturas Mínimas podem ser menor que -20°C	Temperaturas Máximas ocasionalmente acima de 30°C
C	Invernos quentes Pouca frequência de neve Temperatura diária média acima de 5°C	Temperaturas Máximas frequentemente acima de 30°C. Ocasionalmente acima de 40°C
Regiões Montanhosas acima de 1000m	Idem Zona A	Idem Zonas B ou C

Fonte: (BS ISO, 2006)

Assim como a classificação climática proposta pela ISO 15.686-7 (BS ISO, 2006), esta classificação possui uma abordagem preliminar e deve-se optar por métodos mais precisos para estudos mais aprofundados.

### 3.3.5 Classificação Climática da ASHRAE/ANSI 169

A classificação climática da ASHRAE tem como objetivo auxiliar a definição de diretrizes para o aumento do desempenho térmico das edificações. Esta classificação se baseia no número de dias ao longo do ano que demandam o condicionamento do ambiente interno, tanto para o aquecimento (*Heating Degree-days*) quanto para o resfriamento (*Cooling Degree-days*) (ASHRAE, 2013). A partir do número de dias, o local é classificado entre as 9 faixas de classificação (Figura 14), as quais possuem diretrizes específicas.

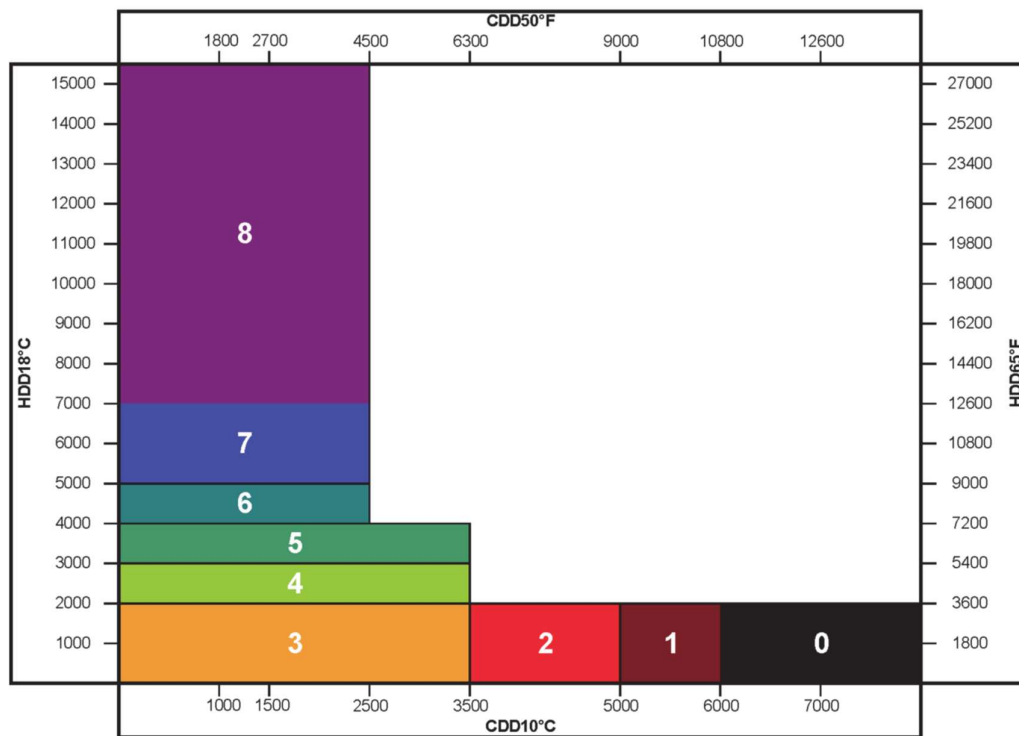


Figura 14 – Zonas de classificação térmica de acordo com o número de dias de aquecimento e de resfriamento

Fonte: (ASHRAE, 2013).

Onde:

CDD – *Cooling Degree-days* – Dias de Resfriamento

HDD – *Heating Degree-days* – Dias de Aquecimento

Esta proposta é voltada para os estudos de conforto térmico, tornando sua abordagem bem definida, porém restrita a estes estudos. Deste modo, é uma classificação com baixa aplicabilidade para as inspeções prediais.

### 3.3.6 Classificação das Condições de Exposição de FLORES-COLEN (2009)

A classificação proposta por Flores-Colen (2009) caracteriza as condições de exposição dos sistemas de fachadas em argamassa para o estudo da vida útil destes sistemas. Deste modo, a autora além de considerar a intensidade dos agentes de degradação, relaciona outros fatores, como a localização, a orientação e a altura do edifício.

A Tabela 5 classifica as condições de exposição. Nela, a escala de análise é dividida em parâmetros do macroclima e do microclima, e são classificadas em: favoráveis, moderadas, desfavoráveis e severas.

Tabela 5 – Tabela de classificação das condições de exposição para fachadas rebocadas

	Agentes	Condições			
		Favoráveis	Moderadas	Desfavoráveis	Severas
Mesoclima	Radiação Global (kW.h/m <sup>2</sup> )	<1400	1400-1550	1600-1650	>1700
	Insolação (horas/ano)	<2200	2300-2600	2700-3000	>3100
	Temperatura média no Inverno (°C)	>6	4-6	1-3	<1
	Nº de dias com temperatura < 0°C	<2	1-15	15-40	>40
	Temperatura média do mês mais quente do verão (°C)	<23	23-29	29-32	>32
	Nº de dias com temperatura >25°C	<20	20-100	100-120	>120
	Nº de dias com temperatura >30°C	<5	5-15	15-30	>30
	Nº de dias com geada	<5	5-30	30-60	>60
	Umidade Relativa do Ar às 9 AM (%)	<65	65-75	75-85	>85
	Precipitação total (mm)	<600	600-1000	1000-1600	>1600
	Nº de dias com precipitação ≥1mm	<50	50-75	75-100	>100
	Pressão (p) e depressão (dp) do vento (Pa)	p<900; dp<1100	p≥900; dp≥1100	p>1700; dp>2000	p>2300; dp>2800
	Salinidade atmosférica diária (mg/m <sup>2</sup> /dia)	<15	15-60	60-300	>300
	Nível de poluente SO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> /dia)	<10	10-80	60-200	>200
	Valor de pH da água da chuva	>5,5	-	-	<5,5
	Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) na água subterrânea (mg/l)	<200	≥200 e ≤600	≥600 e ≤3000	>3000 e ≤6000
	pH da água subterrânea	>6,5	≥5,5 e ≤6,5	≥4,5 e ≤5,5	≥4 e <4,5
	CO <sub>2</sub> agressivo na água subterrânea (mg/l)	<15	≥15 e ≤40	≥40 e ≤100	>100 até à saturação
	Amônia (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) na água subterrânea (mg/l)	<15	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> ) na água subterrânea (mg/l)	<300	≥300 e ≤1000	>1000 e ≤3000	>3000 até à saturação	
Condições propícias para o desenvolvimento de microrganismos biológicos	Análise das condições (pH, temperatura, luz, umidade, nutrientes) necessárias para cada tipo de colonização (bactérias, fungos, líquenes, musgos)				
Microclima	Índice de chuva incidente (m <sup>2</sup> /s)	0-3	3-5	5-7	>7
	Classe de exposição aos choques/impactos	E6	E5-E4	E3-E2	E1
	Temperatura Superficial	Nenhuma probabilidade de condensação	Pouca probabilidade de condensação	Alguma probabilidade de condensação	Pontes térmicas
	Altura	Baixa (<6m)	Média (6 a 18m)	Elevada (18 a 28m)	Elevada (>18m)
	Orientação da Fachada	NE, E, SE	S, SO	O, NO	N, inclinada ou horizontal
Detalhes arquitetónicos e Elementos adjacentes	Condições excepcionais de proteção	Boas condições de proteção	Parcialmente protegida	Nenhuma condição de proteção	

Fonte: (FLORES-COLEN, 2009).

Um aspecto interessante da classificação proposta por Flores-Colen (2009) é a inclusão de características da edificação no estudo da influência do clima, onde são considerados fatores como a orientação das fachadas, a altura da edificação e os detalhes arquitetónicos.

Em outros estudos sobre os mecanismos de degradação das fachadas são apontados alguns fatores que vão influenciar na interação entre a edificação e o clima, como a absorvância superficial, a transmitância térmica, as propriedades higroscópicas entre outras (ZANONI, 2015; NASCIMENTO, 2016).

### 3.4 COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO DE FACHADAS

Devido os sistemas de fachadas serem componentes da envoltória e estarem sujeitos às trocas de calor e umidade causadas pelo ambiente externo e seus agentes climáticos, o estudo do comportamento higrotérmico permite uma melhor compreensão dos processos de degradação. Além disto, podem ser úteis à definição de diretrizes para realização de medições e ensaios (ZANONI, 2015; NASCIMENTO, 2016, BAUER *et al.*, 2016a).

A transferência de calor e umidade nos sistemas de fachadas é regida pelas diferenças de temperatura e umidade, tanto entre os ambientes como entre as camadas que os compõem. Esses fenômenos são interdependentes e ocorrem de maneira simultânea, portanto deve-se haver a compreensão de ambos os fenômenos (FREITAS, 1992; ZANONI, 2015).

Além das condições de exposição e as características da edificação, a composição do sistema de fachada é determinante no comportamento higrotérmico, seja pela troca de uma das camadas ou até mesmo a modificação das propriedades de um único material. Essas variações são abordadas em diversos estudos, como:

- Al-Neshawy (2013) estudou fachadas de concreto aparente, o autor monitorou as variações de temperatura e umidade dos sistemas e as relacionou com as manifestações patológicas encontradas.
- Zanoni (2015) estudou a influência do período do ano, das orientações e diferentes composições de fachadas em argamassa, a pesquisadora variou tanto as propriedades higrotérmicas da argamassa como as do substrato.
- Nascimento (2016) estudo a influência do clima na degradação de sistema de fachadas em revestimento cerâmico, onde verificou, dentre os aspectos observados, a influência da absorvância superficial na degradação do sistema.

Em todos os estudos citados, pela dificuldade da coleta de dados ou pelo objetivo de calibrar os modelos computacionais, houve o uso da simulação computacional. Porém, para o uso destas ferramentas nestes sistemas deve-se compreender as propriedades que influenciam os mecanismos de transmissão térmica e de transporte de umidade.

Neste sentido, o Quadro 7 apresenta as propriedades higrotérmica básicas para o estudo do comportamento higrotérmico.

Quadro 7 - Propriedades higrotérmicas básicas

Propriedade	Descrição	Símbolo	Unidade
Coefficientes de transferência de água líquida	Coefficientes de difusão hídrica, utilizados pelo WUFI (IBP, 2017), definidos com base no teor de umidade do material em diferentes umidades relativas. São definidos os coeficientes para sucção (DWs) e redistribuição (DWw).	DW	m <sup>2</sup> /s
Coefficiente de absorção de água líquida (coeficiente de capilaridade)	A propriedade de um material em absorver água líquida por sucção em função do tempo.	A <sub>valor</sub>	g/dm <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ou kg/m <sup>2</sup> . h <sup>1/2</sup>
Coefficiente de permeabilidade	Quantidade de vapor d'água que passa pela superfície do material em determinada unidade de tempo, quando expostos a um gradiente de pressão.	δ	kg/m.s.Pa
Fator de resistência à difusão do vapor de água	Definido pela relação entre a permeabilidade ao vapor d'água em relação à permeabilidade a água.	μ	[-]
Espessura da camada de ar de difusão equivalente	Representa uma espessura de ar que possui a mesma resistência de difusão de vapor que a camada de material	Sd	m
Porosidade aberta	Volume total de vazios em determinada unidade de volume adotada.	ε	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Densidade de massa aparente	Relação entre a massa e o volume do material.	ρ	kg/m <sup>3</sup>

(Cont.) Quadro 7 - Propriedades higrotérmicas básicas

Propriedade	Descrição	Símbolo	Unidade
Condutividade térmica	Propriedade física de um material homogêneo e isotrópico, no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de $1\text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro.	$\lambda$	$\text{W/m.K}$
Calor específico	Quantidade de energia necessária para variar 1 Kelvin de temperatura em um quilograma de massa de determinado material.	$c$	$\text{J/kg.K}$
Capacidade térmica	Quantidade de energia necessária para variar 1 Kelvin de temperatura em um sistema.	$C$	$\text{kJ/m}^2.\text{K}$
Coefficiente de absorção (Absortância)	Parcela de radiação solar incidente absorvida por uma superfície.	$\alpha$	$[-]$
Emissividade	Proporção de radiação emitida por uma superfície quando comparada a um corpo negro à mesma temperatura.	$\varepsilon$	$[-]$
Resistência térmica de elementos ou componentes	A resistência térmica é diretamente proporcional à sua espessura e inversa à sua condutividade térmica. $R=e/\lambda$	$R$	$\text{m}^2.\text{K/W}$
Resistência térmica superficial	Resistência térmica da camada de ar superficial de um componente que transfere calor por radiação e/ou convecção.	$R_s$	$\text{m}^2.\text{K/W}$
Resistência térmica total	Somatório do conjunto das resistências térmicas correspondentes ao componente e as camadas de ar superficiais.	$R_T$	$\text{m}^2.\text{K/W}$
Transmitância térmica	É definida pelo inverso da resistência térmica total,	$U$	$\text{W/m}^2.\text{K}$

Fonte: (ABNT, 2005b; HENRIQUES, 2016; ASHRAE, 2017; BS EN, 2007; IBP, 2017);

### 3.4.1 Transmissão de Calor

A transmissão de calor é resultado da diferença de temperatura entre duas regiões. Este gradiente faz com que a energia térmica se mova da região de temperatura mais elevada para a região de temperatura mais baixa. Este processo é chamado de fluxo de calor e flui sempre no sentido do ponto de maior para o de menor temperatura (ASHRAE, 2017).

Dentre as principais características a serem observadas há a cor da superfície externa, que influenciará a absortância, e o tipo de bloco ou substrato, que pode determinante à condutividade térmica e à capacidade térmica do sistema. As variações nos revestimentos externos modificam a absortância e a emissividade.

A transmissão de calor é composta pelos mecanismos de condução, radiação, convecção (LAMBERTS *et al.*, 2013). A NBR 15220 (ABNT, 2005a) lista as principais propriedades de transmissão de calor para os sistemas de fachadas e coberturas, estas são condutividade térmica, densidade e capacidade calorífica.

A condução é a única transferência de energia térmica que ocorre dentro de sólidos, como no caso de uma parede ou de uma laje maciça. A dinâmica em que essa transferência térmica ocorre depende de propriedades como condutividade, densidade e capacidade calorífica dos materiais que compõem o elemento. (ASHRAE, 2017).

A convecção é resultado do contato molecular entre corpos, porém um desses corpos deve ser fluido, como por exemplo o ar ou a água. No primeiro momento, devido ao contato entre moléculas, há uma troca de calor por condução. Em seguida, as variações de

densidade, causadas pela variação térmica, geram um movimento convectivo no fluido (ASHRAE, 2017).

Dentre as propriedades das fachadas que influenciam as trocas de calor por processos convectivos se destaca a rugosidade da superfície, porém esses processos são resultados de diversos fenômenos, como os gradientes de pressão, que podem ser causados por diferenças de temperatura e pela ação do vento (LAMBERTS *et al.*, 2016).

As transmissões térmicas por radiação ocorrem por meio da capacidade dos corpos de emitirem e de absorverem energia térmica por meio de ondas eletromagnéticas, sejam curtas (radiação solar) ou longas (radiação emitidas por corpos). Esse mecanismo não necessita de um meio para propagação, podendo ocorrer até mesmo no vácuo (LAMBERTS *et al.*, 2013).

A radiação térmica incidente nas fachadas pode ser refletida, absorvida e transmitida (esta última ocorre apenas em elementos translúcidos). O somatório das parcelas refletidas ( $\rho$ ), absorvidas ( $\alpha$ ) e transmitidas ( $\tau$ ) deve corresponder ao total da radiação térmica incidente, conforme apresentado na Equação 1.

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (\text{Eq. 1})$$

Nos sistemas de fachadas, as principais propriedades relacionadas à troca de calor por radiação são a absorptância da superfície externa ( $\alpha$ ) e a emissividade ( $\epsilon$ ) do material de revestimento.

Tabela 6 - Valores de absorptância e emissividade para diversos materiais e cores diferentes

Tipo de Superfície		Absortância ( $\alpha$ )	Emissividade ( $\epsilon$ )
Chapa de alumínio (nova)		0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)		0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova)		0,25	0,25
Caiação nova		0,12/0,15	0,9
Concreto aparente		0,65/0,80	0,85/0,95
Telha de barro		0,75/0,80	0,85/0,95
Tijolo aparente		0,65/0,80	0,85/0,95
Reboco claro		0,30/0,50	0,85/0,95
Revestimento asfáltico		0,85/0,98	0,90/0,98
Vidro incolor		0,06/0,25	0,84
Vidro colorido		0,40/0,80	0,84
Vidro metalizado		0,35/0,80	0,15/0,84
Pintura:	Branca	0,2	0,9
	Amarela	0,3	0,9
	Verde Clara	0,4	0,9
	Alumínio	0,4	0,5
	Verde escura	0,7	0,9
	Vermelha	0,74	0,9
	Preta	0,97	0,9

Fonte: (ABNT, 2005b)

A NBR 15220 (ABNT, 2005b) apresenta valores de referência para a absorptância e emissividade de diversos materiais na construção civil, conforme apresentado na Tabela 6. Caso a cor do revestimento da fachada não esteja definida, a NBR 15575-1 determina que sejam realizadas 3 simulações, considerando:

- Cor Clara ( $\alpha = 0,3$ )
- Cor Média ( $\alpha = 0,5$ )
- Cor Escura ( $\alpha = 0,7$ )

A radiação térmica absorvida é convertida em energia térmica. Desta forma, esta radiação pode ser incluída no fluxo de calor através de uma temperatura equivalente, ou temperatura sol-ar, representada na Equação 2 (LAMBERTS *et al.*, 2016; ZANONI, 2015).

$$T_{sol-ar} = T_{ext} + \alpha \cdot RS \cdot R_{se} - \varepsilon \cdot \Delta R_L \cdot R_{se} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

- $T_{ext}$  - Temperatura do ar no ambiente externo (°C);
- $\alpha$  - Coeficiente de absorção;
- $\varepsilon$  - Emissividade do material;
- RS - Radiação total incidente na superfície (W/m<sup>2</sup>);
- $R_{se}$  - Resistência superficial externa: representa as trocas de calor por convecção e radiação entre a superfície e o meio (m<sup>2</sup>K/W);
- $\Delta R_L$  - Diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície.

Para os sistemas de fachadas, a diferença entre a radiação de onda longa emitida e recebida pela superfície ( $\Delta R_L$ ) é nula, pois as perdas ficam compensadas pela radiação de onda longa recebida do solo e das superfícies do meio. Deste modo, a equação da temperatura sol-ar pode ser simplificada conforme a Equação 3.

$$T_{sol-a} = T_{ext} + \alpha \cdot RS \cdot R_{se} \quad (\text{Eq. 3})$$

O cálculo do fluxo de calor ( $\phi$ ), ou da densidade do fluxo de calor ( $q$ ) pode ser feito conforme as equações 4 e 5, respectivamente.

$$\phi = U \cdot \Delta T \cdot A = U \cdot A \cdot (T_{sol-ar} - T_{int}) \quad (\text{Eq. 4})$$

$$q = U \cdot \Delta T = U \cdot (T_{sol-ar} - T_{int}) \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

- U - Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>K)
- $\Delta T$  - Diferença de temperatura entre os ambientes externo e interno (°C);
- A - Área da fachada;
- RS - Radiação total incidente na superfície (W/m<sup>2</sup>);
- $R_{se}$  - Resistência superficial externa; representa as trocas de calor por convecção e radiação entre a superfície e o meio (m<sup>2</sup>K/W);

Deste modo, substituindo a temperatura sol-ar (Equação 3) na equação da densidade de fluxo de calor (Equação 5), temos:

$$q = U \cdot (T_{ext} + \alpha \cdot RS \cdot R_{se} - T_{int}) \quad (\text{Eq. 6})$$

A temperatura superficial externa da fachada é resultado do balanço térmico entre a edificação e o ambiente externo, e da ação da radiação solar sobre ela. Deste modo, a partir da Equação 7, que relaciona as diferenças de temperatura sobre a resistência térmica, é definida a equação da temperatura superficial externa (Equação 8) (ZANONI, 2015).

$$\frac{T_{ext} - T_{int}}{R_t} = \frac{T_{ext} - T_{sup.ext.}}{R_{se}} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$T_{sup.ext.} = T_{sol-ar} - U \cdot R_{se} \cdot (T_{sol-ar} - T_{int}) \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:

- $T_{\text{sup.ext}}$  - Temperatura da superfície exterior da fachada ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_{\text{sol-ar}}$  - Temperatura equivalente ou Temperatura sol-ar ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_{\text{ext}}$  - Temperatura do ambiente externo ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $T_{\text{int}}$  - Temperatura do ambiente interno ( $^{\circ}\text{C}$ );
- $R_t$  - Resistência térmica da fachada ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );
- $R_{\text{se}}$  - Resistência superficial externa ( $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ );
- $U$  - Transmitância térmica ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ).

### 3.4.2 Transporte de Umidade

O transporte de umidade consiste nos mecanismos de migração da umidade nas formas líquida, sólida e de vapor. Estes mecanismos são causados pelos gradientes de concentração e de pressão. Estes processos podem influenciar as trocas de calor, devido à alta capacidade de transmissão de calor da água. Além disso, a umidade é um dos principais agentes de degradação ou indicador de falhas nos sistemas de fachadas (HAAGENRUD, 2004; ASHRAE, 2017).

A transmissão de calor é causada pela alteração no balanço energético de um material, o transporte de umidade pressupõe a passagem de um fluido sobre um corpo sólido. Por isto, deve haver um meio com porosidade aberta que permita esta passagem do fluido (HENRIQUES, 2016).

O fluxo de umidade em materiais porosos, representado na Figura 15, pode ocorrer tanto no domínio higroscópico, por difusão por meio do gradiente de pressão parcial e pelos mecanismos convectivos, quanto no domínio capilar, resultado das forças capilares, da gravidade e dos gradientes de pressão. Estes processos interagem entre si e ocorrem de forma simultânea. Porém, devido à dificuldade de isolá-los, esses processos são tratados de forma paralela (FREITAS, 1992; ASHRAE, 2017).

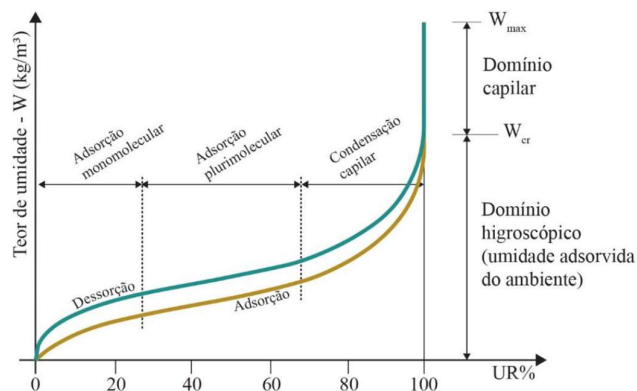


Figura 15 – Variação do teor de umidade em função da umidade relativa em materiais porosos

Fonte: (FREITAS et al., 2008 apud ZANONI, 2015 p.137).

No domínio higroscópico, a higroscopicidade do material é determinante. Esta propriedade descreve a capacidade do material de absorver a umidade do ar e de desorver-la de volta ao ar. Assim, a higroscopicidade está fortemente relacionada aos processos de molhagem e secagem dos materiais, e a capacidade de armazenar umidade (FREITAS; BARREIRA, 2012).



A higroscopicidade dos materiais está ligada ao volume e conectividade dos poros. Materiais mais porosos, como argamassas, tendem a permitir um fluxo maior de umidade entre as superfícies do que materiais menos porosos, como vidros. Certos materiais, como as placas cerâmicas, possuem tratamentos superficiais, os quais podem interferir no transporte de umidade (CALLISTER; RETHWISCH, 2014).

O processo de molhagem no domínio higroscópico pode ser dividido em três etapas: a primeira (Figura 16(a)) é a adsorção monomolecular, onde o vapor d'água adsorvido do ambiente é fixado na superfície interna dos poros, formando uma monocamada de moléculas de água. A segunda etapa (Figura 16(b)) é a adsorção plurimolecular, nesta etapa há a sobreposição destas moléculas de água, resultando em múltiplas camadas. Essa sobreposição ocorre até chegar ao raio crítico, quando ocorre a condensação capilar, a terceira etapa (Figura 16(c)). Quando a condensação capilar passa a preencher todo o poro, o processo de molhagem passa ao domínio capilar (FREITAS, 1992).

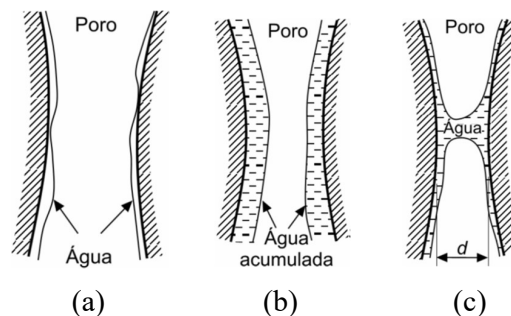


Figura 16 – Etapas da fixação de água por adsorção ao nível de um poro  
 Fonte: (COUASNET, 1989 apud RAMOS, 2007 p.42)

Freitas (1992) divide o processo de secagem em 3 fases: na primeira fase a secagem é acentuada e uniforme, pois as forças capilares atuam fazendo com que a água líquida chegue até a superfície e o teor de umidade se mantenha constante no interior do material. Na segunda fase, a secagem passa a ocorrer por difusão e a zona úmida se concentra no interior do sistema. Por fim, na terceira fase, a secagem é lenta pois é feita no domínio higroscópico.

Outro processo de transporte de umidade por vapor d'água é pelo movimento convectivo do ar. Isso ocorre tanto na escala do poro, quando o mesmo ainda não está completamente preenchido, como nos vãos que compõem os sistemas de fachadas (camadas de ar, vazios dos blocos cerâmicos) (HENRIQUES, 2016).

Sobre esses vãos dos sistemas de vedação, Santos (2009) propõe um modelo matemático para a análise do transporte de umidade nos blocos cerâmicos vazados. Porém, devido à complexidade destes processos, é comum que esta análise seja simplificada pelo uso de valores aproximados.

O transporte de umidade por capilaridade pode ocorrer pela saturação do sistema, conforme descrito no domínio higroscópico, ou pelo contato da água líquida. O fluxo de umidade é gerado pela presença de água líquida somado às ações de forças externas, como a tensão superficial, o gradiente de pressão capilar e o peso da coluna d'água (BERGMAN *et al.*, 2011).

Os movimentos de água líquida em corpos porosos prevalecem em regiões onde haja poros abertos e conectados, normalmente nas camadas superficiais (SATO, 1998 apud ZANONI, 2015 p.149).

A sucção capilar é influenciada por diversos fatores, como o tamanho dos poros, o ângulo de molhagem, e a diferença de temperatura entre os pontos. Contudo, embora o aumento da temperatura reduza a tensão superficial, a água tende a ir para as regiões mais frias (ASHRAE, 2017).

Ao comparar a variação do teor de umidade nos sistemas de fachadas rebocadas e em revestimento cerâmico, Nascimento (2016) observou que o aumento da estanqueidade dos sistemas de fachadas com revestimento cerâmico em relação aos sistemas em argamassa, reduziu significativamente a variação de umidade no sistema. Porém, o autor ressalta que a presença de manifestações patológicas pode alterar este cenário, como reportado por Bao e Wang (2017) que trazem um estudo da influência das fissuras e suas dimensões no transporte de umidade.

### 3.4.3 Simulação Computacional -WUFI PRO

Devido à complexidade dos mecanismos de trocas de calor e umidade, é comum o uso de simulações computacionais para o estudo do comportamento higrotérmico. Essas ferramentas são úteis tanto ao estudo da degradação dos sistemas de fachadas, como para verificação do desempenho térmico dos edifícios (SANTOS, 2009; HENSEN; LAMBERTS, 2011; ZANONI, 2015).

A escolha dentre os programas de simulação computacional deve-se basear no objetivo da pesquisa e na validação do programa. Portanto, conforme apresentado por Delgado *et al.* (2010), o programa WUFI se destaca pelo uso das propriedades higrotérmicas dos materiais, além disso, o programa é amplamente validado por meio de experimentos dos desenvolvedores e por diversos pesquisadores (ZANONI, 2015; IBP, 2017).

Portanto, para esta dissertação foi adotado o software WUFI Pro 6.1 (IBP, 2017), que consiste em uma ferramenta para simulação do comportamento higrotérmico de componentes da envoltória e que utiliza um modelo unidirecional transiente para os cálculos do transporte de calor e umidade de sistemas de uma única ou de diversas camadas.

O programa atende às recomendações sobre os procedimentos e as propriedades higrotérmicas de análise definidas pela norma BS EN 15026 - *Hygrothermal performance of building components and building elements - Assessment of moisture transfer by numerical simulation* (BS EN, 2007).

Os principais fatores para a simulação higrotérmica de fachadas são:

- As condições iniciais, os parâmetros de controle e o período da simulação;
- As condições de fronteira: as condições dos ambientes interno e externo, resistividades térmicas superficiais e equações para transformação das condições climáticas em condições de fronteira (cálculo da chuva dirigida);
- As configurações dos sistemas de fachadas: orientação, composição da fachada e inclinação;
- As propriedades higrotérmicas dos materiais que compõem a fachada.

Esses dados de entrada são aplicados aos algoritmos do programa WUFI, desenvolvidos e discutidos na tese de Kunzel (1995). Estes algoritmos consistem em duas equações diferenciais, resolvidas de forma interativa, as Equações 9 e 10.

Na equação do equilíbrio térmico (Equação 9), o lado esquerdo da equação é o armazenamento de calor, que consiste na derivada da entalpia em função da temperatura no tempo. Enquanto, no lado direito da equação são apresentadas as propriedades

relacionadas ao transporte de calor, como a capacidade calorífica do material seco e a entalpia da água absorvida pelo material (IBP, 2017).

$$\frac{\partial H}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda \nabla T) + h_v \nabla(\delta_p \nabla(\varphi p_{sat})) \quad (\text{Eq. 9})$$

$$\frac{\partial w}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \nabla(D \varphi \nabla \varphi + \delta_p \nabla(\varphi p_{sat})) \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

$H$	- Entalpia (J/m <sup>3</sup> );
$H_v$	- Calor latente com mudança de estado (evaporação) (J/kg);
$p_{sat}$	- Pressão de vapor de saturação (Pa);
$w$	- Teor de água (kg/m <sup>3</sup> );
$\delta_p$	- Permeabilidade ao vapor (kg/m.s.Pa);
$T$	- Temperatura (°C ou K);
$\lambda$	- Condutibilidade térmica (W/m.K);
$\varphi$	- Umidade relativa (%);
$t$	- Tempo (s);
$D\varphi$	- Coeficiente de transferência de água líquida (kg/m.s);

Na equação de equilíbrio de umidade (Equação 10), assim como a equação de equilíbrio térmico, no lado esquerdo estão dispostas as propriedades relativas ao armazenamento e à direita propriedades relativas ao transporte. O armazenamento de umidade é proporcional à derivada da curva de armazenamento de umidade ( $\partial w / \partial \varphi$ ). Enquanto, o lado direito traduz as condições de transporte descritas pelas diferenças de fluxo líquido e de vapor de água (JORNE, 2010; IBP, 2017).

Para a entrada de dados das condições climáticas é utilizado um arquivo climático, composto por dados de um ano típico *Typical Meteorological Year* – TMY, da base Energy Plus Weather File – EPW.

O ano típico TMY consiste em 12 meses reais, a seleção destes 12 meses é feita a partir de dados de um período mínimo de 10 anos e preferencialmente de 30 anos. O ano típico pode ser composto por meses de diversos anos. Os dados de cada mês são listados para os diversos anos, e com base na temperatura mensal, são excluídos os meses mais quentes e frios até restar apenas um mês, definido como mês típico local que compõem o ano típico (RORIZ, 2012b; ZANONI, 2015)

O arquivo climático de Brasília-DF faz parte da base TMY/EPW, que abrange diversas cidades brasileiras. Estes arquivos climáticos são baseados em dados horários das estações meteorológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010 (RORIZ, 2012b)

Em sua tese, Zanoni (2015) verificou a representatividade do arquivo climático TMY/EPW de Brasília-DF e constatou que esse arquivo possui uma forte representatividade para as variáveis climáticas influentes no comportamento higratérmico de fachadas.

### 3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO

A ação climática além de estar presente em diversos mecanismos de degradação dos sistemas de fachadas, pode ser determinante para a medição e análise de resultados nos ensaios térmicos.

O inspetor deve ter conhecimento sobre as variações dos agentes climáticos e a forma como eles influenciam nas trocas de calor e umidade dos sistemas de fachadas. Apesar de diversos estudos abordarem a análise isolada destes agentes, a análise em campo deve considerar a sinergia entre eles. Além disso, a variação dos agentes climáticos pode influenciar a definição dos períodos de medição e da relevância dos dados.

Para assegurar a relevância dos dados, além da correta definição dos períodos de medição, é fundamental a caracterização das condições encontradas em campo. Para isto é comum o uso de classificações climáticas, as quais definem faixas de classificação com base na intensidade de um ou mais agentes climáticos.

Para as medições em campo durante dias isolados, o único método definido pelas normativas brasileiras para caracterização climática são os Dias Típicos de Projeto. Porém, o método é extremamente restrito, o que dificulta sua aplicação. Visto isso, se faz necessário o desenvolvimento de um método de classificação climática diária mais abrangente.

Devido ao grande número de variáveis presentes e da dificuldade de coleta de dados nos estudos sobre a ação climática nas edificações, diversos estudos optam pelo uso de simulações computacionais. Essas ferramentas reduzem os custos de pesquisa, e, utilizando um arquivo climático, permitem uma análise mais ampla ao longo de um ano típico.

Portanto, com base nas necessidades da inspeção de fachadas, como planejamento e levantamento dos fatores que influenciam sua execução e análise, a influência do clima na edificação e, por sua vez, na realização dos ensaios térmicos, o capítulo a seguir define os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento das ferramentas propostas neste trabalho e análise da influência do clima nas medições térmicas em fachadas.



## 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com base nos objetivos deste trabalho, foram definidos os procedimentos metodológicos descritos neste capítulo. Os procedimentos estão divididos em 4 etapas principais:

- 1) Definição da classificação climática diária;
- 2) Simulação do comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas;
- 3) Medições de campo;
- 4) Etapas da Análise de Resultados.

Estas etapas são representadas no fluxograma dos procedimentos metodológicos, conforme a Figura 17.

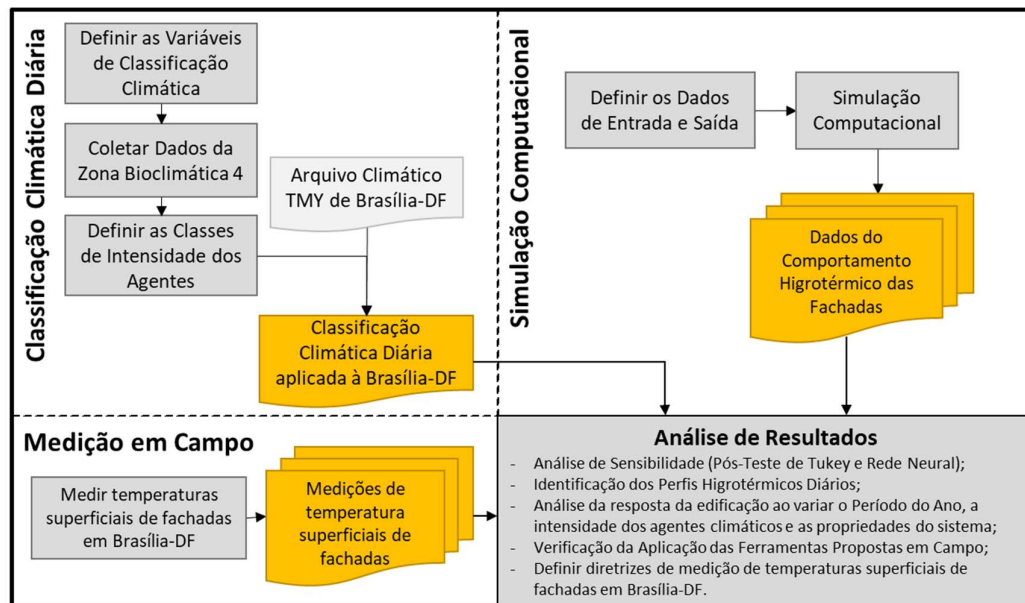


Figura 17 – Fluxograma dos procedimentos metodológicos

A seguir são descritas de forma mais detalhada, cada uma das 4 etapas principais.

### 4.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA

A Classificação Climática Diária - CCD tem o objetivo de definir parâmetros para caracterizar as condições climáticas com base em dados de uma escala local (escala espacial compatível com os dados medidos na estação meteorológica). Para isso, foram utilizados arquivos climáticos TMY (Ano Climático Típico).

São definidas classes de intensidade para cada uma das diferentes variáveis climáticas representativas do comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas ao longo do dia.

Os procedimentos para a definição da classificação climática diária estão listados na Figura 18, assim como as cidades selecionadas para obtenção dos dados climáticos e a forma de processamento destes dados.

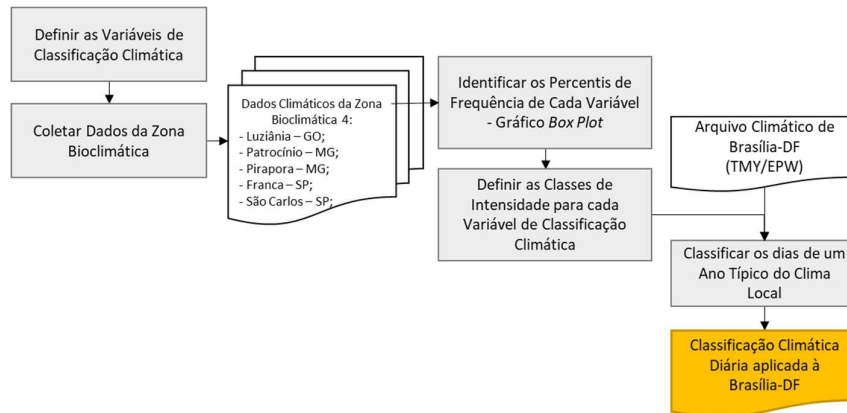


Figura 18 – Fluxograma para definição da classificação climática diária para uma Zona Bioclimática

#### 4.1.1 Definir Variáveis de Classificação Climática Diária

Com base no comportamento e na ação dos agentes climáticos sobre os sistemas de fachada, foram definidas as seguintes variáveis para a Classificação Climática Diária:

- Temperatura Máxima Diária do Ar (°C);
- Temperatura Mínima Diária do Ar (°C);
- Amplitude Térmica Diária do Ar (°C);
- Umidade Relativa Média Diária (%);
- Radiação Global Diária Acumulada (Wh/m<sup>2</sup>).

A classificação proposta utilizou as temperaturas máximas e mínimas diárias do ar, assim como a amplitude térmica diária do ar.

Utilizou-se a umidade relativa média do ar que, além de afetar a ação da radiação solar nas superfícies incidentes, é um indicador da umidade do ar e da precipitação, fatores estes determinantes nos processos de molhagem e secagem dos sistemas de fachadas.

Por fim, foi utilizada a radiação solar global acumulada, visto que a radiação solar é a principal fonte de energia térmica dos sistemas de fachadas. A radiação, por meio das temperaturas superficiais, influencia as trocas de calor e umidade dos sistemas de fachadas.

O vento, a precipitação e a nebulosidade não foram considerados como determinantes para a composição da Classificação Climática Diária, devido a sua variabilidade, porém tais agentes climáticos devem ser observados ao longo das medições em campo.

#### 4.1.2 Coleta de Dados da Zona Bioclimática

Para que o método possa ser replicado em qualquer Zona Bioclimática, foi definido que a amostra de dados deve ser composta por 5 cidades pertencentes à mesma Zona Bioclimática, distribuídas espacialmente para garantir a representatividade da mesma.

Neste caso, como o objeto de estudo é Brasília-DF, contida na zona bioclimática 4, a amostra inicial é composta por 5 cidades da mesma zona bioclimática:

- Luziânia – GO;
- Patrocínio – MG;
- Pirapora – MG;
- Franca – SP;
- São Carlos – SP.

Para a zona bioclimática 4, a distribuição espacial dos arquivos climáticos foi o fator preponderante na escolha das cidades. Visando impedir que a amostra seja tendenciosa, optou-se por não incluir os dados da cidade em análise, Brasília-DF.

#### 4.1.3 Definição das Classes de Intensidade das Variáveis Climáticas

A partir da definição da amostra, foi criada uma planilha com os dados dos arquivos climáticos TMY selecionados, das 5 cidades da zona bioclimática 4, e identificadas as variáveis climáticas de classificação diária para os 365 dias: temperatura do ar máxima diária, temperatura do ar mínima diária, amplitude térmica diária do ar, umidade relativa média diária e radiação solar global diária acumulada.

A partir dos valores diários relativos às variáveis climáticas das cidades selecionadas, foram elaborados gráficos Box Plot, que identificam os percentis de frequência de ocorrência de cada variável em análise.

A Figura 19 é um exemplo de Box Plot. O retângulo indica a dispersão em torno da mediana (50% da amostra), que está contida entre o percentil de 75% (P75) e de 25% (P25) da amostra. As barras verticais representam valores máximos e mínimos, e cada barra corresponde a 25% da amostra. Os extremos são os pontos além das barras, considerados dados espúrios (não compõem os percentis de frequência).

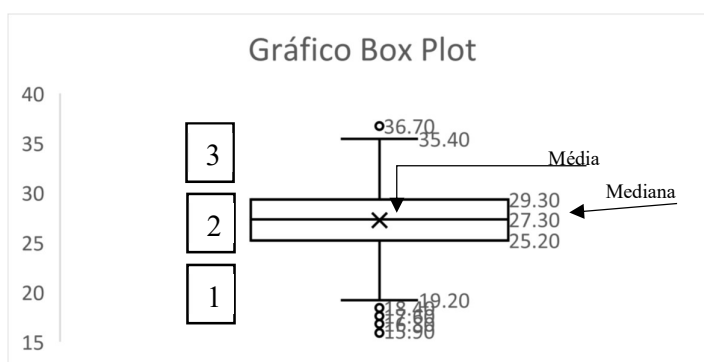


Figura 19 – Gráfico *Box Plot* para a identificação dos percentis de frequência das variáveis climáticas  
Fonte: autor próprio

As variáveis climáticas foram classificadas em 3 classes, determinadas pelos percentis de frequência, conforme a Quadro 8.

Quadro 8 – Classes de classificação das variáveis climáticas com base nos percentuais de frequência

Classe	Intensidade do Agente	Composição
1	Mínimo	Dados $\leq P_{25}$ Valores Mínimos (25% da Amostra)
2	Médio	$P_{25} < \text{Dados} < P_{75}$ Dispersão em torno da Mediana (50% da Amostra)
3	Máximo	Dados $\geq P_{75}$ Valores Máximos (25% da Amostra)



Propõe-se que a Classificação Climática Diária - CCD seja representada pelas classes de cada variável climática, separadas por um marcador, com a seguinte ordem:

$$CCD = cT_{\text{Mín}} \cdot cT_{\text{Máx}} \cdot cAT \cdot cUR \cdot cRS$$

Onde:

CCD – Classificação Climática Diária;

$cT_{\text{Mín}}$  – Classe de Intensidade da Temperatura do Ar Mínima Diária;

$cT_{\text{Máx}}$  – Classe de Intensidade da Temperatura do Ar Máxima Diária;

$cAT$  – Classe de Intensidade da Amplitude Térmica Diária do Ar;

$cUR$  – Classe de Intensidade da Umidade Relativa Média Diária;

$cRS$  – Classe de Intensidade da Radiação Global Diária Acumulada.

Deste modo, para ilustrar, o exemplo a seguir classifica o dia 23/07/2017 em Brasília-DF a partir da coleta dos dados climáticos de um dia isolado (Tabela 7).

Tabela 7 – Classificação Climática Diária de Brasília-DF em 23/07/2017

Variável de Classificação Climática Diária	Dado	Unidade	Classe de Intensidade
Temperatura Mínima Diária do Ar	15,7	°C	2
Temperatura Máxima Diária do Ar	24,1	°C	1
Amplitude Térmica Diária do Ar	8,4	°C	2
Umidade Relativa Média	34,8	%	1
Radiação Global Acumulada	5747,2	Wh/m <sup>2</sup>	2
Estação: Brasília-DF - A001	Data: 23/07/2017		Fonte: INMET (2017)
<b>Classificação Climática Diária: 2•1•2•1•2</b>			

#### 4.1.4 Aplicação ao Arquivo Climático de Brasília-DF

Após a definição de classes de intensidade das variáveis de classificação para a zona bioclimática 4, foi criada uma planilha com os dados do arquivo climático de Brasília-DF. Nesta planilha, foram classificados os 365 dias do ano típico e, posteriormente, identificados e excluídos os dias com chuva, isto é, desconsiderando os dias com precipitações acumuladas maiores que 1mm.

O mesmo arquivo climático de Brasília-DF foi utilizado para a simulação computacional do comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas, de modo a permitir que seja observada a relação entre a classificação climática proposta e os resultados da simulação.

A planilha com a classificação dos dias de um ano típico de Brasília-DF, além de permitir a identificação das Classificações Climáticas de maior frequência, nos períodos Seco e Chuvoso, foi utilizada como dado de entrada na análise estatística e na definição dos Perfis Higrotérmicos Diários para Brasília-DF.

## 4.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para a pesquisa, foi utilizado o programa WUFI® - *Wärme - Und Feuchtetransport Instationär - Transient Heat and Moisture Transport*, desenvolvido pelo Instituto Fraunhofer, atualmente em sua versão 6.1 (*Fraunhofer Institute for Building Physics - IBP, 2017*).

