

**INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS A PARTIR DE ANÁLISES TERMOGRÁFICAS EM
SISTEMA DE FACHADA EM ARGAMASSA**

GLAUBER DA PAZ MOREIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO – 2018

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS A PARTIR DE ANÁLISES
TERMOGRÁFICAS EM SISTEMA DE FACHADA EM ARGAMASSA**

GLAUBER DA PAZ MOREIRA

ORIENTADOR: ELTON BAUER

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO–2018
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**INSPEÇÃO DE EDIFÍCIOS A PARTIR DE ANÁLISES
TERMOGRÁFICAS EM SISTEMA DE FACHADA EM ARGAMASSA**

GLAUBER DA PAZ MOREIRA

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

APROVADA POR:

Prof. Elton Bauer, *Ph.D.* (ENC/UnB)
(Orientador)

Prof. João Henrique da Silva Rêgo, *Dr.* (ENC/UnB)
(Examinador)

Jéssica Siqueira de Souza, *Msc.* (ENC/UnB)
(Examinadora)

BRASÍLIA/DF, 03 DE DEZEMBRO DE 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

MOREIRA, GLAUBER DA PAZ

Inspeção de edifícios a partir de análises termográficas em sistema de fachada em argamassa. [Distrito Federal] 2018.

(ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2018)

Monografia de Projeto Final 2 - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

- | | |
|----------------|-------------------------|
| 1. Termografia | 2. Fachada em argamassa |
| 3. Patologia | 4. Inspeção |
| I. ENC/FT/UnB | II. Título (Bacharel) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MOREIRA, G. P. (2018). Inspeção de edifícios a partir de análises termográficas em sistema de fachada em argamassa. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 93 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Glauber da Paz Moreira

TÍTULO: Inspeção de edifícios a partir de análises termográficas em sistema de fachada em argamassa.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil ANO: 2018

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

Glauber da Paz Moreira
SRES Quadra 10 Bloco V casa 65
CEP: 70.645-220 Brasília – DF – Brasil
e-mail: gpm.paz@gmail.com

RESUMO

Ensaio não destrutivo tem se apresentado como opção ágil para avaliação da degradação de edifícios. A termografia de infravermelho está presente dentro deste universo e fundamenta-se numa análise térmica que é influenciada por condições climáticas, emissividade e temperatura refletida além de outras características de uma edificação. A influência de tais fatores motiva a elaboração de critérios para identificação de patologias frequentes em fachadas. Valendo-se de amostras de fachada em argamassa de edifícios do Plano Piloto em Brasília-DF, este trabalho visa usar a técnica termográfica para investigar o comportamento térmico de fissurações, descolamentos, manchas, pulverulência, eflorescências e patologias de pintura com base na análise de gradientes da simulação higrotérmica, inspeções termográficas, registros fotográficos e mapeamento de danos. As principais variáveis de observação consistiram nos padrões de aquecimento e resfriamento das patologias supracitadas e o fluxo térmico na condição de incidência solar direta a partir da orientação das amostras, principalmente Leste e Oeste. Foram identificadas fissuras, descolamentos, manchas além de descolamentos de pintura, fissuras e bolhas na pintura. Essas patologias apresentaram padrão mais quente na região do defeito durante vários momentos do dia. Para o caso de descolamentos, fissuras e falhas de pintura os valores ΔT encontrados foram todos positivos, justificando o padrão mais quente desses defeitos. Foram identificadas ainda também suspeitas de manchas, eflorescências e pulverulência a partir da termografia qualitativa. A técnica termográfica possibilitou investigação de patologias comuns no revestimento em argamassa bem como no sistema de pintura. Além disso, a influência da incidência solar na fachada impactou na identificação de patologias: os defeitos apresentaram ΔT maior no período matutino em amostras de orientação Leste enquanto na orientação Oeste os maiores valores foram no período vespertino.

Palavras-chave: Termografia, Fachada em argamassa, Patologia, Inspeção

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. OBJETIVOS DO ESTUDO | 3 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 2.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO..... | 4 |
| 2.1.1 Radiação de Infravermelho | 4 |
| 2.1.2 Classificações da Termografia | 5 |
| 2.1.3 Fatores que influenciam a análise de termogramas..... | 7 |
| 2.2. TERMOGRAFIA NAS INSPEÇÕES DE FACHADA | 12 |
| 2.2.1 Simulação Higrotérmica..... | 12 |
| 2.2.2 Exemplo de Aplicação | 14 |
| 2.3. PATOLOGIAS EM SISTEMAS EM ARGAMASSA | 16 |
| 2.3.1 Fissuração..... | 16 |
| 2.3.2 Descolamento | 20 |
| 2.3.3 Manchas e Eflorescência..... | 22 |
| 2.3.4 Pulverulência..... | 25 |
| 2.3.5 Patologias no sistema de pintura | 27 |
| 2.3.5.1 Descolamento de Pintura..... | 27 |
| 2.3.5.2 Fissuração na Pintura | 27 |
| 2.3.5.3 Bolhas na Pintura | 28 |
| 3. METODOLOGIA DE PESQUISA | 30 |
| 3.1. Variáveis de estudo | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 3.2. Seleção de Amostras de Estudo | 31 |
| 3.3. Simulação Higrotérmica..... | 33 |
| 3.4. Inspeção Termográfica..... | 36 |
| 3.5. Tratamento de termogramas e análises qualitativas..... | 38 |
| 3.6. Análise quantitativa de patologias..... | 39 |
| 4. RESULTADOS E ANÁLISES..... | 42 |
| 4.1. Fissuração..... | 42 |
| 4.1.1. Aquecimento | 42 |
| 4.1.2. Resfriamento | 47 |
| 4.2. Descolamento | 53 |
| 4.2.1. Aquecimento | 53 |
| 4.2.2. Resfriamento | 57 |
| 4.3. Manchas, Eflorescência e Pulverulência..... | 61 |
| 4.4. Patologias de Pintura: Fissuração..... | 67 |
| 4.4.1. Aquecimento | 67 |
| 4.4.2. Resfriamento | 69 |
| 4.5. Patologias de Pintura: Descolamento | 70 |
| 4.6. Patologias de Pintura: Bolhas..... | 76 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 81 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 82 |
| ANEXO A..... | 87 |

LISTA DE TABELAS

| Tabela | Página |
|--|---------------|
| Tabela 1 – Classificações da termografia de Infravermelho. | 5 |
| Tabela 2 – Fatores que afetam a análise de termogramas. | 11 |
| Tabela 3 – Causas da Fissuração (Macêdo, 2017) | 17 |
| Tabela 4 – Principais causas do descolamento em argamassas. | 20 |
| Tabela 5 – Causas do aparecimento de manchas (SANTOS, 2017) | 23 |
| Tabela 6 – Quadro com principais tipos de manchas. Adaptado de Santos (2017). | 24 |
| Tabela 7 – Fatores que levam a desagregação. | 26 |
| Tabela 8 – Variáveis do estudo e respectivos objetos de observação. | 31 |
| Tabela 9 – Parâmetros utilizados para análise da simulação | 35 |
| Tabela 10 – Informações das amostras para análise quantitativa..... | 40 |
| Tabela 11 – Informações das amostras do sistema de pintura para análise quantitativa. | 41 |
| Tabela 12 – Temperaturas (em °C) extraídas dos gráficos das Figuras 27, 28 e 29..... | 47 |
| Tabela 13 - Temperaturas (em °C) extraídas dos gráficos das Figuras 35, 36 e 37. | 50 |
| Tabela 14 – Dados de Temperatura e Delta-T no Aquecimento das Amostras D1 a D4..... | 56 |
| Tabela 15 – Dados de Temperatura e Delta-T no resfriamento das amostras D1 a D4. | 59 |
| Tabela 16 – Valores de temperatura e Delta-T extraídos dos termogramas da amostra DP1.. | 73 |
| Tabela 17 - Valores de temperatura e Delta-T extraídos dos termogramas da amostra DP2. . | 74 |
| Tabela 18 – Valores de temperaturas e Delta – T extraídos dos termogramas da amostra BP1. | 78 |
| Tabela 19 – Valores de temperaturas e Delta – T extraídos dos termogramas da amostra BP2. | 79 |