A escolha do software WUFI como instrumento de pesquisa tem base em sua ampla validação, tanto por seus desenvolvedores, como por outros pesquisadores (IBP, 2017), em pesquisas relacionadas (ZANONI; 2015; NASCIMENTO, 2016).

Esta etapa tem como objetivo emitir dados horários sobre o comportamento higrotérmico de diferentes tipos de sistemas de fachadas em revestimento cerâmico ao longo de um ano típico.

Os procedimentos da simulação estão representados na Figura 20 e seguem as diretrizes da BS EN 15026 (2007). A simulação é composta pela entrada de dados, simulação ou processamento e emissão de resultados para análise.

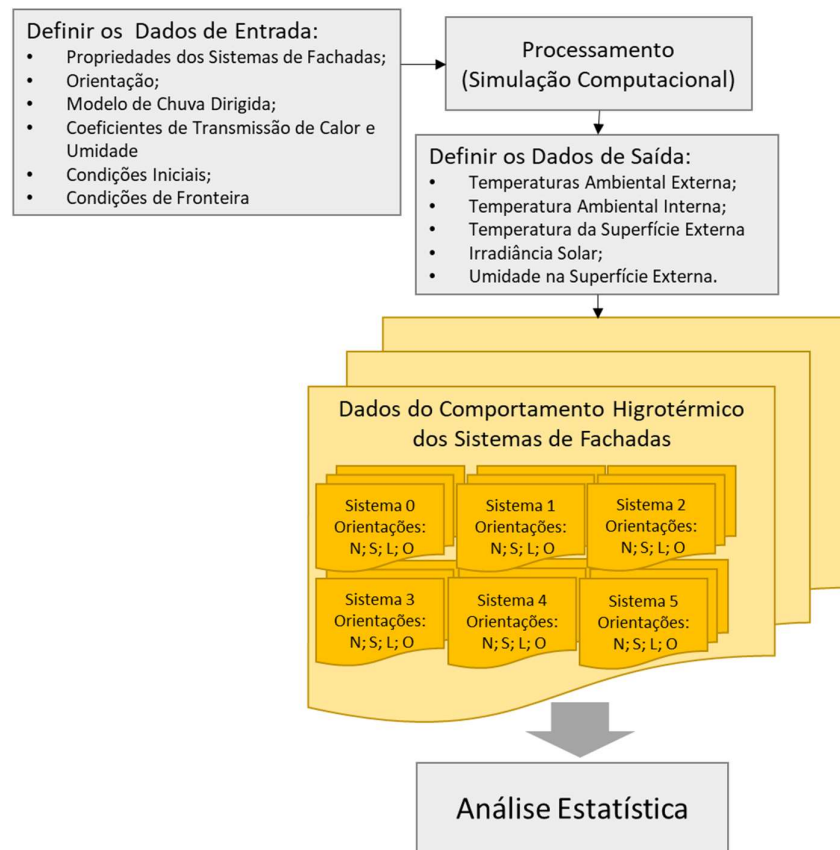


Figura 20 – Procedimentos da Simulação Computacional

#### 4.2.1 Dados de Entrada

Os dados de entrada foram levantados por meio de revisão bibliográfica de trabalhos anteriores (ZANONI, 2015; NASCIMENTO, 2016) e normas de referência (ABNT, 2005b; BS EN, 2007).

Para a definição dos sistemas de fachadas foram determinadas as propriedades das camadas desses sistemas e dos materiais que as compõem.

Em seguida, foram definidos os dados de entrada, tais como: orientação da fachada, inclinação da fachada, modelo de chuva dirigida, coeficientes de transferência de calor e de umidade e as condições iniciais e de fronteira.

#### 4.2.1.1 Tipologia dos Sistemas de Fachadas

As composições dos sistemas de fachadas seguem o modelo proposto por Nascimento (2016), que consiste em 5 camadas de diferentes materiais e espessuras, conforme representados na Figura 21.

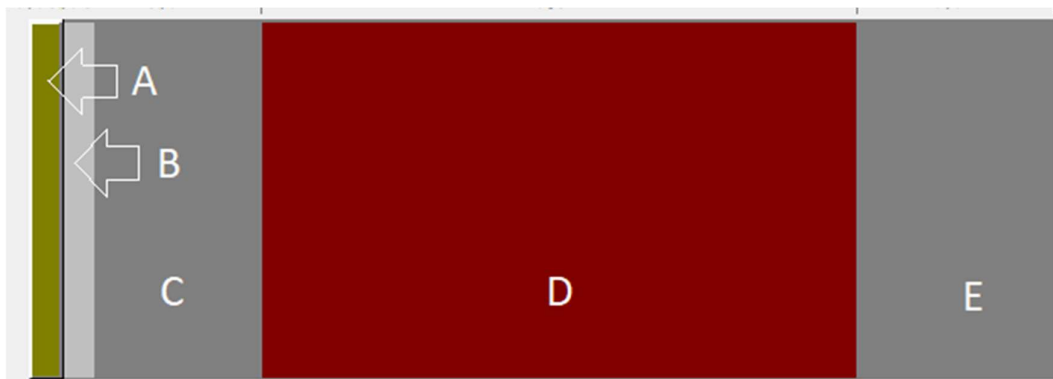


Figura 21 – Representação das Camadas dos Sistemas de Fachadas Simulados.  
(WUFI, 2017)

Onde:

- A- Revestimento Cerâmico (0,005m)
- B- Argamassa Colante (0,005m)
- C- Argamassa de Revestimento Externo (0,025m)
- D- Bloco Cerâmico (0,09m)
- E- Argamassa de Revestimento Interno (0,03m)

Para verificação do comportamento de diferentes sistemas de fachadas com revestimentos cerâmicos, variou-se a condutividade térmica do bloco cerâmico e a absorvância do revestimento cerâmico, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Definição dos Sistemas de Fachadas

Sistema de Fachada	Tipo do Bloco Cerâmico	Condutividade Térmica	Cor do Rev. Externo	Absortância
Sistema 0	Bloco Cerâmico (A)	0,158	Média	0,5
Sistema 1 (Referência)	Bloco Cerâmico (B)	0,565	Média	0,5
Sistema 2	Bloco Cerâmico (A)	0,158	Clara	0,3
Sistema 3	Bloco Cerâmico (A)	0,158	Escura	0,7
Sistema 4	Bloco Cerâmico (B)	0,565	Clara	0,3
Sistema 5	Bloco Cerâmico (B)	0,565	Escura	0,7

#### 4.2.1.2 Propriedades dos Materiais

As propriedades higrótérmicas dos materiais e componentes, descritas na Tabela 9, foram determinadas pela base de dados do software WUFI PRO 6.1 (IBP, 2017), pelas propriedades térmicas da NBR 15220 (ABNT, 2005b) e por ensaios realizados pelo Laboratório de Ensaio de Materiais – LEM/UnB (BAUER *et al.*, 2015).

A condutividade térmica do Bloco Cerâmico (B) foi calculada pelas equações e propriedades térmicas descritas na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b), conforme apresentado no APÊNDICE A. As demais propriedades são baseadas na base de dados do WUFI (IBP, 2017) e nos ensaios de laboratório realizados pelo Laboratório de Ensaio de Materiais –

LEM/UnB (BAUER *et al.*, 2015). O estudo optou pela variação isolada da condutividade térmica dos blocos, na prática essa variação geraria alterações nas demais propriedades do bloco cerâmico.

Tabela 9 – Propriedades higrotérmicas dos materiais

	Massa Específica Aparente $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade $\xi$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Calor Específico $c$ (J/kg.K)	Condutividade Térmica $\lambda$ (W/m.K)	Fator de resistência à difusão de vapor de água $\mu$	Teor de Umidade de Referência $W_{ref}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Umidade de Saturação Livre $W_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de Absorção de Água Avalor (kg/m <sup>2</sup> . √s)
Rev. Cerâmico	1730	0,290	868	0,490	116	1,4	192,0	0,001
Argamassa Colante	1450	0,260	850	0,800	18	30,7	163,2	0,130 <sup>1</sup>
Argamassa Externa e Interna	1755	0,210	850	0,800	28	26,0	210,0	0,039
Bloco Cerâmico (A)	578	0,486	850	0,158	23	13,0	193,0	0,090
Bloco Cerâmico (B)*	578	0,486	850	0,565	23	13,0	193,0	0,090

\* O Bloco Cerâmico (B), consiste no Bloco Cerâmico (A) com as propriedades modificadas de acordo com o cálculo de condutividade térmica equivalente, contido no Apêndice A.

Fonte: Adaptado de (ABNT, 2005b; BAUER *et al.*, 2015; NASCIMENTO, 2016; IBP, 2017)

#### 4.2.1.3 Demais Parâmetros de Entrada

Foram simuladas as 4 orientações cardeais, Norte, Sul, Leste e Oeste, em edificações de 10 a 20 metros de altura, similar às edificações encontradas no Plano Piloto de Brasília – DF.

O modelo de chuva dirigida adotado foi o da *ASHRAE Standard 160 – “Criteria for moisture-control design analysis in buildings”* (ASHRAE, 2009), identificado por Zanoni (2015) como o mais próximo às medições realizadas *in loco* para Brasília- DF.

Os valores de resistências superficiais seguem os valores propostos pela NBR 15220 (ABNT, 2005b), e não foi considerado nenhum retardador de vapor, como pinturas ou hidrófugos. O albedo utilizado é de 20% e o fator de redução de chuva de 70%.

As condições iniciais do sistema seguem o padrão do software, 80% de teor de umidade e 20°C; são simulados 3 anos seguidos e feita a análise apenas do último ano, quando o sistema não sofre mais a influência da umidade retida em decorrência das suas condições iniciais de fabricação e montagem.

Para as condições do ambiente interior, o programa considera que os ambientes se mantêm em condições de conforto térmico, definidas a partir da temperatura e umidade do ambiente externo, lidas no arquivo climático.

Deste modo, os dados de entrada comuns às simulações são apresentados na Tabela 10.

<sup>1</sup> O valor apresentado está em fase de revisão pelo Laboratório de Ensaio de Materiais – LEM/UnB.

Tabela 10 – Parâmetros de entrada para simulação

Parâmetro de Entrada		Valor	Unidade
Composição do Sistema			
Revestimento Cerâmico	A <sup>(1)</sup>	0,005	m
Argamassa Colante	B <sup>(1)</sup>	0,005	m
Argamassa de Revestimento Externo	C <sup>(1)</sup>	0,025	m
Bloco Cerâmico	D <sup>(1)</sup>	0,09	m
Argamassa de Revestimento Interno	E <sup>(1)</sup>	0,03	m
Orientação, Inclinação, Altura e Modelo de Chuva Dirigida			
Orientações	N, S, L e O	-	-
Inclinação	(i)	90	° (graus)
Altura da Fachada	(h)	10-20	m
Modelo de Chuva Dirigida	ASHRAE 160	$\alpha = 0,2$ s/m	
Coeficiente de Transferência às Superfícies Externas e Internas			
Resistência Superficial Externa	R <sub>se</sub>	0,0588	m <sup>2</sup> K/W
Resistencia Superficial Interna	R <sub>si</sub>	0,125	m <sup>2</sup> K/W
Valor de Sd <sup>(2)</sup>	Sd	-	m
Coeficiente de Absorção Solar	$\alpha$	Tabela 2	
Refletividade do Solo - Albedo	r	20	%
Fator de Redução de Chuva Dirigida	Fr	70	%
Condições Iniciais			
Umidade Inicial	-	80	%
Temperatura Inicial	-	20	°C
Período de Simulação	3 anos de simulação, usar apenas os dados do último ano para análise.		
Condições de Fronteira			
Ambiente Externo	Brasília-DF - Arquivo Climático TMY (RORIZ, 2012)		
Ambiente Interno	BS EN 15026 (BS EN, 2007) <sup>(3)</sup>		
(1) - Representadas na Figura 21.			
(2) - Espessura da camada de ar de difusão equivalente.			
(3) - As condições de ambiente seguem os padrões da BS EN 15.026 (2007), para que sempre estejam em condições de conforto.			

#### 4.2.2 Dados de Saída

Com o objetivo de identificar o comportamento higratérmico ao longo dos dias e meses, foram emitidos dados horários das seguintes variáveis:

- Temperatura superficial externa (°C);
- Temperatura do ambiente externo (°C);
- Temperatura do ambiente interno (°C);
- Irradiância solar (Direta, Difusa e Refletida) (W.h/m<sup>2</sup>);
- Umidade relativa da camada exterior (%).

O comportamento da temperatura superficial externa ao longo do dia é relevante para realização de medições, sejam elas para identificar anomalias ou para definir intervenções nas fachadas.

A partir da irradiância solar são identificados os períodos de incidência solar direta. Além disso, a irradiância solar em conjunto com as temperaturas do ambiente externo e interno, permite o cálculo do fluxo de calor, determinante para aplicação da termografia nas inspeções prediais.

A umidade relativa superficial externa permite que se estabeleça seu perfil ao longo do dia e este perfil pode ser relacionado à outras variáveis e/ou manifestações patológicas em campo.

O programa WUFI Pro utiliza o regime transiente ou variável, onde são consideradas as variações de temperatura no interior do sistema, porém para o cálculo do fluxo de calor entre os ambientes, foi utilizada a Equação 6, descrita no item 3.3.1 das referências bibliográficas, a qual considera um modelo estacionário entre as temperaturas dos ambientes externo e interno.

$$q = U \cdot (T_{ext} + \alpha \cdot R_s \cdot R_{se} - T_{int}) \quad (\text{Eq. 6})$$

Os resultados emitidos são compostos por 8.760 horas de dados para cada sistema em cada orientação, deste modo totalizam 210.240 horas de dados. Esses dados e as classificações climáticas diárias foram agrupados em uma planilha para a análise de resultados. Devido ao volume de dados optou-se pela análise estatística.

Para a realização da análise estatística e definição dos perfis higrotérmicos optou-se por desconsiderar os dias com chuvas, determinados por precipitações diárias maiores que 1mm. Desta forma, os dias chuvosos foram excluídos da amostra de dados. Este tratamento de dados foi definido com base em normas técnicas, as quais recomendam evitar a realização de medições térmicas em dias chuvosos (ASTM, 2014a; 2015).

### 4.3 MEDIÇÕES EM CAMPO

Com o objetivo de verificar a aplicação das ferramentas propostas, foram realizadas medições em campo de temperaturas superficiais em Brasília-DF. As medições foram efetuadas na edificação descrita no item 4.4.1, com altura e composição de fachadas similares aos sistemas utilizados na simulação computacional. No Apêndice F são apresentados os resultados das medições térmicas realizadas.

O Quadro 9 apresenta o cronograma de medições, onde foram definidos períodos que viabilizassem a caracterização dos períodos seco e chuvoso e dos meses de fronteira.

Quadro 9 – Cronogramas de medições térmicas

Período de Medição	Período do Ano	Caracterização
2ª Quinzena de Fevereiro	Chuvoso	Período chuvoso
2ª Quinzena de Março	Chuvoso	Meses de fronteira entre os períodos seco e chuvoso
1ª Quinzena de Abril	Seco	
2ª Quinzena de Maio	Seco	Período seco
2ª Quinzena de Junho	Seco	

#### 4.3.1 Edificação em Estudo

A edificação em estudo está localizada em Brasília-DF e é composta por um pavimento térreo com pé direito duplo, 5 pavimentos superiores e 1 subsolo (Figura 22). O edifício é utilizado como centro clínico, com os ambientes internos climatizados e um pátio com jardins.

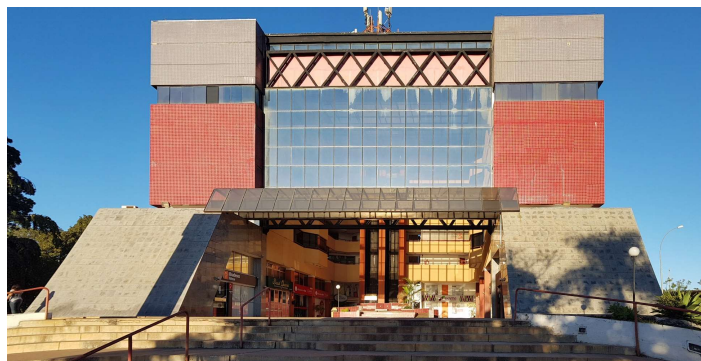


Figura 22 – Edificação em Estudo

A Figura 23 apresenta o entorno e a vista superior da edificação com a nomenclatura adotada para as fachadas. O sistema de vedação externa em estudo é composto por blocos cerâmicos vazados de 14cm, a face interna da fachada é revestida com argamassa e acabamento em pintura, e na face externa, revestimento cerâmico, composto por argamassa colante e placas cerâmicas 10x10cm, nas cores: cinza claro, cinza escuro e vermelho.

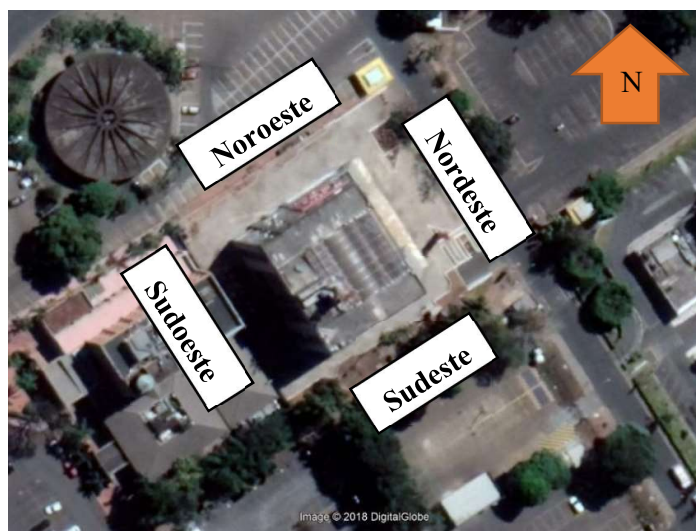


Figura 23 – Vista Superior da Edificação e as Orientações das Fachadas

#### 4.3.2 Procedimentos de Medição em Campo

Foram realizados 5 dias de medição ao longo dos meses de fevereiro a junho de 2018. Cada medição é composta por coletas de 30 em 30 minutos, iniciando às 8:00 e terminando às 18:00. Os pontos de coleta e os códigos de identificação são apresentados nas figuras abaixo. O código é composto por 3 letras, a primeira corresponde a orientação, a segunda à altura do ponto de coleta e a terceira corresponde a cor do revestimento.





Figura 24 – Pontos de Medição na Fachada Noroeste

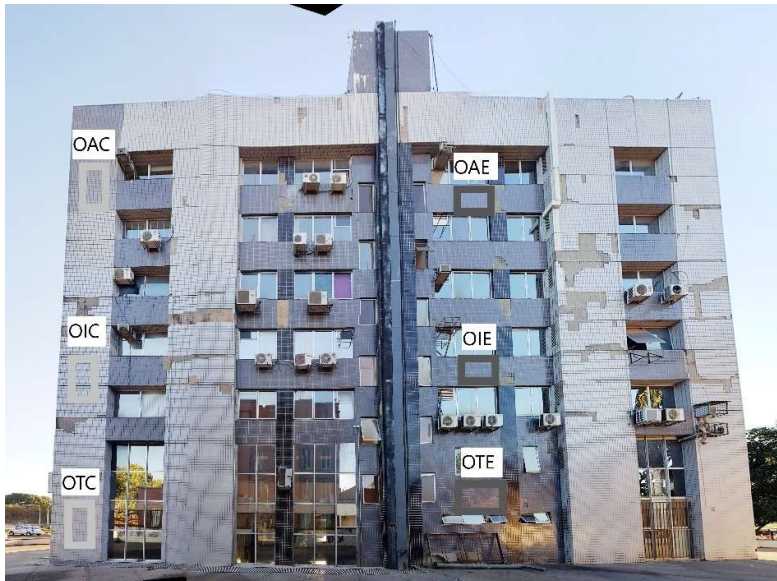


Figura 25 – Pontos de Medição na Fachada Sudoeste

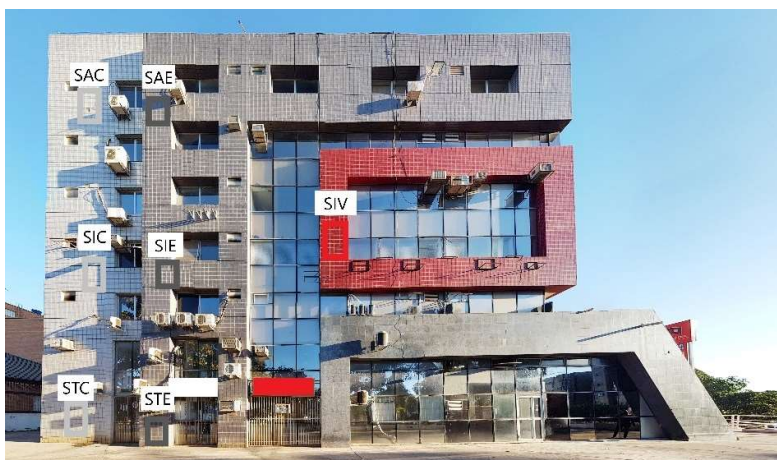


Figura 26 – Pontos de Medição na Fachada Sudeste





Figura 27 – Pontos de Medição na Fachada Nordeste

Apesar do uso das orientações cardeais para a codificação deste trabalho, as orientações das fachadas medidas em campo se assemelham mais às orientações colaterais. Portanto, a Tabela 11 apresenta o azimute das fachadas, sua orientação colateral e o código de orientação cardinal mais próximo ao seu quadrante.

Tabela 11– Orientação das Fachadas

Código da Orientação	Azimute da Fachada	Orientação
N	325°	Noroeste
O	235°	Sudoeste
S	145°	Sudeste
L	55°	Nordeste

Para a realização das medições térmicas foi utilizado um termômetro infravermelho, MINIPA MT-350A (Tabela 12). Para medições térmicas por meio do espectro infravermelho é fundamental a identificação da emissividade dos materiais da superfície, desta forma foi utilizado uma adaptação do método da fita isolante, descrito na ASTM E1933 (ASTM, 2014c), utilizando apenas 1 ponto para identificação da emissividade.

Tabela 12 - Especificações técnicas termômetro MINI MT-350A

Termômetro MINIPA MT-350A	
Campo de Visão (Relação Distância: Ponto)	12:1
Faixa Espectral	8 a 14 $\mu\text{m}$
Faixa de Temperatura	-50 a 800°C
Precisão	2 °C ou 1,5%
Emissividade	0,1 a 1 - Ajustável

A escolha dos pontos de coleta evitou áreas visivelmente degradadas pelo descolamento das placas cerâmicas, com alturas que pudessem ser adotadas nas demais orientações e buscou atenuar os efeitos de elementos do entorno da edificação. Ao longo das medições, evitou-se medições durante períodos com ventos fortes, ventanias ou demais variações climáticas que pudessem gerar variações abruptas nas medições térmicas.

Além das medições térmicas superficiais nas fachadas, foram realizadas medições da temperatura do ar e nebulosidade. Para a quantificação da nebulosidade, foi adotada uma escala de 0 a 10, onde cada unidade representa 10% da abóbada celeste encoberta (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Após as medições em campo, foi utilizada a Classificação Climática Diária para a caracterização dos dias de medição, método descrito neste trabalho, o qual utiliza os dados da estação meteorológica do clima local. Todas as medições foram realizadas em dias sem chuva.

#### 4.4 ETAPAS DA ANÁLISE DE RESULTADOS

Este item descreve as etapas da análise de resultados, como as técnicas estatísticas, os procedimentos e critérios utilizados para a análise dos dados obtidos pela Classificação Climática Diária, pela Simulação Computacional e pela Medição de Campo.

Devido ao volume de dados optou-se pelo uso de técnicas estatísticas. Desta forma, para a aplicação destas técnicas estatísticas foram utilizados os softwares *IBM SPSS Statistics 22* e o *Microsoft Excel*.

##### 4.4.1 Análise de Sensibilidade da Classificação Climática Diária

Para a análise de sensibilidade das variáveis climáticas e suas respectivas classes de intensidade foram utilizadas duas técnicas estatísticas: a Análise de Variância 1-Way (pós-teste de Tukey) e a Técnica de Redes Neurais (Análise de Importância).

A Análise de Variância 1-Way – ANOVA é um teste paramétrico que verifica a variância das variáveis dependentes em relação a uma variável independente. Esse procedimento foi realizado para cada uma das variáveis independentes listadas no Quadro 10.

Quadro 10 – Variáveis da Análise de Variância (ANOVA 1-Way) da Classificação Climática Diária

Variáveis Independentes
Classe de Intensidade da Temperatura Mínima Diária do Ar – cTMín
Classe de Intensidade da Temperatura Máxima Diária do Ar – cTMáx
Classe de Intensidade da Amplitude Térmica Diária do Ar - cAT
Classe de Intensidade da Umidade Relativa Média – cUR
Classe de Intensidade da Radiação Global Acumulada – cRS
Variáveis Dependentes
Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada
Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada
Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada

Para cada variável independente foi aplicado o pós-teste de Tukey. Esta técnica permite identificar se há diferença estatística significativa (valor-p <0,05) entre as 3 classes de intensidade de cada variável climática, citadas no item 4.1.3, em relação aos indicadores selecionados: Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada e Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.

A Rede Neural utilizada foi uma *Multilayer Perceptron* de amostra de dados fechada (*Batch*). Este modelo apresenta múltiplas camadas de vetores (células responsáveis por interpretar os dados de entrada), o aumento do número de camadas amplia a capacidade de aprender e interpretar as relações entre as variáveis de entrada. O Quadro 11 lista as variáveis de entrada (independentes) e os dados de saída (variáveis dependentes).

A Rede Neural é capaz de estimar a resposta do sistema, por meio de um modelo matemático baseado nos dados fornecidos e no treinamento do modelo. Neste modelo é possível aplicar a Análise de Importância, a qual identifica a capacidade de cada uma das

variáveis independentes, ou dados de entrada, de variar a variável dependente, esta variação é quantificada de 0 a 1, onde 0 corresponde a nenhuma variação na variável dependente e 1 corresponde a 100% de variação.

Quadro 11 – Variáveis utilizadas no modelo de Rede Neural e na Análise de Importância.

Variáveis Independentes	
Código da Variável	Variável
TemperaturaMínima	Classe de Intensidade da Temperatura Mínima Diária do Ar - cTMín
TemperaturaMáxima	Classe de Intensidade da Temperatura Máxima Diária do Ar - cTMáx
AmplitudeTérmica	Classe de Intensidade da Amplitude Térmica Diária do Ar - cAT
UmidadeRelativa	Classe de Intensidade da Umidade Relativa Média – cUR
RadiaçãoSolar	Classe de Intensidade da Radiação Global Acumulada – cRS
TemperaturaMínima Anterior	Classe de Intensidade da Temperatura Mínima Diária do Ar no dia Anterior
TemperaturaMáxima Anterior	Classe de Intensidade da Temperatura Máxima Diária do Ar no dia Anterior
AmplitudeTérmica Anterior	Classe de Intensidade da Amplitude Térmica Diária do Ar no dia Anterior
UmidadeRelativa Anterior	Classe de Intensidade da Umidade Relativa Média no dia Anterior
RadiaçãoSolar Anterior	Classe de Intensidade da Radiação Global Acumulada no dia Anterior
OrientaçãoSistema	Orientação do Sistema (Norte, Sul, Leste ou Oeste)
TransmitânciaSistema	Transmitância do Sistema (1,343 ou 2,513 W/m <sup>2</sup> K)
AbsortânciaSistema	Absortância do Sistema (0,3; 0,5 ou 0,7)
Variáveis Dependentes	
Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada (°C)	
Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada (°C)	
Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada (°C)	

A Figura 28 é uma representação gráfica dos resultados da Análise de Importância, no eixo vertical são listadas as variáveis independentes, no eixo horizontal são apresentadas a escala de importância, de 0 a 1, e a importância normalizada, de 0 a 100%.

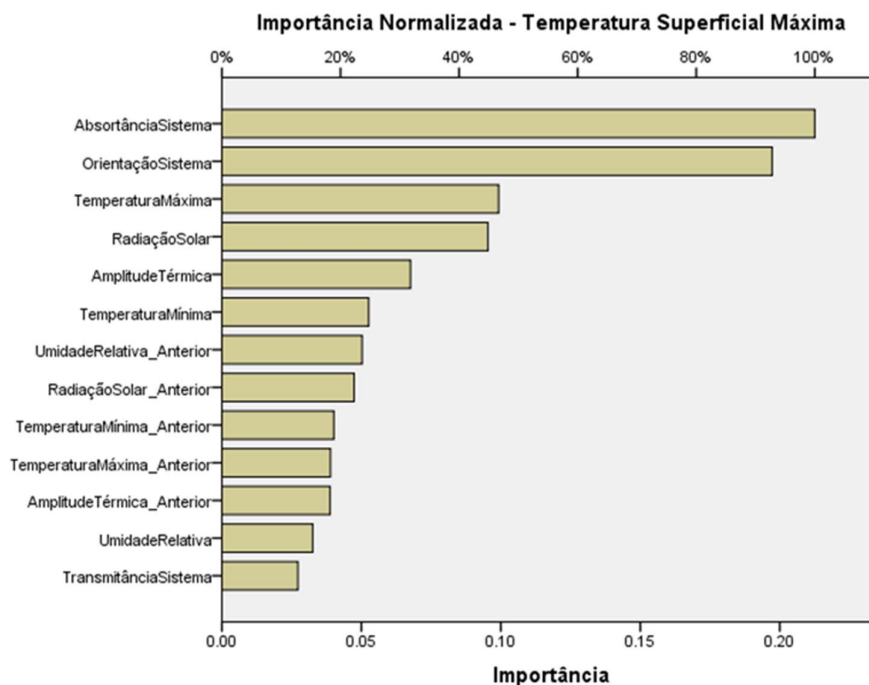


Figura 28 – Exemplo de Análise de Importância das Variáveis Independentes

#### 4.4.2 Identificação dos Perfis Higrotérmicos Diários

A identificação dos Perfis Higrotérmicos Diários utilizou os dados da simulação computacional do Sistema de Referência (Sistema 1), os demais sistemas foram utilizados nos itens 4.4.4 e 4.4.5, para a análise da influência das propriedades do sistema e da intensidade dos agentes climáticos no comportamento higrotérmico diário das fachadas.

Os Perfis Higrotérmicos Diários correspondem a um dia médio para determinada Classificação Climática Diária. Deste modo, o perfil é composto pela média horária nas 4 orientações cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste), para as seguintes variáveis:

- Temperatura da Superfície Externa (°C);
- Umidade Relativa da Superfície Externa (%);
- Fluxo de Calor (W/m<sup>2</sup>);
- Irradiância solar (W.h/m<sup>2</sup>).

O Quadro 12 apresenta o critério para escolha das Classificações Climáticas Diárias para a elaboração dos Perfis Higrotérmicos Diários.

Quadro 12 – Critérios para a escolha das Classificações Climáticas Diárias utilizadas na elaboração dos Perfis Higrotérmicos Diários

Período Chuvoso	
Característica	Critério
Condições Climáticas de maior frequência	Maior Frequência
Dia com Baixa Radiação e Baixas Temperaturas do Ar	$cRS \leq 2$ ; $cTM_{\max} \leq 2$ e $cTM_{\min} \leq 2$
Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada	$cTM_{\max} \geq 2$ e $cRS \geq 2$
Dia com Elevada Umidade e Baixa Amplitude Térmica do Ar	$cUR \geq 2$ e $cAT \leq 2$
Período Seco	
Característica	Critério
Condições Climáticas de maior frequência	Maior Frequência
Dia com Baixa Temperatura do Ar	$cTM_{\max} \leq 2$ e $cTM_{\min} \leq 2$
Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada	$cTM_{\max} \geq 2$ e $cRS \geq 2$
Dia com Baixa Amplitude Térmica do Ar	$cAT \leq 2$

A Figura 29 representa um perfil higrotérmico de uma única orientação e apresenta as médias de cada variável dependente ao longo das 24 horas do dia. Deste modo, para a composição de um Perfil Higrotérmico Diário são estabelecidos 4 perfis higrotérmicos, um para cada orientação cardinal (Norte, Sul, Leste e Oeste).

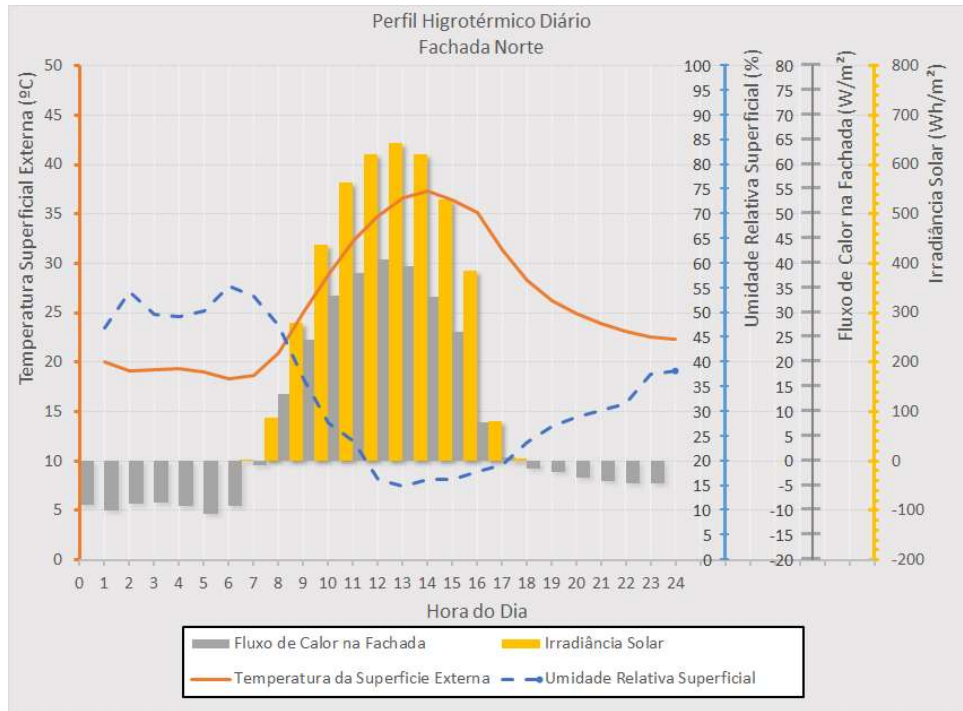


Figura 29 – Representação Gráfica do Perfil Higrotérmico de uma Orientação

Em conjunto com a apresentação dos perfis higrotérmicos são identificados valores de temperaturas máximas, mínimas e de amplitude térmica, além das horas com maior probabilidade de ocorrência dos picos de temperatura e da inversão do fluxo de calor. Desta forma, a Figura 30 apresenta a composição completa de um Perfil Higrotérmico Diário.

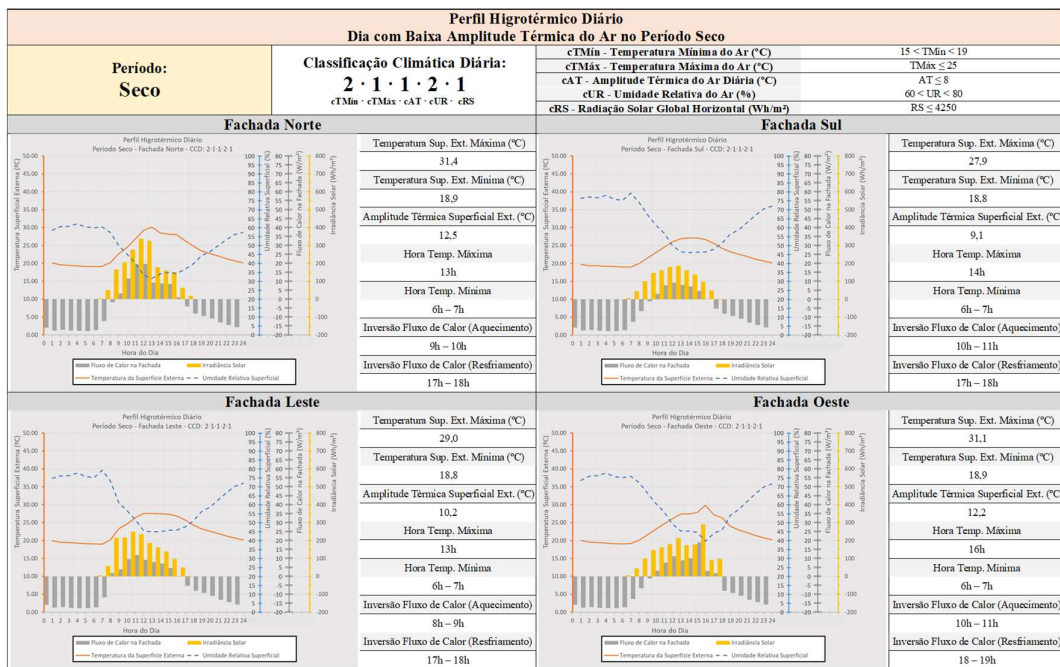


Figura 30 – Exemplo de Perfil Higrotérmico Diário

#### 4.4.3 Análise da Influência do Período do Ano

Ao longo do ano, há variações na trajetória solar e na intensidade dos agentes climáticos. Essas variações resultam em mudanças significativas no comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas (ZANONI, 2015).

Desta forma, para a análise da influência do período do ano foram utilizados os Perfis Higrotérmicos Diários das Classificações Climáticas Diárias de maior frequência. Para a elaboração de gráficos, para ilustrar as variações entre períodos do ano e orientação da fachada, foi realizada uma Análise de Variância – ANOVA, definida pelas seguintes variáveis:

*Variáveis Independentes:*

- Período do Ano;
- Orientação;

*Variáveis Dependentes:*

- Temperatura Superficial Externa Diária Máxima (°C);
- Temperatura Superficial Externa Diária Mínima (°C);
- Amplitude Térmica Superficial Diária (°C);
- Hora da Temperatura Superficial Externa Máxima;
- Hora da Temperatura Superficial Externa Mínima;
- Hora da Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema;
- Hora da Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema;

A Análise de Variância identificou os valores médios da interação entre Período do Ano e Orientação. Os valores obtidos, em conjunto com o pós-teste de Tukey, permitiu identificar se há diferenças estatísticas significantes entre os grupos de análise e observar se essas variáveis geram tendências, como períodos ou orientações que apresentem uma maior intensidade dos agentes climáticos.

#### 4.4.4 Análise da Influência das Propriedades do Sistema de Fachadas

A análise da influência das propriedades do sistema utilizou os 6 sistemas de análise, que apresentam diferentes transmitâncias e absorvâncias, conforme a Tabela 13. A análise se concentrou nos dias com Classificações Climáticas Diárias de maior frequência dos períodos Seco e Chuvoso.

Tabela 13 – Propriedades dos Sistemas de Fachadas em Revestimento Cerâmico Estudados

Sistema	Absortância	Transmitância (W/m <sup>2</sup> K)
Sistema 0	0,5	1,343
Sistema 1 - Referência	0,5	2,513
Sistema 2	0,3	1,343
Sistema 3	0,7	1,343
Sistema 4	0,3	2,513
Sistema 5	0,7	2,513

Para a análise estatística da influência das propriedades do sistema, por meio da ANOVA 3-way e do pós-teste de Tukey, foram consideradas as seguintes variáveis:

*Variáveis Independentes:*

- Período do Ano;
- Sistema de Fachada;
- Orientação;

*Variáveis Dependentes:*

- Temperatura Superficial Externa Diária Máxima (°C);
- Temperatura Superficial Externa Diária Mínima (°C);
- Amplitude Térmica Superficial Diária (°C);
- Hora da Temperatura Superficial Externa Máxima;
- Hora da Temperatura Superficial Externa Mínima;
- Hora da Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema;
- Hora da Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema;

Desta forma, a análise avaliou a influência do período do ano, das propriedades do sistema e da orientação sobre as variáveis dependentes. Porém, para avaliar o efeito da absorptância e da condutividade térmica do bloco cerâmico, isoladamente, a análise foi separada em duas etapas de análise.

A análise da absorptância selecionou sistemas com diferentes absorptâncias, porém com blocos cerâmicos de mesma condutividade térmica. Neste caso optou-se pelo Bloco Cerâmico (B) com condutividade térmica de 0,565W/m<sup>2</sup>K, o mesmo do sistema de referência (Sistema 1).

Para a análise da condutividade térmica do bloco, foram selecionados sistemas com diferentes condutividades térmicas, porém a mesma absorptância ( $\alpha = 0,5$ ), novamente a mesma do sistema de referência (Sistema 1).

A análise da variação das duas propriedades foi feita, simultaneamente, durante a análise da variação da intensidade dos agentes climáticos.

#### **4.4.5 Análise da Variação da Intensidade dos Agentes Climáticos**

Nesta etapa foram utilizados os 6 sistemas de fachadas, apresentados na Tabela 13, e foi analisada a influência da intensidade dos agentes climáticos, por meio de diferentes Classificações Climáticas Diárias.

Para a análise de variância – ANOVA da variação da intensidade dos agentes climáticos foram utilizadas as seguintes variáveis:

*Variáveis Independentes:*

- Período do Ano;
- Classificação Climática Diária;
- Sistema;
- Orientação;

*Variáveis Dependentes:*

- Temperatura Superficial Externa Diária Máxima (°C);
- Temperatura Superficial Externa Diária Mínima (°C);
- Amplitude Térmica Superficial Diária (°C);
- Hora da Temperatura Superficial Externa Máxima;
- Hora da Temperatura Superficial Externa Mínima;
- Hora da Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema;
- Hora da Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema;

A análise considerou a influência do período do ano, do sistema, da orientação e das condições climáticas diárias, representadas pela Classificação Climáticas Diária, sobre as variáveis dependentes.

No entanto, devido ao grande número de classificações possíveis, optou-se por avaliar apenas 6 cenários, 3 para cada período (Seco e Chuvoso) definidos pelos critérios apresentados no Quadro 12:

- Condições Climáticas de maior frequência;
- Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada;
- Dia com Baixa Radiação e Baixas Temperaturas do Ar.

Desta forma, foi possível observar o efeito da variação da intensidade dos agentes climáticos nos 6 sistemas de fachadas em estudo.

#### **4.4.6 Análise do Comportamento Térmico Anual das Fachadas**

Esta etapa, por meio de gráficos *Box Plot*, verificou a variação de temperaturas superficiais de fachadas e de sua amplitude térmica diária ao longo do ano e dentro dos próprios meses.

Foram utilizados os dados de temperatura superficial externa do Sistema de Referência (Sistema 1) e foram analisadas as 4 orientações cardeais: Norte, Sul, Leste e Oeste.

A análise foi feita com base nos dados diários de dias sem chuva (pluviometria diária menor que 1mm) e analisou as temperaturas superficiais externas diárias máximas, as temperaturas superficiais externas diárias mínimas e a amplitude superficial externa diária. Desta forma, foi possível verificar a dispersão dos dados diários ao longo dos meses do ano e identificar um perfil do comportamento térmico ao longo de um ano típico.

#### **4.4.7 Síntese dos Fatores Relevantes para as Medições Térmicas em Inspeções de Fachadas**

Após os resultados apresentados e analisados, foi elaborada uma tabela síntese dos fatores relevantes para medições térmicas superficiais em fachadas em revestimento cerâmico em Brasília-DF, contendo diretrizes para a realização das medições térmicas superficiais, além da influência das propriedades do sistema, das condições climáticas e do período do ano nos procedimentos de coleta e em sua análise.

### **4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO**

Os procedimentos metodológicos apresentados visam cumprir com os objetivos específicos e geral da dissertação, apresentados no item 1.4.

O Quadro 13 apresenta uma síntese dos produtos resultantes da aplicação dos procedimentos metodológicos, atendendo assim aos objetivos específicos adotados.



Quadro 13 – Síntese dos Procedimentos Metodológicos e seus produtos

<b>Procedimento Metodológico</b>	<b>Produto</b>
Classificação Climática Diária (4.1)	- Método de Classificação Climática Diária. (5.1)
Simulação Computacional (4.2)	- Dados do comportamento higrotérmico dos 6 sistemas de fachadas, nas 4 orientações. (APÊNDICE D)
Medições em Campo (4.3)	- Dados medidos em campo (APÊNDICE F); - Aplicação das ferramentas propostas (5.6); - Identificação de fatores que devem ser observados durante as medições em campo (5.6).
Análise de Sensibilidade da Classificação Climática Diária (4.4.1)	- Análise estatística (5.1.1): → Análise de Variância - ANOVA 1-Way, pós-teste de Tukey: variância das 3 variáveis dependentes em relação a cada uma das variáveis independentes “Classe de intensidade”; → Técnica de Redes Neurais - Análise de Importância: são 3 gráficos (um para cada variável dependente) que relacionam por ordem de importância qual a capacidade de cada uma das 13 variáveis independentes de fazer variar a variável dependente.
Identificação dos Perfis Higrotérmicos Diários (4.4.2)	- Ferramentas gráficas para o estudo do comportamento higrotérmico diário dos sistemas de fachada em revestimento cerâmico: são 8 quadros, sendo 4 perfis higrotérmicos para o período seco e 4 perfis higrotérmicos para o período chuvoso (5.2).
Análise da Influência do Período do Ano (4.4.3)	- Análise das diferenças entre os períodos Seco e Chuvoso, com base nos perfis hidrotérmicos diários (5.2.1).
Análise da Influência das Propriedades do Sistema (4.4.4)	- Análise das diferenças entre sistemas com diferentes absorptâncias e transmitâncias, considerando a influência do período do ano, das propriedades do sistema e da orientação sobre as variáveis dependentes (5.3).
Análise da Influência da Variação da Intensidade dos Agentes Climáticos (4.4.5)	- Análise e comparação de dias com diferentes condições climáticas (caracterizados pela Classificação Climática Diária) com base na influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes (5.4).
Análise do Comportamento Térmico Anual das Fachadas (4.4.6)	- Gráficos <i>Box Plot</i> : Identificação do comportamento térmico ao longo do ano e da variação da temperatura superficial dentro dos meses, com base em dados diários (5.5).
Síntese dos Fatores Relevantes para as Medições Térmicas em Inspeções de Fachadas (4.4.7)	- Tabela síntese de diretrizes para medições térmicas superficiais em inspeções de fachadas (5.7).