LISTA DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|---------------|
| Figura 1 – Faixa do espectro eletromagnético para radiação infravermelha (ITC, 2014) | 4 |
| Figura 2 – Interrelação entre as classificações da termografia (Pavon, 2017)..... | 7 |
| Figura 3 – Ângulo de visão e emissividade em materiais não metálicos (Adaptado de Maldague, 2002)..... | 9 |
| Figura 4 – Diferenças de visuais de temperatura dos diferentes materiais que compõem uma fachada (Bauer e Pavon, 2015). | 10 |
| Figura 5 – Modelagem de fachada com acabamento em revestimento cerâmico (Pavon, 2017). | 13 |
| Figura 6 – Análise gráfica dos dados da simulação higrotérmica (PAVON, 2017) | 13 |
| Figura 7 – Registro fotográfico da amostra de estudo em revestimento cerâmico – orientação Oeste (adaptado, Pavon, 2017)..... | 14 |
| Figura 8 – Regiões de descolamento cerâmico nos horários de 11h,16h e 18h (Pavon, 2017). | 15 |
| Figura 9 – Imagem 3d com pixels correspondentes às regiões com defeito. a) 16h. b) 18h. (Pavon, 2017) | 16 |
| Figura 10 – Fissurações diagonais no revestimento devido a alterações nas condições de apoio, registro do LEM – UnB..... | 17 |
| Figura 11 – Fissuração devido à ausência ou subdimensionamento de vergas na região de aberturas, registro do LEM – UnB | 18 |
| Figura 12 - Comportamento do Delta-T esperado para fissurações. (Bauer <i>et al.</i> ,2016a)..... | 19 |
| Figura 13 – Solicitação e condição inicial (“A”) e formação do descolamento (“B”) (adaptado, PEREIRA,2007)..... | 21 |
| Figura 14 – Evidência de descolamento (adaptado, MARIO, 2011) | 22 |
| Figura 15 – Desagregação em fachada com acabamento em reboco e pintura de edifício em Brasília, registro LEM – UnB. | 26 |
| Figura 16 – Fissuração associada com descolamento no sistema de pintura, registro do LEM – UnB | 28 |

| | |
|--|----|
| Figura 17 – Bolhas na pintura e descolamento. | 29 |
| Figura 18 – Exemplo de fachada para seleção de amostras: registro fotográfico ortogonalizado (“A”) e mapeamento de anomalias (“B”) por Santos (2018). | 32 |
| Figura 19 – Definição das camadas e pontos de aferição no WUFI. | 34 |
| Figura 20 – Exemplo de produto gráfico de simulação Higrotérmica. | 36 |
| Figura 21 – FLIR 400 (“A”) e Psicrômetro MO297 (“B”). | 36 |
| Figura 22 – Interface do Flir QuickReport 1.2, inserção de parâmetros (direita) e ajuste de escala (abaixo). | 38 |
| Figura 23 – Mapeamento de fissura por inspeção (“A”), registro termográfico ortogonalizado da região (“B”), da amostra F1. | 42 |
| Figura 24 – Registro fotográfico da região de fissuração na amostra F1 (LEM – UnB). | 43 |
| Figura 25 – Pontos “Sp1” e “Sp2” e linha “Li1” no termograma da amostra F1. | 43 |
| Figura 26 – Detalhe do mapeamento de fissuras (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra F2. | 44 |
| Figura 27 – Posição das linhas “Li1”, “Li2” e “Li3” no termograma da amostra F2. | 45 |
| Figura 28 – Gráfico de temperaturas da “Li1” e temperatura média nas regiões adjacentes na amostra F2. | 45 |
| Figura 29 – Gráfico de temperaturas da “Li2” e temperatura média nas regiões adjacentes na amostra F2. | 46 |
| Figura 30 – Gráfico de temperaturas da “Li3” e temperatura média nas regiões adjacentes na amostra F2. | 46 |
| Figura 31 – Detalhe de mapeamento de fissuras (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra F3. | 47 |
| Figura 32 – Posição das linhas “Li1”, “Li2” e “Li3” no termograma da amostra F3. | 48 |
| Figura 33 – Gráfico de temperatura na “Li1” e média das regiões adjacentes à fissura da amostra F3. | 48 |
| Figura 34 – Gráfico de temperatura na “Li2” e média nas regiões adjacentes a fissura da amostra F3. | 49 |
| Figura 35 – Gráfico de temperatura na linha “Li3” e média das regiões adjacentes a fissura da amostra F3. | 49 |

| | |
|---|----|
| Figura 36 – Seta vermelha indicando a direção do comprimento da viga acima das janelas (padrão mais escuro de temperatura) no termograma da Figura 34. | 50 |
| Figura 37 - Detalhe de mapeamento de fissuras (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra F4. | 51 |
| Figura 38 – Termogramas às 12h (“A”), 14h (“B”) e 16h (“C”) da amostra F4. | 51 |
| Figura 39 – Gráfico da Simulação numérica para análise de gradientes da amostra F4. | 52 |
| Figura 40 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D1, de orientação Oeste. | 53 |
| Figura 41 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D2, de orientação Oeste. | 53 |
| Figura 42 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D3, de orientação Leste. | 54 |
| Figura 43 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D4, de orientação Leste. | 54 |
| Figura 44 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D1 | 54 |
| Figura 45 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D2 | 55 |
| Figura 46 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D3. | 55 |
| Figura 47 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D4. | 55 |
| Figura 48 – Termograma às 14h00 (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D1. | 57 |
| Figura 49 – Termograma às 14h00 (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D2. | 57 |
| Figura 50 – Termograma às 14h (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D3. | 58 |
| Figura 51 – Termograma às 14h00 (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D4. | 58 |
| Figura 52 – Gráficos de Temperaturas e Delta – T das amostras de orientação Oeste: D1 e D2 | 60 |
| Figura 53 – Gráficos de Temperaturas e Delta – T das amostras de orientação Leste: D3 e D4 | 60 |
| Figura 54 – Manchas escurecidas na amostra M1 às 11h00: termograma (“A”) e registro fotográfico (“B”). | 61 |
| Figura 55 – Manchas escurecidas na amostra M2 às 14h00: termograma (“A”) e registro fotográfico (“B”). | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 56 – Manchas (em cinza) da amostra M1 e posição de pontos de temperatura Sp1 e Sp2. | 62 |
| Figura 57 – Eflorescência e mancha na amostra E1, às 10h00. | 63 |
| Figura 58 – Termograma às 10h00 (“A”) e registro fotográfico (“B”) de região com pulverulência na amostra P1. | 64 |
| Figura 59 – Termograma às 10h00 (“A”) e registro fotográfico (“B”) de região com pulverulência na amostra P2. | 64 |
| Figura 60 – Termograma às 12h00 (“A”) e registro fotográfico (“B”) de região com pulverulência na amostra P3. | 65 |
| Figura 61 – Termogramas às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”), 14h00 (“C”) e 16h00 (“D”) da amostra P3..... | 66 |
| Figura 62 – Mapeamento de fissuras de pintura (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra FP1. | 67 |
| Figura 63 – Mapeamento de fissuras de pintura (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra FP2. | 67 |
| Figura 64 – Termograma às 7h30 (“A”), 8h30 (“B”) e 10h00 (“C”) da amostra FP1..... | 68 |
| Figura 65 - Termograma às 7h30 (“A”), 8h30 (“B”) e 10h00 (“C”) da amostra FP2..... | 68 |
| Figura 66 - Termograma às 15h00 (“A”), 16h00 (“B”) e 17h00 (“C”) da amostra FP1..... | 69 |
| Figura 67 - Termograma às 15h00 (“A”), 16h00 (“B”) e 17h00 (“C”) da amostra FP2..... | 69 |
| Figura 68 – Padrões de figuras fechadas por configuração de fissuras em magenta (“A”) e termograma de uma fissura na pintura a 1m de distância (“B”). | 70 |
| Figura 69 – Amostra DP1 de orientação Leste e defeito escolhido para observação (seta vermelha)..... | 71 |
| Figura 70 – Amostra DP2 de orientação Oeste e defeito escolhido para observação (seta vermelha)..... | 71 |
| Figura 71 – Termograma às 7h30 (“A”), 9h30 (“B”), 11h00 (“C”) e às 15h00 (“D”) da amostra DP1 e regiões de cálculo de temperaturas..... | 72 |
| Figura 72 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”), 12h00 (“C”), 14h00 (“D”) e 16h00 (“E”) da amostra DP2 e regiões de cálculo de temperaturas. | 73 |
| Figura 73 – Gráfico de comportamento do defeito da amostra DP1..... | 74 |