## 5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa foram divididos em 3 partes, a Classificação Climática Diária aplicada ao arquivo climático de Brasília, os Perfis Higrotérmicos Diários de fachadas em revestimento cerâmico em Brasília e a análise dos resultados das medições em campo. A partir das análises destas três partes, são definidas as diretrizes para medições de solicitações térmicas superficiais em fachadas em revestimento cerâmico de Brasília-DF.

A primeira parte consiste na definição da Classificação Climática Diária da Zona Bioclimática 4 e a classificação dos dias que compõem um ano climático típico em Brasília-DF, definido pelo arquivo TMY. Nesta etapa, foi realizada a análise de sensibilidade das classes de intensidade de cada variável climática, de modo a avaliar a influência das classes de intensidade de classificação sobre a amplitude térmica e as temperaturas superficiais máximas e mínimas diárias das fachadas.

A segunda parte é composta pela definição dos Perfis Higrotérmicos Diários, definidos de acordo com o período do ano e a Classificação Climática Diária. Além da apresentação dos perfis higrotérmicos, foram avaliadas as influências do período do ano, da orientação das fachadas e das propriedades dos sistemas na realização de medições térmicas superficiais em fachadas.

A terceira parte consiste na análise dos resultados e observações coletados durante as medições de campo, onde foram buscados aspectos que complementem os dados da simulação computacional.

Por fim, foram propostas as diretrizes para realização de medições de solicitações térmicas em fachadas em revestimento cerâmico para Brasília-DF.

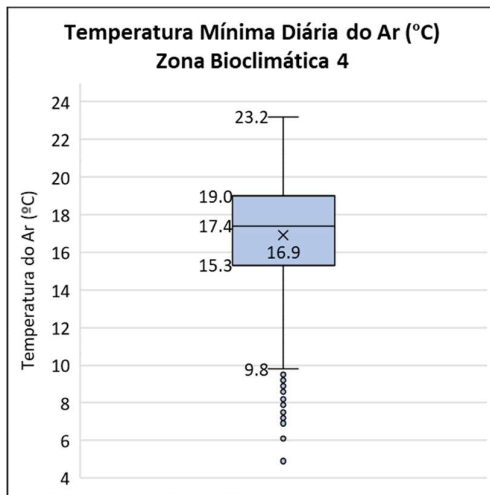
### 5.1 CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA

Baseado nos quartis de frequência identificados pelos gráficos *Box Plot*, apresentados na Figura 31, foram definidas para a Zona Bioclimática 4, as classes de intensidade de classificação de cada variável climática, conforme apresentado na Tabela 14.

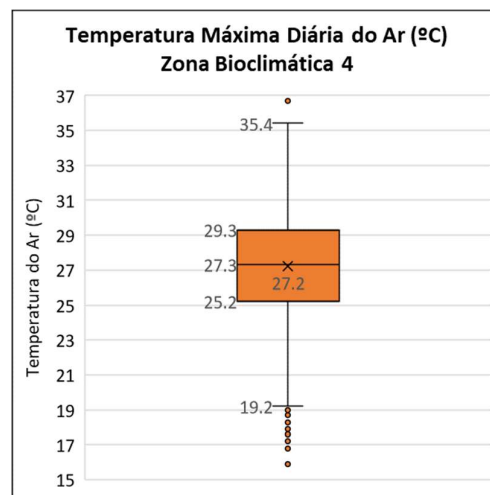
Tabela 14 – Classes de Intensidade para a Classificação Climática Diária da Zona Bioclimática 4

Classe	Variável Climática				
	Temperatura do ar Mínima Diária (°C)	Temperatura do ar Máxima Diária (°C)	Amplitude Térmica Diária do Ar (°C)	Umidade Relativa Média Diária (%)	Radiação Global Diária Acumulada (Wh/m <sup>2</sup> )
1	≤ 15	≤ 25	≤ 8	≤ 60	≤ 4250
2	15 < T <sub>mín</sub> < 19	25 < T <sub>máx</sub> < 29	8 < AT < 12	60 < UR < 80	4250 < RS < 6000
3	≥ 19	≥ 29	≥ 12	≥ 80	≥ 6000

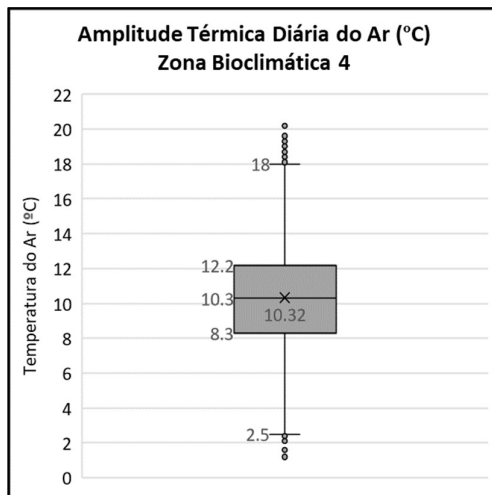
A proposta de Classificação Climática Diária caracteriza 5 agentes climáticos simultaneamente (Temperatura do Ar Mínima e Máxima Diárias, Amplitude Térmica Diária, Umidade Relativa Média Diária e Radiação Global Diária Acumulada), diferentemente dos Dias Típicos de Projeto, que utilizam apenas a temperatura do ar como fator para escolha dos dias de medição em campo.



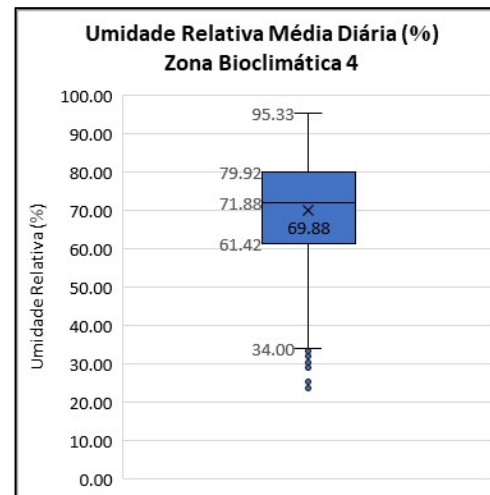
(a)



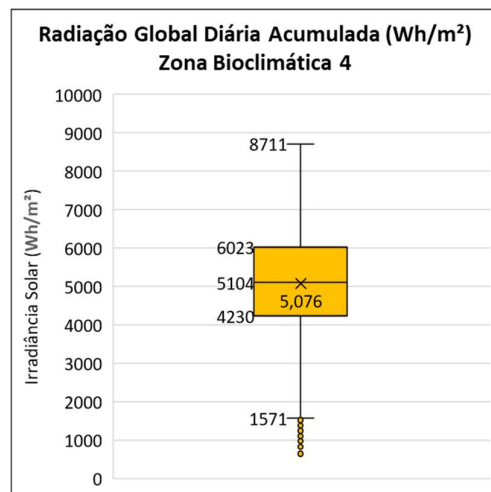
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 31 – Identificação dos perfis de frequência para a Temperatura do Ar Mínima Diária (a); Temperatura do Ar Máxima Diária (b); Amplitude Térmica Diária do Ar (c); Umidade Relativa Média Diária (d) e Radiação Global Diária Acumulada (e).

Esta abordagem permite que o pesquisador ou inspetor avalie a ação sinérgica dos agentes climáticos sobre os sistemas de fachadas. Além disso, a Classificação Climática Diária, por meio da caracterização da intensidade de cada agente climático, permite a definição de parâmetros e critérios de análise.

O método de Classificação Climática Diária foi aplicado nos Dias Típicos de Projeto da NBR 15575, conforme apresentado no APÊNDICE B. Assim, os Dias Típicos de Projeto de Brasília-DF apresentam as seguintes Classificações Climáticas Diárias:

- Dia Típico de Verão: 2·3·3·2·2
- Dia Típico de Inverno: 1·1·3·2·2

Foi observado que tanto no Dia Típico de Verão como no Dia Típico de Inverno, há uma amplitude térmica de alta intensidade, superior a 12 °C, correspondendo a elevada amplitude térmica diária comum em Brasília (ZANONI, 2015).

Apesar da radiação solar ser um agente climático extremamente relevante ao comportamento higrotérmico do sistema, os Dias Típicos apresentam uma intensidade moderada. Assim, durante as avaliações de desempenho térmico ou medições térmicas, deve-se verificar se a intensidade moderada traz relevância aos resultados.

Para a definição de parâmetros e critérios para a caracterização das condições climáticas diárias é fundamental que sejam realizadas análises de sensibilidade, os quais devem considerar o sistema em estudo e o objetivo da medição. Desta forma, o item 5.1.1 apresenta a análise de sensibilidade da Classificação Climática Diária para a realização de medições térmicas superficiais em fachadas em revestimento cerâmico em Brasília-DF.

### **5.1.1 Análise de Sensibilidade da Classificação Climática Diária**

Para a análise de sensibilidade da Classificação Climática Diária, foram utilizados os dados da simulação computacional do comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas em revestimento cerâmico, descrita no item 4.2.

A análise avaliou as classes de intensidade das variáveis de classificação com base nos seguintes indicadores de resposta da edificação: Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada e a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.

Na primeira etapa da análise de sensibilidade foi utilizada a ANOVA 1-Way, em conjunto com o pós-teste de Tukey, para verificar a diferença estatística entre as 3 classes de intensidade de cada variável climática. Os resultados do pós-teste de Tukey são apresentados no APÊNDICE C.

#### Classes de Intensidade da Temperatura Mínima Diária do Ar

- Para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, as 3 classes de intensidade da Temperatura Mínima Diária do Ar apresentam variações estatísticas significativas entre si.
- Para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada, não há diferença estatística entre as classes de intensidade 1 e 2; e a variação entre as 3 classes para este indicador é baixa.
- Para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada, não há diferença estatística entre as classes de intensidade 2 e 3; e a variação entre as 3 classes para este indicador é baixa.

- A baixa variação entre as classes de intensidade e sobreposição entre elas, pode indicar uma baixa influência da Temperatura Mínima Diária do Ar na Temperatura Máxima e na Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada e a possibilidade de reduzir o número de classes de intensidade para a avaliação destes indicadores de forma isolada.

#### Classes de Intensidade da Temperatura Máxima Diária do Ar

- Para os 3 indicadores (Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada, Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada), as 3 classes de intensidade da Temperatura Máxima Diária do Ar apresentam variações estatísticas significativas entre si.

#### Classes de Intensidade da Amplitude Térmica Diária do Ar

- Para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada e para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada, as 3 classes de intensidade da Amplitude Térmica Diária do Ar apresentam variações estatísticas significativas entre si.
- Para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada, não há diferença estatística entre as classes de intensidade 1 e 2.

#### Classes de Intensidade da Umidade Relativa Média

- Para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada e para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada, as 3 classes de intensidade da Umidade Relativa Média apresentam variações estatísticas significativas entre si.
- Para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada, não há diferença estatística entre as classes de intensidade 1 e 2.
- Há uma baixa variação entre as 3 classes de intensidade sobre a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada.

#### Classes de Intensidade da Radiação Global Acumulada

- Para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada e para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada, as 3 classes de intensidade da Radiação Global Acumulada apresentam variações estatísticas significativas entre si.
- Para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada há uma sobreposição entre as classes de intensidade 2 e 3.
- Há uma baixa variação entre as 3 classes de intensidade sobre a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada.

Em seguida foi realizada a Análise de Importância, a qual mede a importância de cada variável independente, ou seja, quanto cada variável independente é capaz de alterar os valores de uma variável dependente de um modelo definido por uma rede neural.

A definição do modelo matemático definido pela rede neural, está descrito no item no item 4.4.1, e avalia não apenas as classes de intensidade da Classificação Climática Diária, mas também os efeitos das propriedades do sistema, como a transmitância térmica e da absorvância, e a orientação da fachada.

As Figuras 32, 33 e 34 apresentam a Análise de Importância das variáveis independentes analisadas para os seguintes indicadores de resposta da edificação: Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada e a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.

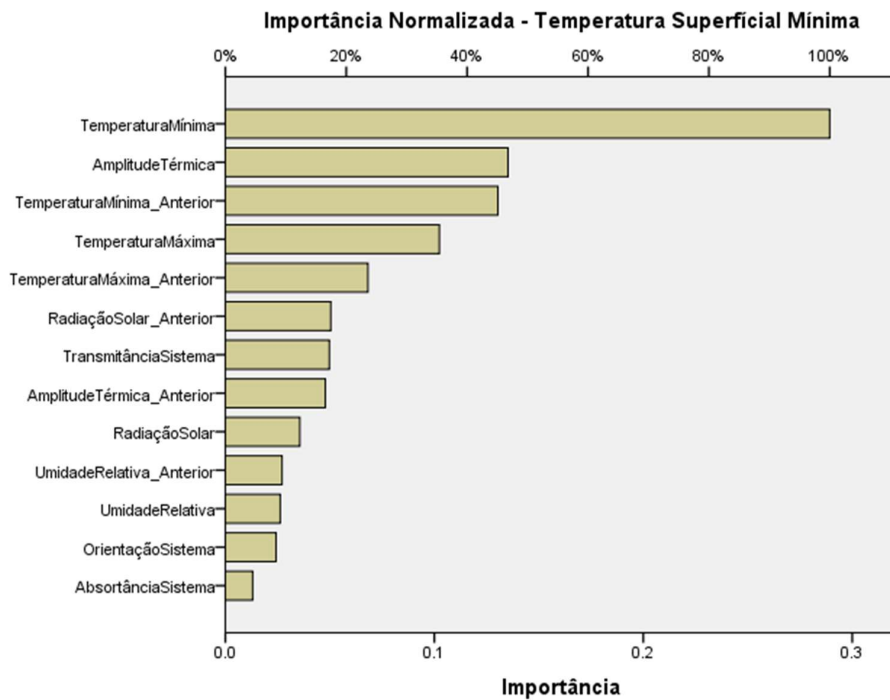


Figura 32 – Análise de Importância das variáveis independentes para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada.

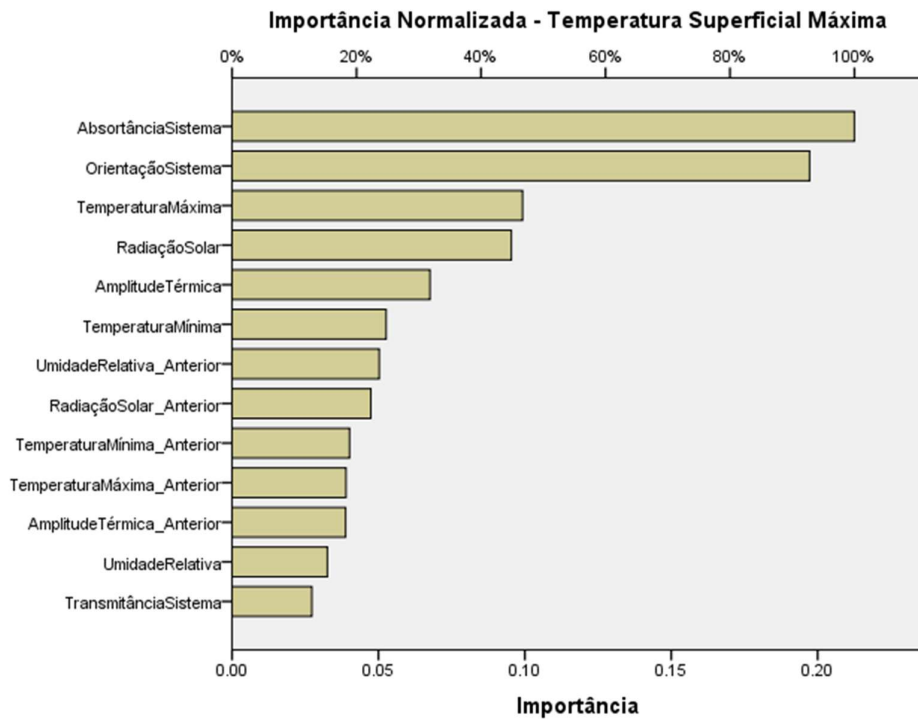


Figura 33 - Análise de Importância das variáveis independentes para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada.

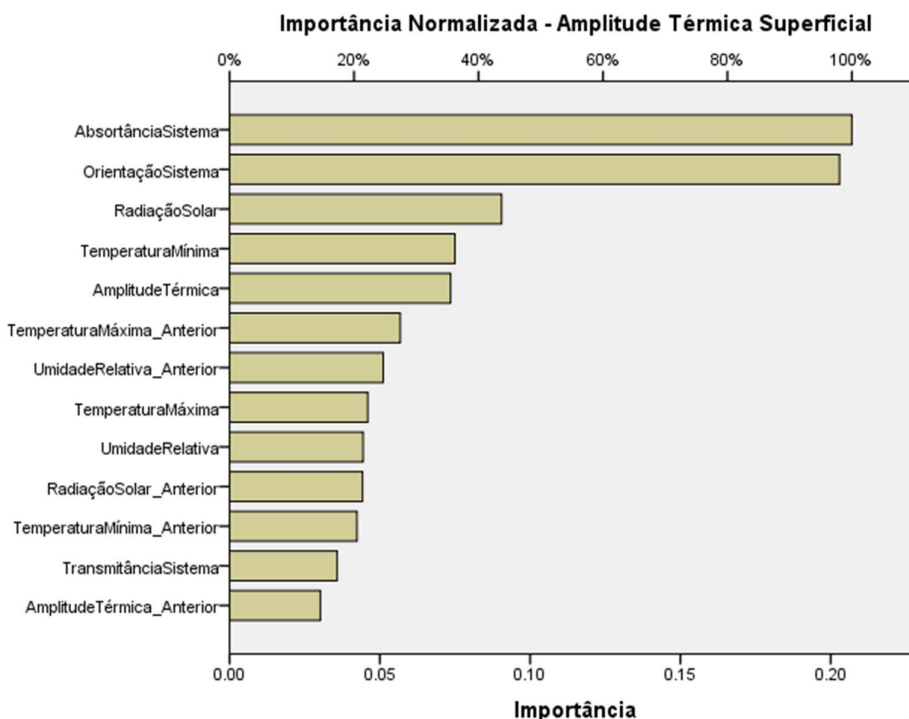


Figura 34 - Análise de Importância das variáveis independentes para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.

Para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, destaca-se a influência da temperatura mínima do ar durante o dia de coleta. Os demais agentes climáticos, as propriedades do sistema e sua orientação pouco influenciam na temperatura mínima superficial externa da fachada.

A baixa influência da Temperatura Máxima Diária do Ar e da Radiação Solar Global Acumulada está relacionada ao seu período de ocorrência, visto que a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada ocorre no início da manhã, antes da incidência solar e da ocorrência da temperatura máxima do ar.

Tanto para a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada como para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada, a absorvância e a orientação do sistema são os fatores preponderantes. Estas variáveis estão diretamente relacionadas à resposta do sistema em relação à irradiância solar.

Dentre as variáveis climáticas, se destacam a radiação solar, a temperatura máxima e a amplitude térmica do ar; enquanto as condições climáticas do dia anterior pouco influenciam na Temperatura Máxima e na Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.

A variação da transmitância térmica dos sistemas não gerou grandes variações no comportamento térmico da superfície externa. Porém, caso sejam utilizadas outras composições de sistema, como blocos de concreto ou outros substratos, podem ser alcançados resultados diferentes.

## 5.2 PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS

Os Perfis Higrotérmicos Diários representam o comportamento higrotérmico das fachadas nas orientações cardeais, ao longo das 24h do dia. Eles permitem a identificação de horas mais relevantes às medições térmicas de fachadas, para os indicadores: Temperatura Mínima e Máxima na Superfície da Fachada, Inversão do Fluxo de Calor no aquecimento e no resfriamento.

Para a definição dos Perfis Higrotérmicos Diários foram utilizados os dados horários emitidos pela simulação computacional, usando o ano climático típico (TMY). As representações dos comportamentos higrotérmicos diários correspondem a um dia médio, para uma determinada Classificação Climática Diária, no Sistema de Referência (Sistema 1).

Para a identificação de horários relevantes às medições térmicas, foi realizada uma análise de frequência de ocorrência para as condições climáticas em estudo.

Utilizando os critérios apresentados no item 4.4.2, foram definidos 8 Perfis Higrotérmicos Diários, 4 para cada período do ano (Seco e Chuvoso). Estes perfis visam ilustrar tanto as condições climáticas mais frequentes, assim como as máximas e mínimas variações dos agentes climáticos, conforme o Quadro 14.

Quadro 14 – Lista dos Perfis Higrotérmicos Diários de acordo com o período do ano e a Classificação Climática Diária

Período Chuvoso	
Condições Climáticas de maior frequência	CCD: 2·2·2·2·3
Dia com Baixa Radiação e Baixas Temperaturas do Ar	CCD: 2·1·1·2·1
Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada	CCD: 2·3·3·1·3
Dia com Elevada Umidade e Baixa Amplitude Térmica do Ar	CCD: 2·1·1·3·1
Período Seco	
Condições Climáticas de maior frequência	CCD: 2·2·2·2·2
Dia com Baixa Temperatura do Ar	CCD: 1·1·2·1·2
Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada	CCD: 2·3·3·1·3
Dia com Baixa Amplitude Térmica do Ar	CCD: 2·1·1·2·1
Legenda	CCD: cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

O objetivo dos Perfis Higrotérmicos Diários é permitir que o leitor visualize o comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas ao longo do dia, permitindo-o observar as variações causadas pela mudança de orientação e das condições climáticas. Deste modo, a ferramenta pode ser utilizada tanto para a avaliação de dados coletados em campo como no planejamento de futuras medições térmicas em fachadas.

Porém, antes da utilização dos Perfis Higrotérmicos Diários, devem ser observados alguns pontos:

- A definição dos Perfis Higrotérmicos Diários utiliza dados de edificações em meio urbano, porém sem considerar a influência de edificações ou de vegetações adjacentes. Deste modo, nas medições de campo, o inspetor deve avaliar a influência dos elementos próximos à edificação no comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas.
- Os valores identificados nos Perfis Higrotérmicos Diários para Temperatura e Umidade Superficial Externa, Irradiância Solar e Fluxo de Calor são baseados em uma amostra de dados, composta por dados horários de um ano típico. Desta



forma, apesar da identificação de padrões e de períodos de referência, deve-se considerar as limitações do uso de um ano típico.

- Outros agentes climáticos, como o vento, a chuva dirigida e a nebulosidade, devem ser observadas em campo.
- Os Perfis Higrotérmicos Diários são definidos para um sistema de fachada de referência, a variação da absorptância solar da superfície externa e da transmitância térmica do bloco cerâmico são abordados nos tópicos seguintes da análise de resultados.

## Perfil Higrotérmico Diário

### Condições Climáticas de Maior Frequência do Período Chuvoso

**Período:  
Chuvoso**

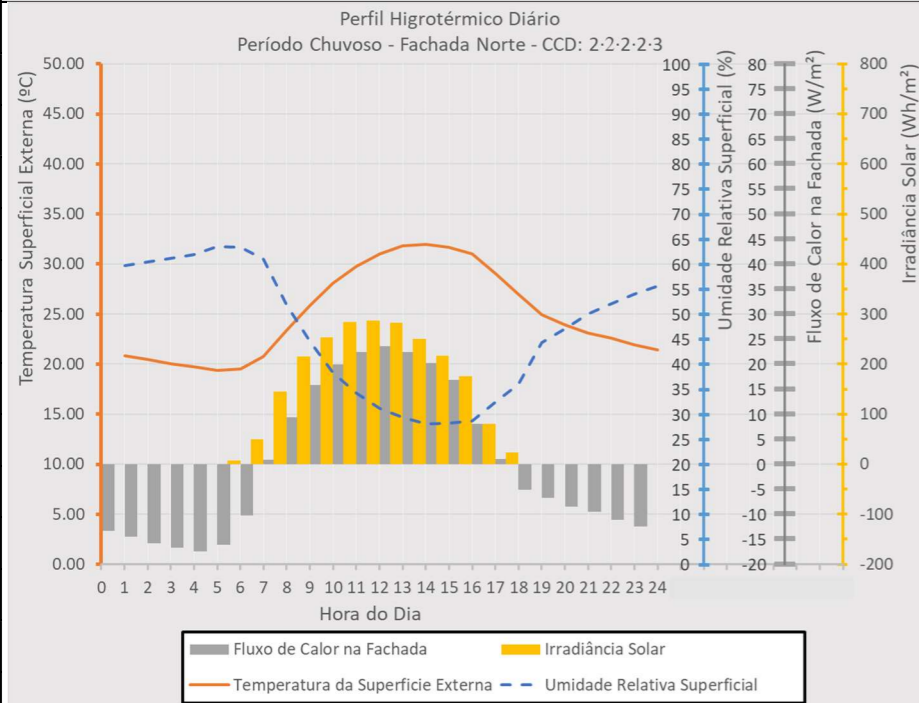
**Classificação Climática Diária:**

**2 · 2 · 2 · 2 · 3**

cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

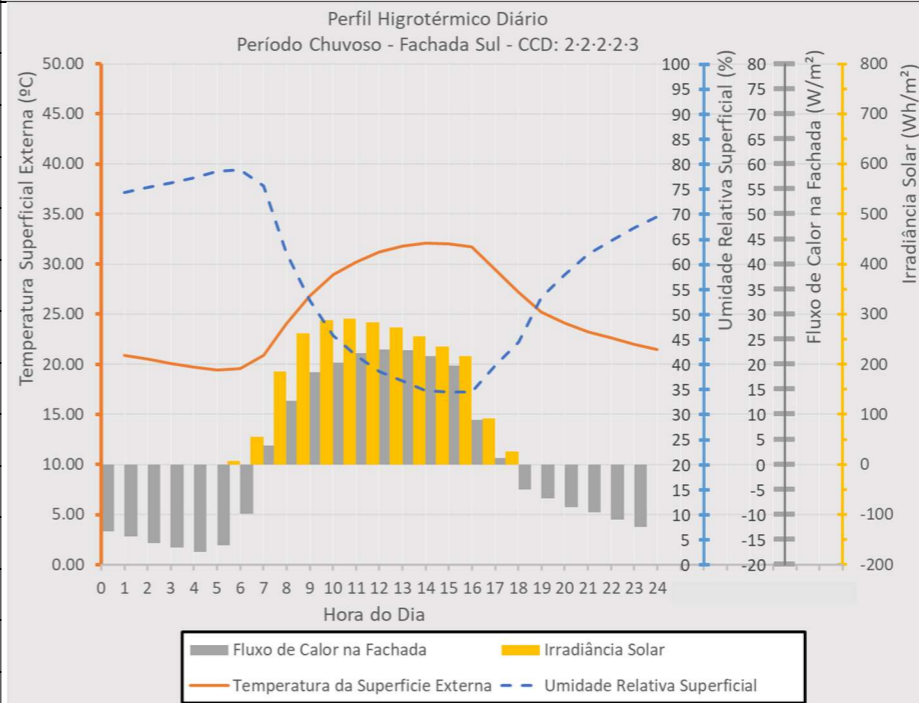
<b>cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)</b>	15 < T <sub>Mín</sub> < 19
<b>cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)</b>	25 < T <sub>Máx</sub> < 29
<b>cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)</b>	8 < AT < 12
<b>cUR - Umidade Relativa do Ar (%)</b>	60 < UR < 80
<b>cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	RS ≥ 6000

#### Fachada Norte



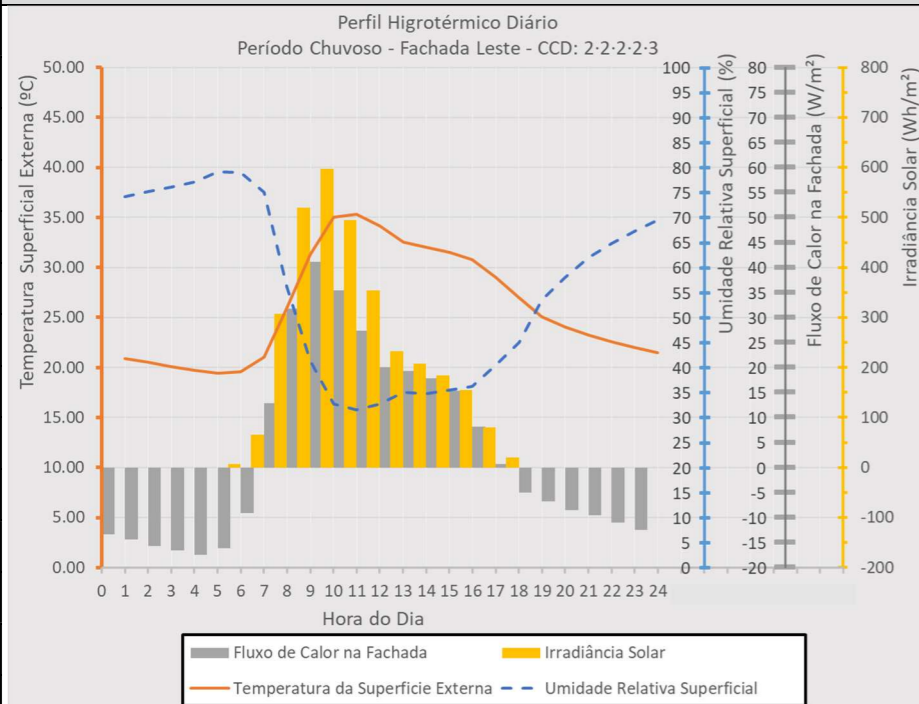
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	32,3
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,3
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	13,0
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h - 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h - 19h

#### Fachada Sul



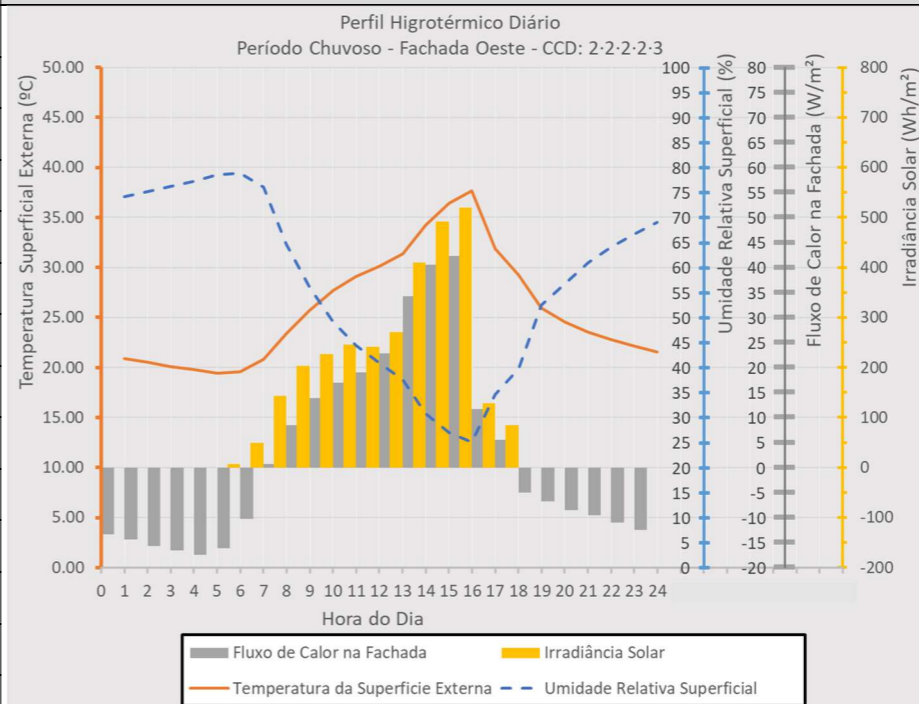
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	32,6
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,3
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	13,3
Hora Temp. Máxima	15h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h - 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h - 19h

#### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	35,6
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,3
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	16,3
Hora Temp. Máxima	10h-11h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h - 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h - 19h

#### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	38,2
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,3
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	18,9
Hora Temp. Máxima	16h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h - 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h - 19h

#### Propriedades do Sistema de Fachada

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m<sup>2</sup>K

**Absortância**

0,5

## Perfil Higrotérmico Diário

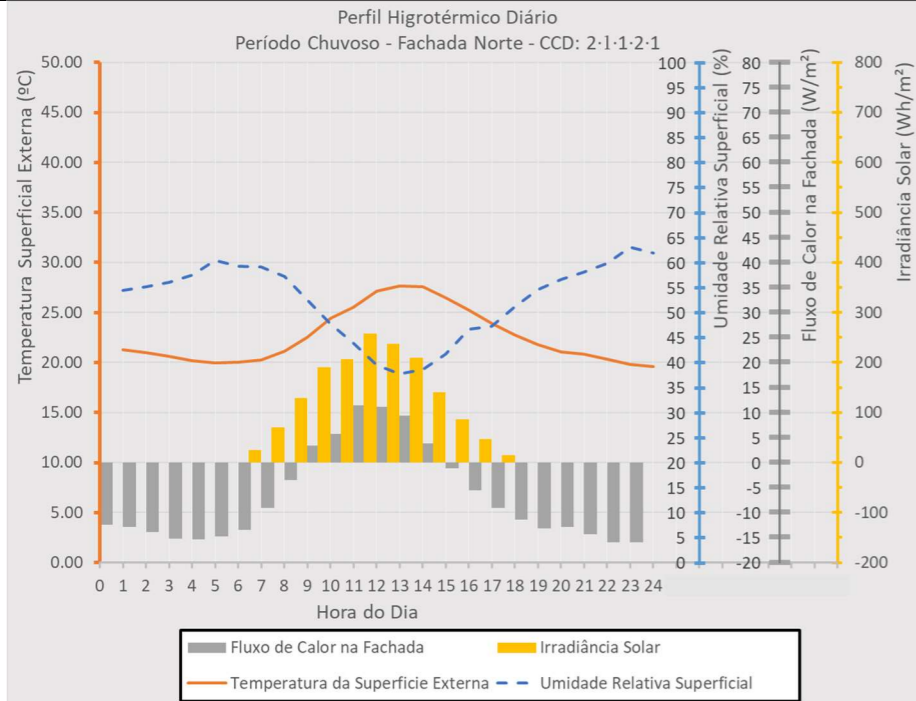
### Dia com Baixa Radiação e Baixas Temperaturas do Ar no Período Chuvoso

**Período:  
Chuvoso**

**Classificação Climática Diária:**  
**2 · 1 · 1 · 2 · 1**  
cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

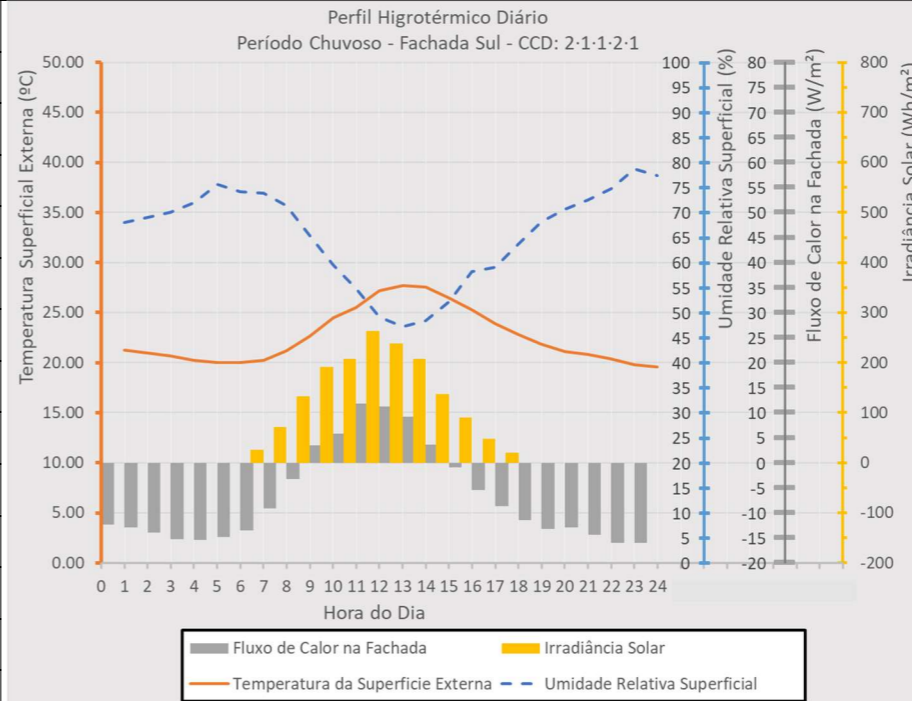
<b>cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)</b>	15 < TMín < 19
<b>cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)</b>	TMáx ≤ 25
<b>cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)</b>	AT ≤ 8
<b>cUR - Umidade Relativa do Ar (%)</b>	60 < UR < 80
<b>cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)</b>	RS ≤ 4250

#### Fachada Norte



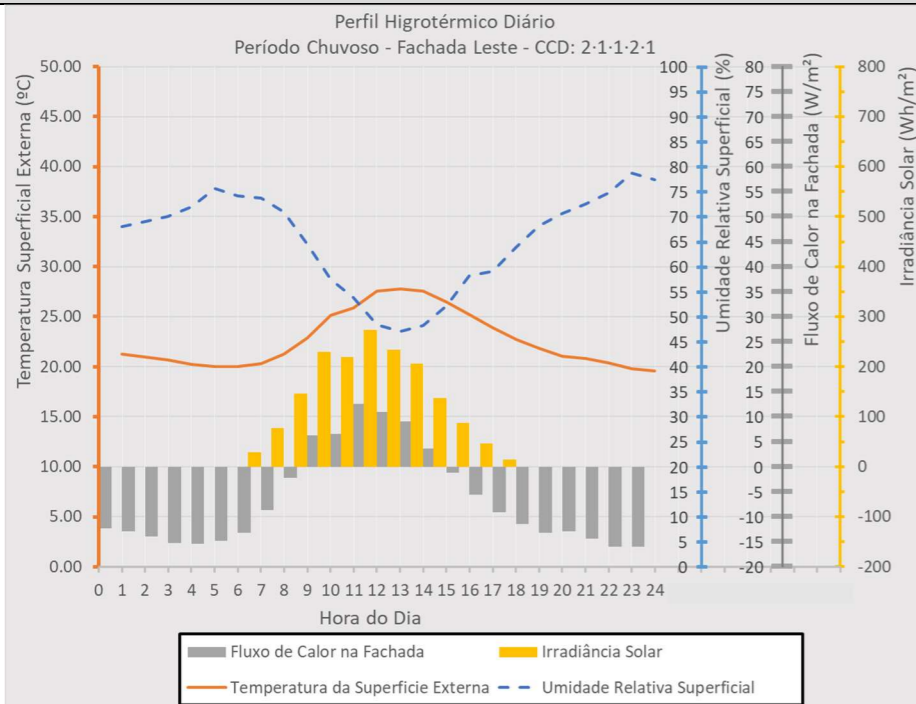
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	28,1
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,4
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	8,7
Hora Temp. Máxima	13h - 14h
Hora Temp. Mínima	9h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h - 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	15h - 16h

#### Fachada Sul



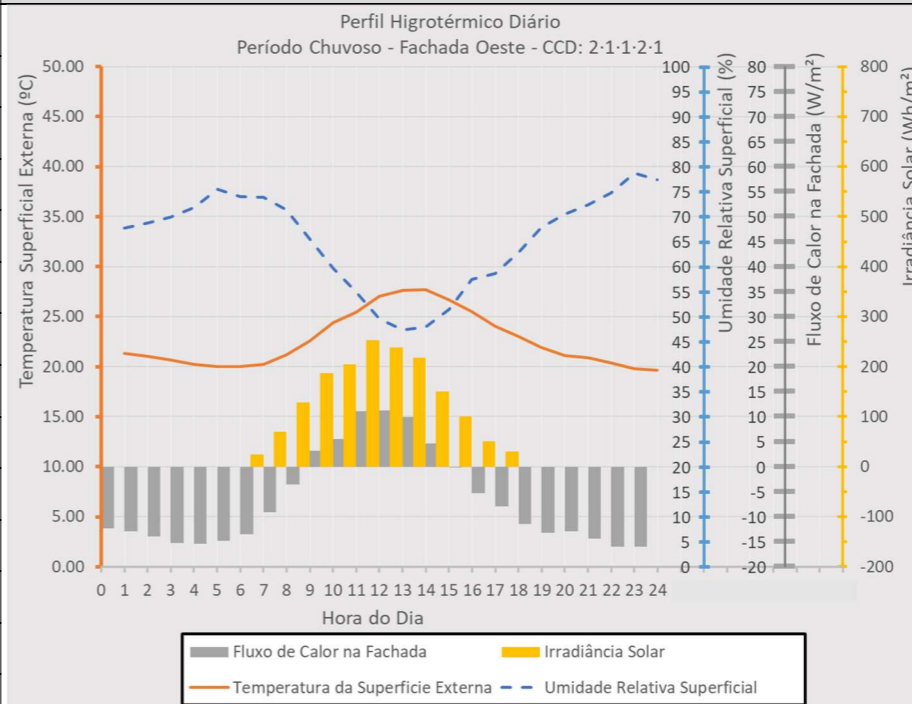
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	28,1
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,4
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	8,7
Hora Temp. Máxima	13h
Hora Temp. Mínima	9h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h - 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	15h - 16h

#### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	28,2
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,4
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	8,8
Hora Temp. Máxima	13h
Hora Temp. Mínima	9h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h - 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	15h - 16h

#### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	28,2
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	19,4
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	8,8
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	9h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h - 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	16h - 17h

#### Propriedades do Sistema de Fachada

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m<sup>2</sup>K

**Absortância**

0,5



## Perfil Higrotérmico Diário

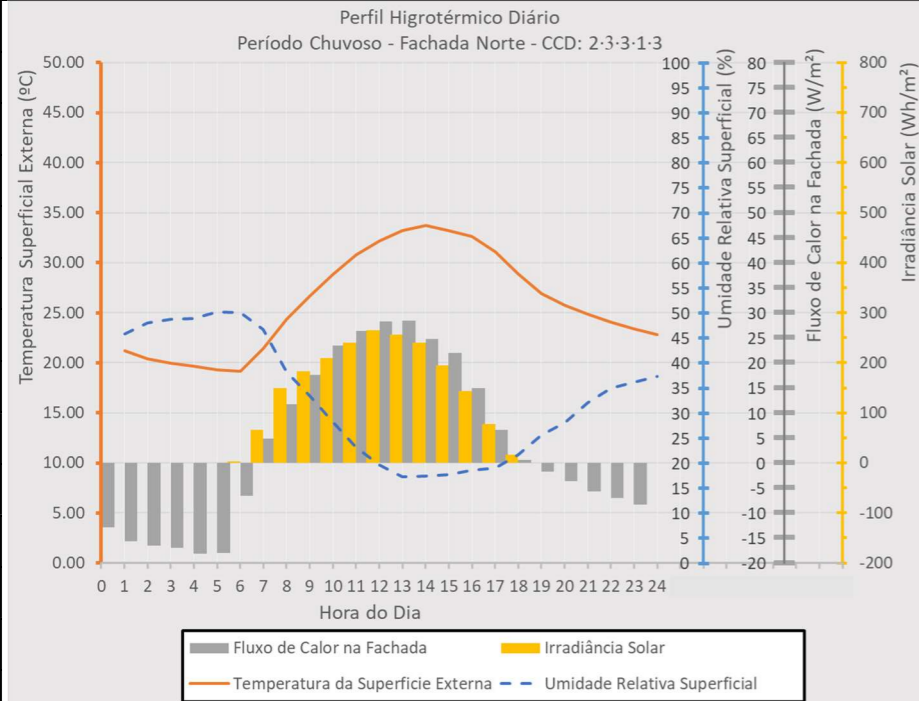
### Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada no Período Chuvoso

**Período:**  
**Chuvoso**

**Classificação Climática Diária:**  
**2 · 3 · 3 · 1 · 3**  
cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

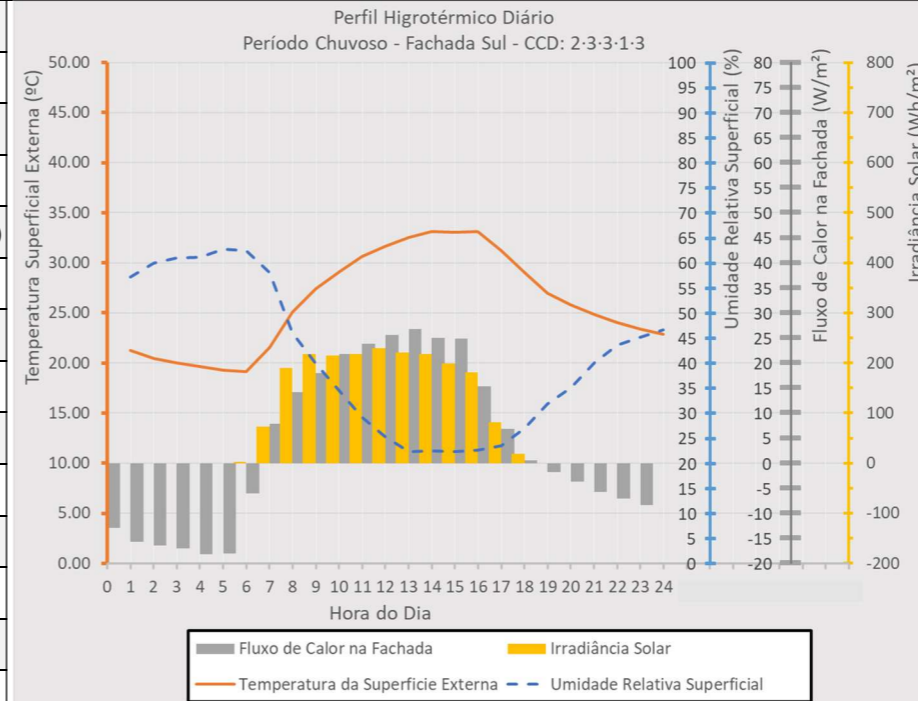
<b>cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)</b>	15 < TMín < 19
<b>cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)</b>	TMáx ≥ 29
<b>cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)</b>	AT ≥ 12
<b>cUR - Umidade Relativa do Ar (%)</b>	UR ≤ 60
<b>cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m²)</b>	RS ≥ 6000