| | |
|---|----|
| Figura 74 – Gráfico de comportamento do defeito da amostra DP2..... | 75 |
| Figura 75 – Amostra BP1 de orientação Leste e região de bolhas selecionada para observação (círculo em vermelho). | 76 |
| Figura 76 – Amostra BP2 de orientação Oeste e região de bolhas selecionada para observação (círculo em vermelho). | 76 |
| Figura 77 – Termograma às 7h30 (“A”), 9h00 (“B”), 11h00 (“C”) e 15h00 (“D”) da amostra BP1..... | 77 |
| Figura 78 – Termografia às 7h30 (“A”), 9h00 (“B”), 11h00 (“C”), 15h00 (“D”) e 17h00 (“E”) da amostra BP2..... | 78 |
| Figura 79 – Gráfico de comportamento térmico da amostra BP1..... | 79 |
| Figura 80 – Gráfico de comportamento térmico da amostra BP2..... | 80 |
| Figura 81 – Definição do revestimento de estudo para simulação..... | 87 |
| Figura 82 - Definição da orientação, inclinação e altura da fachada. | 88 |
| Figura 83 – Definição da Absortância da superfície da fachada..... | 88 |
| Figura 84 – Definição das condições iniciais de cálculo. | 89 |
| Figura 85 – Definição do Período de Simulação..... | 90 |
| Figura 86 – Definição do Clima interior da Edificação. | 90 |
| Figura 87 – Definição do Clima Exterior da Edificação..... | 91 |
| Figura 88 – Definição dos dados para extração após simulação..... | 92 |
| Figura 89 – Definição dos dados após a simulação – parte 2 | 93 |
| Figura 90 – Recorte de absortâncias e cores frias. Dornelles (2008)..... | 93 |
| Figura 91 - Recorte de absortâncias e cores quentes. Dornelles (2008). | 94 |
| Figura 92 – Recorte de absortâncias e cores comuns em fachadas. Dornelles (2008)..... | 94 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------|--|
| ρ | Radiação incidente refletida |
| α | Radiação incidente absorvida |
| τ | Radiação incidente transmitida |
| ε | Emissividade |
| <i>mrad</i> | Micro radiano – unidade do IFOV |
| T_{ar} | Temperatura do ambiente externo |
| T_{sup} | Temperatura da superfície do revestimento em argamassa |
| $G_{sup-bloco}$ | Gradiente de temperatura entre a superfície e bloco cerâmico |
| μm | Micrometro |
| $F(n)$ | Amostra de fissuração (n) |
| $D(n)$ | Amostra de descolamento (n) |
| $M(n)$ | Amostra de mancha (n) |
| $E(n)$ | Amostra de eflorescência (n) |
| $P(n)$ | Amostra de pulverulência (n) |
| $FP(n)$ | Amostra de fissura de pintura (n) |
| $DP(n)$ | Amostra de descolamento de pintura (n) |
| $BP(n)$ | Amostra de bolhas de pintura (n) |

LISTA DE ABREVIACOES

| Abreviação | Significado |
|-------------------|---|
| LEM – UnB | Laboratório de Ensaio de Materiais da UnB |
| WUFI | <i>Wrme Und Feuchte Instationr</i> |
| IFOV | <i>Instantaneous Field of View</i> |
| TMY | <i>Typical Meteorological Year</i> |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |

1. INTRODUÇÃO

A NBR 15575-4 (ABNT, 2013) define os sistemas de vedação interno e externo como partes da edificação habitacional que limitam verticalmente a edificação e seus ambientes, como as fachadas e as paredes ou divisórias internas. Além disto, a norma relaciona o desempenho destes sistemas com o comportamento térmico, acústico, além de segurança ao fogo e etc.

A partir do momento em que o ciclo pós-construção se inicia, o desempenho dos elementos de uma edificação tende a diminuir, o que pode gerar aparecimento de danos e encurtamento da vida útil. No caso de fachadas, agentes atmosféricos, como radiação solar, chuva dirigida e temperaturas extremas, podem levar a uma redução na vida útil da fachada e desenvolvimento de patologias (Bauer, *et al.*, 2015).

A avaliação de patologias envolve uma diversidade de métodos e procedimentos, entretanto, Madruga *et al.* (2010) aponta que os ensaios não destrutivos têm sido usados há anos na avaliação de materiais e componentes. Nas últimas décadas, estas técnicas têm experimentado um enorme desenvolvimento devido à sua importância e eficiência como ferramenta em processos de controle de qualidade.

Neste universo de técnicas, destaca-se a termografia, que envolve a aquisição e análise de informação térmica derivada de mecanismos de imagem sem contato (*Infrared Training Center* (ITC), 2014). No princípio básico da termografia, a informação térmica é convertida em dados de temperatura com base em parâmetros e magnitudes definidas (tais como emissividade, umidade relativa, distância, etc.) (Bauer, *et al.*, 2015). Portanto, além de ser uma técnica não destrutiva, pode ser usada como ferramenta de manutenção preventiva para detectar patologias de fachada, tal como o caso de descolamentos, apontado por Freitas *et al.* (2014).

Neste panorama, o presente estudo visa realizar uma exploração da aplicação da técnica termografia como técnica auxiliar para inspeção de edifícios e análise de patologias em edifícios do Plano Piloto – Brasília – DF.

Apontam-se estudos realizados pelo Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília (PECC/UnB) e que embasam a referência do presente trabalho:

- **NASCIMENTO, M. L. M. Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios.** Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, 2016.
- **SANTOS, M. J. B. O. Catalogação de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- **PAVON, E. Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.
- **MACÊDO, M. S. P. H. Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios.** Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2017.
- **SANTOS, D. G. Estudo da vida útil e degradação de fechadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

A partir do cenário e escopo dos estudos supracitados, a motivação inicial do estudo é avançar no campo de pesquisa de aplicação da termografia de infravermelho focada no estudo de manifestações patológicas em revestimento em argamassa.

1.1. OBJETIVOS DO ESTUDO

1.1.1 Objetivo Geral

A partir da termografia na inspeção de edifícios, o presente estudo pretende estudar patologias de fachada identificando padrões de comportamento termográficos no objetivo de sistematizar a análise destas patologias no revestimento em argamassa.

1.1.2 Objetivos Específicos

Selecionando amostras de edifícios com revestimento em argamassa do Plano Piloto, o presente trabalho busca:

- Utilizar a simulação higrotérmica para indicar momentos de inspeção termográfica com base nos gradientes de temperatura e justificar comportamento de patologias do sistema de revestimento em argamassa;
- Realizar a inspeção termográfica em momentos de aquecimento e resfriamento das amostras contemplando os períodos críticos indicados pela simulação numérica;
- Investigar o comportamento térmico de fissurações, descolamentos, manchas, pulverulência e patologias de pintura (fissuração, descolamento e bolhas) nos ciclos de aquecimento e resfriamento;
- Realizar análise térmica quantitativa dos diferentes tipos de anomalias de fachada em argamassa a partir da análise de Delta – T;
- Verificar a influência do aquecimento e resfriamento com e sem a incidência solar direta numa amostra com base na sua orientação cardeal;

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA TERMOGRAFIA DE INFRAVERMELHO

Esta seção tem por finalidade apresentar princípios que norteiam um entendimento básico da termografia englobando conceitos e fatores que influenciam na aquisição de imagens com termografia de infravermelho.