#### Fachada Norte



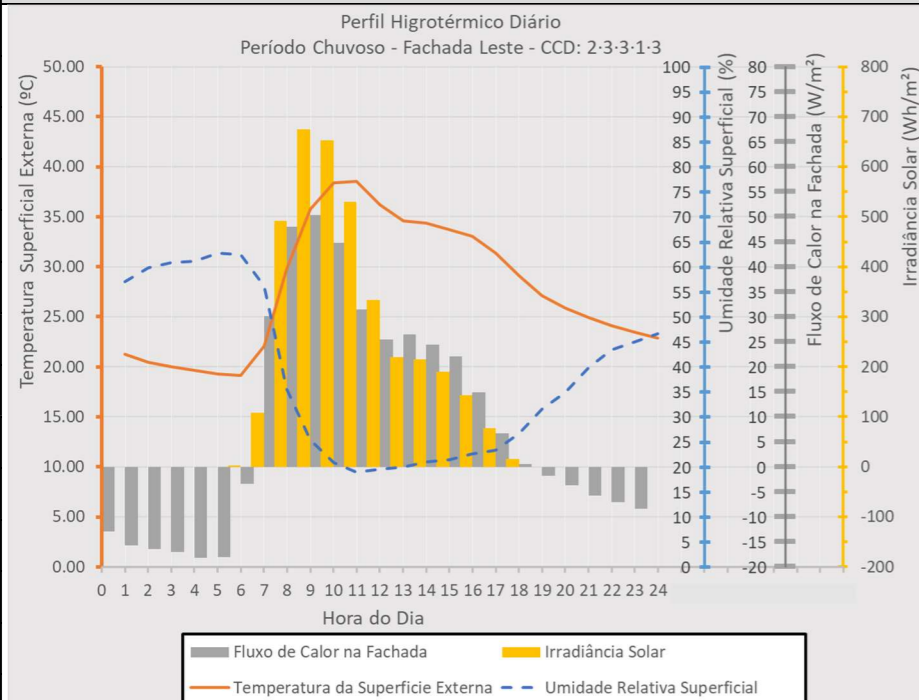
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	33,8
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	14,9
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	19h – 20h

#### Fachada Sul



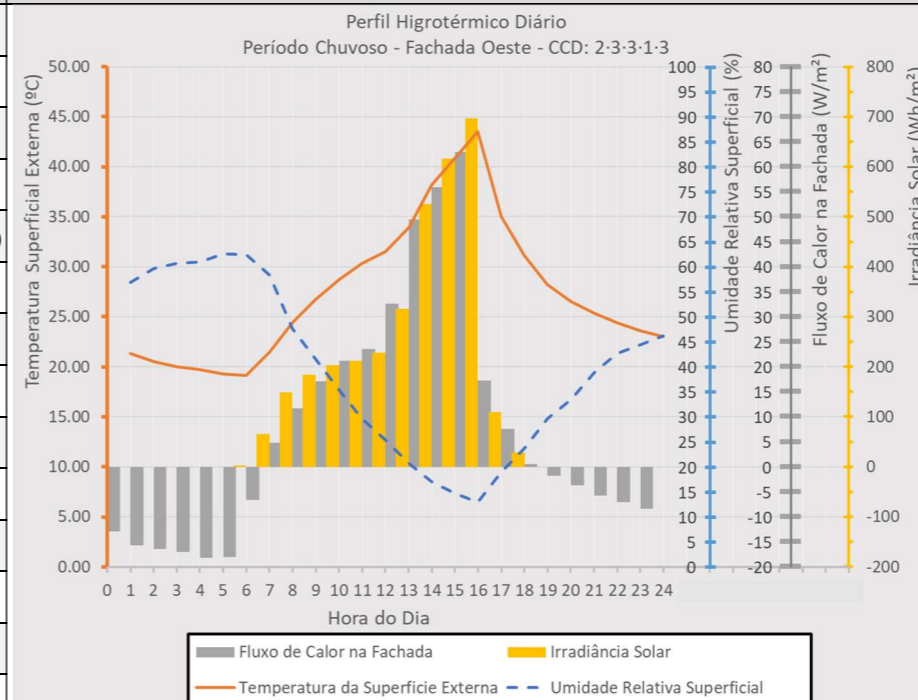
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	33,5
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	14,6
Hora Temp. Máxima	16h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	19h – 20h

#### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	38,7
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	19,8
Hora Temp. Máxima	11h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	19h – 20h

#### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	43,5
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	24,6
Hora Temp. Máxima	16h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	19h – 20h

**Propriedades do Sistema de Fachada**

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m²K

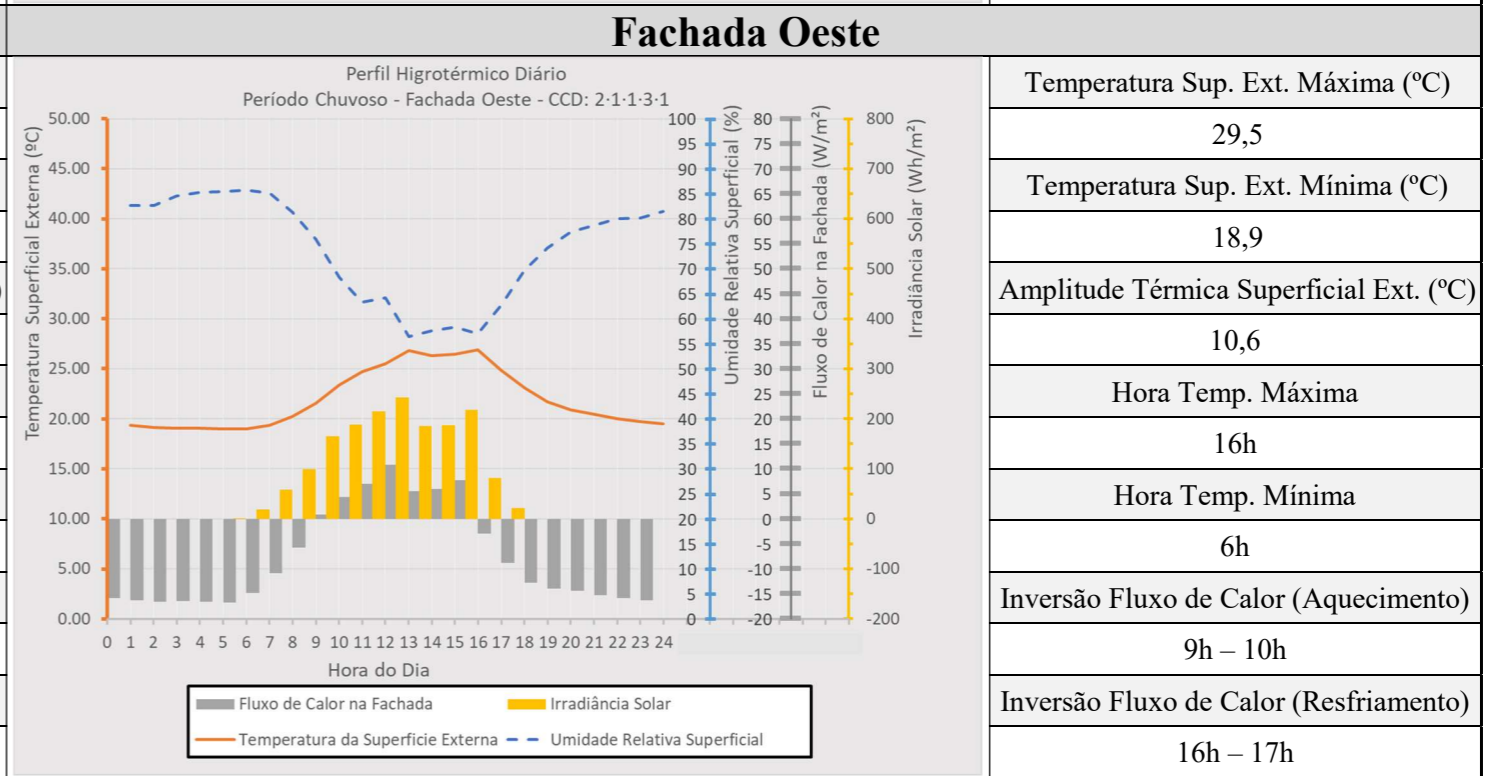
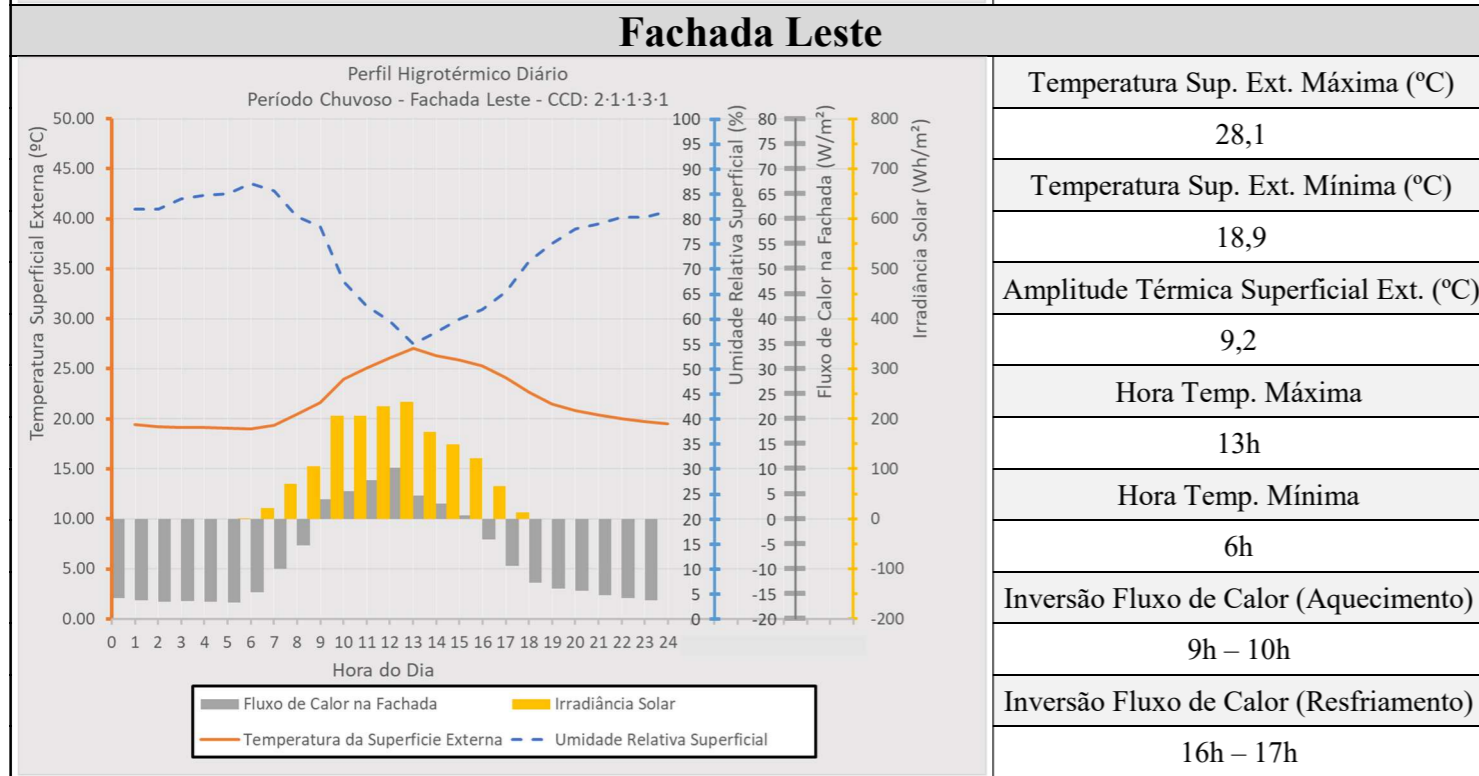
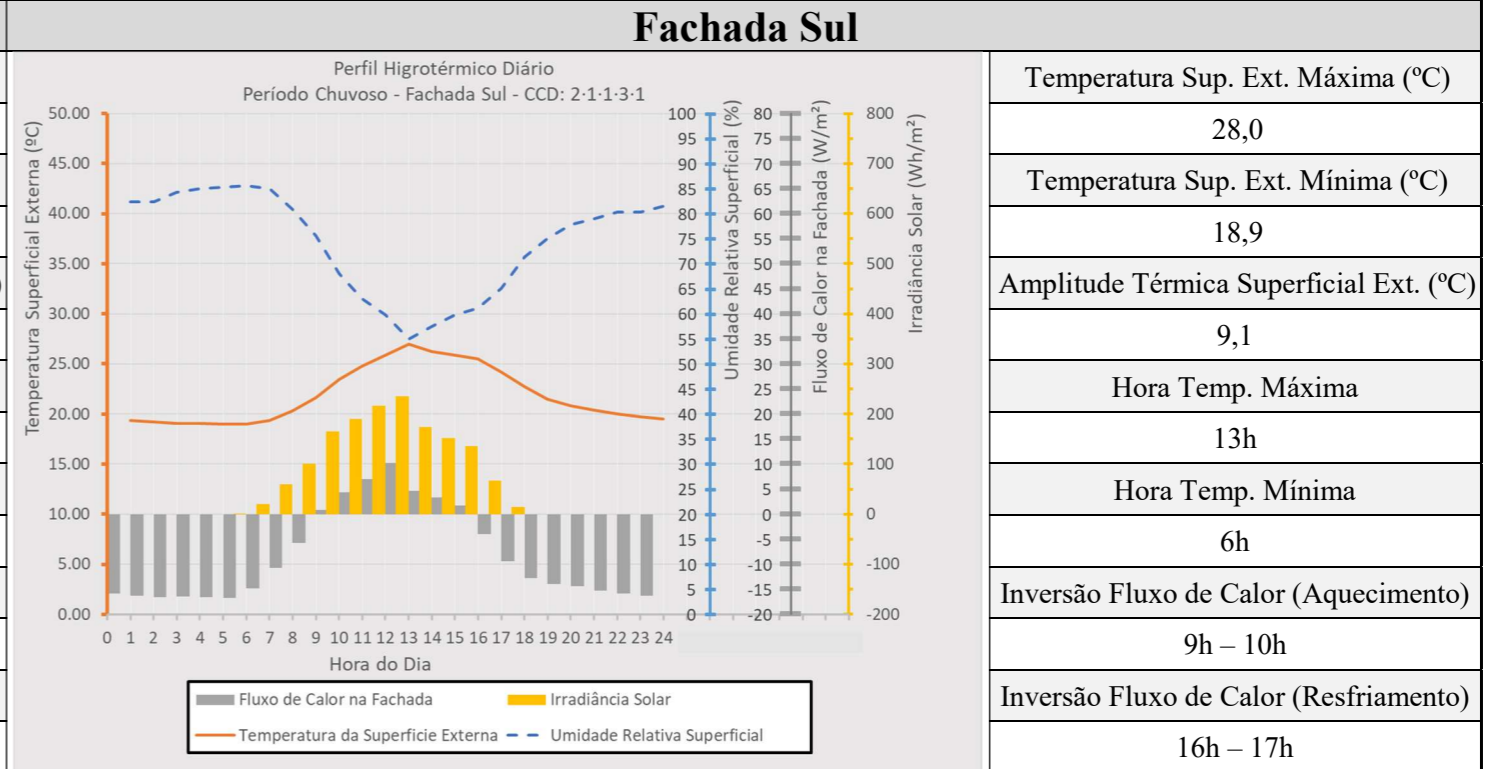
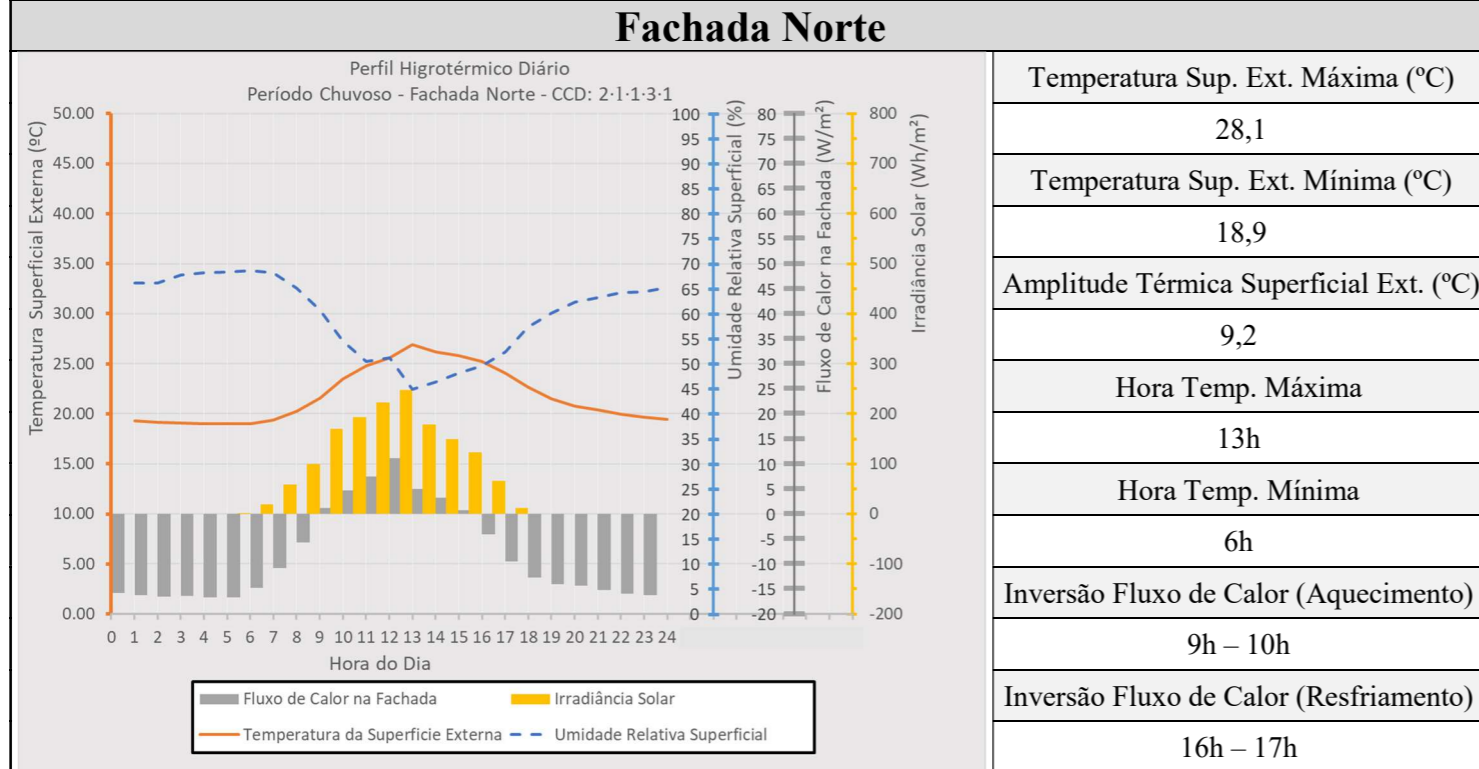
**Absortância**

0,5

## Perfil Higrotérmico Diário

### Dia com Elevada Umidade Relativa do Ar e Baixa Amplitude Térmica no Período Chuvoso

<b>Período: Chuvoso</b>	<b>Classificação Climática Diária:</b> <b>2 · 1 · 1 · 3 · 1</b> cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS	cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)	15 < TMín < 19
		cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)	TMáx ≤ 25
		cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)	AT ≤ 8
		cUR - Umidade Relativa do Ar (%)	UR ≥ 80
		cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m²)	RS ≤ 4250



<b>Propriedades do Sistema de Fachada</b>	<b>Transmitância Térmica</b>	2,513 W/m²K
	<b>Absortância</b>	0,5



## Perfil Higrotérmico Diário

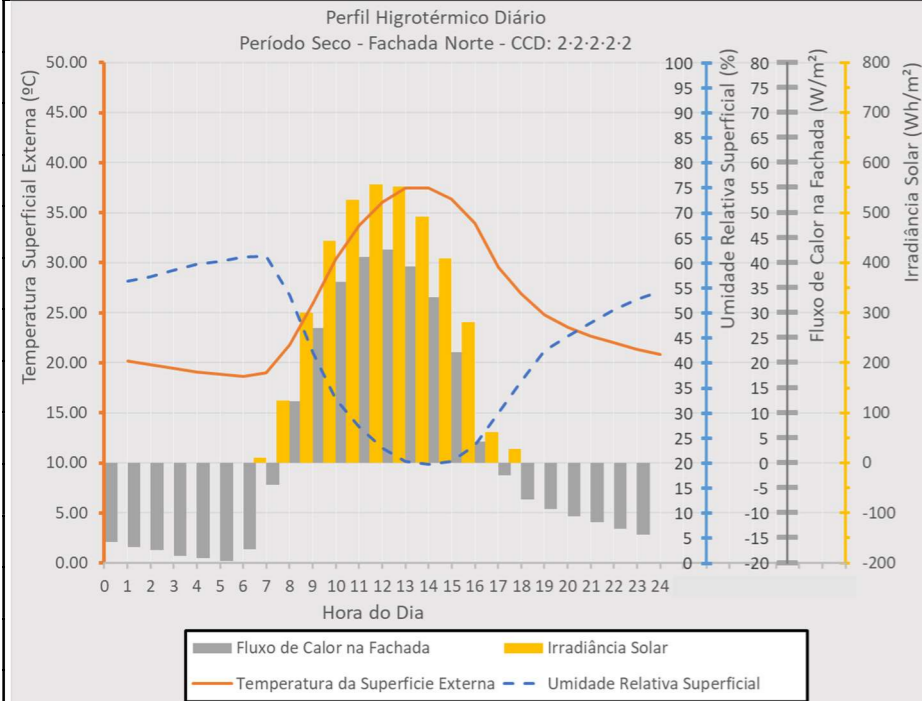
### Condições Climáticas de Maior Frequência no Período Seco

**Período:  
Seco**

**Classificação Climática Diária:**  
**2 · 2 · 2 · 2 · 2**  
cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

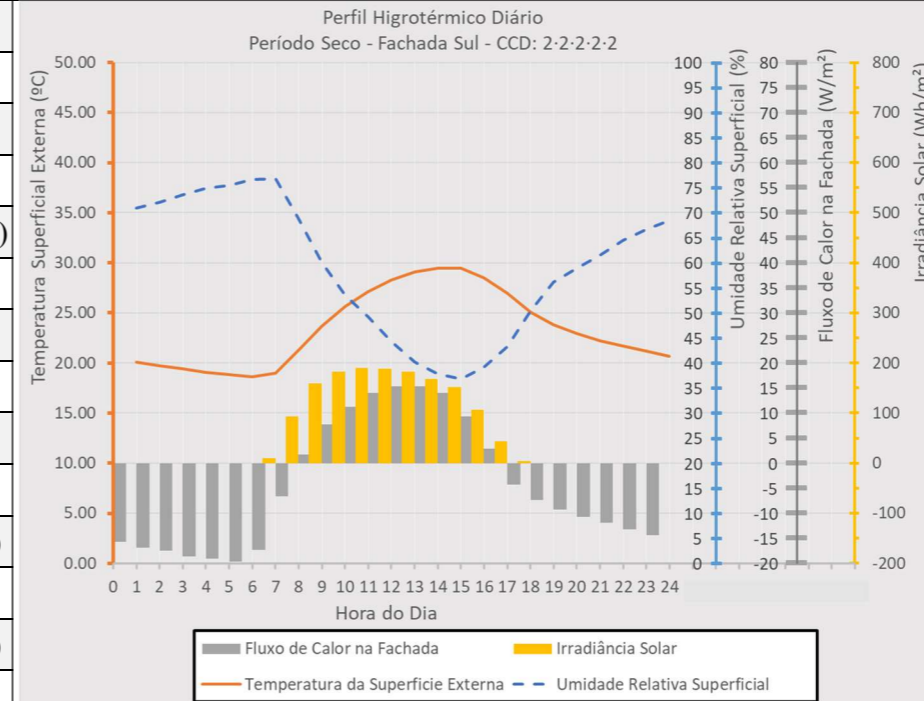
<b>cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)</b>	15 < TMín < 19
<b>cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)</b>	25 < TMáx < 29
<b>cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)</b>	8 < AT < 12
<b>cUR - Umidade Relativa do Ar (%)</b>	60 < UR < 80
<b>cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m²)</b>	4250 < RS < 6000

#### Fachada Norte



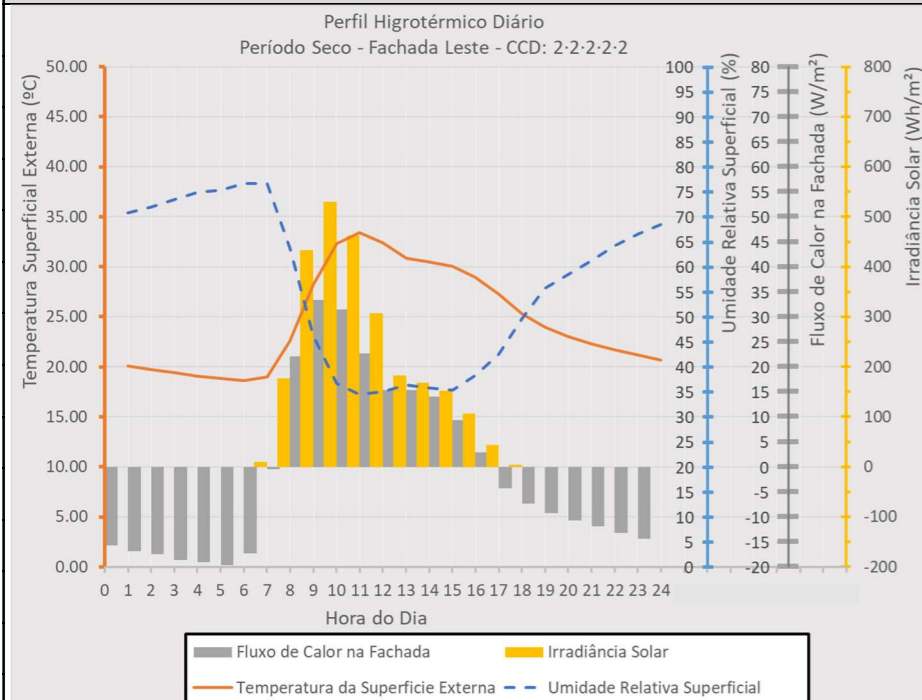
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	38,3
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	19,7
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Sul



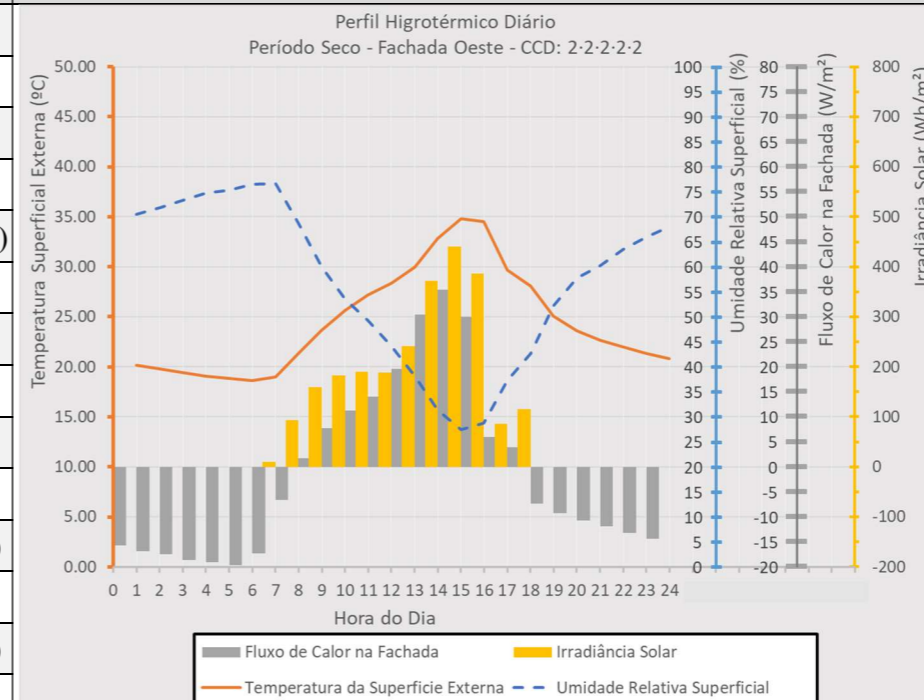
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	29,8
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	11,2
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	33,5
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	14,9
Hora Temp. Máxima	11h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	36,0
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	17,4
Hora Temp. Máxima	15h – 16h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h – 19h

**Propriedades do Sistema de Fachada**

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m²K

**Absortância**

0,5

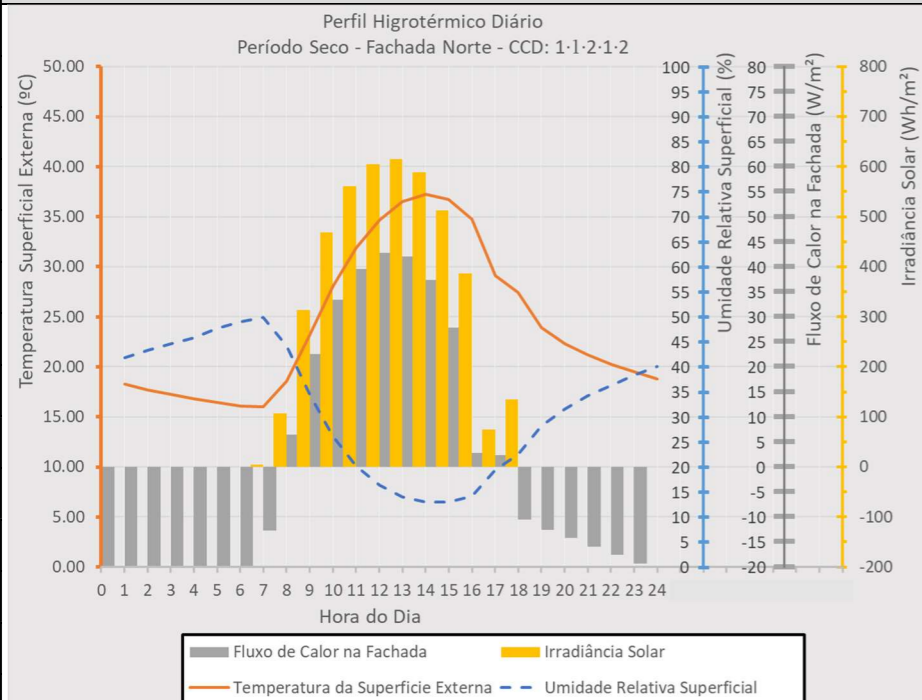
## Perfil Higrotérmico Diário Dia com Baixa Temperatura do Ar no Período Seco

**Período:  
Seco**

**Classificação Climática Diária:**  
**1 · 1 · 2 · 1 · 2**  
cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

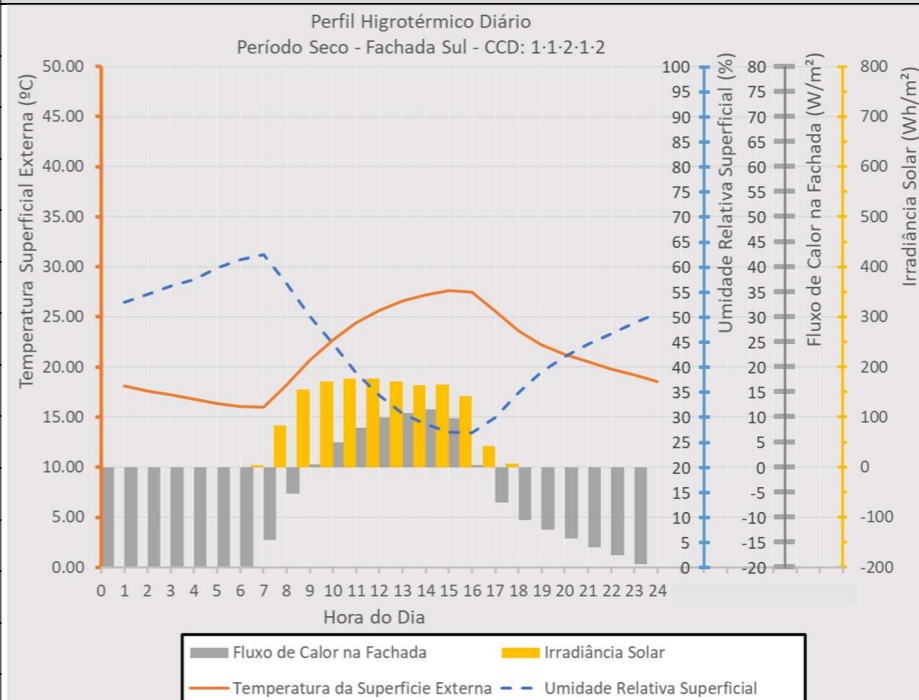
<b>cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)</b>	TMín ≤ 15
<b>cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)</b>	TMáx ≤ 25
<b>cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)</b>	8 < AT < 12
<b>cUR - Umidade Relativa do Ar (%)</b>	UR ≤ 60
<b>cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m²)</b>	4250 < RS < 6000

### Fachada Norte



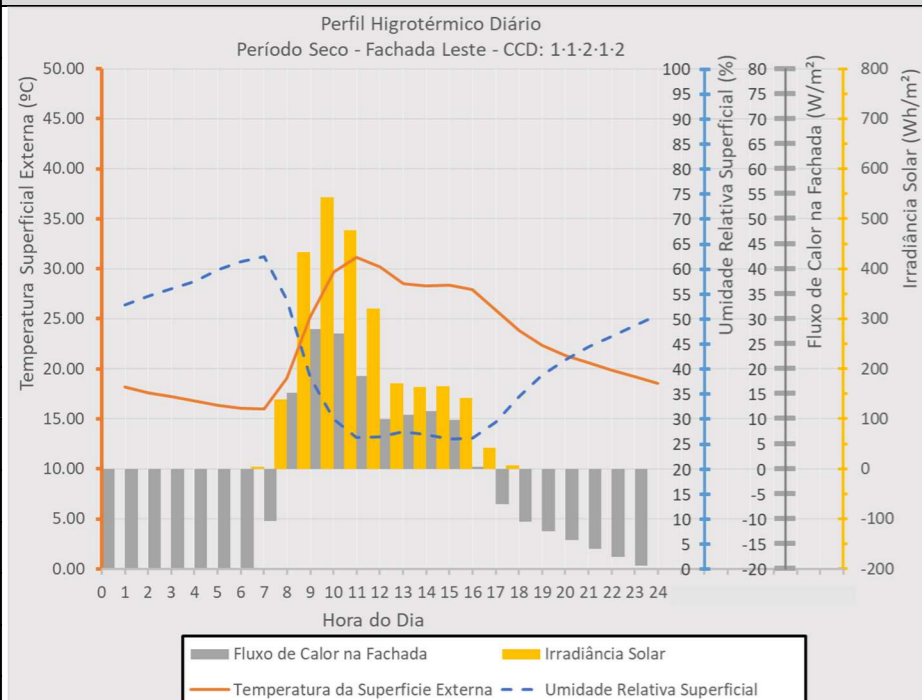
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	37,3
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	15,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	21,4
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h – 19h

### Fachada Sul



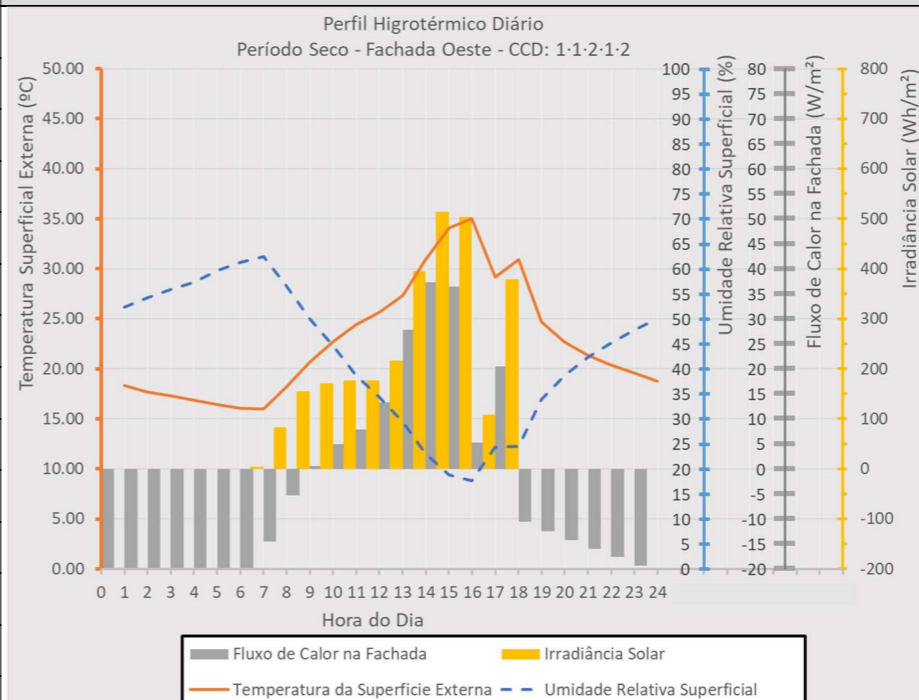
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	27,8
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	15,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	11,9
Hora Temp. Máxima	15h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h – 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	31,2
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	15,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	15,3
Hora Temp. Máxima	11h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	16h – 17h

### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	35,3
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	15,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	19,4
Hora Temp. Máxima	16h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h – 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h – 19h

### Propriedades do Sistema de Fachada

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m²K

**Absortância**

0,5



## Perfil Higrotérmico Diário

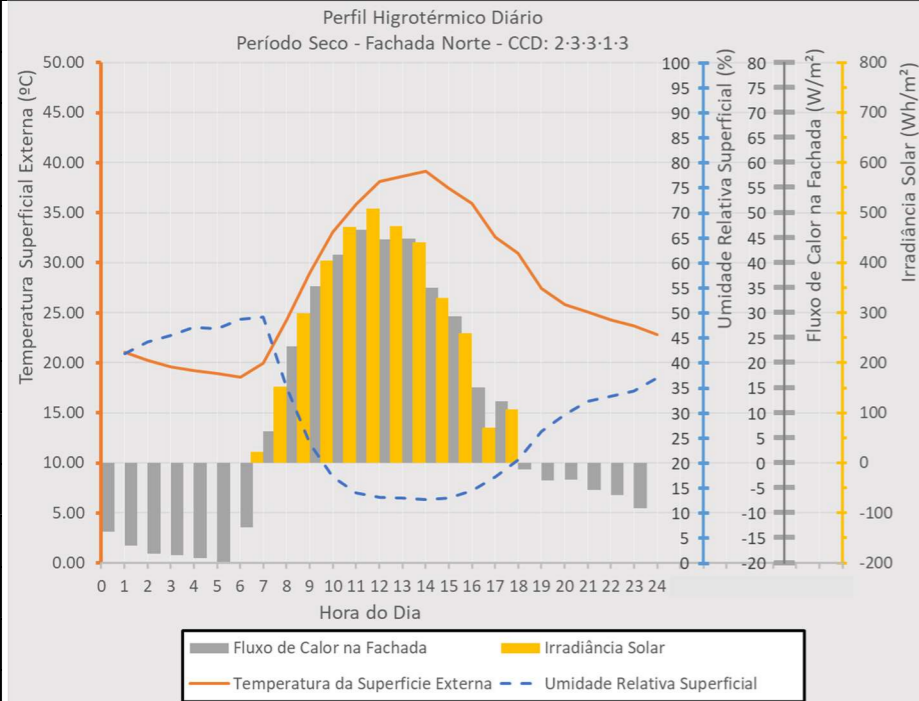
### Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada no Período Seco

**Período:  
Seco**

**Classificação Climática Diária:**  
**2 · 3 · 3 · 1 · 3**  
cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

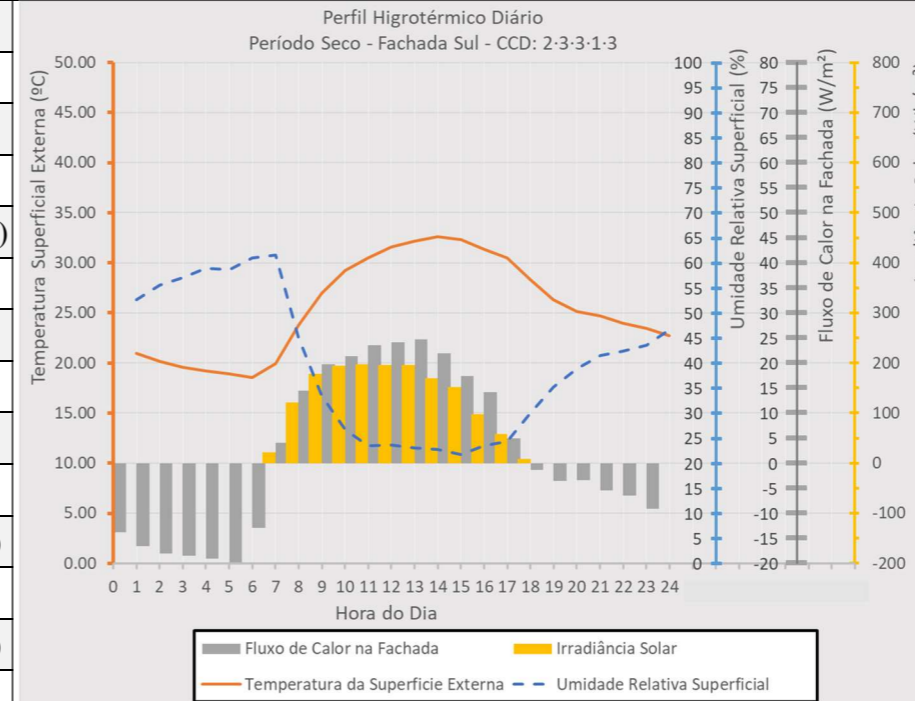
<b>cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)</b>	15 < TMín < 19
<b>cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)</b>	TMáx ≥ 29
<b>cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)</b>	AT ≥ 12
<b>cUR - Umidade Relativa do Ar (%)</b>	UR ≤ 60
<b>cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m²)</b>	RS ≥ 6000

#### Fachada Norte



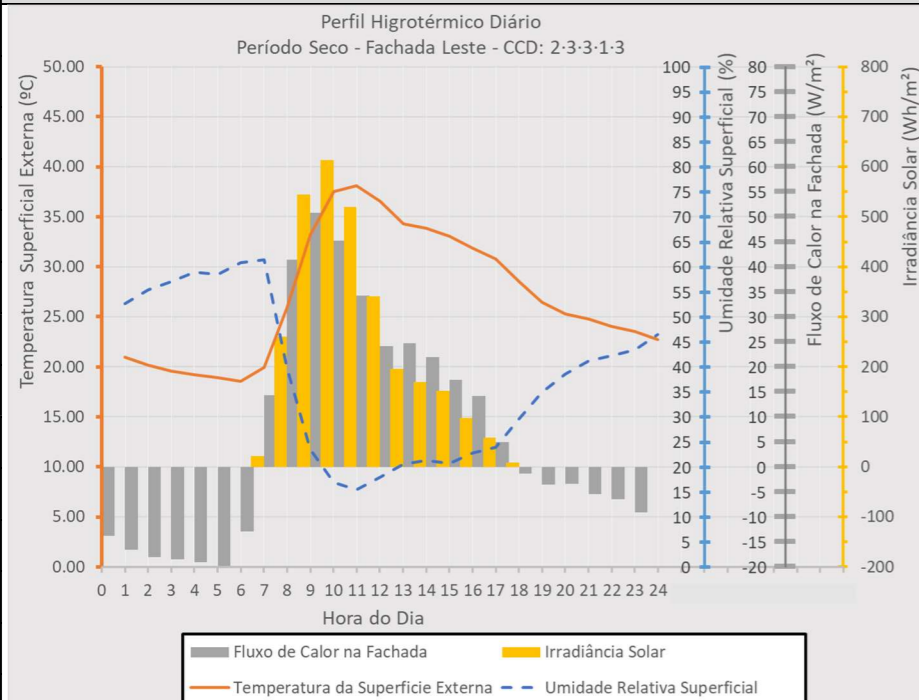
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	39,2
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	20,6
Hora Temp. Máxima	13h – 14h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h – 19h

#### Fachada Sul



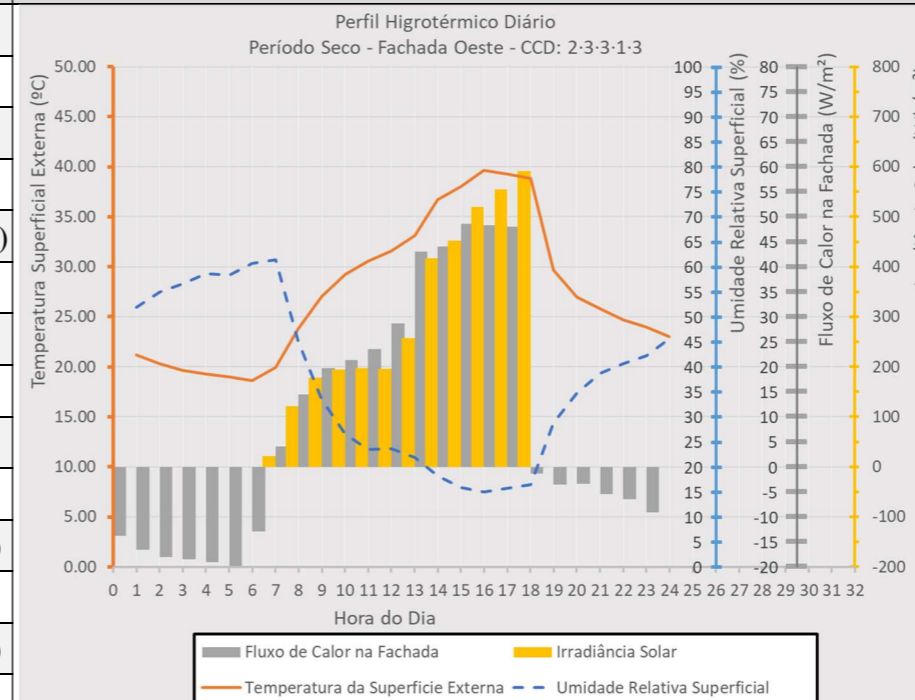
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	32,7
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	14,1
Hora Temp. Máxima	14h – 15h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	38,1
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	19,5
Hora Temp. Máxima	11h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	40,1
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,6
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	21,5
Hora Temp. Máxima	16h - 17h
Hora Temp. Mínima	6h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	7h – 8h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18h – 19h