2.1.1 Radiação de Infravermelho

A ASTM E1316 (2014) conceitua a termografia como o processo de exibir variações de temperatura aparente (variações de temperatura, emissividade ou ambos) sobre a superfície de um objeto ou cenário pela medição de variação de radiação infravermelha.

Pavon (2017) aponta que a termografia de infravermelho se limita apenas à radiação térmica, que cobre apenas a radiação emitida como resultado da temperatura de uma substância. A radiação térmica é emitida no formato de onda, e é essa radiação que tem a habilidade de transmitir calor por emissão e absorção (Infrared Training Center (ITC), 2014).

De acordo o ITC (2014), a faixa de comprimentos de onda infravermelhos varia entre $0,4 \mu\text{m}$ e $13 \mu\text{m}$, conforme a ilustrado na Figura 1.

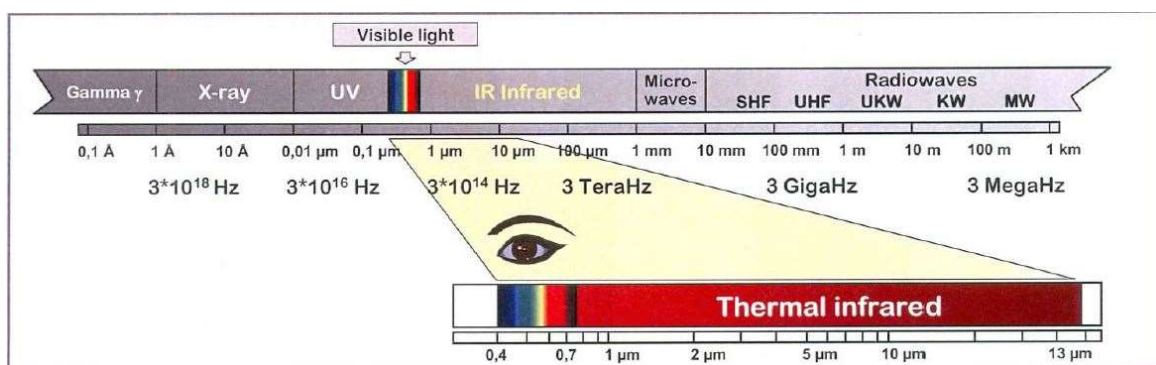


Figura 1 – Faixa do espectro eletromagnético para radiação infravermelha (ITC, 2014)

Os corpos e superfícies podem ser separados quanto ao comportamento em relação à radiação. O corpo negro é um corpo em que toda a radiação recebida é absorvida. Já um corpo transparente, seria um corpo o qual transmitiria a radiação recebida por completo. Entretanto, estes comportamentos ideais, não ocorrem em um corpo real.

Geralmente, uma parte da radiação incidente será refletida (ρ), outra será absorvida (α) e outra será transmitida para fora do meio (τ). Em uma substância opaca, a energia incidente será refletida ou absorvida (Kylili *et al.*,2014).

Em uma superfície real, o poder emissivo é inferior ao de um corpo negro à mesma temperatura, sendo necessário introduzir um fator de correção à emissividade (ϵ) (Pavon, 2017). É importante ressaltar que a emissividade é responsável pela captação e conversão da energia térmica (captada como radiação) para temperatura, a partir do comportamento de um corpo negro como parâmetro.

Destaca-se que a radiação mensurada pelos equipamentos termográficos tem parcelas de emissão e reflexão. Estas porções devem ser levadas em consideração para correta análise de temperatura dos termogramas.

2.1.2 Classificações da Termografia

A termografia infravermelha se classifica, dependendo do tipo de análise e interpretação das imagens térmicas, em: termografia qualitativa ou termografia quantitativa e dependendo do tipo de estimulação utilizada em: termografia passiva ou ativa (Pavon, 2017). A Tabela 1 ilustra as classificações de acordo com o critério de identificação.

| Classificação da Termografia | |
|--|--------------|
| Quanto ao tipo de interpretação | Qualitativa |
| | Quantitativa |
| Quanto ao tipo de estímulo | Passiva |
| | Ativa |

Tabela 1 – Classificações da termografia de Infravermelho.

Medições qualitativas comparam o comportamento térmico de um componente com o comportamento de um outro idêntico, em mesmas condições de operação. O objeto (ou anomalia) é identificado pela variação de intensidade entre os dois componentes sem que haja atribuição de valores de temperatura (Holst, 2000).

A termografia qualitativa é baseada numa análise relativamente simples de identificar pontos quentes e pontos frios da imagem térmica, através da diferença de cores, ou seja, é uma análise visual do termograma (Silva, 2012). A simplicidade da termografia qualitativa é relativa e vai depender da experiência de quem efetua o ensaio e interpreta os resultados. (Pavon, 2017).

Já a termografia quantitativa é usada para classificar a severidade de uma anomalia, sendo necessário ter a maior precisão possível nas temperaturas obtidas no termograma e realizar os ajustes e medições dos parâmetros termográficos de medição (emissividade, distância, temperatura refletida, dentre outros) (Bauer, *et al.*, 2014).

Quanto ao tipo de estimulação das superfícies e objetos, no método passivo, nenhuma estimulação artificial é utilizada, devendo existir uma diferença natural de temperatura entre o objeto em estudo e o meio no qual ele está inserido (Pedra, 2011). Na termografia passiva, as diferenças de temperatura que identificam as prováveis anomalias têm origem nos fluxos de calor gerados pelas condições de exposição natural dos elementos (Pavon, 2017).

Por outro lado, na termografia ativa, um estímulo externo é necessário para gerar diferenças relevantes de temperatura. Em geral, a sua aplicação se dá em casos em que se desejam resultados quantitativos (Pedra, 2011).

Segundo Maldague (2002), na termografia ativa as características conhecidas desse estímulo externo (como o tempo t_0 quando o mesmo é aplicado) permitem tipificação quantitativa do fenômeno ou objeto estudado quanto se confronta a situação gerada com a situação que não existia antes (no tempo t_0). A escolha do tipo de estímulo térmico vai depender das características do objeto a ser testado e do tipo de informação a ser pesquisada (Pedra, 2011).

A Figura 2 ilustra a interrelação existente entre os dois critérios de classificação citados. É possível perceber que toda avaliação qualitativa é passiva, entretanto, a recíproca não é

verdadeira, uma vez que na termografia quantitativa, pode haver ou não a utilização de estímulos externos.

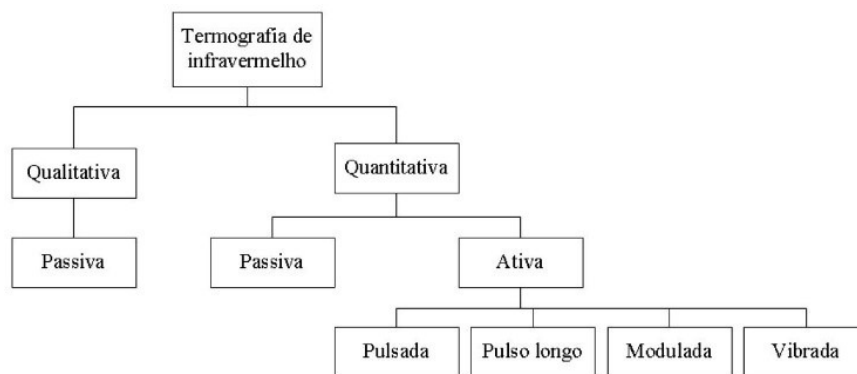


Figura 2 – Interrelação entre as classificações da termografia (Pavon, 2017).

2.1.3 Fatores que influenciam a análise de termogramas

Existem dois grupos principais de variáveis: as que dependem do equipamento e as relacionadas com o alvo. As principais variáveis vinculadas ao equipamento são a resolução geométrica IFOV (*Instantaneous Field of View*), a resolução da câmera, o foco e o ângulo de visão. No caso das variáveis relacionadas como alvo, as principais que devem ser consideradas são a emissividade, a distância e a reflexão (Pavon, 2017).

Segundo Caldeira (2016), interessa definir o menor detalhe visível que a câmera pode captar. Neste sentido, o “campo de visão instantâneo” ou IFOV é um parâmetro inerente a cada equipamento e corresponde a projeção de 1 pixel na superfície observada, tendo como unidade o radiano.