#### Propriedades do Sistema de Fachada

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m²K

**Absortância**

0,5



## Perfil Higrotérmico Diário

### Dia com Baixa Amplitude Térmica do Ar no Período Seco

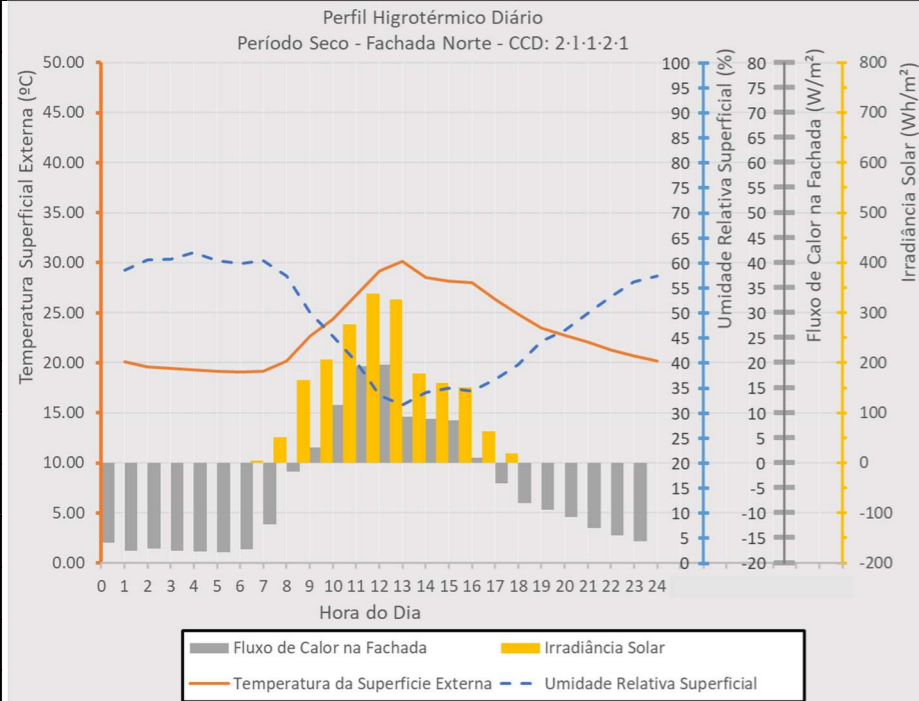
**Período:**  
**Seco**

**Classificação Climática Diária:**  
**2 · 1 · 1 · 2 · 1**  
cTMín · cTMáx · cAT · cUR · cRS

**cTMín - Temperatura Mínima do Ar (°C)**  
**cTMáx - Temperatura Máxima do Ar (°C)**  
**cAT - Amplitude Térmica do Ar Diária (°C)**  
**cUR - Umidade Relativa do Ar (%)**  
**cRS - Radiação Solar Global Horizontal (Wh/m<sup>2</sup>)**

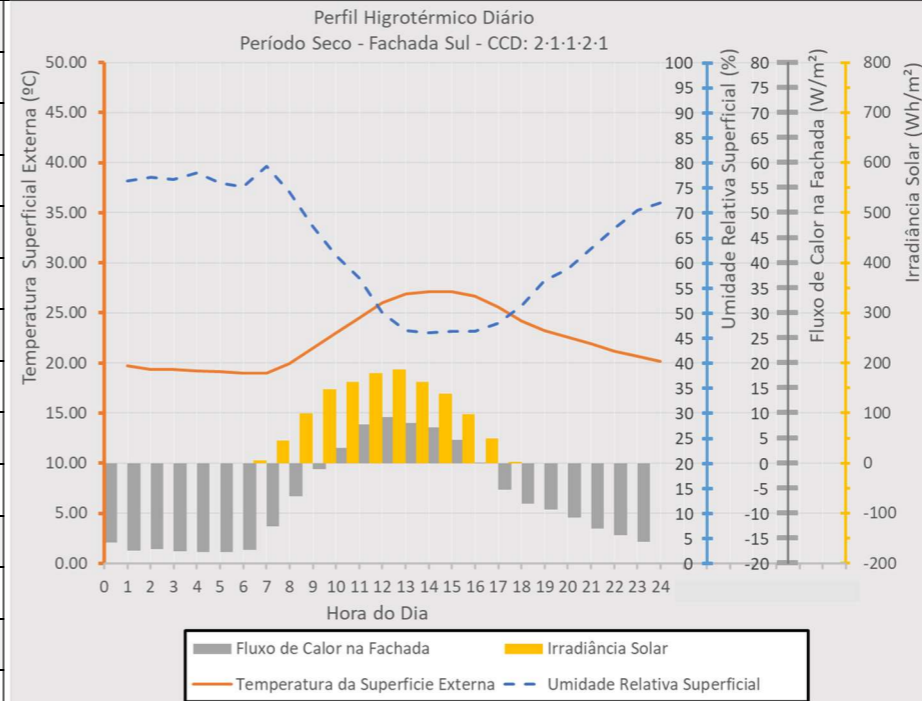
15 < TMín < 19  
TMáx ≤ 25  
AT ≤ 8  
60 < UR < 80  
RS ≤ 4250

#### Fachada Norte



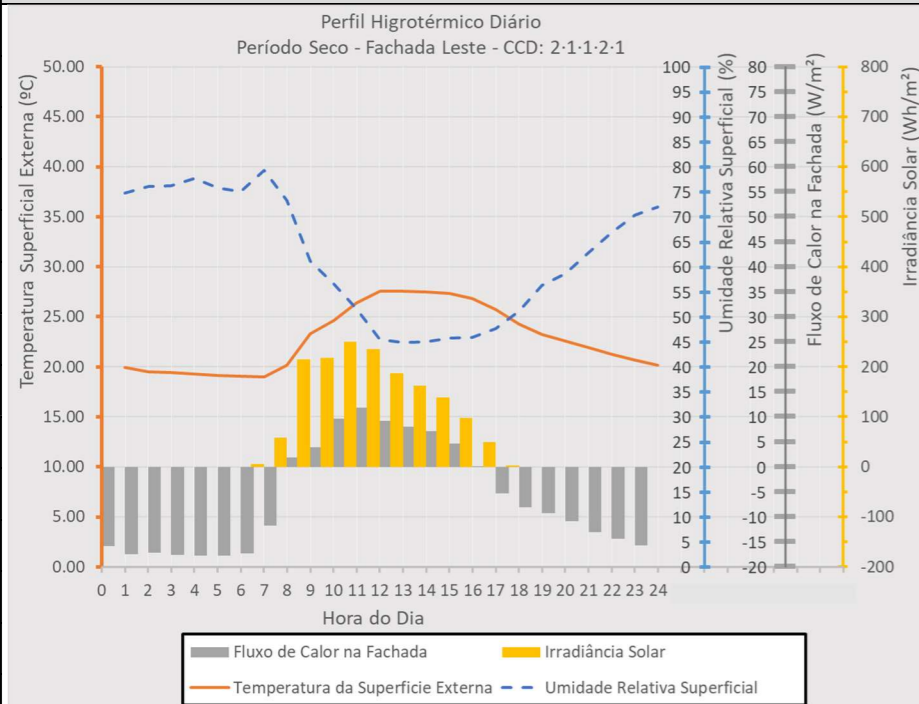
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	31,4
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	12,5
Hora Temp. Máxima	13h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	9h – 10h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Sul



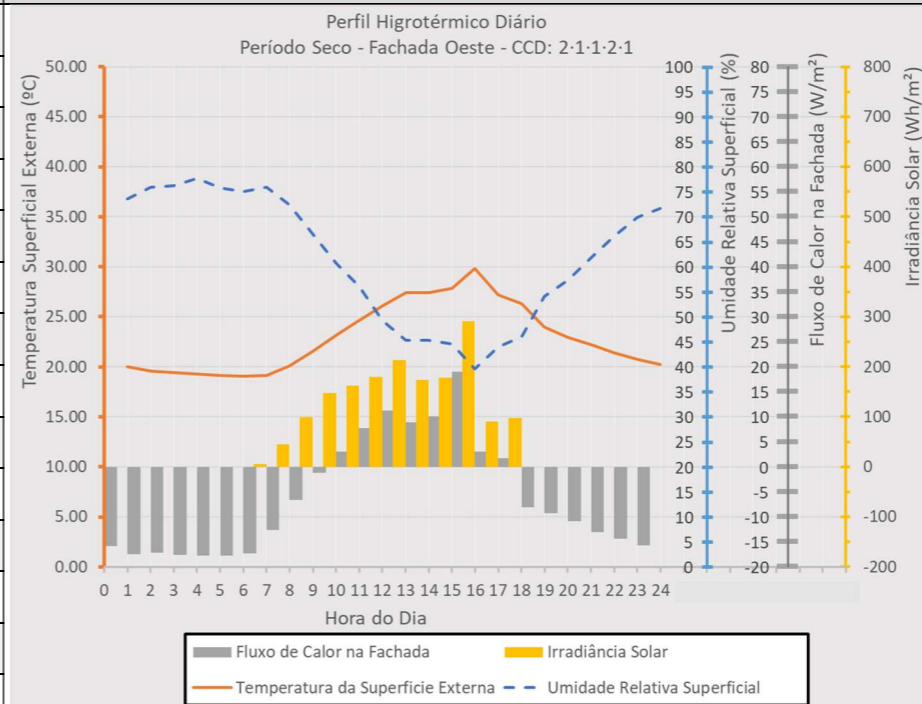
Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	27,9
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,8
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	9,1
Hora Temp. Máxima	14h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	10h – 11h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Leste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	29,0
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,8
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	10,2
Hora Temp. Máxima	13h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	8h – 9h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	17h – 18h

#### Fachada Oeste



Temperatura Sup. Ext. Máxima (°C)	31,1
Temperatura Sup. Ext. Mínima (°C)	18,9
Amplitude Térmica Superficial Ext. (°C)	12,2
Hora Temp. Máxima	16h
Hora Temp. Mínima	6h – 7h
Inversão Fluxo de Calor (Aquecimento)	10h – 11h
Inversão Fluxo de Calor (Resfriamento)	18 – 19h

#### Propriedades do Sistema de Fachada

**Transmitância Térmica**

2,513 W/m<sup>2</sup>K

**Absortância**

0,5

### 5.2.1 Análise dos Perfis Higrotérmicos Diários

A partir dos Perfis Higrotérmicos Diários foram observados alguns padrões no comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas:

- As temperaturas superficiais externas mínimas e sua hora de ocorrência sofrem pouca influência das propriedades do sistema, orientação e período do ano. Este parâmetro possui relação direta com o período e a intensidade da temperatura mínima do ar. Desta forma, a temperatura superficial externa mínima estará ligada à temperatura mínima do ar do dia; e seu período de ocorrência, normalmente, acontece antes do nascer do sol, próximo às 6-7h, independentemente da orientação do sistema.
- Os períodos de temperaturas superficiais externas máximas nas fachadas possuem um padrão ao longo do dia: a fachada Leste atinge suas máximas no período da manhã, próximo às 11h; as fachadas Norte e Sul atingem suas máximas próximas às 14-15h; e a fachada Oeste atinge seus picos de temperatura no período da tarde, próximo às 16h. A variação da intensidade dos agentes climáticos e das propriedades dos sistemas podem gerar variações nestes períodos, como são discutidos nos itens 5.2.3 e 5.2.4.

A análise considerou os períodos Seco (abril a setembro) e Chuvoso (outubro a março). Como identificado por Zanoni (2015), a variação climática entre esses períodos resulta em diferentes comportamentos higrotérmicos para cada orientação dos sistemas de fachadas. Assim, deve-se considerar o período do ano para avaliar o comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas.

#### Período Chuvoso:

Nos Perfis Higrotérmicos Diários do período Chuvoso, a fachada que apresentou as maiores temperaturas superficiais e amplitude térmica superficial, foi a fachada Oeste. Desta forma, recomenda-se que, quando possível, seja utilizada a orientação Oeste para a quantificação de temperaturas máximas e/ou amplitude térmica no período Chuvoso.

Para edificações com as fachadas dispostas nas orientações colaterais, recomenda que se verifique as fachadas Noroeste e Sudoeste.

A fachada Leste, apesar de não apresentar temperaturas tão elevadas como a fachada Oeste, atinge os picos de temperatura superficial externa no período da manhã. Deste modo, caso as condições de entorno, como sombreamento, afetem as medições na fachada Oeste, a fachada Leste se torna a fachada com as maiores temperaturas máximas.

Já as fachadas Norte e Sul, no Período Chuvoso, possuem comportamentos similares, aquecem próximo às 13-14h, próximos aos picos de temperatura do ar. No entanto, suas temperaturas máximas superficiais e amplitudes térmicas são pouco representativas quando comparadas às demais orientações. Portanto, a menos que haja algum fator limitante nas fachadas Leste e Oeste, não se recomenda o uso de suas temperaturas máximas como parâmetros para projetos ou soluções técnicas.

Em relação à inversão do fluxo de calor no período Chuvoso, a inversão do fluxo de calor durante o aquecimento da fachada, ocorre próximo às 7-8h. Enquanto no resfriamento da fachada, a inversão tende a ocorrer próximo às 18-19h.

#### Período Seco:

No período Seco, a fachada com as maiores temperaturas superficiais externas e amplitude térmica diária é a fachada Norte. Porém, a orientação Oeste também possui

valores elevados, em alguns casos até superiores. Desta forma, a medição de temperaturas máximas pode ser feita tanto na orientação Norte, como na Oeste, desde que observados a influência do entorno da edificação e os períodos de temperatura superficial máxima de cada orientação.

A fachada Leste não apresenta temperaturas superficiais ou amplitude térmica tão elevadas como as orientações Norte e Oeste, neste período do ano. Porém caso haja o sombreamento destas fachadas, a fachada Leste mais exposta as condições climáticas, desde que seja observado o período adequado para as medições térmicas.

A fachada Sul, devido à baixa incidência solar, apresenta uma menor amplitude térmica superficial e baixas temperaturas máximas em relação às demais orientações. Portanto, não é relevante para os estudos de temperatura máxima ou de amplitude térmica nesta fachada, no Período Seco.

O período de inversão do fluxo de calor no aquecimento das fachadas ocorre próximo às 8-9h. Enquanto, a inversão do fluxo de calor no resfriamento da fachada tende a ocorrer próximo às 17-18h.

### **5.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO SISTEMA DE FACHADAS**

Nos sistemas de fachadas analisados variam a condutividade térmica do bloco cerâmico vazado, 0,565 W/m<sup>2</sup>K e 0,158 W/m<sup>2</sup>K, e a absorvância da superfície externa, 0,3 (cor clara), 0,5 (cor média) e 0,7 (cor escura). Os dados médios desses sistemas, obtidos pela simulação computacional, são apresentados no Apêndice D.

Para a análise da absorvância, foram selecionados os Sistema 1 ( $\alpha=0,5$ ), 4 ( $\alpha=0,3$ ) e 5 ( $\alpha=0,7$ ), os quais possuem a mesma condutividade térmica do bloco cerâmico (0,565W/m<sup>2</sup>K). Deste modo, foi possível observar, isoladamente, os efeitos causados pela mudança da absorvância em condições climáticas de maior frequência para os períodos Seco e Chuvoso.

Para a análise da variação na condutividade do bloco cerâmico, foram selecionados os Sistemas 0 ( $\lambda = 0,158\text{W/m}^2\text{K}$ ) e 1( $\lambda = 0,565\text{W/m}^2\text{K}$ ), eles possuem a mesma absorvância ( $\alpha=0,5$ ). Portanto, é observado o efeito da variação da condutividade térmica do bloco cerâmico de forma isolada.

A análise se restringe aos blocos cerâmicos vazados e nos quais não foram alteradas as demais propriedades térmicas e físicas do bloco cerâmico, como a capacidade térmica, densidade, entre outros.

Por meio do Pós Teste de Tukey, apresentado no Apêndice E, foram identificadas diferenças estatísticas entre sistemas analisados. Para a Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada e a Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada houveram diferenças entre os 6 sistemas. Para a Temperatura Mínima da Superfície Externa da Fachada, foram identificados 2 subconjuntos, determinados por sistemas com blocos cerâmicos de mesma condutividade térmica.

#### Absorvância:

O aumento da absorvância gera um aumento na absorção da radiação solar que, por sua vez, eleva as temperaturas superficiais. Neste sentido, como apresentado nas Figura 35 e Figura 36, os sistemas de maior absorvância apresentaram uma elevação das temperaturas superficiais máximas e das amplitudes térmicas superficiais.

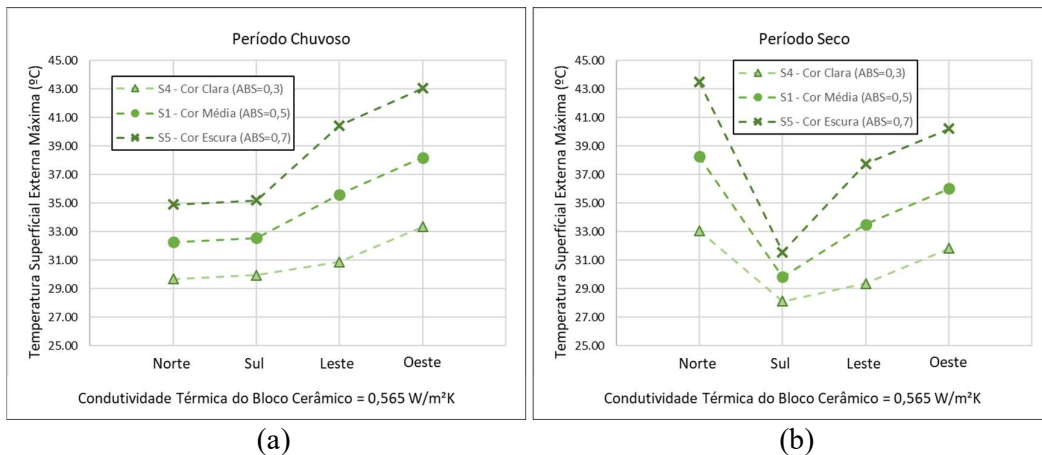


Figura 35 – Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada médias para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

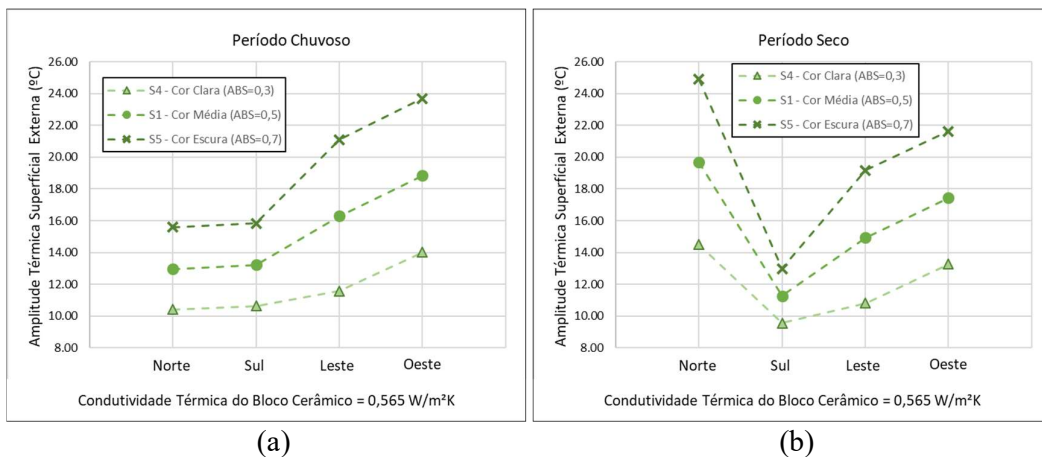


Figura 36 – Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada médias para diferentes absorvâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

Pode-se observar uma maior disparidade entre os sistemas nas orientações com maior incidência solar (Leste e Oeste/Período Chuvoso e Norte, Leste e Oeste/Período Seco). Desta forma, a orientação da fachada em sistemas escuros é extremamente relevante para as medições das Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada e da Amplitude Térmica da Superfície Externa da Fachada.

Em relação aos horários de ocorrência das Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada (Figura 37), o uso de sistemas claros gera um pequeno atraso no seu período de ocorrência nas orientações Norte e Leste. No entanto, este atraso deve chegar no máximo a 1 hora.

No entanto, para o período de ocorrência da inversão do fluxo de calor no aquecimento do sistema (Figura 38), o uso de cores claras ( $\alpha=0,3$ ), quando comparados ao sistema de cor média ( $\alpha=0,5$ ) e de cor escura ( $\alpha=0,7$ ), promovem um atraso médio de 1 hora.

Para a inversão do fluxo de calor no resfriamento (Figura 39), o aumento da absorvância gera um pequeno atraso na inversão do fluxo de calor, podendo chegar a 1 hora em condições climáticas de maior frequência.

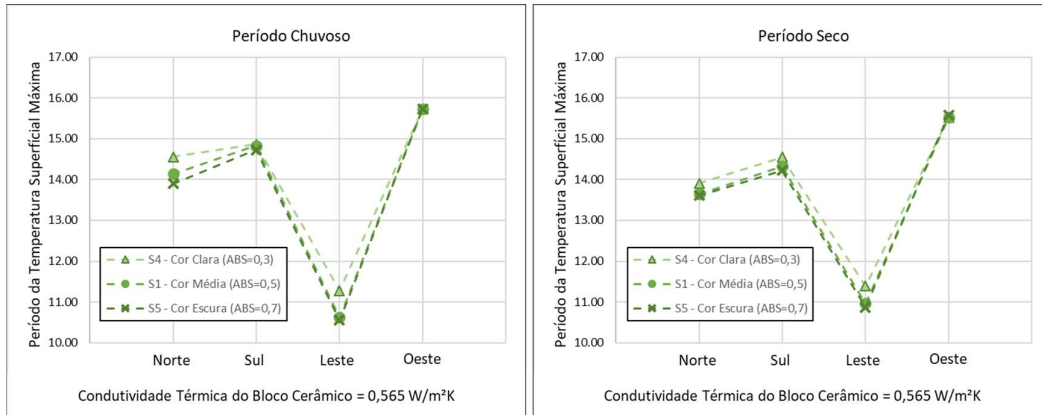


Figura 37 – Período de Ocorrência das Temperatura Máxima da Superfície Externa da Fachada para diferentes absortâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

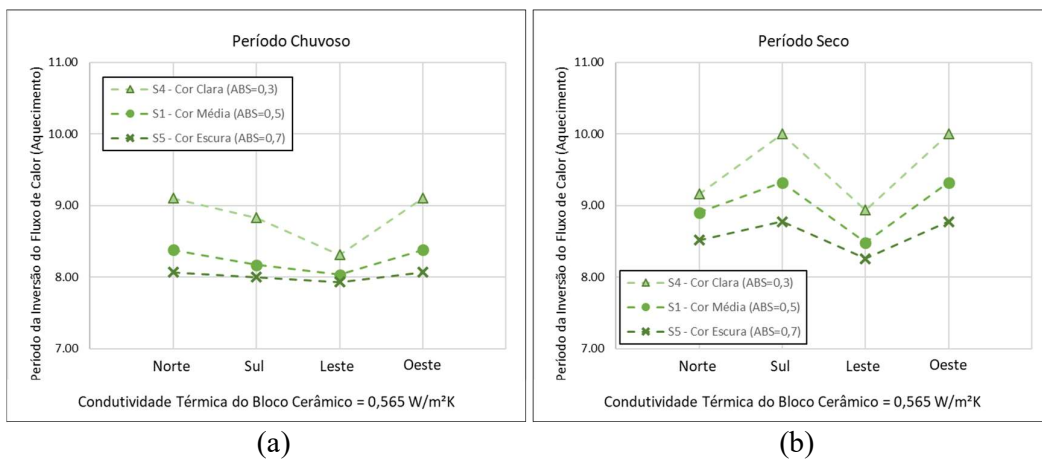


Figura 38 – Período de Ocorrência da Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento das Fachadas para diferentes absortâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

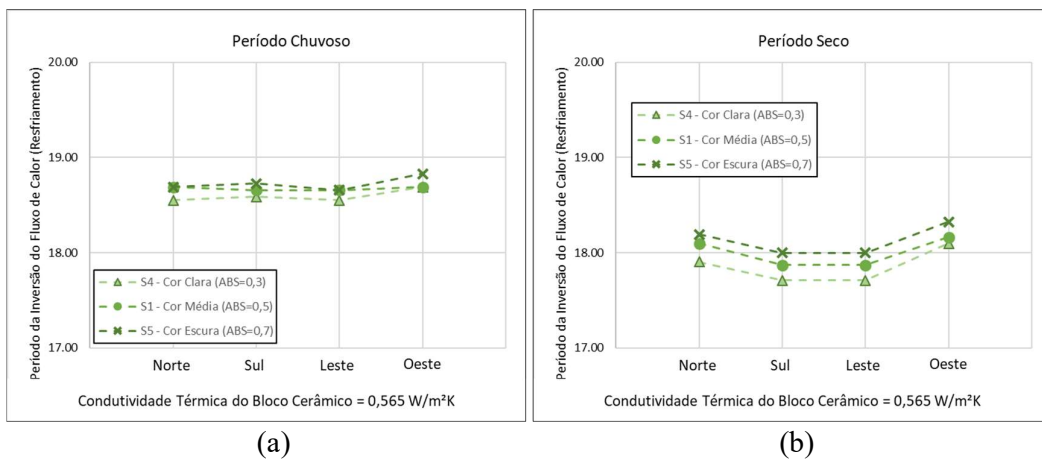


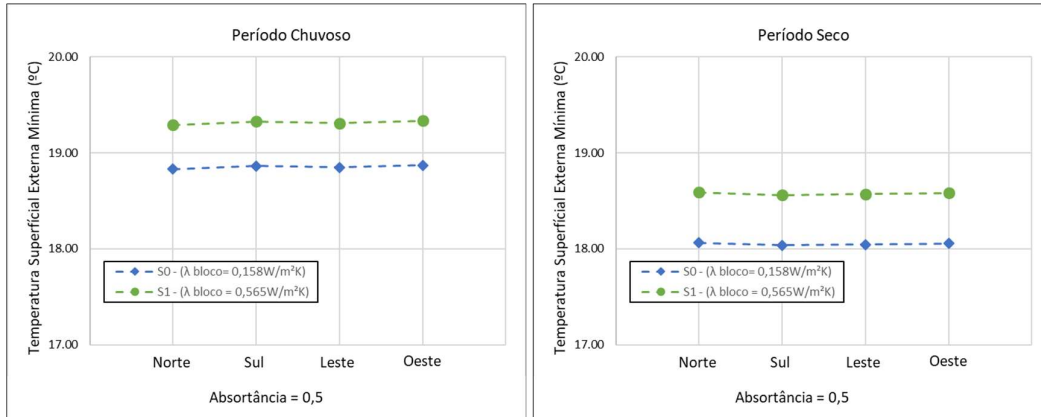
Figura 39 - Período de Ocorrência da Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento das Fachadas para diferentes absortâncias em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

### Condutividade Térmica do Bloco Cerâmico:

O uso de sistemas com blocos cerâmicos de menor condutividade térmica,  $0,158\text{W/m}^2\text{K}$ , resulta em uma menor transmitância térmica do sistema, o que gera um acúmulo de energia térmica nas camadas superficiais externas, resultando no aumento das temperaturas máximas (Figura 41).

Deste modo, os sistemas com menor transmitância térmica sofrem menos efeito da temperatura no ambiente interno sobre a superfície externa. Como o estudo considera o ambiente interno climatizado e que no período das temperaturas superficiais mínimas o ambiente interno está mais quente que o ambiente externo, os sistemas com blocos de menor condutividade térmica apresentaram menores temperaturas superficiais mínimas (Figura 40).

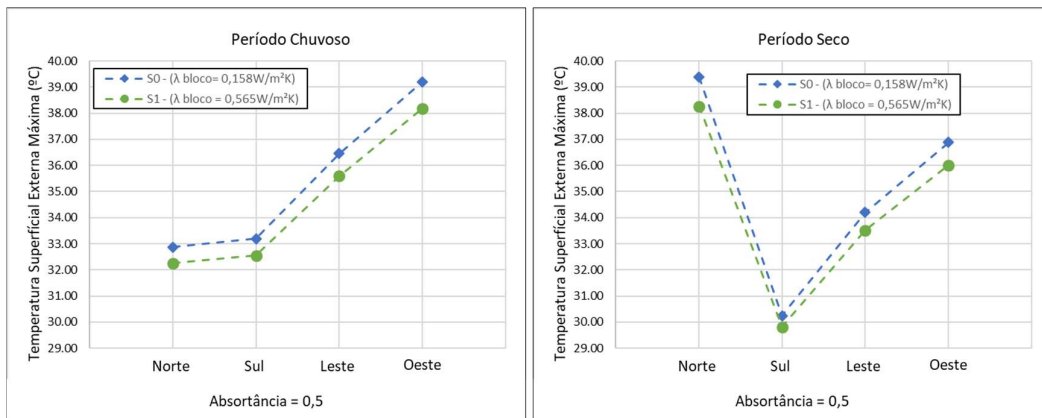
Feita essas considerações, não se deve atribuir a redução da temperatura mínima superficial unicamente à condutividade térmica do bloco. No entanto, os sistemas com blocos cerâmicos com menor condutividade térmica apresentam Temperaturas Superficiais Externas Máximas superiores, por conseguinte, com maiores Amplitudes Térmicas Superficiais na Fachada (Figura 42).



(a)

(b)

Figura 40 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas médias para sistemas com blocos cerâmicos de diferentes condutividades térmicas em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).



(a)

(b)

Figura 41 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas médias para sistemas com blocos cerâmicos de diferentes condutividades térmicas em condições climáticas de maior frequência dos períodos Chuvoso (a) e Seco (b).



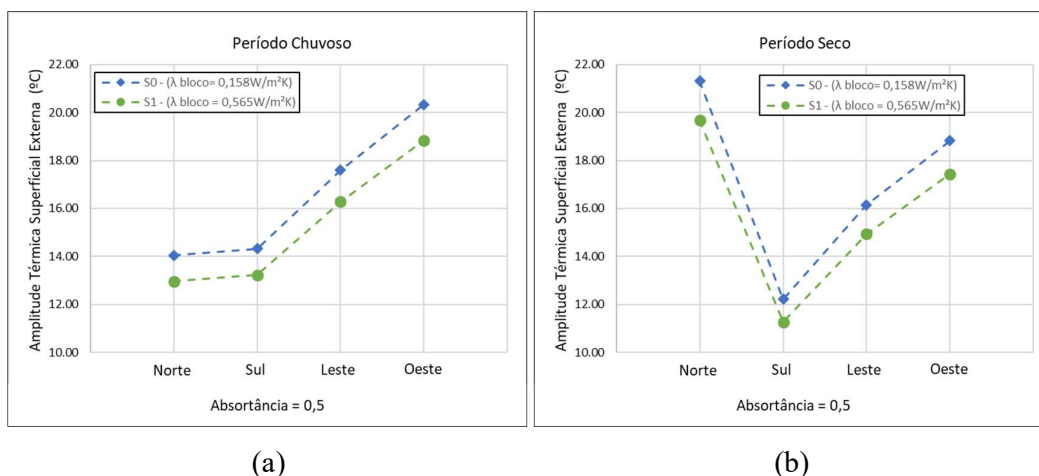


Figura 42 - Amplitude Térmica Superficial Externa Médias para as Orientações Cardeais em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

Apesar da diferença em relação à condutividade térmica do bloco cerâmico, ambos os sistemas apresentaram comportamentos higrotérmicos similares nas diferentes orientações cardeais. Além disso, apresentaram também variações nos horários de ocorrência das temperaturas máximas e mínimas, e nos períodos de inversão do fluxo de calor. Porém, deve-se ressaltar que tais resultados são restritos à análise dos sistemas de bloco cerâmico e que o uso de substratos de maior inércia térmica poderia alterar tais conclusões.

## 5.4 ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA INTENSIDADE DOS AGENTES CLIMÁTICOS

Para análise da variação da intensidade dos agentes climáticos foram definidas 3 condições para cada período, descritas no Quadro 15. A amostra de dados é composta pelo arquivo climático TMY de Brasília-DF e, conforme apresentado nos procedimentos metodológicos, não inclui os dias com chuva (pluviometria acumulada > 1mm).

Quadro 15 – Condições Climáticas em análise baseadas nas Classificação Climática Diária

Condição Climática Analisada	Período Chuvoso		Período Seco	
	CCD	Nº de Dias / Frequência (dias sem chuva)	CCD	Nº de Dias / Frequência (dias sem chuva)
Classificação Climática Diária de Maior Frequência	2·2·2·2·3	29 dias / 27,6%	2·2·2·2·2	31 dias / 19,1%
Dia com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada	2·3·3·1·3	5 dias / 4,8%	2·3·3·1·3	2 dias / 1,2%
Dia com Baixa Amplitude Térmica do Ar	2·1·1·3·1	7 dias / 6,7%	2·1·1·2·1	4 dias / 2,5%
Dias Sem Chuva	105 dias		162 dias	

As condições climáticas analisadas seguem os critérios definidos no item 4.4.2. Apesar da baixa frequência de algumas Classificações Climáticas Diárias, é possível encontrar condições climáticas similares, com variações na intensidade da umidade e da amplitude térmica do ar. Tais condições apresentariam resultados similares a estas Classificações Climáticas Diárias.

A análise do efeito das variações das intensidades dos agentes climáticos inclui os 6 sistemas de fachadas analisados, com variações tanto na absorvância como na condutividade térmica do bloco cerâmico vazado.

Classificações Climática Diária de Maior Frequência:

Considerando a Classificação Climática Diária, constata-se que os dias de maior frequência não possuem tanta relevância para decisões de projeto ou quantificação de agentes de degradação como os dias com alta intensidade dos agentes climáticos. No entanto, a facilidade de encontrar os dias de maior frequência em campo, tornam tais condições ideais para definição de diretrizes para realização de medições térmicas em campo.

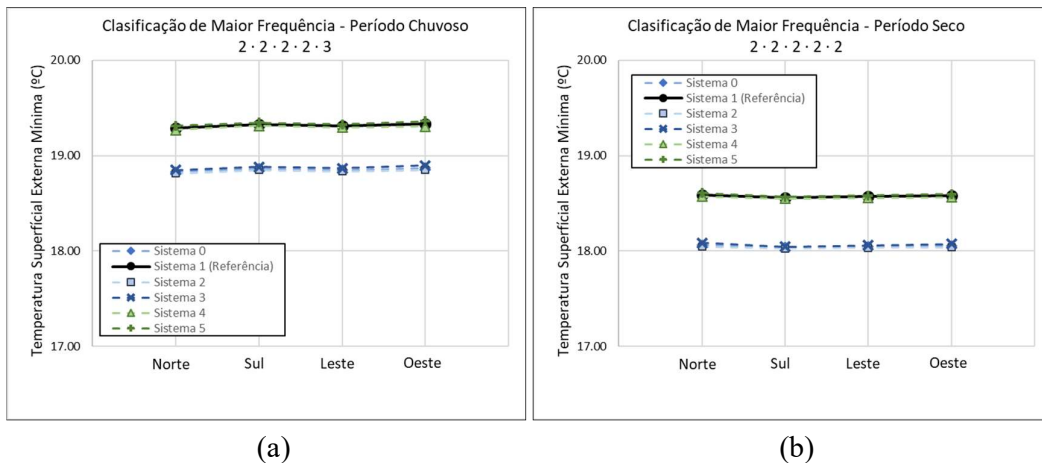


Figura 43 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

As medições de temperaturas mínimas superficiais externas ocorrem próxima às 6-7h antes do nascer do sol, e, caso não haja variações causadas pelo uso ou pelo entorno da edificação, as medições podem ser feitas em qualquer uma das orientações, como apresentado na Figura 43.

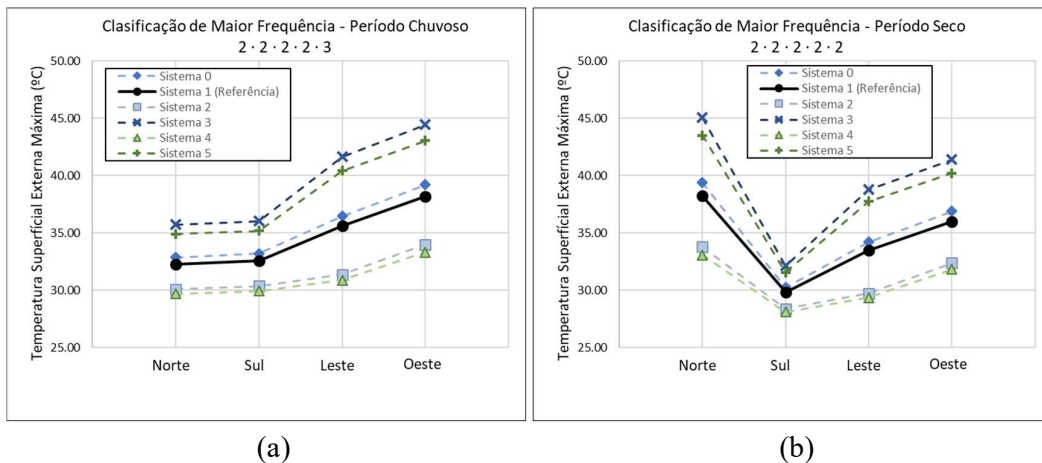


Figura 44 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

Para as medições das temperaturas superficiais externas máximas (Figura 44), a variação entre as orientações é extremamente relevante, tanto para sua intensidade como para o período de medição. Em sistemas com alta absorvância ( $\alpha \geq 0,7$ ) essas variações chegar a 15°C, enquanto em sistemas claros ( $\alpha \leq 0,3$ ) a 5°C. Desta forma, deve-se evitar a



extrapolação de dados entre as fachadas, principalmente entre fachadas com baixa e alta incidência solar.

Em relação aos períodos de ocorrência das temperaturas superficiais máximas (Figura 45), as fachadas Leste tem seu pico de temperatura na parte da manhã, próximo às 11h. Em seguida, as fachadas Norte e Sul atingem suas temperaturas máximas próximo às 14h e 15h respectivamente. Por fim, as fachadas Oeste que atingem suas temperaturas máximas entre 15h e 16h.

O uso de sistemas com diferentes absortâncias pode gerar uma pequena variação nos horários de ocorrência das temperaturas superficiais externas máximas, porém não foi possível estabelecer correlação considerando os efeitos da diminuição da condutividade térmica dos blocos cerâmicos.

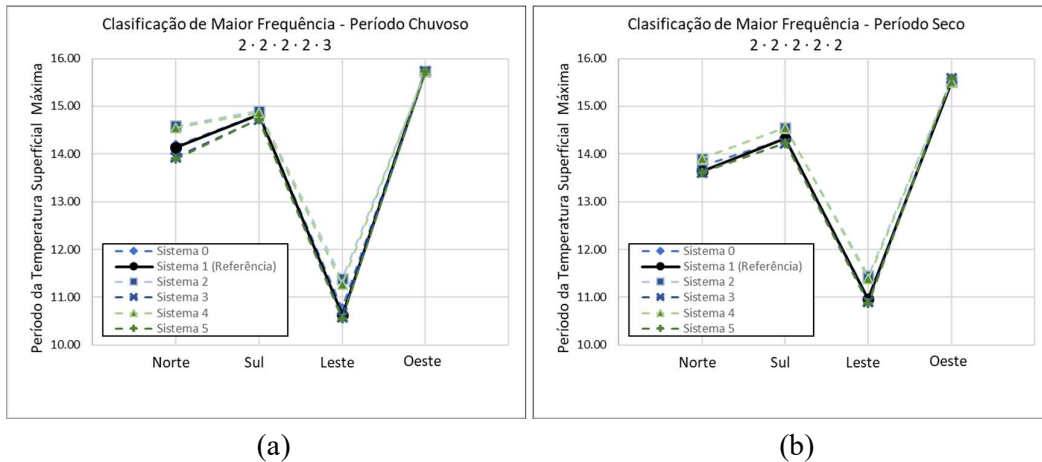


Figura 45 – Período das Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

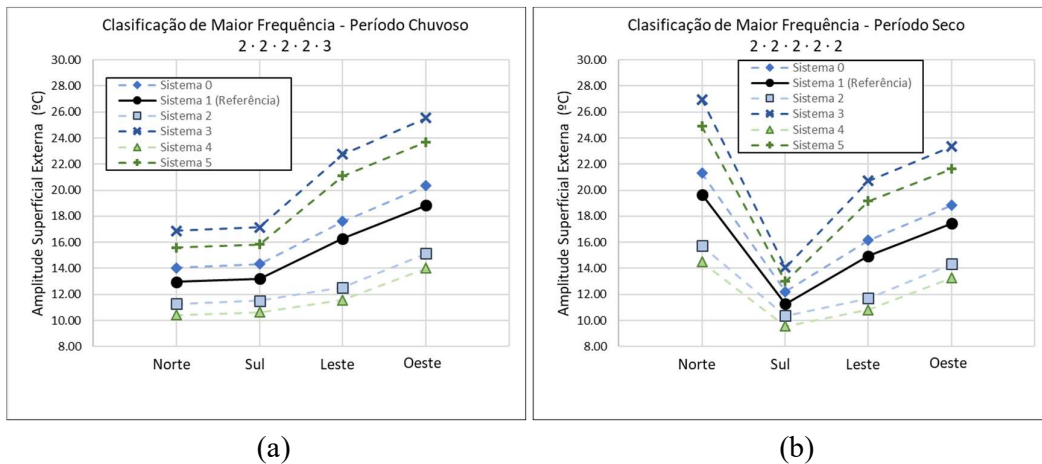
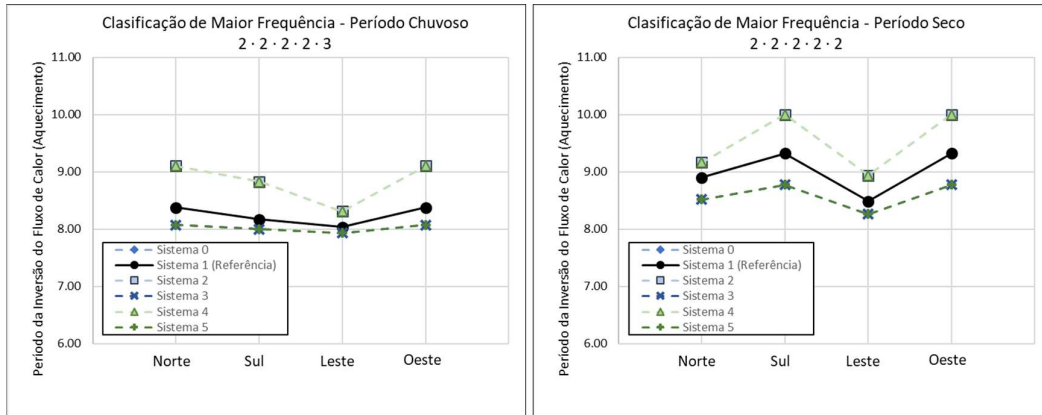


Figura 46 – Amplitudes Térmicas Superficiais Externas para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

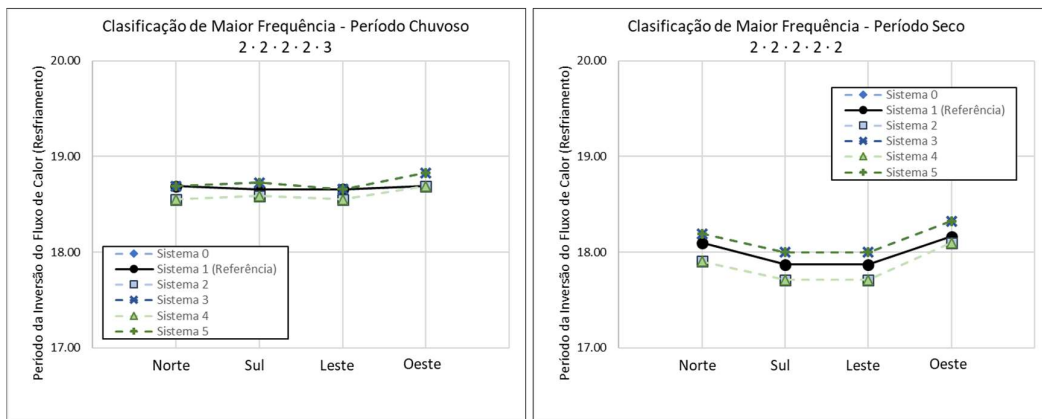
A amplitude térmica das fachadas (Figura 46), assim como sua temperatura superficial externa máxima, está diretamente ligada à incidência solar. Desta forma, deve-se considerar a variação entre as orientações das fachadas. Além disso, a amplitude térmica pode variar de acordo com as propriedades do sistema, pois o uso de cores escuras gera um aumento das temperaturas máximas e o aumento da resistividade térmica do sistema pode potencializar este efeito.



(a)

(b)

Figura 47 – Período de Inversão do Fluxo de Calor, no Aquecimento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).



(a)

(b)

Figura 48 - Período de Inversão do Fluxo de Calor, no Resfriamento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Condições Climáticas de maior frequência dos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

Em relação aos períodos de inversão do fluxo de calor, os períodos de ocorrência estão relacionados principalmente ao período do ano e sofrem pequenas variações entre as orientações.

Para a inversão do fluxo de calor no aquecimento das fachadas (Figura 47), durante o período chuvoso esta inversão tende a ocorrer próximo às 8h, podendo atrasar 1 hora para sistemas claros ( $\alpha = 0,3$ ). Enquanto, no período seco a inversão tende a acontecer próximo às 9h, porém a mudança na absorvância pode atrasar 1 hora em sistemas claros ( $\alpha = 0,3$ ) ou antecipar 1 hora em sistemas escuros ( $\alpha = 0,7$ ).

Para a inversão do fluxo de calor no resfriamento das fachadas (Figura 48), a variação entre as orientações e os sistemas é mínima. No período chuvoso, a inversão tende a ocorrer entre 18 e 19h, enquanto para o período seco a inversão ocorre próximo às 18h.

#### Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada:

Os dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada apresentam baixa frequência, porém são extremamente úteis para avaliar decisões de projeto e soluções técnicas. Além disso, estes dias são ideais para quantificar as solicitações máximas resultantes da ação climática.

Como esperado, houve um aumento das temperaturas superficiais externas máximas e da amplitude térmica superficial, principalmente nas fachadas críticas.

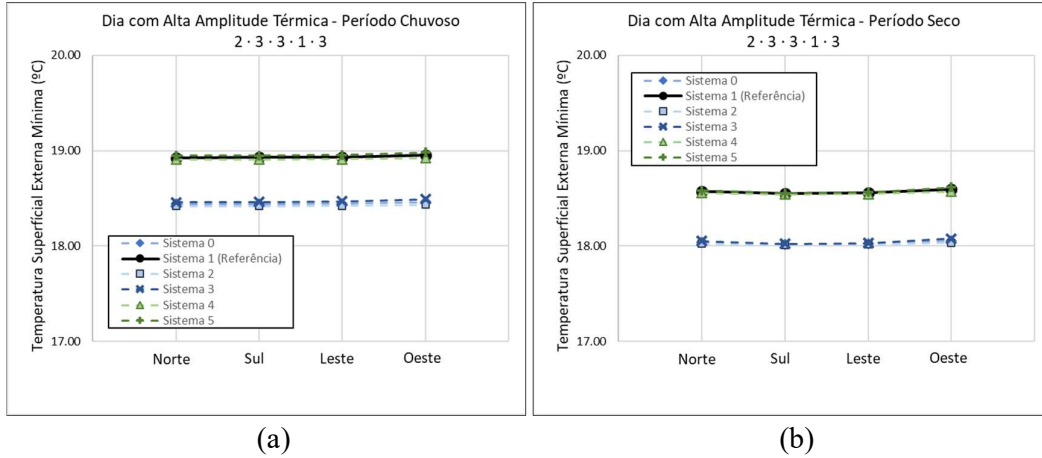


Figura 49 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

O aumento da radiação solar e a variação dos demais agentes, quando comparados às condições climáticas de maior frequência, não resultaram em aumentos significativos na temperatura mínima superficial externa da fachada (Figura 49). Este resultado era esperado, pois como identificado no item 5.1.1, a temperatura superficial mínima da fachada tem como fator preponderante a temperatura mínima diária do ar e a baixa influência dos demais agentes climáticos.

Para as temperaturas superficiais máximas, o aumento da intensidade dos agentes climáticos (radiação solar, temperatura do ar e amplitude térmica) resultou em maiores variações entre as fachadas de alta e de baixa incidência solar (Figura 50).

Em relação ao seu período de ocorrência (Figura 51), o aumento da intensidade dos agentes climáticos, no período Chuvoso, gerou pequenas antecipações nos sistemas de alta absorvância ( $\alpha = 0,7$ ), nos demais sistemas não houveram variações significativas. Para o período seco, em relação às condições climáticas de maior frequência, houve uma antecipação próxima a 1 hora para cada orientação.

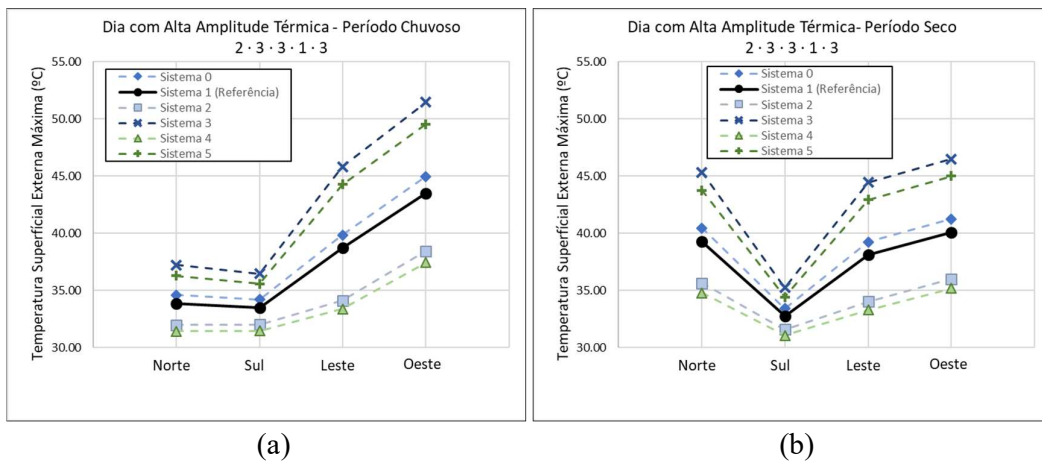
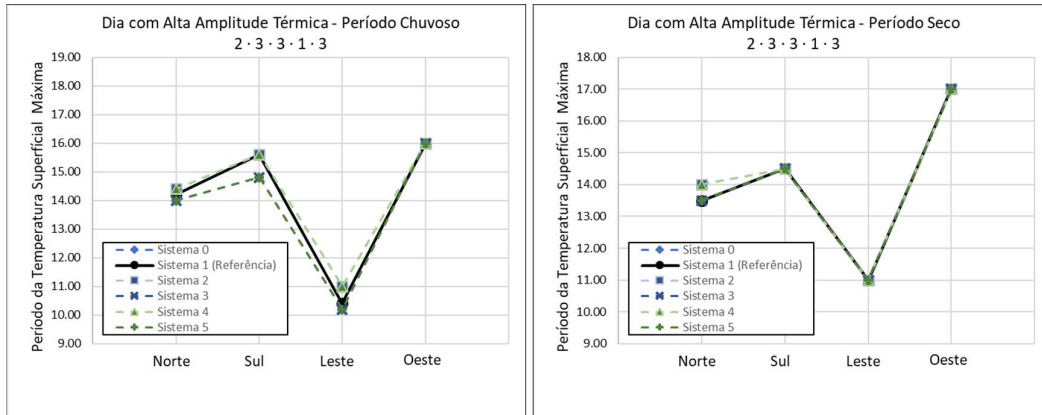


Figura 50 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

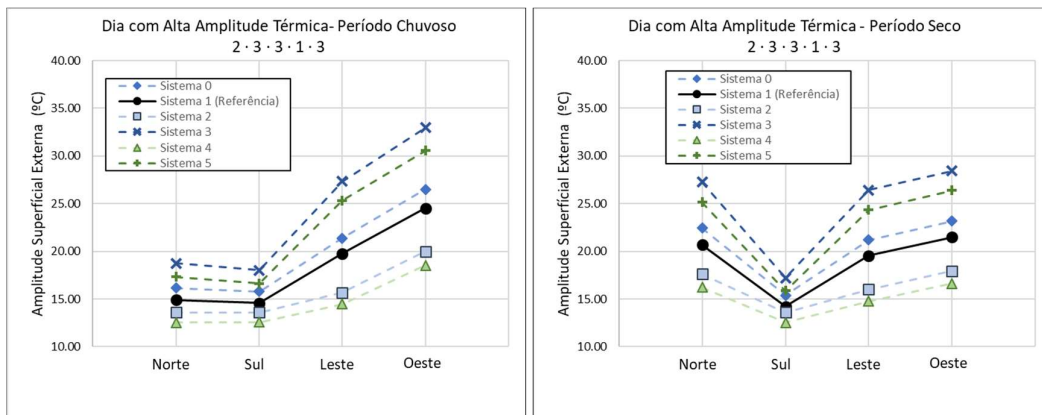


(a)

(b)

Figura 51 - Período das Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

Assim como, observado nas condições climáticas de maior frequência, o aumento da absorvância e da resistividade térmica do bloco cerâmico resultam em um aumento da amplitude térmica superficial dos sistemas. Para os dias com altas temperaturas do ar e alta radiação este efeito ainda é maior (Figura 52).



(a)

(b)

Figura 52 - Amplitudes Térmicas Superficiais Externas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

Em relação aos períodos de inversão do fluxo de calor no aquecimento da fachada (Figura 53), os dias com alta amplitude térmica apresentaram tendência de antecipar sua ocorrência.

No período Chuvoso, o período de inversão do fluxo de calor no aquecimento da fachada fica próximo às 8h e para fachadas Leste de alta absorvância, esta antecipação pode ser ainda maior. Já no período Seco, a inversão também ocorre próxima às 8h, porém nas fachadas Sul e Oeste de cor clara, esta inversão deve ficar entre 8 e 9h.

O período de ocorrência da inversão do fluxo de calor no resfriamento dos sistemas de fachadas nos dias com alta amplitude térmica ocorre próximos às 20h, tanto para o período chuvoso como para o período seco (Figura 54). Este atraso, em relação as condições climáticas de maior frequência, se dá pelo maior aquecimento dos sistemas ao longo do dia. Deste modo, há um aumento do tempo necessário para dissipação do calor acumulado.

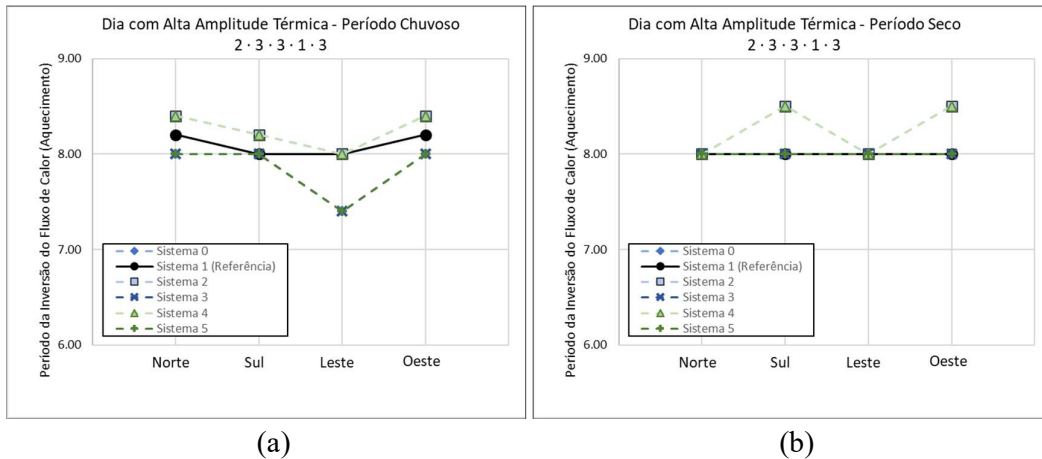


Figura 53 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b).

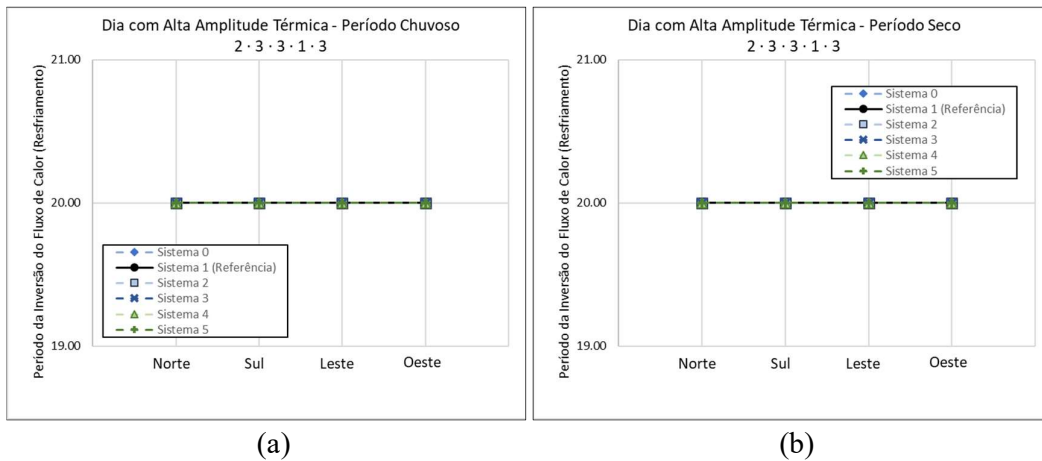


Figura 54 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Temperatura do Ar e Radiação Solar Elevada nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b).

#### Dia com Baixa Amplitude Térmica do Ar:

Os dias com baixa amplitude térmica do ar são representados por Classificações Climáticas Diárias com baixa temperatura máxima do ar, baixa amplitude térmica, baixa radiação solar e elevada umidade. Tais condições resultam em uma baixa amplitude térmica das fachadas e podem representar um dia com baixa intensidade dos agentes climáticos, em especial a temperatura do ar e a radiação solar.

Para quantificação de agentes de degradação e/ou verificação de soluções técnicas, tais condições são pouco relevantes, pois, quando comparados às condições climáticas de maior frequência ou dias com alta amplitude térmica, esses dias apresentam menores solicitações causadas pelo clima.

Assim como nas demais condições climáticas estudadas, para a temperatura mínima superficial externa da fachada não houveram variações significativas entre as orientações (Figura 55) e seu período de ocorrência se mantém próximo ao nascer do sol.

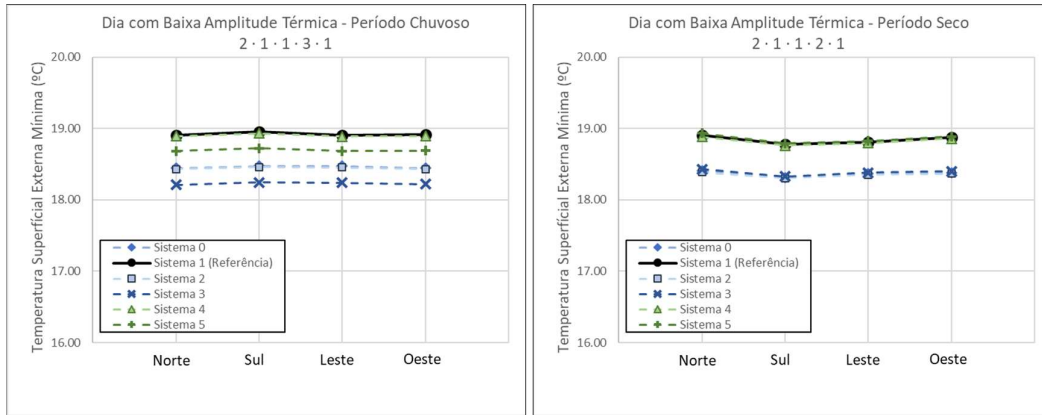


Figura 55 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Mínimas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

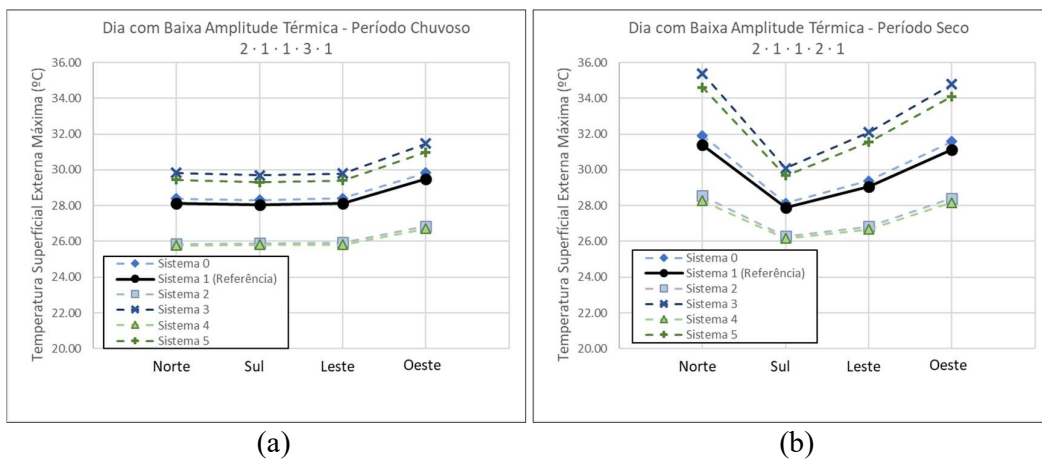


Figura 56 - Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).

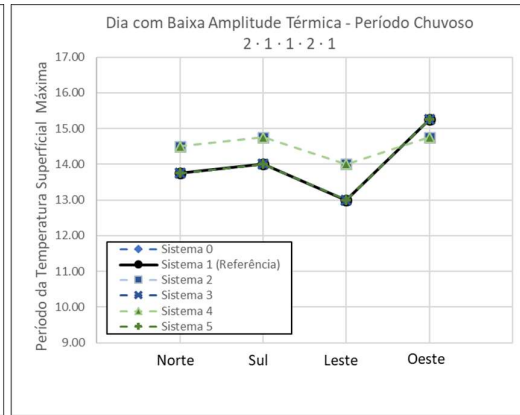
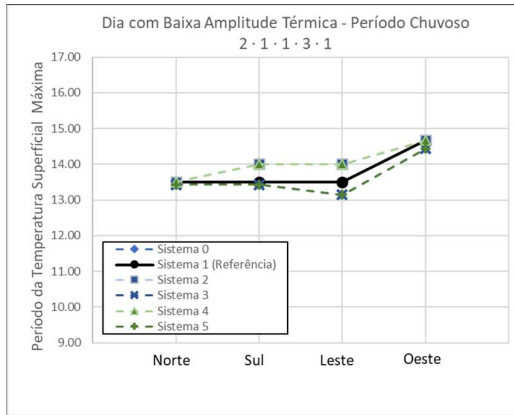
Comparado às condições climáticas de maior frequência, os dias com baixa amplitude térmica do ar apresentam uma redução significativa na variação da temperatura máximas superficial entre as diferentes orientações (Figura 56).

No período Chuvoso, quando há o aumento da umidade relativa do ar, essas reduções são ainda maiores e a diferença entre orientações fica próxima a 2°C. No período Seco, a variação entre as fachadas fica próxima a 4°C em sistemas de média absorvância ( $\alpha=0,5$ ), 2°C para os sistemas claros ( $\alpha=0,7$ ) e chega a quase 6°C para os sistemas escuros ( $\alpha=0,7$ ).

Em relação aos períodos de temperatura superficial máxima (Figura 57), há uma antecipação na fachada Oeste que ocorre próximo às 15h e um atraso na fachada Leste, que passa a acontecer próximo às 13-14h. Desta forma, os horários de ocorrência das temperaturas superficiais externas máximas tendem a se aproximar das 14h.

Assim como nas demais condições climáticas, a amplitude térmica superficial varia de forma similar à temperatura máxima superficial, onde a redução da intensidade dos agentes climáticos, em especial a radiação solar e a temperatura máxima do ar, resultou em uma menor amplitude térmica (Figura 58).

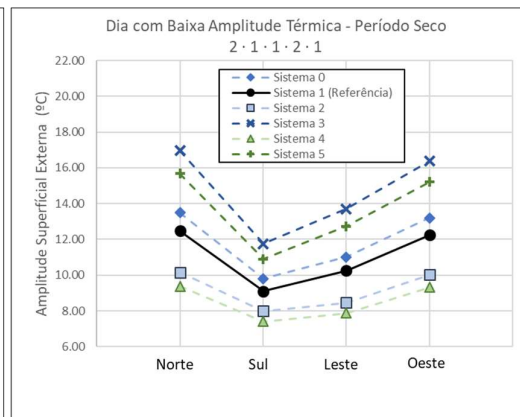
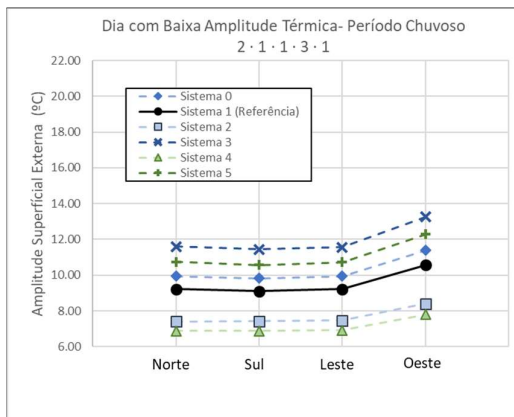




(a)

(b)

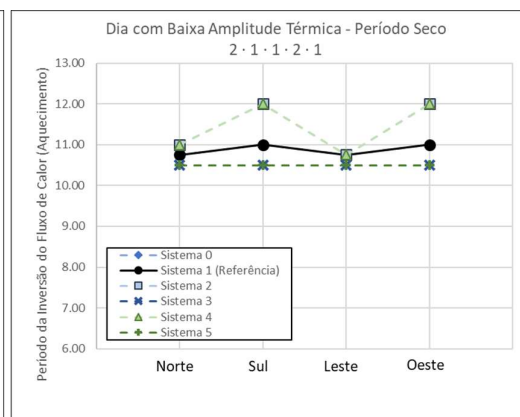
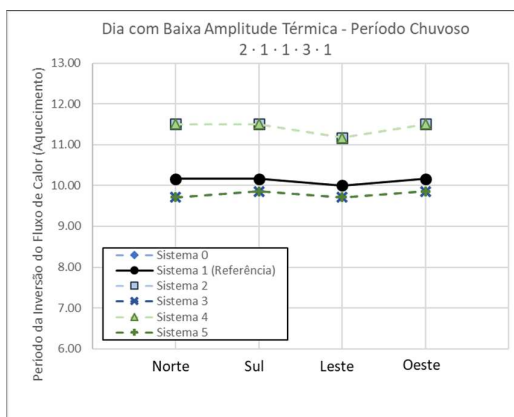
Figura 57 - Período das Temperaturas Superficiais Externas Diárias Máximas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).



(a)

(b)

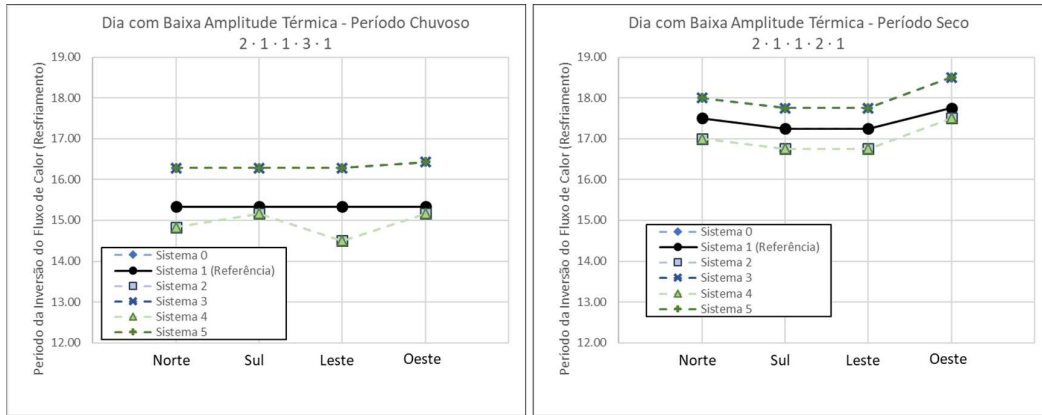
Figura 58 - Amplitudes Térmicas Superficiais Externas para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso (a) e Seco (b).



(a)

(b)

Figura 59 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Aquecimento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Baixa Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b).



(a) (b)  
 Figura 60 - Período de Inversão do Fluxo de Calor no Resfriamento do Sistema, para os 6 Sistemas de Fachadas em Dias com Alta Amplitude Térmica nos Períodos Chuvoso(a) e Seco (b).

Em relação a inversão do fluxo de calor no aquecimento (Figura 59), a baixa intensidade dos agentes climáticos resultou em um atraso no seu período de ocorrência, ocorrendo próximo às 10-11h para os sistemas de média e alta absorvância e chegando às 11-12h para os sistemas de baixa absorvância.

Para a inversão do fluxo de calor no resfriamento das fachadas (Figura 60), a redução da intensidade dos agentes climáticos antecipou este período, especialmente para os sistemas claros. No período chuvoso, a inversão chegou a ocorrer próximo às 15h.

## 5.5 ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO ANUAL DAS FACHADAS

Para as medições térmicas de conforto ou de estudos das solicitações dos sistemas é comum a escolha de meses que possuam historicamente as mais altas ou baixas temperaturas. Esses meses apresentam uma maior probabilidade de que o inspetor encontre condições com maior intensidade dos agentes climáticos. No entanto, a escolha do período de medição apenas por este critério é ineficaz, visto que podem haver variações significativas dentro dos próprios meses (RIOS; ZANONI, 2018).

Portanto, por meio de gráficos *Box Plot*, foram identificadas as intensidade e variação das amplitudes térmicas diárias e das temperaturas máximas e mínimas diárias de cada mês. Deste modo, além de indicar os meses com maior relevância para medições de máximas, mínimas e amplitudes térmicas, os perfis evidenciam a necessidade de observar as condições climáticas diárias, visto que há uma variação significativa dentro dos meses.



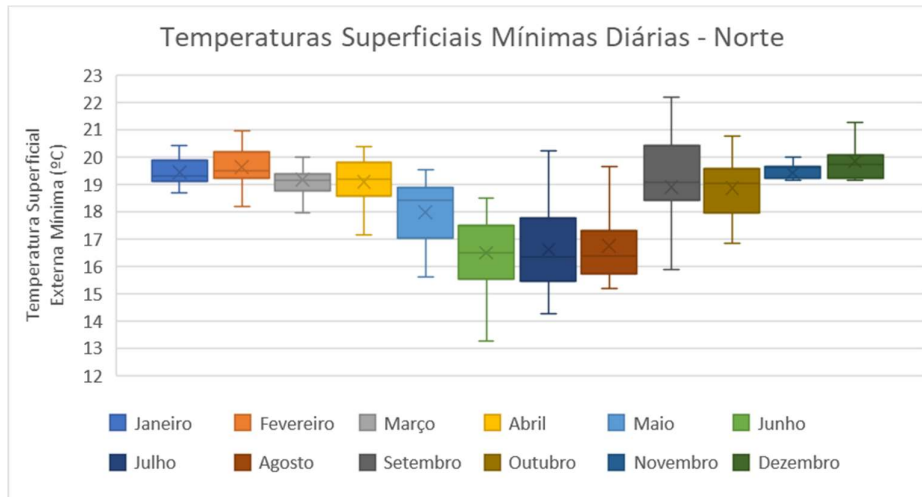


Figura 61 – Gráfico *Box Plot* das Temperaturas Superficiais Mínimas Diária para Fachada Norte ao longo do ano.

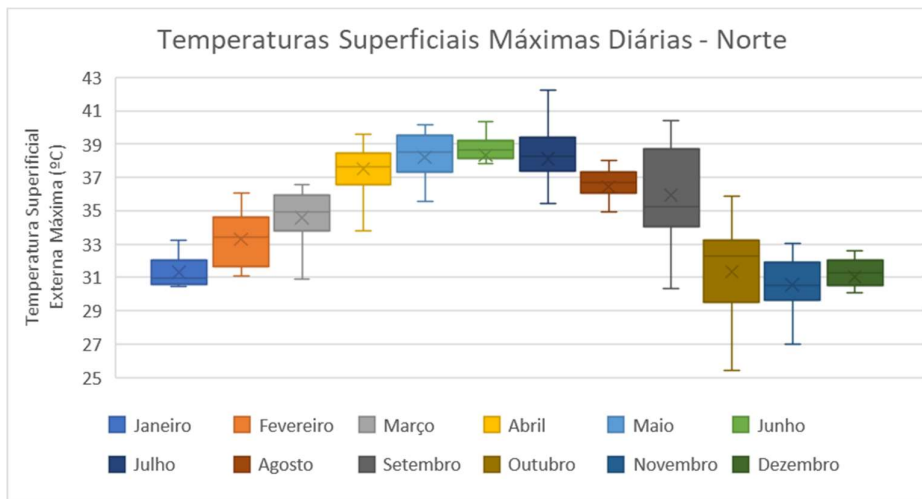


Figura 62 - Gráfico *Box Plot* das Temperaturas Superficiais Externas Máximas Diárias para Fachada Norte ao longo do ano.

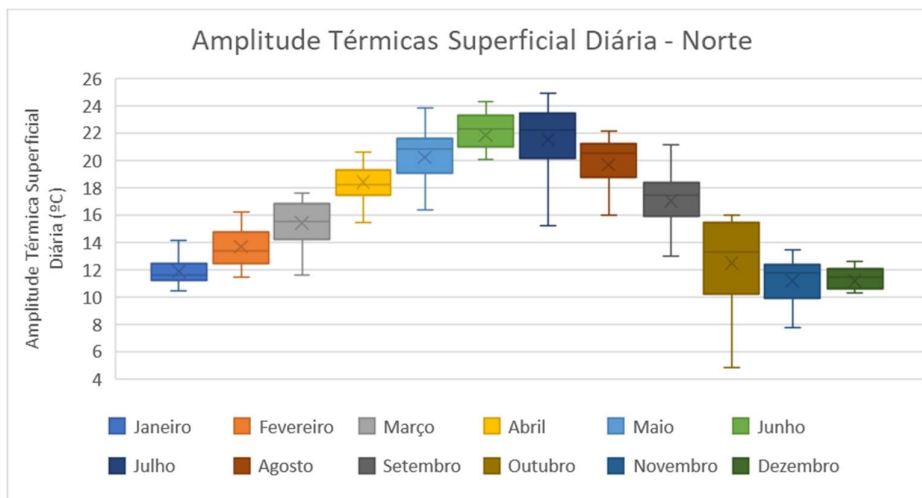


Figura 63 – Gráfico *Box Plot* da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Norte ao longo do ano.

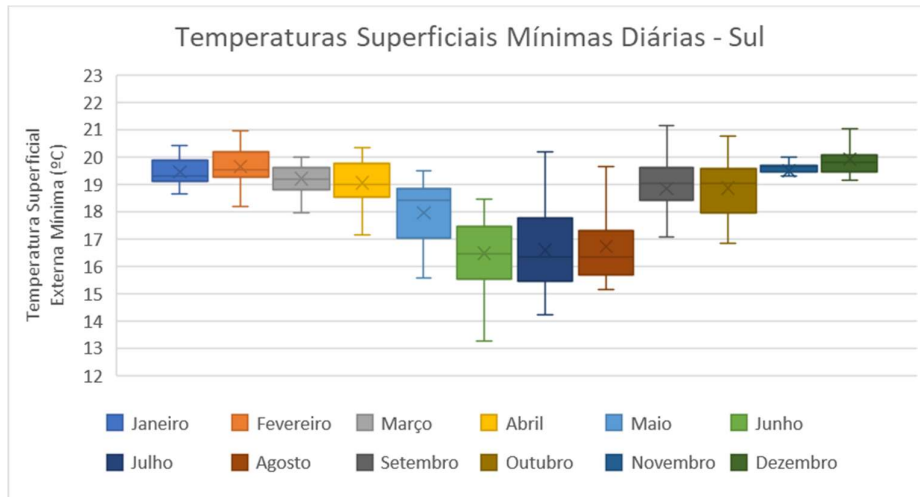


Figura 64 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Mínimas Diárias para Fachada Sul ao longo do ano.

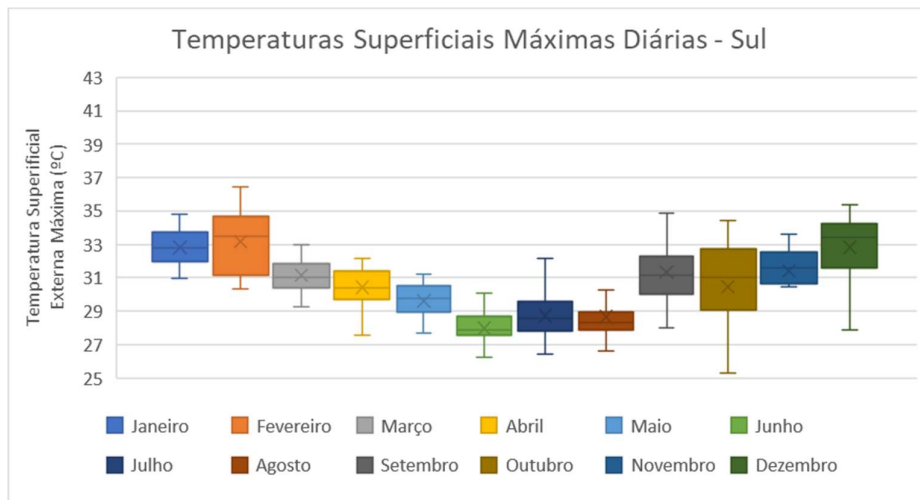


Figura 65 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Máximas Diárias para Fachada Sul ao longo do ano.

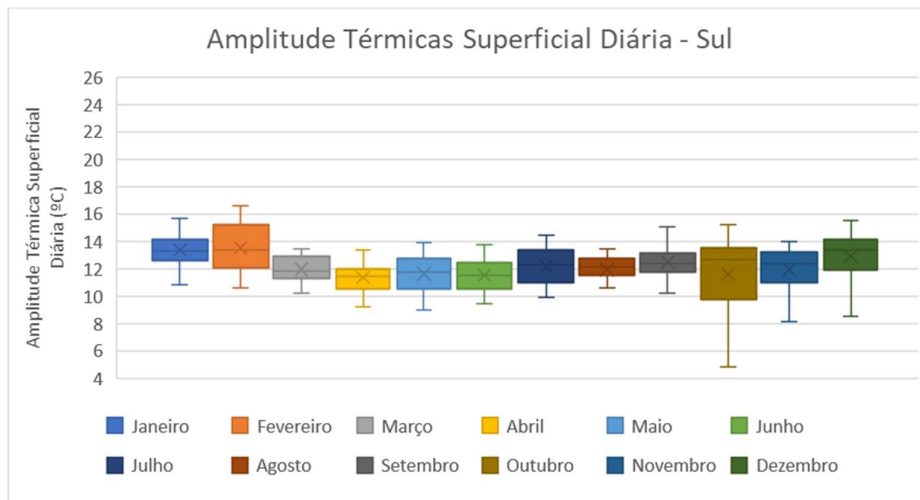


Figura 66 - Gráfico Box Plot da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Sul ao longo do ano.

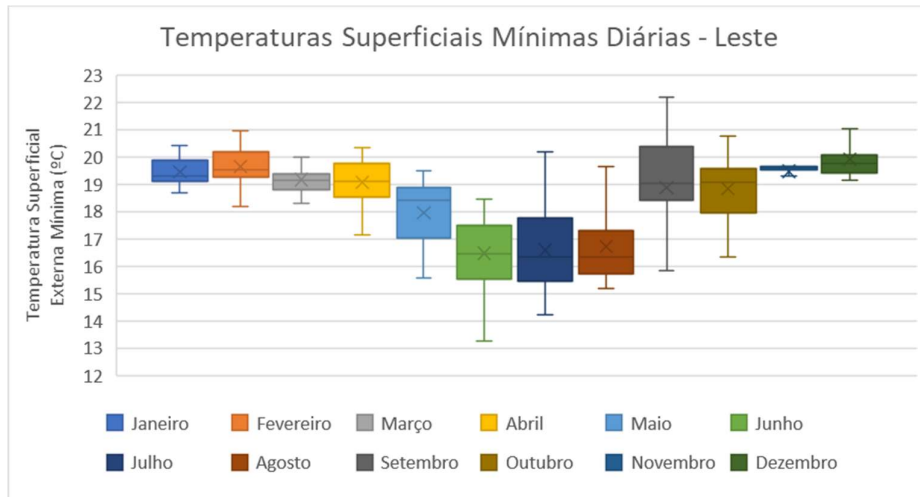


Figura 67 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Mínimas para Fachada Leste ao longo do ano.

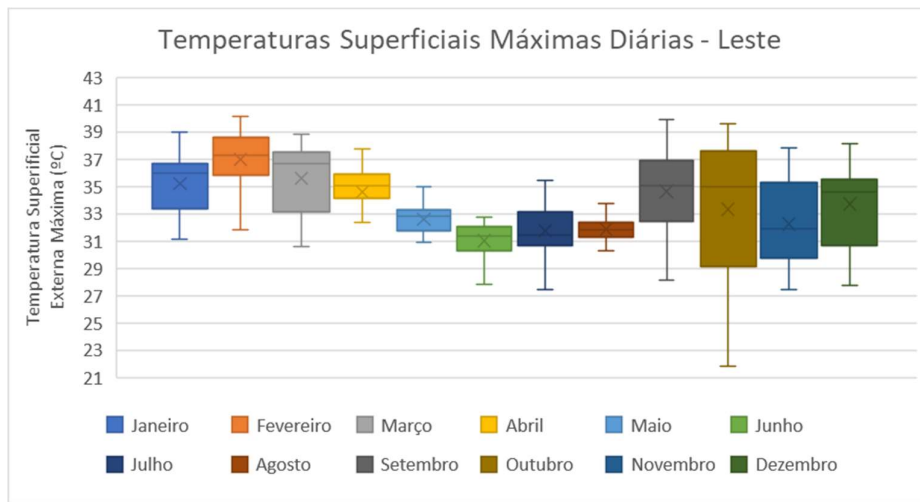


Figura 68 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Máximas para Fachada Leste ao longo do ano.

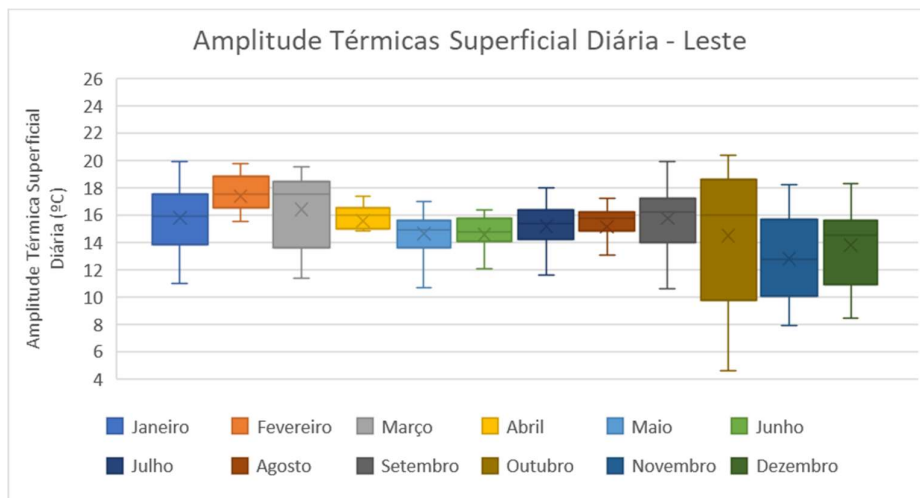


Figura 69 - Gráfico Box Plot da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Leste ao longo do ano.

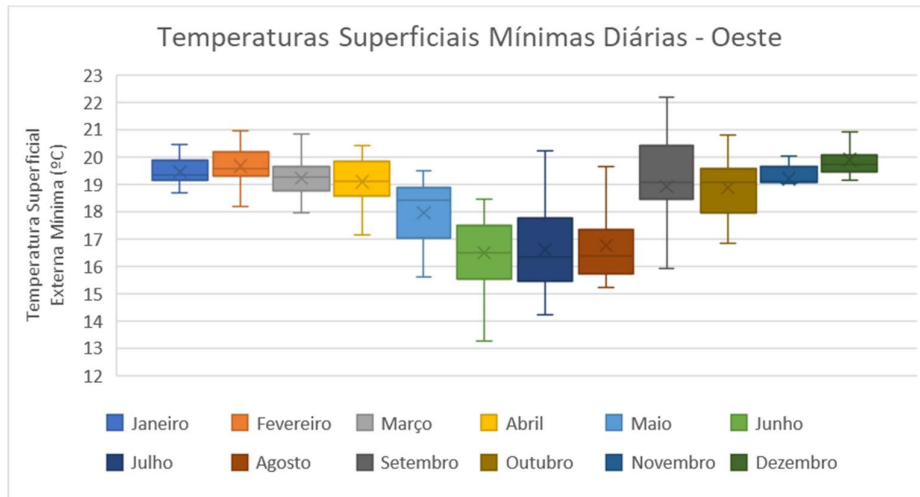


Figura 70 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Mínimas para Fachada Oeste ao longo do ano.

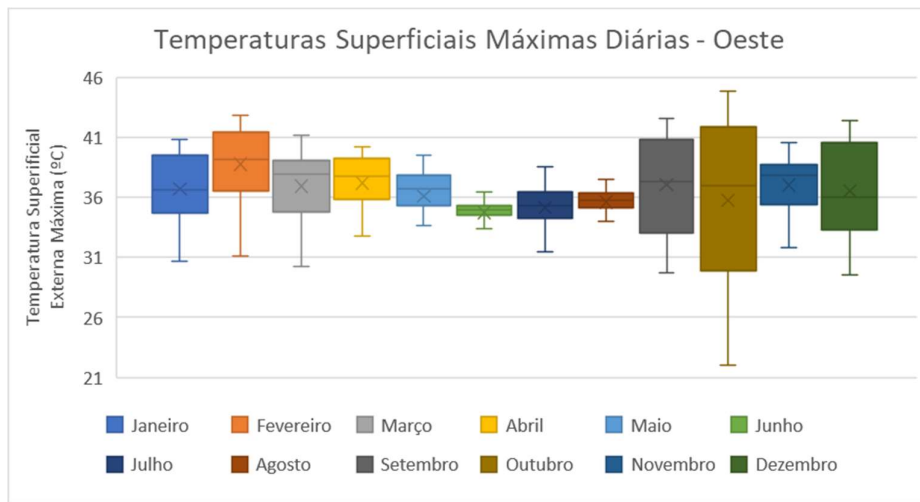


Figura 71 - Gráfico Box Plot das Temperaturas Superficiais Máximas para Fachada Oeste ao longo do ano.

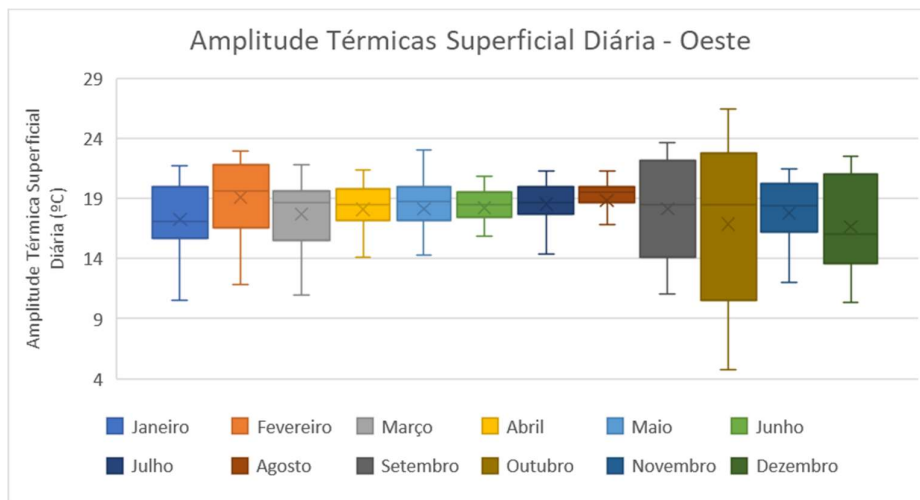


Figura 72 - Gráfico Box Plot da Amplitude Térmica Superficial Diária para Fachada Oeste ao longo do ano.

### Norte:

Na orientação Norte, as temperaturas superficiais externas mínimas tendem a ocorrer em junho e julho, meses com as menores temperaturas do ar (Figura 61).

Para as temperaturas superficiais externas máximas (Figura 62), os meses de maio a julho, e posteriormente o mês de setembro, tendem a apresentar as maiores temperaturas. Neste período, devido à trajetória solar, há uma maior irradiância solar na fachada Norte, que associada a baixa umidade relativa do ar do período seco resulta em elevadas temperaturas superficiais.

Por fim, durante os meses de junho e julho, onde há uma baixa temperatura mínima do ar e uma alta irradiância solar, ocorrem as maiores amplitudes térmicas superficiais diárias da fachada Norte (Figura 63).

### Sul:

Nas fachadas com orientação Sul, as temperaturas mínimas superficiais também tendem a ocorrer em junho e julho (Figura 64).

As temperaturas superficiais externas máximas tendem a ocorrer em fevereiro (Figura 65), período do verão com elevadas temperaturas do ar.

Em relação à amplitude térmica superficial da fachada Sul (Figura 66), não há grandes variações ao longo do ano, estas ficam em entorno de 12 a 14°C e podem sofrer um pequeno aumento em fevereiro, em função do período com as maiores máximas.

### Leste:

Nas fachadas com orientação Leste, assim como as demais orientações, as temperaturas superficiais mínimas tendem a ocorrer nos meses de junho e julho (Figura 67). Porém, em relação às temperaturas superficiais externas máximas os meses fevereiro, março, setembro e outubro, conforme apresentado na Figura 68, tendem a apresentar os maiores valores.

As amplitudes térmicas seguem o padrão das temperaturas superficiais máximas e tendem a ser mais intensas nos períodos de fevereiro-março e setembro-outubro (figura 69). Porém, é importante observar que há uma grande variação da amplitude térmica no mês de outubro, período no qual além de ocorrer as maiores amplitudes térmicas superficiais diárias, também podem ocorrer as menores amplitudes térmicas superficiais da fachada Leste.

### Oeste:

Nas fachadas com orientação Oeste, assim como as demais orientações, as temperaturas superficiais mínimas tendem a ocorrer nos meses de junho e julho (Figura 70). Em relação às temperaturas superficiais externas máximas, essas tendem a ocorrer em fevereiro e setembro (Figura 71).

Assim como a fachada Leste, a amplitude térmica superficial tende a ser superior em outubro (Figura 72), porém neste período também ocorrem as menores amplitudes térmicas superficiais da fachada Oeste.