Tendo-se IFOV como dado, pode-se calcular a distância máxima que um objeto de tamanho “d” pode ser detectado pelo termovisor (Caldeira, 2016). A relação existente entre estas variáveis é dada através da equação 1.

$$Dist = \frac{d}{IFOV} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

- *Dist*: Distância máxima a ser calculada (*m*);
- *d*: tamanho do objeto inspecionado (*m*);
- *IFOV*: campo de visão instantâneo (*mrاد*);

A partir da Equação (1), quanto menor o valor do IFOV, maior será a distância a qual um objeto de tamanho “*d*” pode ser detectado pelo termovisor. Neste sentido, os melhores equipamentos aplicados a termografia apresentam índices de IFOV baixos permitindo a captação de imagens térmicas mais detalhadas.

Além do IFOV, outras particularidades do equipamento são importantes, tais como o foco e o ângulo de visão da lente. Estes parâmetros influenciam na nitidez das imagens termográficas geradas e dependem das especificações técnicas de cada equipamento. O IFOV, foco e ângulo de visão dependem da lente, não podem ser analisados separadamente (Pavon, 2017). Além disto, o ângulo de visão pode influenciar outros parâmetros do termograma, tais como a emissividade.

A emissividade aparente, no momento de medição, depende de ângulo de visão e diminui na medida em que o ângulo de visão aumenta, em relação à sua normal. Para medições de temperatura precisas é necessário um ângulo de visão menor que 30° (Caldeira, 2016). Na Figura 3, este comportamento é ilustrado graficamente.

Nota-se que para ângulos menores, as curvas de emissividade não apresentam variação em relação aos círculos concêntricos. Para altos valores de inclinação, a emissividade sofre variação e decresce, para diversos materiais.

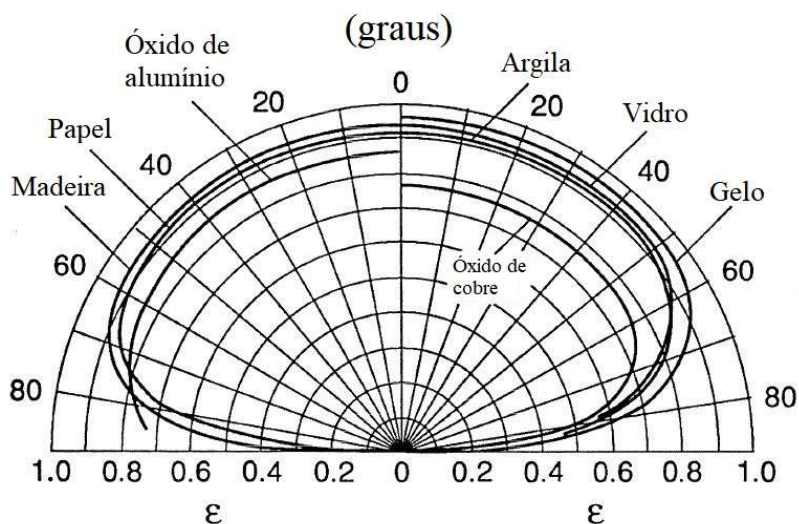


Figura 3 – Ângulo de visão e emissividade em materiais não metálicos
(Adaptado de Maldague, 2002).

Do ponto de vista do alvo, conforme já mencionado, a emissividade é decisiva na obtenção de valores reais de temperatura (Pavon, 2017). A emissividade é a taxa de radiação emitida por um corpo real dividida pela radiação emitida por um corpo negro, ou seja, a capacidade de um material de emitir radiação infravermelha em relação a um corpo negro (ITC, 2014). Os principais fatores que influenciam nos valores de emissividade são o tipo de material, textura da superfície e o ângulo de visão.

Além disto, Pavon (2017) conclui que os valores de emissividade dos materiais usados nas construções convencionais, principalmente nos sistemas de vedação, têm emissividade alta, superando 0,8. Esta constatação propicia o estudo de transferência de calor e de avaliação de patologias com termografia.

Bauer e Pavon (2015) mostram que fachadas com diferentes funções (tais como esquadrias metálicas, elementos de proteção e revestimentos) uniformes e coerentes com o restante da fachada, uma vez que cada elemento é constituído de materiais diferentes. A Figura 4 mostra a presença de toldos na fachada, elementos metálicos com temperatura visual diferente da temperatura do revestimento.

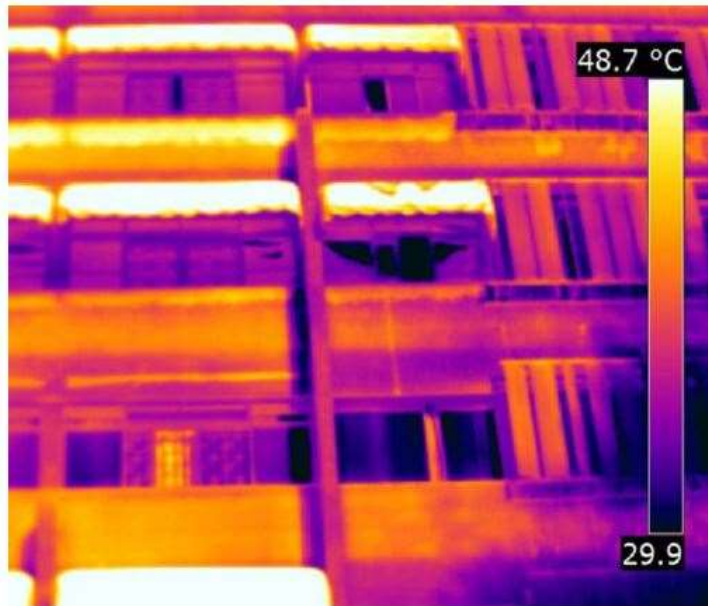


Figura 4 – Diferenças de visuais de temperatura dos diferentes materiais que compõem uma fachada (Bauer e Pavon, 2015).

Além da emissividade, outro fator que gera alterações na análise de termogramas é o fenômeno da reflexão. A reflexão é a perturbação causada sobre a superfície ou da superfície do alvo, proveniente de um objeto ou elemento posicionado no campo da imagem termográfica. Materiais de construção muito lisos ou polidos e com brilho refletem radiação infravermelha de outros corpos (Pavon, 2017).

A reflexão se traduz a partir da temperatura aparente refletida, que é a temperatura proveniente da reflexão de outros objetos na temperatura da superfície em estudo. Esta temperatura refletida é influenciada a partir de características do meio, tais como umidade e temperatura ambiente.

Ainda em relação ao alvo, a distância entre o objeto analisado pode alterar a angulação de aquisição de imagem térmica (caso de edifícios altos), gerando temperaturas não reais. Além disso, uma distância muito grande gera perda de informação térmica: com o aumento da distância, cada ponto corresponde a uma área maior da superfície e a radiação captada pelo equipamento passa a ser uma média da radiação emitida, perdendo-se detalhes da imagem (Silva, 2012).

A Equação (1) indica o comportamento de perda de detalhes a partir do aumento da distância. Para um determinado IFOV do equipamento, uma câmera posicionada a distância muito grande vai levar o tamanho “d” do menor objeto captado a ser maior. Neste sentido, configura-se uma perda de detalhamento.

A Tabela 2 resume os fatores que afetam a análise de termogramas e as suas respectivas associações em relação aos equipamentos e alvos.

| Variáveis relacionadas ao equipamento | Variáveis relacionadas ao alvo |
|--|---------------------------------------|
| IFOV | Emissividade |
| Resolução e foco | Distância |
| Ângulo de visão | Reflexão |
| | Temperatura Aparente Refletida |

Tabela 2 – Fatores que afetam a análise de termogramas.

2.2. TERMOGRAFIA NAS INSPEÇÕES DE FACHADA

Esta seção tem por finalidade apresentar a aplicação da termografia na avaliação de patologias em fachadas, discorrendo acerca da simulação higrotérmica como ferramenta para aquisição de imagens e trazendo exemplos de resultados alcançados por esses instrumentos.

2.2.1 Simulação Higrotérmica

A simulação higrotérmica é utilizada como ferramenta para quantificar os agentes climáticos e avaliar suas influências na degradação das fachadas. De maneira geral, o processo da simulação baseia-se na entrada de dados, processamento (simulação), saída de dados e pós-processamento (Nascimento, 2016).

Segundo Zanoni (2015), os fatores mais relevantes para a simulação higrotérmica são a configuração dos componentes do sistema de fachada, orientação e inclinação fachada além das propriedades higrotérmicas de cada componente e as condições iniciais de simulação bem como as condições de fronteira e coeficientes de transferência à superfície.

A aplicação deste tipo de simulação para a técnica termográfica e para a inspeção de patologias de fachada é detalhada no estudo de Pavon (2017), que simulou fachadas em revestimento cerâmico a partir do *software* WUFI PRO 5.3, no intuito de prever as melhores condições horárias e climáticas para a aquisição de imagens térmicas.

Pavon (2017) parte da análise do comportamento dos gradientes de temperatura em dias típicos, segundo o “*Typical Meteorological Year*” (TMY) elaborado por Roriz (2012), e sugere um procedimento para prever os horários de maior gradiente térmico, em dias sem nebulosidade e precipitação, evitando a radiação difusa, condições indesejadas para a aquisição de imagens térmicas.

A Figura 5 ilustra a interface de modelagem do WUFI para o caso do sistema de fachada em revestimento cerâmico, onde cada uma das letras “A” a “E” indica uma camada da fachada e os pontos “T1” a “T8”, pontos de medição numérica de temperatura e radiação, para a análise do gradiente.

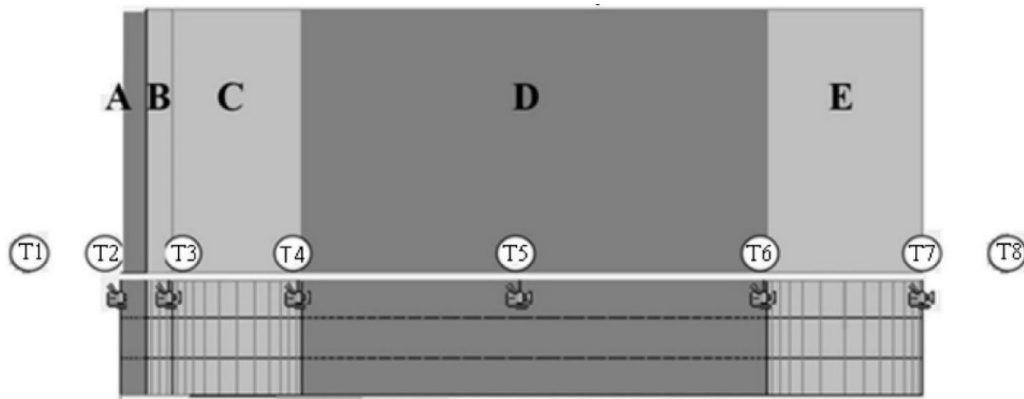


Figura 5 – Modelagem de fachada com acabamento em revestimento cerâmico (Pavon, 2017).

Após a entrada, processamento e saída de dados, na fase de pós-processamento, Pavon (2017) calcula os gradientes de temperatura entre os pontos de medição, ou seja, as diferenças de temperatura entre as superfícies de cada camada (pontos de medição “T1” ao “T8”).

A Figura 6 evidencia o comportamento gráfico de três gradientes ao passo que o edifício simulado por Pavon (2017) passa pelo ciclo de aquecimento e resfriamento, durante um dia típico sem precipitação, em Brasília – DF. As barras representam a quantidade de radiação recebida pela fachada em cada hora do dia.

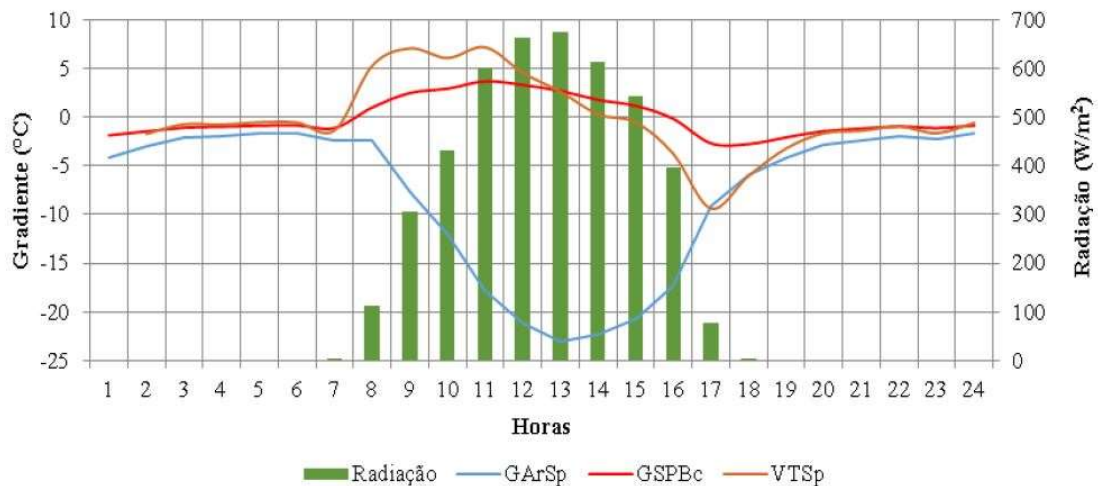


Figura 6 – Análise gráfica dos dados da simulação higrotérmica (PAVON, 2017)

Na Figura 6, “GSPBc” é a curva de gradiente entre a superfície do revestimento e o bloco cerâmico, calculado simplesmente pela diferença de temperatura entre os pontos de medição na superfície de cada camada. “VTSp” é a variação horária de temperatura na superfície, calculada pela diferença de temperatura da superfície externa do revestimento cerâmico nos momentos T_i e T_{i+1} .

A região com uma patologia alojada responde ao aquecimento de maneira diferente das regiões saudias, por isso a investigação dos maiores valores de gradiente. Na condição direta de fluxo térmico (condição de aquecimento), no intervalo de tempo dos maiores valores de “VTSp” em que a curva “GSPBc” não é negativa, a diferença de temperatura entre as camadas do revestimento é a maior possível, e, portanto, o efeito térmico de uma patologia será mais evidente. Este intervalo deverá ser indicado para a inspeção termográfica. Na condição de resfriamento, a lógica se inverte.

2.2.2 Exemplo de Aplicação

No intuito de elucidar a potencialidade de aplicação das inspeções termográficas, esta seção traz um caso do estudo de Pavon (2017). O recorte escolhido corresponde a uma das torres superiores de um edifício em revestimento cerâmico, conforme se evidencia na Figura 7.

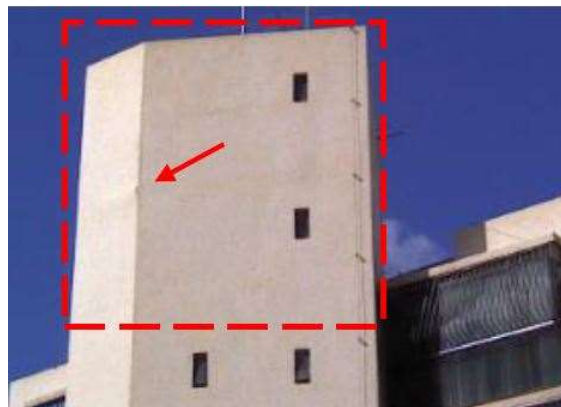


Figura 7 – Registro fotográfico da amostra de estudo em revestimento cerâmico – orientação Oeste (adaptado, Pavon, 2017).

A amostra referente à Figura 7 tem orientação Oeste e tanto na inspeção visual quanto na fotográfica, foi possível detectar uma região de descolamento cerâmico (seta vermelha).

A partir do resultado da inspeção termográfica, Pavon (2017) visualizou duas regiões “D1” e “D2”, marcadas nos termogramas da Figura 8. A região sinalizada como “D1” corresponde à região de descolamento pré-identificada na Figura 7 e a região “D2” somente foi detectada a partir dos termogramas.