Portanto, a escolha do período ao longo do ano pode contribuir para a relevância dos dados medidos em campo, desde que sejam observadas as condições climáticas diárias durante as medições térmicas.

## 5.6 ANÁLISE DAS MEDIÇÕES TÉRMICAS EM CAMPO

Neste item são analisados os resultados das medições térmicas e das observações feitas em campo, apresentados no APÊNDICE F.

As medições térmicas foram realizadas em 5 dias isolados, entre as 8:00 e as 18:00 a cada 30 minutos. Além das medições térmicas superficiais, foram observadas a temperatura do ar no local de medição, a nebulosidade, a variação do vento e aspectos do uso e do entorno da edificação.

Foram avaliadas a influência da variação de agentes climáticos em campo (nebulosidade e vento), a influência da orientação em conjunto com suas condições de entorno (superfícies próximas, sombreamento e etc.) e a altura dos pontos de medição. Após as medições, houve uma consulta aos dados climáticos diários da estação do INMET para a Classificação Climática Diária, conforme metodologia proposta neste trabalho.

Para avaliar a temperatura superficial externa máximas nas diferentes fachadas foram selecionados pontos de medição em locais com a cerâmica cinza escura e nos andares superiores. Assim, as Tabelas 15 e 16 apresentam os valores máximos diários de temperatura superficial externa encontrados para as 4 orientações da edificação e as horas que elas ocorreram respectivamente.

Tabela 15 – Temperaturas Máximas Superficiais medidas em campo

Temperaturas Superficiais Máximas (°C)					
Orientação	Dia de Medição				
	27/02	16/03	13/04	24/05	28/06
Noroeste	37,0	43,8	39,9	47,0	46,2
Sudeste	30,3	28,8	27	25,1	22,1
Nordeste	36,2	37,5	31	36,8	38,8
Sudoeste	34,6	38,2	29,7	27,9	28,1
CCD	3·2·1·2·2	2·3·2·2·3	2·1·1·2·2	2·1·2·2·2	1·1·3·1·2
Período	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Seco	Seco
Altura do Ponto de Medição					Alto
Cor do Revestimento					Escuro

Tabela 16 – Período das Temperaturas Superficiais Máximas medidas em campo

Período das Temperaturas Superficiais Máximas (°C)					
Orientação	Dia de Medição				
	27/02	16/03	13/04	24/05	28/06
Noroeste	15:00	16:30	14:30	14:30	16:00
Sudeste	11:00	10:30	11:30	14:30	15:30
Nordeste	11:30	11:00	11:30	9:00	10:30
Sudoeste	17:30	16:30	15:00	14:30	17:00
CCD	3·2·1·2·2	2·3·2·2·3	2·1·1·2·2	2·1·2·2·2	1·1·3·1·2
Período	Chuvoso	Chuvoso	Seco	Seco	Seco
Altura do Ponto de Medição					Alto
Cor do Revestimento					Escuro

Por meio da análise dos dados coletados foi possível verificar se os resultados obtidos para os Perfis Higrotérmicos Diários são similares aos encontrados em campo. Neste sentido, devem ser feitas duas considerações: a orientação das fachadas da edificação em estudo são mais próximas das orientações colaterais (Noroeste, Nordeste, Sudoeste e Sudeste); nas medições de campo há o efeito do entorno e do uso da edificação, como sombreamento das arvores ou outras edificações, ilhas de calor e o uso de refrigeração dos ambientes internos.

Feitas essas considerações, as medições em campo obtiveram resultados esperados aos previstos pelos Perfis Higrotérmicos Diários. Porém, além da validação destas ferramentas, a medição em campo também foi utilizada para identificação de fatores relevantes às medições térmicas. Os principais fatores identificados foram: Entorno da Edificação, Altura do Ponto de Medição e os Agentes Climáticos em Campo.

Entorno da Edificação:

As fachadas Noroeste e Nordeste não apresentavam sombreamento de vegetação ou edificações adjacentes. Nestas fachadas foi possível observar que nos pavimentos térreos, sujeitos aos efeitos da ilha de calor de superfícies próximas à edificação, apresentavam temperaturas superficiais externas maiores do que os pavimentos intermediários (3º andar) e os superiores (5º andar).

As fachadas Sudeste e Sudoeste apresentavam sombreamento, seja por vegetação ou por edificações próximas. Estas fachadas apresentaram menores diferenças entre as temperaturas superficiais externas dos pavimentos térreos, intermediários e superiores. Esta redução pode estar relacionada à redução do efeito das ilhas de calor no entorno da edificação causada pelo sombreamento.

Altura do Ponto de Medição:

Para avaliar diferentes alturas dos pontos de medição, foi selecionada a fachada Noroeste, a qual apresentou as maiores temperaturas superficiais externas máximas e possui tanto cerâmicas em cinza claro como em cinza escuro.

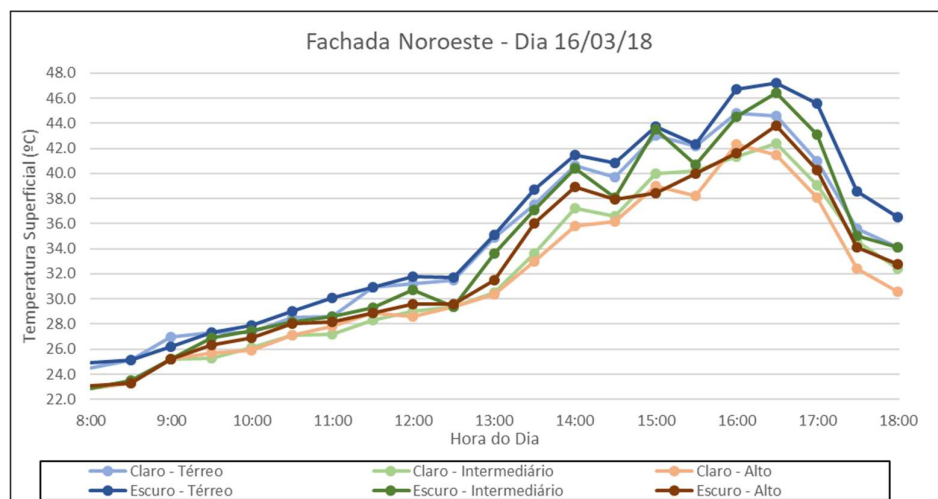


Figura 73 – Temperaturas Superficiais da Fachada Noroeste medidas em campo no dia 16/03/2018 em Brasília, nos revestimentos cinza claro e cinza escuro.

Assim, a Figura 73 ilustra o comportamento térmico da fachada Noroeste ao longo do dia em diferentes alturas do ponto de medição (Térreo, Intermediário (3º Andar) e Alto (5º Andar)) e em placas cerâmicas em cinza claro e cinza escuro.

Como citado anteriormente, os efeitos das ilhas de calor podem ser determinantes no aumento das temperaturas superficiais externas das paredes do térreo, deste modo, é comum que as fachadas no térreo apresentem as maiores temperaturas máximas, principalmente nos horários com maior radiação solar horizontal.

Já nos pavimentos superiores, devido a maior intensidade do vento, há uma maior dissipação da energia térmica da superfície das fachadas. Portanto, nestes pontos ao se comparar com as demais alturas de medição foram identificadas as menores temperaturas superficiais externas máximas.

Por fim, nos pavimentos intermediários há uma redução dos efeitos das ilhas de calor e do vento. Desta forma, consideram-se os pavimentos intermediários, para edificações de altura média (até 20m) como representativos quanto ao comportamento da edificação, pois reduzem os efeitos do entorno da edificação.

#### Agentes Climáticos em Campo:

Durante as medições em campo utilizou-se a proposta de Classificação Climática Diária para a caracterização dos agentes climáticos. Porém, a proposta não contempla alguns agentes climáticos, como a nebulosidade, o vento e a chuva.

Em relação ao vento, como apresentado em diversos métodos de medição térmica (ASTM, 2011; 2014b; 2014c; 2015), deve-se evitar variações abruptas da velocidade do vento, pois tais variações podem gerar erros de medição.

Neste sentido, foi possível observar que ventos fortes e/ou rajadas de vento são capazes de alterar em até 2°C as medições térmicas superficiais e que a temperatura superficial normalizava rapidamente, em tempo menor que 1 minuto após a rajada.

A nebulosidade foi observada a cada 30 minutos, acompanhando a medição térmica superficial. O aumento da nebulosidade foi acompanhado de uma redução nos valores de temperatura superficial máxima nas fachadas e foi capaz de alterar os períodos de ocorrência das temperaturas superficiais máximas, principalmente quando este aumento de nuvens ocorria próximo aos períodos de alta incidência solar.

Por fim, a presença de chuvas durante o período de medição deve ser registrada, em relação à sua intensidade, duração e o sentido predominante do vento durante a chuva.

Portanto, além da escolha das orientações e da definição dos objetivos das medições térmicas, é fundamental que o inspetor observe as variações dos agentes climáticos, a influência do entorno da edificação e a importância da escolha dos pontos de medição, visto que esses fatores podem influenciar a representatividade dos resultados da medição térmica.

## **5.7 SÍNTESE DOS FATORES RELEVANTES PARA AS MEDIÇÕES TÉRMICAS EM INSPEÇÕES DE FACHADAS**

A partir dos dados emitidos pela simulação computacional e dos dados coletados por meio de medições em campo foram observados padrões e tendências no comportamento térmico dos sistemas de fachadas para Brasília-DF. Essas observações permitiram a definição de um quadro de diretrizes para realização de medições de solicitações térmicas nas superfícies de fachadas, como temperaturas máximas e amplitudes térmicas.



As diretrizes propostas consideram os períodos de medição, tanto em relação aos meses do ano, como para os períodos Seco e Chuvoso, a influência das propriedades do sistema de fachada, da intensidade dos agentes climáticos e de fatores a serem observados em campo durante as medições, como o vento, a nebulosidade, o uso e o entorno da edificação.

Em relação aos períodos de medição, é comum a escolha do período de medição pelos meses críticos, aqueles onde historicamente tendem a possuir as maiores temperaturas, como foi observado no relatório de monitoramento da Catedral Metropolitana de Brasília (SARASÁ, 2009).

Em Brasília-DF é comum a escolha dos meses de Julho, Setembro e Outubro para medições térmicas superficiais, visto que, devido às condições climáticas desses meses, há uma tendência de se obter maiores temperaturas superficiais e amplitudes térmicas nas fachadas.

Entretanto, ainda que alguns meses possuam essas tendências, o uso desse critério de forma isolada é ineficaz, visto que há variações climáticas entre os dias destes meses, como observado no item 5.3. Deste modo, é fundamental que as condições climáticas diárias no período de coleta sejam registradas e, se possível, classificadas.

A influência das condições climáticas diárias fica evidente no quadro de diretrizes, onde são apresentados os períodos de ocorrência e as intensidades das solicitações térmicas superficiais em dias com diferentes condições climáticas. No quadro são avaliadas 3 condições: dias com condições climáticas de maior frequência, dias quentes e dias frios.

As condições climáticas de maior frequência são representadas pela Classificação Climática Diária de maior frequência nos períodos Seco e Chuvoso. Os Dias Quentes apresentam alta temperatura do ar máxima ( $TM_{\text{máx}} \geq 29^{\circ}\text{C}$ ), alta amplitude térmica do ar ( $AT \geq 12^{\circ}\text{C}$ ) e/ou alta radiação solar ( $RS \geq 6000\text{Wh/m}^2$ ). Já, o Dia Frio representa dias com baixa temperatura do ar máxima ( $TM_{\text{máx}} \leq 25^{\circ}\text{C}$ ), baixa amplitude térmica do ar ( $AT \leq 8^{\circ}\text{C}$ ) e/ou baixa radiação solar ( $RS \leq 4250\text{Wh/m}^2$ ).

Ao comparar esses 3 cenários, nos dias frios há uma considerável redução da intensidade destas solicitações. Assim, recomenda-se que as medições de solicitações térmicas, como de temperaturas superficiais máximas e amplitudes superficiais máximas, ocorram em dias quentes ou, se necessário, em dias com condições climáticas de maior frequência.

Outro aspecto a ser observado durante as medições térmicas em campo é a influência do Período do Ano no comportamento térmico das diferentes orientações dos sistemas de fachadas.

Em seus trabalhos, Zanoni (2015) e Nascimento (2016) evidenciam a relevância dos Períodos do Ano (Seco e Chuvoso) no estudo do comportamento higrotérmico e nos mecanismos de degradação dos sistemas de fachadas em Brasília-DF.

Os autores expõem a necessidade de uma análise para cada período, visto que há diferentes variações no comportamento térmico dos sistemas de fachadas de acordo com a orientação e o período do ano (ZANONI, 2015; NASCIMENTO, 2016).

Portanto, com intuito de avançar na compreensão do comportamento térmico dos sistemas de fachadas, o quadro de diretrizes, por meio da análise dos dados da simulação computacional, apresenta estimativas das intensidades e períodos de ocorrência das temperaturas superficiais mínimas e máximas diárias de acordo com a orientação, o período do ano, as condições climáticas diárias e as propriedades do sistema.

Como esperado, foi possível observar as variações causadas pela mudança da absorvância e da condutividade térmica do bloco cerâmico, no entanto essas variações influenciam não apenas a intensidade das solicitações térmicas, mas também podem alterar os períodos de ocorrência das temperaturas máximas no sistema.

O aumento da absorvância potencializa o efeito da radiação solar sobre os sistemas de fachadas (LAMBERTS *et al.* 2013), que aumentam a intensidade das temperaturas máximas e podem antecipar suavemente os períodos de ocorrência dessas máximas. Enquanto, a redução da condutividade térmica do bloco cerâmico gera um acúmulo da energia térmica nas camadas superficiais, de modo a elevar as temperaturas superficiais máximas das fachadas.

Durante as medições térmicas em campo deve-se observar o entorno e o uso da edificação, as variações de agentes climáticos em curtos períodos de tempo e ao longo do dia e, por fim, a escolha dos pontos de medição, os quais devem considerar os aspectos anteriormente citados.

Em relação ao entorno da edificação, as superfícies horizontais próximas às edificações podem afetar as temperaturas do ar e das superfícies nos pavimentos mais baixos. Os estacionamentos e pisos escuros tendem a elevar essas temperaturas, enquanto gramados e regiões sombreadas podem amenizar os efeitos das ilhas de calor no ambiente urbano (ROMERO, 2015).

Além das superfícies horizontais, a presença de outras edificações, árvores ou outros elementos no entorno pode gerar um sombreamento na edificação em estudo, reduzindo os efeitos da radiação solar. Porém, de maneira análoga, caso os elementos adjacentes possuam alta refletividade, como peles de vidro ou superfícies refletivas, esses elementos podem gerar um aumento da parcela de radiação refletida na fachada em estudo (LAMBERTS *et al.*, 2013).

A escolha da altura do ponto de medição deve considerar os objetivos e as condições do entorno da edificação, visto que existem diferenças entre os comportamentos térmicos dos pavimentos. Desta forma, é necessário que sejam escolhidos pontos representativos ao objetivo da inspeção.

O uso e a ocupação da edificação, por alterar o comportamento térmico dos ambientes internos, podem afetar o comportamento das superfícies externas da fachada (LAMBERTS *et al.*, 2013). Durante as medições de campo foi observado que, no período da manhã, as salas que acionavam o sistema de climatização para resfriamento do ambiente interno, apresentavam um menor aquecimento da superfície externa no início da manhã. Por outro lado, foi possível observar uma menor variação térmica em áreas externas próximas à equipamentos que emitiam calor, esses pontos estavam aquecidos desde o início da manhã, independentemente da ação climática.

Deste modo, o efeito do entorno e do uso da edificação sobre o comportamento térmico das fachadas, em conjunto com período do ano, são relevantes na escolha de fachada críticas às solicitações térmicas.



## Diretrizes para Identificação de Solicitações Térmicas Superficiais em Fachadas Cerâmicas

<b>Brasília - DF</b>		Temperatura Superficial Externa Mínima				Temperatura Superficial Externa Máxima				Amplitude Térmica Superficial			
		Período Chuvoso		Período Seco		Período Chuvoso		Período Seco		Período Chuvoso	Período Seco		
		Hora	Intensidade (°C)	Hora	Intensidade (°C)	Hora	Intensidade (°C)	Hora	Intensidade (°C)	Intensidade (°C)	Intensidade (°C)		
<b>Norte</b>	Condições Climáticas de Maior Frequência		6-7h	18,0 - 19,0	6-7h	18,0 - 19,0	14h	32,0	14h	38,0	13,0	20,0	
	Influência das Condições Climáticas	↑ Dia Quente					14h	34,0	13-14h	39,0	15,0	21,0	
		↓ Dia Frio					13h	28,0	13h	31,0	9,0	12,5	
	Influência das Propriedades do Sistema	↑α (0,7 - Escuro)					←	35,0	-	43,0	15,5	25,0	
		↓α (0,3 - Claro)					→	29,0	→	33,0	10,5	14,5	
		↓λ (0,158 W/m.K)					-	33,0	-	39,5	14,0	21,5	
		↑α ↓λ					←	35,5	-	45,0	17,0	27,0	
Meses Favoráveis à Medição das Solicitações		Junho e Julho				Julho e Setembro				Junho e Julho			
<b>Sul</b>	Condições Climáticas de Maior Frequência		6-7h	18,0 - 19,0	6-7h	18,0 - 19,0	15h	32,5	14h	30,0	13,5	11,0	
	Influência das Condições Climáticas	↑ Dia Quente					16h	33,5	14-15h	32,5	14,5	14,0	
		↓ Dia Frio					13h	28,0	14h	28,0	9,0	9,0	
	Influência das Propriedades do Sistema	↑α (0,7 - Escuro)					-	35,0	-	31,5	16,0	13,0	
		↓α (0,3 - Claro)					-	30,0	→	28,0	10,5	9,5	
		↓λ (0,158 W/m.K)					-	33,0	-	30,5	14,5	12,0	
		↑α ↓λ					-	36,0	-	32,0	17,0	14,0	
Meses Favoráveis à Medição das Solicitações		Junho e Julho				Fevereiro e Dezembro				Janeiro, Fevereiro e Dezembro			
<b>Leste</b>	Condições Climáticas de Maior Frequência		6-7h	18,0 - 19,0	6-7h	18,0 - 19,0	10-11h	35,5	11h	33,5	16,5	15,0	
	Influência das Condições Climáticas	↑ Dia Quente					11h	38,5	11h	38,0	20,0	19,5	
		↓ Dia Frio					13h	28,0	13h	29,0	9,0	10,0	
	Influência das Propriedades do Sistema	↑α (0,7 - Escuro)					-	40,5	-	37,5	21,0	19,0	
		↓α (0,3 - Claro)					→	31,0	→	29,5	11,5	11,0	
		↓λ (0,158 W/m.K)					-	35,5	-	34,0	17,5	16,0	
		↑α ↓λ					-	41,5	-	39,0	23,0	20,5	
Meses Favoráveis à Medição das Solicitações		Junho e Julho				Fevereiro, Setembro e Outubro				Janeiro, Setembro e Outubro			
<b>Oeste</b>	Condições Climáticas de Maior Frequência		6-7h	18,0 - 19,0	6-7h	18,0 - 19,0	16h	38,0	15-16h	36,0	19,0	17,5	
	Influência das Condições Climáticas	↑ Dia Quente					16h	43,5	16-17h	40,0	24,5	21,5	
		↓ Dia Frio					16h	29,5	16h	31,0	10,5	12,0	
	Influência das Propriedades do Sistema	↑α (0,7 - Escuro)					-	43,0	-	40,0	23,5	21,5	
		↓α (0,3 - Claro)					-	33,5	-	32,0	14,0	13,5	
		↓λ (0,158 W/m.K)					-	39,0	-	37,0	20,5	19,0	
		↑α ↓λ					-	44,5	-	41,5	25,5	23,5	
Meses Favoráveis à Medição das Solicitações		Junho e Julho				Fevereiro, Setembro, Outubro e Dezembro				Setembro e Outubro			
<b>Diretrizes para Identificação das Solicitações</b>		<p>- As temperaturas superficiais mínimas apresentam relação direta com a temperatura mínima diária do ar. Deste modo, quanto menor a temperatura mínima diária do ar, menor a temperatura superficial externa da fachada.</p> <p>- Os demais agentes climáticos pouco influenciam em sua intensidade e período de ocorrência.</p> <p>- Caso não haja variações causadas pelo entorno e uso da edificação, todas orientações e sistemas apresentam comportamento similar, tanto em relação ao período de ocorrência como em sua intensidade.</p>				<p>- Há variações significativas nas intensidades das solicitações de acordo com as Orientações, com o Período do Ano e com as Condições Climáticas.</p> <p>- Desta forma, para assegurar a relevância dos dados medidos, as medições devem ser feitas em orientações críticas nos Dias Quentes ou ao menos em Condições Climáticas de maior frequência.</p> <p>- As variações nas propriedades do sistema além de alterar a intensidade das solicitações térmicas, pode alterar os períodos de ocorrência das temperaturas superficiais máximas.</p>				<p>- As amplitudes térmicas elevadas, normalmente, estão acompanhadas de temperaturas superficiais máximas elevadas.</p> <p>- Há diferenças entre os meses favoráveis para identificação de temperaturas superficiais máximas e para amplitudes térmicas superficiais máximas.</p> <p>- As medições de amplitude térmica superficial devem ser feitas em orientações críticas nos Dias Quentes ou ao menos em Condições Climáticas de maior frequência.</p>			
<b>Diretrizes Gerais</b>		<p>- Para assegurar a relevância dos dados medidos é fundamental que sejam feitas verificadas e registradas as condições climáticas diárias nos dias de medição.</p> <p>- Devem ser evitados períodos com ventos fortes e/ou rajadas de vento. Porém, caso seja inevitável, esses períodos devem ser registrados e considerados na análise dos dados.</p> <p>- Devem ser registrada a nebulosidade durante as coletas, visto que seu aumento pode reduzir a intensidade das solicitações e alterar os períodos de máxima.</p> <p>- A escolha da altura dos pontos de medição deve estar relacionada ao objetivo da inspeção, visto que este fator pode influenciar na intensidade dos dados coletados.</p> <p>- O entorno da edificação (árvores, edifícios, superfícies próximas) e o uso (ocupação, equipamentos e climatização) da edificação podem gerar alterações nas solicitações térmicas.</p>											
<b>Propriedades do Sistema de Referência</b>		Absortância (α)		0,5		A – Revestimento Cerâmico							
Condutividade Térmica do Bloco Cerâmico (λ)		0,565 W/m.K		B – Argamassa Colante									
Transmitância Térmica do Sistema (U)		2,513 W/m²K		C e E – Argamassa de Rev. Externo									
D – Bloco Cerâmico													
<b>Legenda</b>		↑ Dia Quente	Dia com ↑Temp. do Ar Máxima e/ou ↑ Amplitude Térm. do Ar e/ou ↑ Radiação Solar				←	Antecipa	-	Não Altera	→	Atrasa	
		↓ Dia Frio	Dia com ↓Temp. do Ar Máxima e/ou ↓ Amplitude Térm. do Ar e/ou ↓ Radiação Solar										



## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho atingiu os objetivos propostos de criar um método para Classificação Climática Diária e Perfis Higrotérmicos Diários, como ferramentas de suporte às medições térmicas em inspeções de fachadas. A aplicabilidade de ambas as ferramentas se apresentou extremamente úteis e de fácil aplicação durante a parte experimental desta pesquisa, realizada em medições térmicas em inspeções de fachadas. Como síntese, os estudos e pesquisas realizadas permitiram definir um conjunto de diretrizes para medições de campo, fundamentadas nas solicitações térmicas em fachadas.

### 6.1 SOBRE A CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DIÁRIA

Sobre o método proposto para o desenvolvimento da Classificação Climática Diária:

- A Classificação Climática Diária utiliza 5 agentes climáticos para a caracterização climática: as temperaturas do ar mínimas e máximas, a amplitude térmica do ar, a umidade relativa do ar e a radiação solar. Portanto, esta proposta permite a caracterização simultânea de diversos agentes climáticos e não de apenas um agente preponderante, como é feito no Dia Típico de Projeto da NBR 15575-1.
- O uso de 3 Classes de Intensidade para cada agente climático, definidas pela frequência de ocorrência, permite a caracterização de qualquer dia isolado, independente da sua frequência de ocorrência. Para o estudo de solicitações térmicas superficiais, as 3 Classes de Intensidade foram satisfatórias, no entanto o método pode ser adaptado, ampliando ou reduzindo o número de classes, de acordo com o objetivo do uso da classificação climática ou da zona em estudo.

Sobre os resultados obtidos pela Classificação Climática Diária da Zona Bioclimática 4 e sua aplicação em Brasília-DF:

- O uso do método de Classificação Climática Diária em medições de campo foi satisfatório, visto que, com base nos dados climáticos da estação automática do INMET nos dias de medição, permitiu a caracterização das condições climáticas nos períodos durante as medições.
- A análise de importância das variáveis independentes e a análise de sensibilidade, realizadas com os dados da simulação computacional, identificaram diferenças estatísticas significativas entre as classificações climáticas, indicando que as 3 classes estabelecidas são representativas para as medições térmicas superficiais em fachadas com revestimento cerâmico em Brasília-DF.

### 6.2 SOBRE OS PERFIS HIGROTÉRMICOS DIÁRIOS

Os Perfis Higrotérmicos Diários são uma ferramenta visual e de fácil interpretação do comportamento higrotérmico dos sistemas de fachadas. Essas ferramentas permitem comparar os efeitos da variação dos agentes climáticos nas medições térmicas superficiais de fachadas em suas 4 orientações cardeais.

Sobre os procedimentos realizados para o desenvolvimento dos Perfis Higrotérmicos Diários:

- O uso de ferramentas estatísticas, como a Análise de Variância, identificou padrões e valores com maior probabilidade de ocorrência e permitiu analisar o grande número de dados que compõem a amostra desta pesquisa. Apesar dos perfis serem definidos para um sistema de referência, as análises de variância

realizadas permitiram identificar a influência das propriedades do sistema, dos diferentes períodos do ano e das diferentes orientações na resposta higratérmica do sistema analisado.

- Os Perfis Higratérmicos Diários apresentaram padrões similares aos encontrados nas medições em campo. Esta semelhança indica uma representatividade dos Perfis Higratérmicos Diários propostos para o planejamento de medições térmicas em Brasília-DF.
- Para a aplicação dos Perfis Higratérmicos Diários é fundamental que sejam verificadas a influência de alguns fatores em campo, como a nebulosidade, os ventos e o entorno da edificação, visto que esses fatores afetam o comportamento higratérmico do sistema.
- A escolha dos períodos de medição em meses historicamente mais quentes ou frios gera um aumento na probabilidade de serem encontradas condições climáticas adequadas a estas medições. No entanto, o uso deste critério de forma isolada é ineficaz, pois a variação das condições climáticas diárias é determinante na representatividade dos dados coletados, principalmente em uma cidade com as características climáticas de Brasília

### **6.3 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO**

A proposta de Classificação Climática Diária atingiu seus objetivos ao estabelecer uma ferramenta para a caracterização das condições climáticas na escala diária. O uso da Classificação Climática Diária contribui para a relevância dos dados medidos em campo, assim como para as demais análises da ação do clima na escala diária, como em simulações e no planejamento de ensaios térmicos.

A aplicação dos Perfis Higratérmicos Diários durante as medições de campo cumpre com o objetivo de contribuir para os estudos do comportamento higratérmico de fachadas por meio de uma ferramenta visual, simplificada e representativa das condições encontradas em campo, podendo ser utilizada como referência para verificação da relevância de dados medidos em campo.

Sintetizando os resultados da pesquisa apresentada neste trabalho, as diretrizes propostas para realização de medições térmicas superficiais em fachadas cerâmicas em Brasília-DF, baseadas na Classificação Climática Diária e nos Perfis Higratérmicos Diários, contemplam os efeitos do clima e sua sazonalidade, da orientação e composição dos sistemas de fachadas e das condições do entorno da edificação. Desta forma, contribuem para a representatividade dos dados coletados em campo, facilitando o planejamento das medições, além de indicar aspectos fundamentais a serem observados durante a realização de medições térmicas e em sua análise de dados. Deste modo, as diretrizes contribuem para o planejamento e verificação da relevância de dados de medições térmicas.

### **6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Para o aprofundamento desta temática, sugerem-se os seguintes estudos:

- Aplicar a Classificação Climática Diária em estudos de desempenho térmico energético e monitoramentos térmicos em campo e realizar a análise de sensibilidade para verificar sua relevância;
- Desenvolver novos Perfis Higratérmicos Diários com base em outras tipologias de fachadas, como concreto aparente, sistemas em argamassa, sistemas não-aderidos, entre outros;

- Incorporar outros parâmetros aos Perfis Higrotérmicos Diários, como períodos adequados à realização da termografia, para identificação de danos, e medições de umidade nos sistemas de fachadas.
- Ampliar, por meio de ensaios laboratoriais, o banco de dados das propriedades higrotérmicas dos materiais utilizados na indústria da construção brasileira;
- Com base no método proposto neste trabalho, avançar na definição de procedimentos e critérios para serem inseridos nas normativas nacionais.





## REFERÊNCIAS

- AL-NESHAWY, F. Computerized prediction of the deterioration of concrete building facades caused by moisture and changes in temperature. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Estrutural da Universidade de Aalto, Finlândia. 222p. 2013.
- ALVARES, C.; STAPE, J.; SENTELHAS, P.; GONCALVES, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6. p.711–728. Gebrüder Borntraeger, Stuttgart, 2013.
- ANTUNES, G. R. Estudo de manifestações patológicas em revestimento de fachada em Brasília: sistematização da incidência de casos. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, 2010, 166 p.
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS - ASCE. ASCE/SEI 30-14: Guideline for Condition Assessment of the Building Envelope. Estados Unidos. 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS – ASHRAE. ANSI/ASHRAE 160 - Criteria for Moisture-Control Design Analysis in Buildings. Atlanta, 2009.
- \_\_\_\_\_. ASHRAE 2017 Handbook Fundamentals. Estados Unidos. 2017.
- \_\_\_\_\_. ASHRAE Standard 169 – Climatic Data for Building Design Standards. Estados Unidos. 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13818 – Placas cerâmicas para revestimento – Especificação e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, Brasil. 1997.
- \_\_\_\_\_. NBR 15220-1 – Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, Brasil. 2005a.
- \_\_\_\_\_. NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, Brasil. 2005b.
- \_\_\_\_\_. NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, Brasil. 2005c.
- \_\_\_\_\_. NBR 5674 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, Brasil. 2012.
- \_\_\_\_\_. NBR 15575-4 - Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, Brasil. 2013a.
- \_\_\_\_\_. NBR 15575-1 - Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, Brasil. 2013b.
- \_\_\_\_\_. NBR 15575-2 - Edificações habitacionais – Desempenho. Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, Brasil. 2013c.
- \_\_\_\_\_. NBR 14037 – Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro. 2014a.
- \_\_\_\_\_. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro. 2014b.

\_\_\_\_\_. NBR 13755 - Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas e com utilização de argamassa colante - Procedimento. Rio de Janeiro, Brasil. 2017.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. ASTM E2841 - Standard Guide for Conducting Inspections of Building Facades for Unsafe Conditions. Estados Unidos. 2011.

\_\_\_\_\_. ASTM E2270 - Standard Practice for Periodic Inspection of Building Facades for Unsafe Conditions. Estados Unidos. 2014a.

\_\_\_\_\_. ASTM E1862 - Standard Practice for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers. Estados Unidos. 2014b.

\_\_\_\_\_. ASTM E1933 - Standard Practice for Measuring and Compensating for Emissivity Using Infrared Imaging Radiometers. Estados Unidos. 2014c.

\_\_\_\_\_. ASTM C1060 - Standard Practice for Thermographic Inspection of Insulation Installations in Envelope Cavities of Frame Buildings. Estados Unidos. 2015.

BAO, J.; WANG, L. Capillary imbibition of water in discrete planar cracks. *Construction and Building Materials*, v. 146, p. 381-392, 2017.

BARREIRA, E. Aplicação de Termografia ao Comportamento Higrotérmico dos Edifícios. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2004.

BARREIRA, E.; FREITAS, V. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construction and building materials*, v. 21, n. 1, p. 218-224, 2005.

BARREIRA, E.; BAUER, E.; MUSTELIER, N.; FREITAS, V. Measurement of materials emissivity – Influence of the procedure. In: Proc. AITA–13th International Workshop on Advanced Infrared Technology & Applications. p. 242-245. 2015.

BAUER, E. Resistência a penetração da chuva em fachadas de alvenaria de materiais cerâmicos: uma análise de desempenho. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil / UFRGS. Porto Alegre, Brasil. 1987.

BAUER, E.; NASCIMENTO, M.; CASTRO, E. Parâmetros e ensaios físicos de materiais e componentes da fachada. Relatório interno – Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM) –UnB/ENC, 2015.

BAUER, E.; PAVÓN, E.; PEREIRA, C.; NASCIMENTO, M. Criteria for Identification of Ceramic Detachments in Building Facades with Infrared Thermography. In: *Recent Developments in Building Diagnosis Techniques*. Singapura. 2016a.

BAUER, E.; PÁVON, E.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, C. Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, v. 1, n. 1, p. 2, 2016b.

BAUER, E.; PAVÓN, E.; BARREIRA, E.; CASTRO, E. Analysis of building facade defects using infrared thermography: Laboratory studies. *Journal of Building Engineering*. 6: 93–104, 2016c.

BAUER, E.; PAVON, E. Análise da fissuração de revestimento em argamassa com o emprego da termografia de infravermelho. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas*. 2017.

BAUER, E.; MILHOMEM, P.; AIDAR, L. Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, v. 8, n. 3, p. 517-528, 2018.

BELISÁRIO, W. Desempenho, durabilidade, degradação e vida útil: aspectos técnicos no desenvolvimento do plano de manutenção de fachadas. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 101p. 2016.

BELTRAME, F; LOH, K. Aplicação de selantes em juntas de movimentação de fachadas. *Recomendações técnicas habitare*, v. 5. 2009.

BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7. ed. United States of America: John Wiley & Sons, 2011.

BLOCKEN, B.; DEROME, D.; CARMELIET, J. Rainwater runoff from building facades: A review. In: *Building and Environment*, v.60, p. 339 - 361. 2013.

BRITISH STANDARD INSTITUTION. BS EN ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment — Instruments for measuring physical quantities. Londres, 2001

\_\_\_\_\_. BS ISO 15686-7 Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice. Londres. 2006.

\_\_\_\_\_. BS EN 15026 - Hygrothermal performance of building components and building elements — Assessment of moisture transfer by numerical simulation. Londres. 2008.

\_\_\_\_\_. BS ISO 15686-8 - Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 8: Reference service life and service-life estimation. Londres. 2008.

\_\_\_\_\_. BS ISO 15686-1 - Buildings and constructed assets — Service life planning — Part 1: General principles and framework. Londres. 2011.

\_\_\_\_\_. BS 8210 - Guide to facilities maintenance management. Londres. 2012.

BRITO, A.; SALES, E.; VITTORINO, F.; AQUILINO, M.; AKUTSU, M. Necessidade de Revisão dos Métodos de Avaliação do Desempenho Térmico de Edificações no Âmbito da Norma NBR 15575 e do SiNAT. In: *Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: Conforto Ambiental, Durabilidade e Pós-Ocupação*. Porto Alegre, 2017.

CALLISTER, W.; RETHWISCH, D. *Materials Science and Engineering: An Introduction*. 9.ed, Wiley, Nova York, 2014.

CARASEK, Helena; DJANIKIAN, João Gaspar. Aderência de argamassas a base de cimento portland a unidades de alvenaria. São Paulo. *Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP*, São Paulo, n. 179, 1997.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA – CEPAGRI. Artigos especiais: vendavais - Relação entre velocidade do vento e danos. Disponível em <<http://www.cpa.unicamp.br/artigos/especiais/vendavais.html>> Acesso em dezembro de 2017.

CÓIAS, V. *Inspeções e Ensaios na Reabilitação de Edifícios*. Instituto Superior Técnico. Lisboa. Portugal. 2009.

- DELGADO, J.; RAMOS, N.; BARREIRA, E.; FREITAS, V. A Critical Review of Hygrothermal Models Used in Porous Building Materials. *Journal of Porous Media*. p.221-234. 2010.
- EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. Passive thermographic detection of moisture problems in façades with adhered ceramic cladding. *Construction and Building Materials*, v. 51, p. 187-197, 2013.
- EDIS, E.; FLORES-COLEN, I.; BRITO, J. Time-dependent passive infrared thermographic Inspection of facades. *Anais do 13th DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. São Paulo. 2014.
- FIORITO, A. *Manual de Argamassa e Revestimento – Estudo e Procedimento de Execução*. Editora Pini, São Paulo, SP, 2009.
- FLORES-COLEN, I.; BRITO, J.; DE FREITAS, V. Expedient in situ test techniques for predictive maintenance of rendered façades. *Journal of Building Appraisal*, v. 2, n. 2, p. 142-156, 2006.
- FLORES-COLEN, I. *Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva*. Tese de Doutorado. Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.
- FORTUNA, L; NUNNARI, G.; NUNNARI, S. *Nonlinear Modeling of Solar Radiation and Wind Speed Time Series*. Springer, 2016.
- FOX, M.; COLEY, D.; GOODHEW, S. DE WILDE, P. Time-lapse thermography for building defect detection. *Energy and Buildings*, v. 92, p. 95-106, 2015.
- FREITAS, V. *Transferência de humidade em paredes de edifícios- análise do fenómeno de interface*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1992.
- FREITAS, V; BARREIRA, E. CIB W040 - Heat, air and moisture transfer terminology - parameters and concepts. Publication 369. CIB – International Council for Research and Innovation in Building and Construction; FEUP – Porto University, Faculty of Engineering; LFC – Building Physics Laboratory. Porto: FEUP Edições, 2012.
- FREITAS, J.; CARASEK, H.; CASCUDO, O. Utilização de termografia infravermelha para avaliação de fissuras em fachadas com revestimento de argamassa e pintura. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 1, p. 57-73, 2013.
- FREITAS, S.; FREITAS, V.; BARREIRA, E. Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique. *Construction and Building Materials* 70: 80–87, 2014.
- GASTALDINI, A. L. G.; SICHIERI, E. P. *Materiais cerâmicos para acabamentos e aparelhos*. *Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciências e Engenharia de Materiais*, v. 2, p. 589-618, 2010.
- GIVONI, B. *Comfort, climate analysis and building design guidelines*. *Energy and buildings*, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- HAAGENRUD, S. *Factors Causing Degradation: Part II*. In: *Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components*. CIB Publication 295, p.1.2-104. CIB, Rotterdam. 2004.
- HENRIQUES, F. *Comportamento higrótico de edifícios*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2016.

- HENSEN, J.; LAMBERTS, R. Building performance simulation for design and operation. Routledge, 2011.
- HOLST, G. Common Sense Approach to Thermal Imaging. Florida. 2000.
- HOPPER, J.; LITTLEWOOD, R.; TAYLOR, T.; COUNSELL, J. THOMAS, A.; KARANI, G.; GEENS, A.; EVANS, N. Assessing retrofitted external wall insulation using infrared thermography. Structural Survey, v. 30, n. 3, p. 245-266, 2012.
- INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS – IBP. WUFI Pro 6.1. Fraunhofer Institute for Building Physics. Holzkirchen, Germany, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE AVALIAÇÃO E PERÍCIA DE ENGENHARIA – IBAPE. Inspeção Predial – Check-up Predial – Gui da boa manutenção. 3. ed. 2012.
- JORNE, F. Análise do comportamento higrótico de soluções construtivas de paredes em regime variável. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2010.
- JUNGINGER, M.; MEDEIROS, J. Rejuntamento de Revestimentos Cerâmicos: Influência das Juntas de Assentamento na Estabilidade de Painéis. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2004.
- KÜNZEL, H. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and two-dimensional calculation using simple parameters. IRB Verlag. 1995.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. Eficiência Energética na Arquitetura. 3. ed. Rio de Janeiro: Eletrobras Procel Edifica, 2013.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A.; CARLO, J.; BATISTA, J.; MARINOSKI, D.; NARANJO, A.; DUARTE, V. Desempenho térmico de edificações. 8. ed. Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
- LICHTENSTEIN, N. B. Patologia das construções: procedimentos para diagnóstico e recuperação. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1986.
- LORDSLEEM JÚNIOR, A. Sistemas de recuperação de fissuras da alvenaria de vedação: avaliação da capacidade de deformação. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 174p. 1997.
- MALDAGUE, X. Nondestructive evaluation of materials by infrared thermography. Springer Science & Business Media, 1993.
- MARTINS, T.; BITTENCOURT, L.; KRAUSE, C. Contribuição ao Zoneamento Bioclimático Brasileiro: Reflexões sobre o semiárido nordestino. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 59-75, 2012.
- MELO JÚNIOR, C. Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, 204 p. 2010.
- MENDONÇA, F. A.; DANNI-OLIVEIRA, I. Climatologia: noções básicas e climas do Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- MINIPA. Especificações do Termômetro MT 350A. Disponível em: <http://www.minipa.com.br/temperatura-e-ambiente/termometros-infravermelho/362-mt-350a> . Acesso em fevereiro de 2018.
- MOOJEN, T.; CAVALCANTE, R.; MENDES, C. Avaliação da radiação solar com base em dados de nebulosidade. Geografia. v. 21, n. 3.p.41-55, set/dez,2012. Londrina, 2012.

- MORELLI, F. Aplicações de sistemas de informações geográficas ao ambiente construído: mapeamento dos agentes de degradação dos materiais e sistemas de construção. Tese de Doutorado. ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil. 2008.
- NASCIMENTO, M. Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, 2016.
- NERY, G. Boletim técnico 5: Monitoração na Construção Civil. Boletim Técnico ALCONPAT. 2013.
- NÓBREGA, R. S. Um pensamento crítico sobre classificações climáticas: de Köppen até Strahler. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 3, n. 1, p. 18-22, 2010.
- RAMOS, N. A importância da inércia higroscópica no comportamento higrotérmico dos edifícios. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- RIBEIRO, F. A.; BARROS, M. M. Juntas de Movimentação em Revestimentos Cerâmicos de Fachadas. São Paulo: Pini, 2010.
- RIOS, R.; ZANONI, V. Análise das Condições de Exposição Climáticas como Requisitos Normativos para Durabilidade de Fachadas. Anais do XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas - CINPAR. Crato-CE. ISBN: 978-85-65425-32-2. Brasil, 2017.
- ROMERO, M. Arquitetura do Lugar. Uma Visão Bioclimática da Sustentabilidade em Brasília. Editora Nova Técnica: São Paulo, 2015.
- RORIZ, M. Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, SP. 2012a.
- RORIZ, M. Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Carlos, SP. 2012b.
- SABBATINI, F.; BARROS, M. Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação de alvenaria: Diretrizes Básicas. EPUSP-PCC, São Paulo, 2001.
- SANTOS, G. Transferência de calor, ar e umidade através de elementos porosos de edificações. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- SARAIVA, A. Contribuição ao Estudo de Tensões de Natureza Térmica em Sistemas de Revestimento Cerâmico de Fachada. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 164p. 1998.
- SARASÁ. ESTUDIO SARASÁ - Relatório Técnico: Restauração dos Vitrais da Catedral de Brasília. Brasília, 2009
- SILVA, C. O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do Distrito Federal. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília-UnB, 2013.
- SILVESTRE, J.; BRITO, J. Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes. Revista Engenharia Civil, Universidade do Minho, Portugal, 2008.
- SILVESTRE, J.; BRITO, J. Ceramic Tiling Inspection System. Construction and Building Materials, v. 23, n. 2, p. 653-668, 2009.

- SILVESTRE, J. D.; BRITO, J. Ceramic tiling in building façades: Inspection and pathological characterization using an expert system. *Construction and Building Materials*, v. 25, n. 4, p. 1560-1571, 2010.
- SIQUEIRA, T.; AKUTSU, M.; LOPES, J.; SOUZA, H. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 58(2): 133-138, abr. jun. 2005.
- SORGATO, M.; MARINOSKI, D.; MELO, A. LAMBERTS, R. Comentários e sugestões quanto à formatação e nomenclatura presentes na norma NBR 15575. *Laboratório de Eficiência Energética em Edificações*. Florianópolis, 2012.
- THOMAZ, E. *Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação*. São Paulo: PINI, EPUSP, IPT, 2003.
- TUTIKIAN, B.; PACHECO, M. *Inspeção, diagnóstico e prognóstico na construção civil*. Boletim Técnico ALCONPAT. UNISINOS. Brasil. 2013.
- UCHÔA, J. *Procedimento Numérico e Experimental para a Avaliação da Resistência à Fadiga de Sistemas de Revestimento*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, DF, 159p. 2007.
- USAMENTIAGA, R., VENEGAS, P., GUEREDIAGA, J., VEGA, L., MOLLEDA, J., BULNES, F. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors*, v. 14, n. 7, p. 12305-12348, 2014.
- VAREJÃO-SILVA, M. *Meteorologia e Climatologia*. Instituto Nacional de Meteorologia, 2.ed. Brasil. 515p. 2006.
- VIÉGAS, D. *Utilização de termografia infravermelha em fachadas para verificação de descolamento de revestimento*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2015.
- WYPYCH, G. *Handbook of Material Weathering*. 5.ed. Toronto, Canada. 2013.
- WETZEL, A., ZURBRIGGEN, R., HERWEGH, M., GREMINGER, A., KAUFMANN, J. Long-term study on failure mechanisms of exterior applied tilings. *Construction and Building Materials*, v. 37, p. 335-348, 2012.
- ZANONI, V. *Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília*. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasil. 293 p. 2015.
- ZANONI, V.; SANCHEZ, J.; BAUER, E. Métodos para quantificação de chuva dirigida incidente nas fachadas das edificações. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, Campinas, SP, v. 9, n. 2, p. 122-132, jun. 2018. ISSN 1980-6809.
- ZURBRIGGEN, R.; HERWEGH, M. Daily and seasonal thermal stresses in tilings: a field survey combined with numeric modeling. *Materials and Structures*, v. 49, n. 5, p. 1917-1933, 2016.