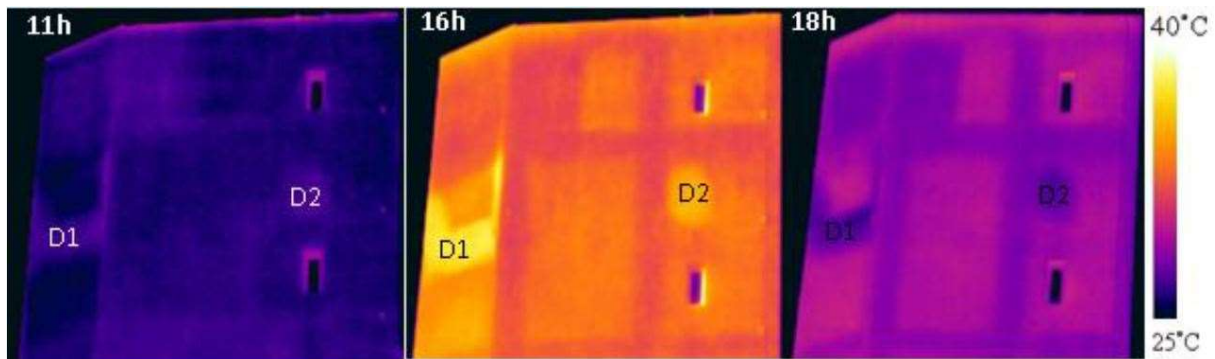


Figura 8 – Regiões de descolamento cerâmico nos horários de 11h,16h e 18h (Pavon, 2017).

Pavon (2017) mostra que é possível levantar a área das regiões de descolamento a partir da contabilização de *pixels* da imagem termográfica e associação com o IFOV do equipamento. Para este caso, tanto na condição direta quanto reversa, a região “D1” é mais degradada do que a “D2”, através da análise do Delta-T de cada região: quanto maior o valor de Delta-T, maior o estado de desgaste da falha.

A Figura 9 mostra uma imagem 3D que destaca os *pixels* correspondentes ao descolamento às 16h (item “a”) e às 18h (item “b”). A área de descolamento estimada para a região “D1” foi de 0,25 m² e para a região “D2”, de 0,16m².

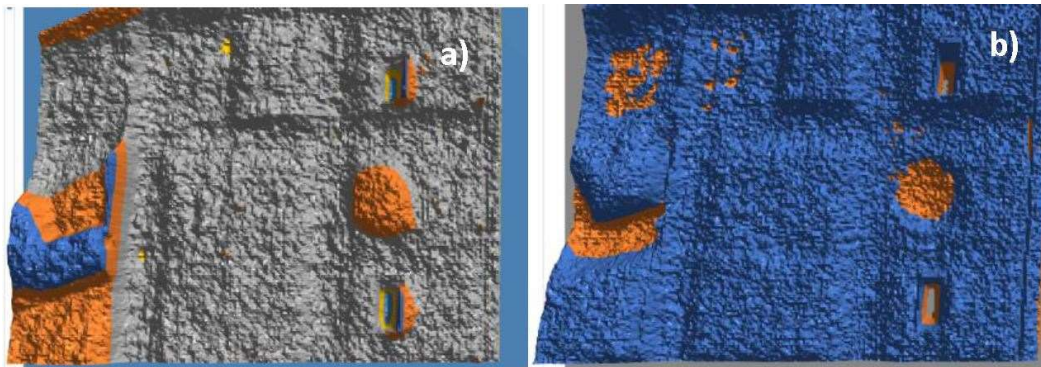


Figura 9 – Imagem 3d com pixels correspondentes às regiões com defeito. a) 16h. b) 18h.

(Pavon, 2017)

2.3. PATOLOGIAS EM SISTEMAS EM ARGAMASSA

Esta seção é dedicada a abranger uma noção geral das patologias mais comuns no tipo de revestimento de fachadas em argamassa. As patologias elencadas neste trabalho são baseadas no universo de edifícios de Brasília, levando-se todas as características da cidade, tanto de clima quanto de aspectos construtivos, arquitetônicos e de utilização.

2.3.1 Fissuração

As fissuras são descontinuidades ou fraturas provenientes do alívio de tensões de tração a partir de um caminho preferencial de acordo com as restrições de movimento do edifício e da capacidade de deformação dos materiais. A incapacidade de resistir à tração está ligada à não homogeneidade do material. Neste sentido, uma fissura reside nas regiões menos resistentes de um material ou sistema construtivo.

Santos (2017) agrupa as principais causas relativas à ocorrência de fissuração em: estruturais, de ações naturais e quanto ao processo de projeto e de execução. A Tabela 3 reúne as principais causas de fissuração dentro dos grupos mencionados.

| Natureza | Causa |
|--|---|
| Estruturais | Deformação |
| | Variação das Condições de apoio |
| De ações naturais | Física (efeitos do vento e da chuva, movimentos térmicos/umidade) |
| | Química (oxidação, carbonatação, chuva ácida, sais, poluição, etc.) |
| | Biológica |
| Quanto ao processo (execução ou projeto) | Ausência ou subdimensionamento de vergas e contravergas |
| | Desrespeito entre os tempos de espera entre as camadas do sistema de revestimento |
| | Dosagem ou preparo inadequado da argamassa |
| | Não detalhamento construtivo |
| | Concepção/posicionamento/preenchimento deficiente de juntas |
| | Espessura da camada de revestimento |
| | Retração |
| | Excesso de desempenho da argamassa |
| | Deficiência nas ligações entre os subsistemas e materiais da fachada |
| Absorção excessiva do suporte | |

Tabela 3 – Causas da Fissuração (Macêdo, 2017)

Dentre as causas estruturais de fissuração, a Figura 10 ilustra o comportamento de uma fachada devido à um recalque diferencial na fundação do edifício, que resulta em tensões e deformações não previstas em toda a edificação, presentes também no sistema de revestimento externo.



Figura 10 – Fissurações diagonais no revestimento devido a alterações nas condições de apoio, registro do LEM – UnB.

Quanto às causas de projeto, na Figura 11 tem-se um exemplo de fissuração devido à ausência ou subdimensionamento de vergas e contravergas. Este tipo de fissuração ocorre devido à falta de equilíbrio na distribuição do peso da alvenaria, nas regiões de abertura tais como janelas e portas.



Figura 11 – Fissuração devido à ausência ou subdimensionamento de vergas na região de aberturas, registro do LEM – UnB

Vários estudos tais como (MARTÍNEZ, *et al.*, 2013), (PAOLETTI, *et al.*, 2013) e (BAUER *et al.*, 2016a) evidenciam a possibilidade de avaliação e estudo de fissuras superficiais expostas a partir da análise de termogramas, em sistemas de alvenaria e argamassa, alvenaria de pedra e alvenaria revestida em argamassa, respectivamente.

O comportamento esperado em fissuras tanto no aquecimento quanto no arrefecimento se configura num padrão mais quente do que as regiões não fissuradas. Esta afirmação tem como fonte dos estudos de (BAUER *et al.*, 2016a) e (BAUER *et al.*, 2018) que calcularam o Delta-T deste tipo de anomalia em fachadas com revestimento cerâmico e mostraram que esta grandeza é sempre positiva independentemente da direção do fluxo de calor na fachada. A Figura 12 ilustra este comportamento numa escala horária, para 3 amostras de fissura com orientação Leste.

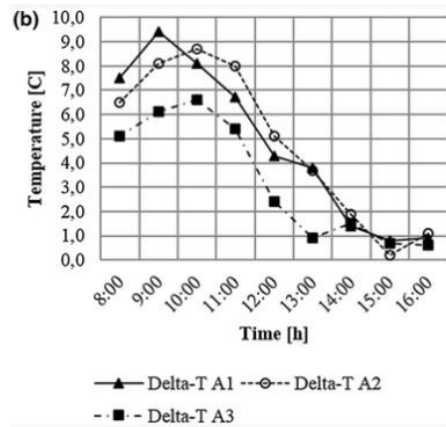


Figura 12 - Comportamento do Delta-T esperado para fissurações. (Bauer *et al.*,2016a)

O Delta-T é a diferença de temperatura na fissura e uma região circundante sem defeito. Segundo os trabalhos mencionados, o Delta-T no ciclo de resfriamento é menor neste caso por que as temperaturas do sistema estavam mais altas e as amostras de fachada não apresentaram incidência solar no período vespertino.