## APÊNDICE A – Cálculo da Condutividade Térmica do Bloco Cerâmico de 8 furos (9x19x19cm) com argamassa de assentamento de 1,5cm

O método de cálculo e as propriedades utilizadas estão descritos na NBR 15220-2 (ABNT, 2005b). O formato e medidas considerados estão representados na Figura 74.

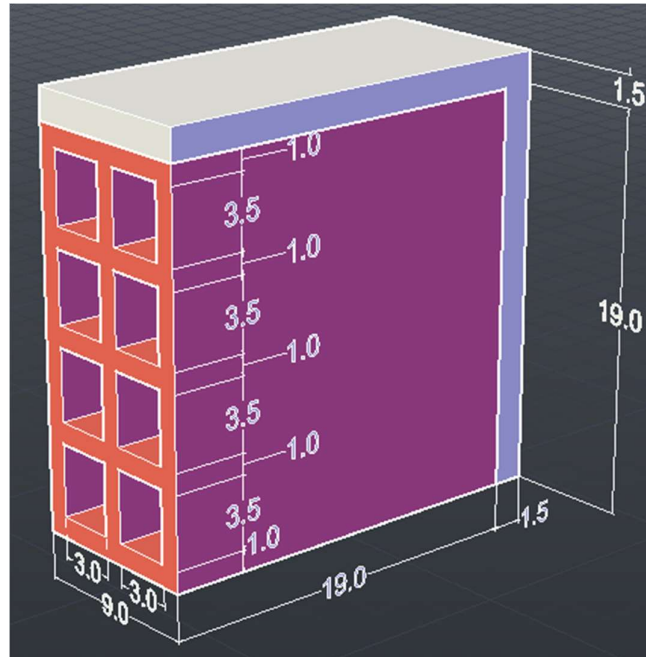


Figura 74 – Dimensões do Bloco Cerâmico de 8 furos (9x19x19cm)

### Seção A1 - Cerâmica

$$A1 = 5 \times 0,01 \times 0,19 = 0,0095 \text{m}^2$$

$$R1 = e / \lambda_{\text{cerâmica}} = 0,09 / 0,9 = 0,1 \text{m}^2\text{K/W}$$

### Seção A2 - Tijolo e Furos

$$A2 = 4 \times 0,035 \times 0,19 = 0,0266 \text{m}^2$$

$$R2 = e / \lambda_{\text{cerâmica}} + R_{ar} + e / \lambda_{\text{cerâmica}} + R_{ar} + e / \lambda_{\text{cerâmica}}$$

$$R2 = 0,01 / 0,9 + 0,16 + 0,01 / 0,9 + 0,16 + 0,01 / 0,9 = 0,3533 \text{m}^2\text{K/W}$$

### Seção A3 - Argamassa de Assentamento

$$A3 = 0,015 \times 0,19 + 0,015 \times 0,205 = 0,005925 \text{m}^2$$

$$R3 = e / \lambda_{\text{argamassa}} = 0,09 / 1,15 = 0,0783 \text{m}^2\text{K/W}$$

### Resistência Total e Condutividade Equivalente

$$R_{\text{tijolo 8 furos}} = (A1 + A2 + A3) / (A1 \times R1 + A2 \times R2 + A3 \times R3) = 0,1594 \text{m}^2\text{K/W}$$

$$\lambda_{\text{equivalente}} = e_{\text{tijolo}} / R_{\text{tijolo 8 furos}} = 0,09 / 0,1594 = 0,565 \text{W/m.K}$$

## APÊNDICE B – Aplicação da Classificação Climática Diária nos Dias Típicos de Projeto de Brasília-DF

Tabela 17 - Classificação Climática Diária do Dia Típico de Verão de Brasília-DF.

	Temperatura Mínima Diária do Ar (°C)	Temperatura Máxima Diária do Ar (°C)	Amplitude Térmica Diária do Ar (°C)	Umidade Relativa do Ar Média (%)	Radiação Solar Acumulada (W.h/m <sup>2</sup> )
Dados	18,7 <sup>1</sup>	31,2	12,5	60-80 <sup>2</sup>	4625
Classe de Intensidade	2	3	3	2	2
Classificação Climática Diária	<b>2·3·3·2·2</b>				
<sup>1</sup> - A Temperatura Mínima foi calculada pela diferença entre a Temperatura Máxima do Ar e o Amplitude Térmica Diária <sup>2</sup> - A Umidade Relativa do Ar não é apresentada na NBR 15575-1, portanto foi assumido um valor intermediário que fique entre 60 e 80%.					

Tabela 18 - Classificação Climática Diária do Dia Típico de Inverno de Brasília-DF.

	Temperatura Mínima Diária do Ar (°C)	Temperatura Máxima Diária do Ar (°C)	Amplitude Térmica Diária do Ar (°C)	Umidade Relativa do Ar Média (%)	Radiação Solar Acumulada (W.h/m <sup>2</sup> )
Dados	10,0	22,2 <sup>1</sup>	12,2	60-80 <sup>2</sup>	4626
Classe de Intensidade	1	1	3	2	2
Classificação Climática Diária	<b>1·1·3·2·2</b>				
<sup>1</sup> - A Temperatura Máxima foi calculada pela diferença entre a Temperatura Mínima do Ar e o Amplitude Térmica Diária <sup>2</sup> - A Umidade Relativa do Ar não é apresentada na NBR 15575-1, portanto foi assumido um valor intermediário que fique entre 60 e 80%.					

## APÊNDICE C – Resultado dos Pós-Teste de Tukey Classes de Intensidade da Classificação Climática Diária

Tabela 19 – Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Temperatura Mínima do Ar

Classes Temperatura Mínima do Ar	N	Temp. Superficial Mínima			Temp. Superficial Máxima		Amplitude Térmica Superficial	
		Subconjuntos			Subconjuntos		Subconjuntos	
		1	2	3	1	2	1	2
1	272	15.84			33.0			17.2
2	740		18.9		33.9		15.0	
3	56			20.8		36.3	15.5	
Significância					.057		.427	

Tabela 20 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Temperatura Máxima do Ar

Classes Temperatura Máxima do Ar	N	Temp. Superficial Mínima			Temp. Superficial Máxima			Amplitude Térmica Superficial		
		Subconjuntos			Subconjuntos			Subconjuntos		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	256	16.8			31.5			14.7		
2	720		18.6			34.2			15.6	
3	92			19.7			37.2			17.5
Significância										

Tabela 21 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Amplitude Térmica do Ar

Classes Amplitude Térmica do Ar	N	Temp. Superficial Mínima			Temp. Superficial Máxima		Amplitude Térmica Superficial		
		Subconjuntos			Subconjuntos		Subconjuntos		
		1	2	3	1	2	1	2	3
1	136			19.3	30.7		11.5		
2	804		18.3			34.2		15.9	
3	128	16.7				34.9			18.2
Significância						0.072			

Tabela 22 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Umidade Relativa do Ar

Classes Umidade Relativa do Ar	N	Temp. Superficial Mínima			Temp. Superficial Máxima		Amplitude Térmica Superficial		
		Subconjuntos			Subconjuntos		Subconjuntos		
		1	2	3	1	2	1	2	3
1	52	17.7				34.5			16.8
2	556		18.7			33.7		15.0	
3	460			18.9	29.7		10.8		
Significância						0.097			

Tabela 23 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, das Classes de Intensidade da Radiação Solar

Classes Radiação Solar	N	Temp. Superficial Mínima			Temp. Superficial Máxima			Amplitude Térmica Superficial	
		Subconjuntos			Subconjuntos			Subconjuntos	
		1	2	3	1	2	3	1	2
1	144		18.7		30.6			11.9	
2	604	17.7				33.8			16.1
3	320			19.0			35.3		16.3
Significância									0.792

**APÊNDICE D – Dados Médios da Simulação Computacional para as Classificações Climáticas Diárias selecionada nos Sistemas de Fachadas em estudo**

CCD	Sist	Orient.	Médias						
			Temp. Sup. Máxima Diária	Temp. Sup. Mínima Diária	Temp. Sup. Amplitud e Térmica	Hora Temp. Sup. Máxima Diária	Hora Temp. Sup. Mínima Diária	Hora Inversão Aquec.	Hora Inversão Resfr.
21121 (CHUVOSO)	0	NORTE	28.35	19.01	9.34	13.33	11.33	10.33	16.00
		SUL	28.36	19.01	9.35	13.33	11.33	10.33	16.33
		LESTE	28.53	19.01	9.51	13.00	11.33	10.33	16.00
		OESTE	28.48	19.03	9.45	13.33	11.33	10.33	16.33
	1	NORTE	28.06	19.44	8.62	13.33	11.33	10.33	16.00
		SUL	28.07	19.44	8.63	13.33	11.33	10.33	16.33
		LESTE	28.24	19.44	8.79	13.00	11.33	10.33	16.00
		OESTE	28.18	19.46	8.73	13.33	11.33	10.33	16.33
	2	NORTE	25.89	19.00	6.89	13.33	11.33	11.00	15.33
		SUL	25.90	19.00	6.90	13.33	11.33	11.00	15.33
		LESTE	25.98	19.00	6.98	13.33	11.33	10.67	15.33
		OESTE	25.97	19.01	6.96	13.33	11.33	11.00	15.33
	3	NORTE	30.81	19.03	11.78	13.33	11.33	10.33	16.67
		SUL	30.82	19.03	11.79	13.00	11.33	10.33	16.67
		LESTE	31.12	19.03	12.09	12.67	11.33	10.33	16.67
		OESTE	30.99	19.05	11.94	13.33	11.33	10.33	17.00
	4	NORTE	25.80	19.43	6.37	13.33	11.33	11.00	15.33
		SUL	25.80	19.43	6.37	13.33	11.33	11.00	15.33
		LESTE	25.87	19.42	6.44	13.33	11.33	10.67	15.33
		OESTE	25.87	19.44	6.43	13.33	11.33	11.00	15.33
5	NORTE	30.33	19.46	10.87	13.33	11.33	10.33	16.67	
	SUL	30.35	19.46	10.89	13.00	11.33	10.33	16.67	
	LESTE	30.64	19.46	11.18	12.67	11.33	10.33	16.67	
	OESTE	30.50	19.48	11.02	13.33	11.33	10.33	17.00	
21131 (CHUVOSO)	0	NORTE	28.39	18.44	9.94	13.50	7.67	10.17	15.33
		SUL	28.31	18.48	9.84	13.50	7.67	10.17	15.33
		LESTE	28.41	18.47	9.94	13.50	7.67	10.00	15.33
		OESTE	29.83	18.45	11.38	14.67	7.67	10.17	15.33
	1	NORTE	28.12	18.91	9.22	13.50	7.67	10.17	15.33
		SUL	28.04	18.95	9.09	13.50	7.67	10.17	15.33
		LESTE	28.12	18.91	9.22	13.50	8.00	10.00	15.33
		OESTE	29.48	18.91	10.57	14.67	7.67	10.17	15.33
	2	NORTE	25.85	18.43	7.42	13.50	7.67	11.50	14.83
		SUL	25.89	18.46	7.43	14.00	7.67	11.50	15.17
		LESTE	25.92	18.46	7.46	14.00	7.67	11.17	14.50
		OESTE	26.84	18.43	8.41	14.67	7.67	11.50	15.17
	3	NORTE	29.82	18.21	11.61	13.43	10.00	9.71	16.29
		SUL	29.68	18.25	11.44	13.43	10.00	9.86	16.29
		LESTE	29.80	18.24	11.56	13.14	10.29	9.71	16.29
		OESTE	31.47	18.22	13.25	14.43	10.00	9.86	16.43
	4	NORTE	25.78	18.89	6.89	13.50	7.67	11.50	14.83
		SUL	25.81	18.93	6.88	14.00	7.67	11.50	15.17
		LESTE	25.82	18.89	6.93	14.00	7.67	11.17	14.50
		OESTE	26.70	18.89	7.81	14.67	7.67	11.50	15.17
5	NORTE	29.43	18.68	10.75	13.43	10.00	9.71	16.29	
	SUL	29.30	18.72	10.58	13.43	10.00	9.86	16.29	
	LESTE	29.40	18.68	10.72	13.14	10.29	9.71	16.29	
	OESTE	30.98	18.69	12.29	14.43	10.00	9.86	16.43	

CCD	Sist.	Orient.	Médias							
			Temp. Sup. Máxima Diária	Temp. Sup. Mínima Diária	Temp. Sup. Amplitude Térmica	Hora Temp. Sup. Máxima Diária	Hora Temp. Sup. Mínima Diária	Hora Inversão Aquec.	Hora Inversão Resfr.	
22223 (CHUVOSO)	0	NORTE	32.87	18.83	14.04	14.17	5.34	8.38	18.69	
		SUL	33.19	18.86	14.33	14.83	5.34	8.17	18.66	
		LESTE	36.45	18.85	17.60	10.76	5.34	8.03	18.66	
		OESTE	39.20	18.87	20.33	15.72	5.34	8.38	18.69	
	1	NORTE	32.26	19.29	12.97	14.14	5.72	8.38	18.69	
		SUL	32.55	19.33	13.22	14.83	5.34	8.17	18.66	
		LESTE	35.60	19.31	16.29	10.62	5.34	8.03	18.66	
		OESTE	38.18	19.33	18.84	15.72	5.79	8.38	18.69	
	2	NORTE	30.10	18.81	11.28	14.59	5.79	9.10	18.55	
		SUL	30.37	18.85	11.53	14.90	5.34	8.83	18.59	
		LESTE	31.37	18.83	12.54	11.38	5.34	8.31	18.55	
		OESTE	33.99	18.85	15.14	15.72	5.79	9.10	18.69	
	3	NORTE	35.73	18.85	16.88	13.93	5.34	8.07	18.69	
		SUL	36.03	18.88	17.15	14.72	5.34	8.00	18.72	
		LESTE	41.63	18.87	22.76	10.59	5.34	7.93	18.66	
		OESTE	44.43	18.89	25.53	15.72	5.34	8.07	18.83	
	4	NORTE	29.69	19.27	10.42	14.55	5.79	9.10	18.55	
		SUL	29.95	19.31	10.63	14.86	5.34	8.83	18.59	
		LESTE	30.88	19.29	11.58	11.28	5.34	8.31	18.55	
		OESTE	33.33	19.31	14.02	15.72	5.79	9.10	18.69	
	5	NORTE	34.89	19.31	15.58	13.90	5.69	8.07	18.69	
		SUL	35.18	19.35	15.83	14.72	5.34	8.00	18.72	
		LESTE	40.43	19.33	21.10	10.55	5.34	7.93	18.66	
		OESTE	43.04	19.36	23.68	15.72	5.31	8.07	18.83	
	23313 (CHUVOSO)	0	NORTE	34.59	18.44	16.16	14.20	5.40	8.20	20.00
			SUL	34.21	18.44	15.77	15.60	5.40	8.00	20.00
			LESTE	39.83	18.44	21.38	10.40	5.40	8.00	20.00
			OESTE	44.94	18.46	26.49	16.00	5.40	8.20	20.00
1		NORTE	33.84	18.93	14.91	14.20	5.40	8.20	20.00	
		SUL	33.49	18.93	14.57	15.60	5.40	8.00	20.00	
		LESTE	38.71	18.93	19.78	10.40	5.40	8.00	20.00	
		OESTE	43.49	18.95	24.54	16.00	5.40	8.20	20.00	
2		NORTE	31.99	18.42	13.57	14.40	5.40	8.40	20.00	
		SUL	32.02	18.42	13.61	15.60	5.40	8.20	20.00	
		LESTE	34.10	18.42	15.68	11.00	5.40	8.00	20.00	
		OESTE	38.43	18.43	20.00	16.00	5.40	8.40	20.00	
3		NORTE	37.22	18.46	18.76	14.00	5.40	8.00	20.00	
		SUL	36.46	18.46	18.00	14.80	5.40	8.00	20.00	
		LESTE	45.81	18.47	27.34	10.20	5.40	7.40	20.00	
		OESTE	51.46	18.49	32.97	16.00	5.40	8.00	20.00	
4		NORTE	31.43	18.91	12.53	14.40	5.40	8.40	20.00	
		SUL	31.47	18.91	12.57	15.60	5.40	8.20	20.00	
		LESTE	33.37	18.91	14.46	11.00	5.40	8.00	20.00	
		OESTE	37.44	18.92	18.51	16.00	5.40	8.40	20.00	
5		NORTE	36.27	18.95	17.32	14.00	5.40	8.00	20.00	
		SUL	35.57	18.95	16.63	14.80	5.40	8.00	20.00	
		LESTE	44.27	18.96	25.31	10.20	5.40	7.40	20.00	
		OESTE	49.54	18.98	30.56	16.00	5.40	8.00	20.00	

CCD	Sist.	Orient.	Médias						
			Temp. Sup. Máxima Diária	Temp. Sup. Mínima Diária	Temp. Sup. Amplitude Térmica	Hora Temp. Sup. Máxima Diária	Hora Temp. Sup. Mínima Diária	Hora Inversão Aquec.	Hora Inversão Resfr.
11212 (SECO)	0	NORTE	38.41	15.24	23.17	13.96	6.43	9.04	18.57
		SUL	28.10	15.21	12.89	15.17	6.43	10.39	17.70
		LESTE	31.79	15.21	16.57	11.09	6.43	9.00	17.70
		OESTE	36.19	15.23	20.95	16.87	6.43	10.39	18.57
	1	NORTE	37.30	15.94	21.36	13.96	6.43	9.04	18.57
		SUL	27.80	15.91	11.89	15.13	6.39	10.39	17.70
		LESTE	31.24	15.91	15.33	11.09	6.39	9.00	17.70
		OESTE	35.34	15.94	19.41	16.96	6.43	10.39	18.57
	2	NORTE	32.30	15.21	17.09	14.26	6.43	9.96	18.04
		SUL	26.31	15.19	11.11	15.43	6.43	11.52	17.17
		LESTE	27.26	15.20	12.07	11.57	6.43	9.13	17.17
		OESTE	31.07	15.21	15.86	16.26	6.43	11.52	18.39
	3	NORTE	44.55	15.26	29.29	13.96	6.43	9.00	18.57
		SUL	29.94	15.23	14.72	14.96	6.43	9.74	17.83
		LESTE	36.41	15.24	21.17	11.00	6.43	8.96	17.83
		OESTE	41.39	15.26	26.13	16.96	6.43	9.74	18.57
	4	NORTE	31.66	15.91	15.75	14.17	6.39	9.96	18.04
		SUL	26.13	15.89	10.24	15.43	6.39	11.52	17.17
		LESTE	27.05	15.89	11.16	11.70	6.39	9.13	17.17
		OESTE	30.55	15.91	14.64	16.43	6.39	11.52	18.39
	5	NORTE	42.96	15.97	27.00	13.96	6.43	9.00	18.57
		SUL	29.50	15.93	13.57	14.96	6.39	9.74	17.83
		LESTE	35.52	15.93	19.59	11.00	6.39	8.96	17.83
		OESTE	40.20	15.96	24.23	16.96	6.43	9.74	18.57
21121 (SECO)	0	NORTE	31.91	18.41	13.50	13.75	9.75	10.75	17.50
		SUL	28.13	18.32	9.81	14.00	7.75	11.00	17.25
		LESTE	29.38	18.37	11.02	13.00	10.25	10.75	17.25
		OESTE	31.58	18.38	13.20	15.25	9.75	11.00	17.75
	1	NORTE	31.38	18.91	12.47	13.75	9.75	10.75	17.50
		SUL	27.89	18.78	9.11	14.00	9.25	11.00	17.25
		LESTE	29.06	18.81	10.25	13.00	10.25	10.75	17.25
		OESTE	31.12	18.87	12.24	15.25	9.75	11.00	17.75
	2	NORTE	28.54	18.39	10.16	14.50	9.75	11.00	17.00
		SUL	26.29	18.30	7.98	14.75	7.75	12.00	16.75
		LESTE	26.82	18.35	8.46	14.00	10.25	10.75	16.75
		OESTE	28.40	18.37	10.03	14.75	9.75	12.00	17.50
	3	NORTE	35.39	18.43	16.96	13.75	9.75	10.50	18.00
		SUL	30.08	18.33	11.75	14.00	7.75	10.50	17.75
		LESTE	32.08	18.38	13.70	13.00	10.25	10.50	17.75
		OESTE	34.77	18.40	16.38	15.25	9.75	10.50	18.50
	4	NORTE	28.26	18.88	9.38	14.50	9.75	11.00	17.00
		SUL	26.17	18.76	7.40	14.75	9.25	12.00	16.75
		LESTE	26.67	18.80	7.87	14.00	10.25	10.75	16.75
		OESTE	28.17	18.86	9.31	14.75	9.75	12.00	17.50
	5	NORTE	34.60	18.93	15.67	13.75	9.75	10.50	18.00
		SUL	29.68	18.79	10.89	14.00	9.25	10.50	17.75
		LESTE	31.55	18.83	12.73	13.00	10.25	10.50	17.75
		OESTE	34.09	18.89	15.20	15.25	9.75	10.50	18.50

CCD	Sist.	Orient.	Médias						
			Temp. Sup. Máxima Diária	Temp. Sup. Mínima Diária	Temp. Sup. Amplitude Térmica	Hora Temp. Sup. Máxima Diária	Hora Temp. Sup. Mínima Diária	Hora Inversão Aquec.	Hora Inversão Resfr.
22222 (SECO)	0	NORTE	39.37	18.06	21.31	13.74	6.03	8.90	18.10
		SUL	30.25	18.04	12.21	14.32	6.03	9.32	17.87
		LESTE	34.20	18.05	16.15	10.97	6.03	8.48	17.87
		OESTE	36.88	18.06	18.83	15.52	6.03	9.32	18.16
	1	NORTE	38.26	18.59	19.67	13.65	6.03	8.90	18.10
		SUL	29.82	18.56	11.26	14.32	6.03	9.32	17.87
		LESTE	33.51	18.57	14.94	10.97	6.03	8.48	17.87
		OESTE	36.01	18.58	17.43	15.52	6.03	9.32	18.16
	2	NORTE	33.77	18.04	15.72	13.90	6.03	9.16	17.90
		SUL	28.39	18.02	10.37	14.55	6.03	10.00	17.71
		LESTE	29.73	18.03	11.70	11.45	6.03	8.94	17.71
		OESTE	32.38	18.04	14.34	15.52	6.03	10.00	18.10
	3	NORTE	45.03	18.08	26.95	13.61	5.94	8.52	18.19
		SUL	32.12	18.05	14.08	14.23	5.94	8.77	18.00
		LESTE	38.76	18.06	20.70	10.90	5.94	8.26	18.00
		OESTE	41.40	18.07	23.33	15.58	5.94	8.77	18.32
	4	NORTE	33.07	18.57	14.50	13.90	6.03	9.16	17.90
		SUL	28.11	18.55	9.56	14.55	5.90	10.00	17.71
		LESTE	29.37	18.56	10.81	11.39	6.03	8.94	17.71
		OESTE	31.82	18.56	13.26	15.52	6.03	10.00	18.10
5	NORTE	43.50	18.61	24.89	13.61	5.94	8.52	18.19	
	SUL	31.55	18.57	12.99	14.23	5.94	8.77	18.00	
	LESTE	37.74	18.58	19.16	10.87	5.94	8.26	18.00	
	OESTE	40.22	18.60	21.62	15.58	5.94	8.77	18.32	
23313 (SECO)	0	NORTE	40.46	18.04	22.43	13.50	6.00	8.00	20.00
		SUL	33.41	18.01	15.40	14.50	6.00	8.00	20.00
		LESTE	39.22	18.02	21.20	11.00	6.00	8.00	20.00
		OESTE	41.24	18.06	23.18	17.00	6.00	8.00	20.00
	1	NORTE	39.25	18.57	20.69	13.50	6.00	8.00	20.00
		SUL	32.74	18.55	14.19	14.50	6.00	8.00	20.00
		LESTE	38.11	18.55	19.55	11.00	6.00	8.00	20.00
		OESTE	40.09	18.59	21.50	17.00	6.00	8.00	20.00
	2	NORTE	35.64	18.02	17.62	14.00	6.00	8.00	20.00
		SUL	31.60	18.01	13.59	14.50	6.00	8.50	20.00
		LESTE	34.01	18.01	15.99	11.00	6.00	8.00	20.00
		OESTE	35.99	18.03	17.95	17.00	6.00	8.50	20.00
	3	NORTE	45.32	18.05	27.27	13.50	6.00	8.00	20.00
		SUL	35.23	18.02	17.21	14.50	6.00	8.00	20.00
		LESTE	44.44	18.03	26.41	11.00	6.00	8.00	20.00
		OESTE	46.49	18.08	28.42	17.00	6.00	8.00	20.00
	4	NORTE	34.80	18.56	16.24	14.00	6.00	8.00	20.00
		SUL	31.07	18.54	12.53	14.50	6.00	8.50	20.00
		LESTE	33.30	18.55	14.76	11.00	6.00	8.00	20.00
		OESTE	35.19	18.57	16.62	17.00	6.00	8.50	20.00
5	NORTE	43.74	18.58	25.16	13.50	6.00	8.00	20.00	
	SUL	34.41	18.55	15.86	14.50	6.00	8.00	20.00	
	LESTE	42.91	18.56	24.35	11.00	6.00	8.00	20.00	
	OESTE	44.99	18.61	26.38	17.00	6.00	8.00	20.00	

## APÊNDICE E - Resultado dos Pós-Teste de Tukey dos Sistemas de Fachadas Analisados

Tabela 24 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, dos Sistemas Analisados em relação à Temperatura Superficial Externa Mínima.

Sistema	N	Temperatura Superficial Externa Mínima	
		Subconjuntos	
		1	2
0	1068	17.71	
1	1068		18.25
2	1068	17.69	
3	1068	17.73	
4	1068		18.23
5	1068		18.27
Significância		0.997	0.997

Tabela 25 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, dos Sistemas Analisados em relação à Temperatura Superficial Externa Máxima.

Sistema	N	Temperatura Superficial Externa Máxima					
		Subconjuntos					
		1	2	3	4	5	6
0	1068				34.6		
1	1068			33.8			
2	1068		30.7				
3	1068						38.5
4	1068	30.2					
5	1068					37.5	
Significância							

Tabela 26 - Definição dos subconjuntos, com variações estatísticas significantes, dos Sistemas Analisados em relação à Amplitude Térmica Superficial.

Sistema	N	Amplitude Térmica Superficial					
		Subconjuntos					
		1	2	3	4	5	6
0	1068				16.9		
1	1068			15.6			
2	1068		13.0				
3	1068						20.8
4	1068	12.0					
5	1068					19.2	
Significância							



## **APÊNDICE F – Resultados das Medições Térmicas em Campo**

### **OBSERVAÇÕES**

Durante as medições de campo foram feitas algumas observações:

- Como esperado, a ação do vento é mais intensa nos pavimentos superiores. Desta forma, para essa edificação, com aproximadamente 20 metros, os pavimentos superiores apresentaram temperaturas menores que o térreo e andares intermediários.
- As variações abruptas na velocidade do vento, como ventos fortes e ventanias, são capazes de alterar, em questão de segundos, até 2°C na temperatura do superficial da fachada. Porém, após o fim destas variações na velocidade do vento, a temperatura tende a se estabilizar em até 1 minuto.
- A interferência da nebulosidade nos momentos de incidência solar direta na fachada gera reduções na temperatura superficial da fachada.
- O estacionamento e o piso no entorno da edificação, por meio do aquecimento de suas respectivas superfícies, foram capazes de gerar aumentos nas temperaturas da fachada no térreo. De modo geral, as fachadas no térreo apresentaram as maiores temperaturas superficiais.
- Como esperado, o sombreamento causado pela edificação adjacente na fachada Oeste resultou em uma redução na amplitude térmica e nas temperaturas superficiais máximas.
- Durante o aquecimento das fachadas, o acionamento da climatização nos ambientes internos gerou reduções na temperatura externa da fachada. As salas ocupadas, onde havia climatização, apresentavam temperaturas superficiais externas menores que as salas desocupadas. No entanto, nos períodos de temperatura máxima superficial esta variação é mínima.

De modo geral, é evidente a influência das variações abruptas de agentes climáticos nos resultados das medições térmicas, como o aumento da velocidade do vento e da nebulosidade. Além disso, a altura dos pontos de coleta se mostrou extremamente relevante, visto que houveram variações significativas entre o térreo, exposto a ação das superfícies do entorno da edificação, e os pavimentos superiores, onde há uma maior ação do vento.

Desta forma, além das observações em relação à composição do sistema em estudo, da orientação das fachadas e das condições climáticas diárias, cabe ao inspetor verificar a influência destes fatores em seus estudos.

# RESULTADOS DAS MEDICÕES

COD		Medição 1 - 27/02/2018																						
DIA		8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00		
Or.	Alt/Co																							
N	T	27-Feb	Nordeste Térrco (Claro)	20.9	23.6	24.2	25.7	26.3	27.2	29.8	29.6	27.9	28.6	27.5	27.4	29.2	26.9	30.5	28.5	26	25.2	25.6	24.1	
N	T	27-Feb	Noroeste Térrco (Claro)	24.4	24.2	25.1	25.9	26.7	25.3	27.5	25.5	27.7	29.1	27.6	29.1	30.6	35.3	38.8	32.7	30.6	30	32.5	33.8	29.5
N	I	27-Feb	Noroeste Interm. (Claro)	24.4	24.2	24.7	25.7	25.4	24.6	27.3	25.3	27.1	28.6	27.8	28.5	29.7	33	37	31.5	30.1	28.8	30.5	32.9	29.3
N	A	27-Feb	Noroeste Alto (Claro)	24.4	24.2	24.7	25.1	25.2	25.3	26.9	24.3	26.7	28.2	27.2	27.9	28.4	30.6	35.3	30.4	28.8	27.1	29.4	32.2	28.3
N	T	27-Feb	Noroeste Térrco (Escuro)	24.4	24.8	25.7	26	26.5	26.6	28.5	26.9	29.7	29.5	28	29.3	32	36.2	39	33.8	31.6	31.1	33.4	34.6	30.8
N	I	27-Feb	Noroeste Interm. (Escuro)	24.4	25.6	25.7	26	25.4	26.3	28.5	27.1	29.1	29.7	28.8	29.3	30.6	33.1	38.2	33	30.4	30	31.5	36.3	31
N	A	27-Feb	Noroeste Alto (Esuro)	24.4	25	25.5	25.6	25	25.3	27.7	26.3	29.5	30.1	29	29.1	30.6	32.6	37	32.5	29.5	28.4	31.1	34.2	29.5
N	I	27-Feb	Noroeste Interm. (Verm.)																					
O	T	27-Feb	Sudoeste Térrco (Claro)	24.6	25	25.1	25.2	24.6	25.3	28.5	26.7	28.9	27.2	26.4	26.9	28.4	32.6	34.8	30.4	29.9	29.4	31.5	33	29.5
O	I	27-Feb	Sudoeste Interm. (Claro)	24	24.8	25.1	25.2	24.4	25.3	27.7	27.1	29.5	28.2	26.8	26.3	27.9	31.8	34.2	29.4	30.3	29.2	30.9	29.1	28.7
O	A	27-Feb	Sudoeste Alto (Claro)	23.6	24.4	25.1	24.8	24	24.1	26.9	27.1	29.1	28.2	27	27.2	32	32	32	28.4	29.9	27.6	30.2	32.7	27.9
O	T	27-Feb	Sudoeste Térrco (Escuro)	24.8	25.2	25.3	25.2	24.6	24.3	27.1	27.1	30.4	29.1	26.8	28.5	29.1	33.5	37.4	32.1	30.6	30.5	30	29.8	27.7
O	I	27-Feb	Sudoeste Interm. (Escuro)	24.6	25	25.7	26	25	25.3	27.1	28.2	30.9	29.5	27.4	28.2	28.5	34.1	36.8	31.1	30.4	29.6	29.8	29.9	26.9
O	A	27-Feb	Sudoeste Alto (Esuro)	23.8	24.2	24.9	24.5	23.4	23.5	26	27.2	30.6	29.3	27	26.9	26.2	32	34.6	29.2	28.9	27.8	27.6	34.2	28.9
S	T	27-Feb	Sudeste Térrco (Claro)	24.6	25.2	27.5	28.2	29	29.2	29.5	29.2	31.9	29.9	28	28.7	25.6	28.7	29.5	28	28.5	28	28.4	26.9	25.8
S	I	27-Feb	Sudeste Interm. (Claro)	24.4	25	26.9	27.2	27	28	28.1	26.3	29.2	27	25.4	26.9	24.8	26.2	27.2	26.4	27	27	26.6	24.2	23.2
S	A	27-Feb	Sudeste Alto (Claro)	23.8	25.1	26.7	26.4	26.8	26.9	27.1	26.1	27.1	27.2	24.8	26.9	24.2	26.9	27	25.7	26.8	25.8	25	23.8	22.8
S	T	27-Feb	Sudeste Térrco (Escuro)	24	26.3	30	30	32.4	33.5	32.1	32	29.2	31.2	29.6	30.1	26	27.6	29.7	28.4	28.3	28	27.2	26.9	25.8
S	I	27-Feb	Sudeste Interm. (Escuro)	24.4	26.3	28.4	30.5	30.9	31.5	30.6	30	29.2	29.1	27.2	28.3	25.2	27.5	27.2	27.3	27.4	26.8	26.2	24.8	23.8
S	A	27-Feb	Sudeste Alto (Esuro)	25	26	28.8	28.8	29.3	29	30.3	28	27.1	28.1	26.4	28.5	24.2	27	26.4	26.9	27.4	26.8	25.2	24.4	23.6
S	I	27-Feb	Sudeste Interm. (Verm.)																					
L	I	27-Feb	Nordeste Interm. (Verm.)	26.6	27.7	30	31.5	35	35.5	38.1	38.4	40	38.2	33.7	35	29.9	31.2	30.6	30	28.5	27.6	27.4	26.3	25.2
L	A	27-Feb	Nordeste Alto (Escuro)	25.4	27.9	30.3	31.8	35.2	35.1	36	36.2	33.4	33	30.4	34	28.8	30.6	29.7	29.2	28.3	27.2	27	24.8	24.6
		Temperatura Mínima do Ar (°C)																					19.1	
		Temperatura Máxima do Ar (°C)																					27	
		Amplitude Térmica do Ar (°C)																					7.9	
		Umidade Relativa Média Diária (%)																					77.4	
		Radiação Solar Horizontal Acumulada (W/m²)																					5730	
Dados Estação INMET		Classificação Climática Diária																					32122	
		Classificação Climática Diária do Dia Anterior																					22131	

Medição 2 - 16/03/2018

COD	DIA	Medição 2 - 16/03/2018																				
		8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
		2	3	3	4	3	2	2	3	4	6	6	6	6	6	5	6	6	6	4	6	6
Or,Alt/Co	Nebulosidade																					
N T C	16-Mar	21.9	24.7	25.3	27.4	29.2	30.5	28.7	29.5	30.0	29.5	31.6	32.4	33.2	32.5	32.3	32.7	30.1	29.2	29.6	26.8	26.8
N T C	16-Mar	24.5	25.1	27.0	27.3	27.3	28.5	28.6	30.9	31.2	31.5	34.9	37.5	40.6	39.7	43.0	42.2	44.8	44.6	41.0	35.6	34.1
N I C	16-Mar	22.9	23.3	25.2	25.3	26.1	27.1	27.2	28.3	29.0	29.4	30.5	33.6	37.2	36.6	40.0	40.2	41.3	42.4	39.1	34.6	32.4
N A C	16-Mar	22.9	23.3	25.2	25.7	25.9	27.1	27.8	28.9	28.6	29.4	30.4	33.0	35.8	36.2	39.0	38.2	42.3	41.5	38.1	32.4	30.6
N T E	16-Mar	24.9	25.1	26.2	27.3	27.9	29.0	30.1	30.9	31.8	31.7	35.1	38.7	41.5	40.8	43.7	42.3	46.7	47.2	45.6	38.6	36.5
N I E	16-Mar	22.9	23.5	25.2	26.9	27.5	28.2	28.6	29.3	30.7	29.4	33.6	37.1	40.4	38.1	43.5	40.7	44.5	46.4	43.1	35.0	34.1
N A E	16-Mar	23.1	23.3	25.2	26.3	26.9	28.0	28.2	28.9	29.6	29.6	31.5	36.0	38.9	37.9	38.4	40.0	41.6	43.8	40.3	34.1	32.8
N I V	16-Mar	22.8	23.5	26.4	26.9	27.1	27.3	28.0	30.4	30.8	31.1	31.3	35.0	37.0	35.2	40.2	42.2	42.1	43.5	40.8	33.8	32.6
O T C	16-Mar	24.5	24.3	25.2	26.5	26.9	27.2	27.6	28.1	27.8	25.9	29.4	31.5	33.0	33.1	36.8	35.3	39.5	41.0	37.5	33.0	32.4
O I C	16-Mar	22.7	22.5	23.8	24.9	25.3	25.3	26.8	28.3	28.2	25.9	28.5	29.2	31.8	32.1	35.6	34.7	38.3	40.8	36.2	32.7	31.6
O A C	16-Mar	22.7	22.7	23.8	25.1	25.3	25.3	26.5	28.3	27.5	25.3	27.9	29.4	29.6	30.5	33.1	32.4	35.3	38.3	34.4	30.1	29.3
O T E	16-Mar	24.5	24.7	25.4	26.3	26.5	26.3	26.2	26.9	27.2	25.5	28.8	32.6	33.4	34.0	36.2	39.2	36.5	34.0	30.8	30.1	30.4
O I E	16-Mar	23.1	23.5	24.8	24.9	25.3	25.3	25.4	26.4	26.4	25.5	27.9	29.3	29.9	30.3	33.4	33.7	37.3	36.5	31.0	28.3	26.9
O A E	16-Mar	22.6	22.9	23.4	23.7	24.9	24.9	25.4	26.3	26.6	24.0	27.7	29.7	30.3	29.9	32.4	33.7	37.5	38.2	30.5	28.0	27.5
S T C	16-Mar	26.0	26.9	28.6	29.5	30.1	30.0	29.1	28.5	29.0	25.4	28.1	30.3	29.5	27.7	28.9	29.0	30.0	30.0	27.0	27.4	27.7
S I C	16-Mar	24.6	24.9	26.0	26.1	26.4	26.0	25.8	25.5	25.6	24.6	26.3	26.4	25.4	25.0	25.8	25.2	26.8	28.4	24.2	24.5	25.2
S A C	16-Mar	24.2	24.3	25.2	25.9	26.1	25.7	25.0	25.1	25.2	25.2	25.9	25.9	24.8	25.6	25.6	26.0	26.6	28.2	23.8	24.5	24.4
S T E	16-Mar	25.0	26.1	29.1	30.4	30.9	31.5	31.0	30.4	29.7	28.1	28.6	29.3	28.9	28.3	28.3	28.2	29.3	31.2	26.6	27.3	27.5
S I E	16-Mar	25.6	26.3	27.6	28.4	28.5	28.2	28.5	26.9	27.0	25.7	26.1	26.4	26.0	25.4	25.4	25.4	27.0	28.6	24.8	25.3	25.4
S A E	16-Mar	25.0	25.7	27.2	28.1	28.4	28.8	27.7	26.9	27.6	25.4	27.4	26.2	25.4	24.8	25.4	25.6	26.6	28.4	25.0	25.9	25.2
S I V	16-Mar	24.6	24.9	26.6	26.9	28.2	27.8	29.0	26.8	27.2	24.9	27.2	25.4	25.2	24.4	24.6	25.0	25.3	26.7	24.4	24.5	24.6
L I V	16-Mar	29.4	31.7	33.7	35.6	37.3	39.0	41.0	39.0	41.3	36.9	31.8	31.2	30.5	29.7	29.1	29.2	29.0	29.2	26.4	26.7	26.4
L A E	16-Mar	27.8	30.5	32.6	34.6	35.3	37.0	37.5	37.0	37.2	31.5	30.4	29.2	29.5	29.1	28.3	27.6	27.8	28.4	25.6	25.9	26.4
Dados Estação INMET		Temperatura Mínima do Ar (°C)																				18.3
		Temperatura Máxima do Ar (°C)																				29.3
		Amplitude Térmica do Ar (°C)																				11
		Umidade Relativa Média Diária (%)																				69.6
Dados Estação INMET		Radiação Solar Horizontal Acumulada (W/m²)																				6515
		Classificação Climática Diária																				23223
		Classificação Climática Diária do Dia Anterior																				22222

Medição 3 - 13/04/2018

COD	DIA	Medição 3 - 13/04/2018																				
		8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00
		Nebulosidade																				
		Temperatura do Ar																				
N T C	13-Apr	18.4	18.3	20.6	19.3	22.5	21.0	22.4	25.4	25.5	25.3	25.9	26.3	27.2	26.9	26.7	24.1	24.4	23.4	21.7	21.4	20.8
N T C	13-Apr	22.6	24.8	25.2	25.2	27.4	26.2	31.4	31.2	30.5	33.1	35.3	36.3	37.3	39.7	40.1	35.4	35.2	32.9	31.0	30.0	28.2
N I C	13-Apr	21.6	24.5	24.2	25.3	26.8	26.0	27.7	30.4	29.0	32.4	33.0	35.1	35.9	36.2	36.7	33.6	32.6	30.8	29.8	27.8	26.4
N A C	13-Apr	21.6	24.1	23.6	24.5	26.0	26.0	27.3	29.7	28.6	32.4	33.1	34.7	34.7	36.0	36.9	33.4	32.4	29.9	29.1	27.8	26.2
N T E	13-Apr	22.6	24.9	25.6	25.5	27.4	26.8	31.2	33.0	32.3	35.2	37.6	37.1	39.7	42.0	42.9	36.7	37.6	35.2	32.9	31.6	30.0
N I E	13-Apr	22.0	24.7	24.4	25.2	26.8	26.0	28.1	30.3	31.9	34.8	33.1	34.1	38.1	40.3	39.5	33.9	35.1	33.1	31.2	29.7	27.8
N A E	13-Apr	21.2	24.5	24.8	24.8	25.8	26.1	28.0	30.0	30.2	33.4	34.2	34.6	37.9	39.9	39.9	32.7	33.8	32.2	30.1	27.4	25.7
N I V	13-Apr	21.6	23.2	22.3	24.9	27.0	26.4	28.1	29.1	30.2	31.2	35.7	36.5	36.7	38.0	39.4	36.0	32.9	31.4	28.1	26.8	25.8
O T C	13-Apr	22.6	24.1	24.2	24.6	24.8	24.7	25.7	27.2	25.8	28.8	27.7	27.2	28.8	30.2	31.6	28.8	29.5	28.3	27.9	27.1	26.6
O I C	13-Apr	21.6	23.5	23.8	24.0	23.2	24.9	26.1	26.2	26.4	29.0	27.9	27.6	28.2	29.4	30.8	28.0	28.9	27.9	27.3	26.9	26.0
O A C	13-Apr	20.9	23.3	23.4	24.2	23.2	24.7	25.3	26.8	25.2	28.0	27.5	26.8	27.0	29.0	29.2	26.0	27.1	25.9	26.0	25.2	25.0
O T E	13-Apr	22.1	23.9	23.8	24.6	24.8	25.1	25.1	27.0	26.0	29.6	28.1	29.1	28.4	30.9	34.7	30.2	29.4	28.9	28.0	27.1	26.2
O I E	13-Apr	20.1	23.7	23.4	24.6	23.4	24.7	24.5	26.4	25.2	29.0	27.5	27.7	27.4	29.4	32.4	27.0	26.5	26.4	25.8	25.2	24.0
O A E	13-Apr	20.1	23.5	23.4	24.2	23.6	25.1	24.9	26.2	24.4	28.8	27.2	26.7	26.8	29.0	29.7	27.2	26.9	26.1	25.1	25.2	24.0
S T C	13-Apr	21.3	22.9	22.8	23.0	23.8	24.7	24.1	25.8	24.0	27.6	25.3	25.6	25.4	25.8	26.0	25.0	25.1	24.9	25.0	24.9	24.4
S I C	13-Apr	20.7	22.5	22.4	22.8	22.4	23.5	23.7	27.0	23.2	26.2	24.6	24.6	25.0	25.8	25.0	24.4	23.9	23.9	24.5	23.6	23.4
S A C	13-Apr	20.3	22.3	22.2	22.4	23.2	23.3	23.5	25.8	22.5	25.5	23.0	23.6	23.6	24.9	24.5	23.8	22.9	23.9	23.9	22.8	22.4
S T E	13-Apr	21.1	22.9	22.6	22.8	24.0	25.1	25.1	27.8	24.4	27.0	25.0	25.0	25.2	25.4	25.6	25.2	25.1	24.9	24.7	24.2	24.4
S I E	13-Apr	20.7	22.9	23.2	23.0	23.2	24.1	25.1	27.0	23.2	25.2	23.6	25.0	24.8	25.4	25.2	25.0	24.5	24.7	24.3	23.6	23.4
S A E	13-Apr	20.5	22.5	23.0	23.2	23.2	23.9	24.3	27.0	23.4	25.0	23.6	23.8	24.2	25.2	25.0	24.6	24.1	24.3	24.1	23.0	23.4
S I V	13-Apr	20.5	22.5	22.4	23.0	23.6	24.1	24.7	26.2	22.9	25.2	23.7	23.0	23.4	25.2	24.8	23.4	23.3	23.5	24.1	23.4	23.4
L I V	13-Apr	21.3	23.5	25.4	25.2	30.6	28.9	31.9	34.1	31.4	30.2	30.1	28.9	23.2	28.8	26.8	26.6	25.1	24.5	24.1	24.0	24.0
L A E	13-Apr	20.7	22.9	24.8	24.0	27.9	27.7	30.5	31.0	23.8	28.0	27.9	26.6	26.0	27.6	27.0	26.0	25.1	25.1	24.1	23.2	23.4

Dados Estação INMET		Temperatura Mínima do Ar (°C)	17.8
		Temperatura Máxima do Ar (°C)	24.9
		Amplitude Térmica do Ar (°C)	7.1
		Umidade Relativa Média Diária (%)	76.5
		Radiação Solar Horizontal Acumulada (W/m²)	4868

Classificação Climática Diária 21122

Classificação Climática Diária do Dia Anterior 21122