2.3.2 Descolamento

O descolamento consiste na separação da argamassa em relação ao seu suporte. Geralmente ocorre devido ao efeito da gravidade e às deformações do material, de modo que algumas regiões não conseguem atender aos esforços de flexão e torção que atuam sobre a camada rígida do revestimento. A Tabela 4 aponta as principais causas deste tipo de patologia, baseado nos estudos de Pereira (2007), Bauer (1997) e Cincotto (1988).

| | |
|---------------------------------------|---|
| Baixa aderência | Acabamento superficial inadequado |
| | Falta de limpeza da base |
| | Limpeza inadequada antes da aplicação do chapisco |
| | Ausência de chapisco |
| | Chapisco preparado com areia fina |
| Baixa capacidade de deformação | Alto consumo de cimento na argamassa |
| Retração | Camada muito espessa |

Tabela 4 – Principais causas do descolamento em argamassas.

A utilização de chapisco com areia fina ou a ausência de chapisco aliados à a limpeza inadequada nesta etapa de aplicação diminui a aderência da argamassa devido à uma falta de rugosidade do substrato. Além disto, camadas muito espessas de argamassa favorecem o processo de retração e perda de água para a superfície, o que diminui a absorção de água no substrato e por consequência diminuição da aderência.

O alto consumo de cimento na argamassa se relaciona com a capacidade de absorver deformações consequentes de solicitações de temperatura e de movimentação de água. As imagens “A” e “B” da Figura 13 demonstram este comportamento, a partir da perspectiva do mecanismo de descolamento proposto por (PEREIRA, 2007), sob a ótica dos processos de absorção e evaporação de água num sistema de revestimento em argamassa.

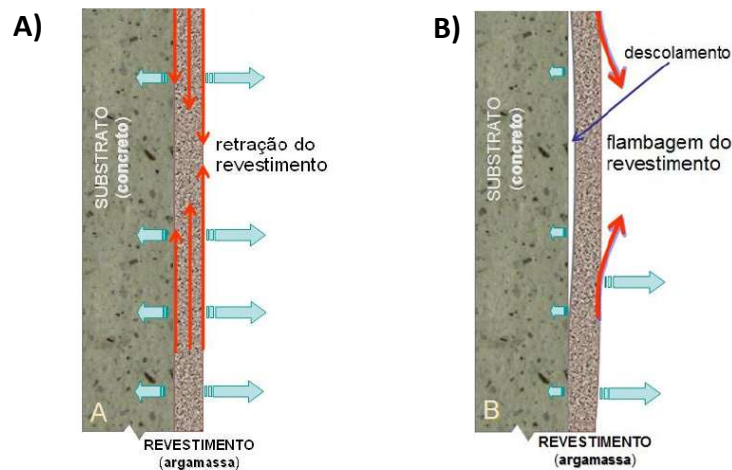


Figura 13 – Solicitação e condição inicial (“A”) e formação do descolamento (“B”) (adaptado, PEREIRA,2007).

A espessura relativamente pequena da maioria dos materiais de revestimento e a presença de ar entre as camadas dos mesmos como resultado da perda de aderência com o substrato são dois dos fatos que justificam o estudo deste fenômeno com termografia de infravermelho. A presença de ar perto da superfície gera nessa área diferenças de temperatura comparada com uma área vizinha em condições normais, o que permite a identificação desta patologia. (PAVON, 2017).

A Figura 14 aponta um dos resultados de Mario (2011), que identificou regiões com suspeita de descolamentos em fachadas com revestimento em argamassa, como exemplo de aplicação da técnica termográfica com enfoque nesta patologia.

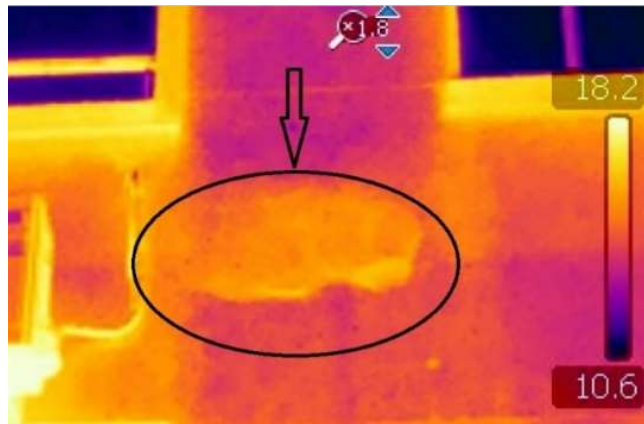


Figura 14 – Evidência de descolamento (adaptado, MARIO, 2011)

2.3.3 Manchas e Eflorescência

As manchas em paredes de edificações correspondem a alterações cromáticas ou de brilho em zonas circunscritas do revestimento e contrastantes com as zonas vizinhas. As manchas ocorrem com muita frequência em paredes externas devido a maior exposição aos agentes climáticos, associadas, na maioria dos casos, à presença de umidade (VILHENA, 2003; IPQ, 1982, *apud* SANTOS, 2017). Segundo Gaspar (2009), há vários tipos de manifestações, dentre os principais, manchas por sujidade, umidade, termofereze, origem biológica e corrosão.

Brito e Flores-Colen (2009) atribuem o aparecimento das manchas em fachadas de edificações à inexistente ou deficiente manutenção, e podem conduzir ao aumento da degradação física dos vários componentes da fachada, diminuindo a sua resistência às solicitações do meio ambiente. A Tabela 5 aponta as principais causas do aparecimento de manchas sob essa perspectiva.

| Ações Naturais | | |
|---|--|---|
| Física | Química | Biológica |
| <ul style="list-style-type: none"> - Nível de exposição solar - Incidência dos ventos predominantes - Umedecimento contínuo ou alternado | <ul style="list-style-type: none"> - Presença de sais - Poluição - Oxidação | <ul style="list-style-type: none"> - Vegetação - Fungos |
| Processo (projeto e execução) e Utilização | | |
| <ul style="list-style-type: none"> - Deficiência ou ausência de detalhamentos construtivos - Falhas ou fissuras na fachada - Geometria da fachada (zonas planas, com saliências, etc.) - Características da superfície dos revestimentos (porosidade, rugosidade, etc.) - Variações na preparação da argamassa de reboco (quantidade de água, percentagem de ligante, pigmentos, etc.) - Preparação e estado do suporte - Ação humana (vandalismo, colocação de aparelhos de ar condicionado, plantações, etc.) - Deficientes ações de manutenção ou sua ausência | | |

Tabela 5 – Causas do aparecimento de manchas (SANTOS, 2017)

A Tabela 5, os agentes naturais, que favorecem a degradação como a exposição solar e umedecimento contínuo favorecem o manchamento através da degradação da película de tinta, em superfícies com este acabamento. Destaca ainda a presença de falhas ou fissuras na fachada, que favorecem a entrada de água em camadas internas do revestimento acelerando os processos de degradação químicos e até mesmo reprodução de agentes biológicos.

Dentre as várias configurações de manchas possíveis, Flores-Colen (2009) classifica os principais tipos de manchas entre eflorescência, manchas por sujidade, umidade, microrganismos, vegetações parasitas e corrosão. A Tabela 6 ilustra os principais tipos de manchas destacados.

| Eflorescência | Sujidade | Umidade |
|---|---|---|
|  |  |  |
| Microrganismos | Vegetação parasitária | Corrosão |
|  |  |  |

Tabela 6 – Quadro com principais tipos de manchas. Adaptado de Santos (2017).

As eflorescências são depósitos salinos na superfície de revestimentos, provenientes da migração de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes de alvenaria. Manifestam-se tipicamente pela presença de manchas de umidade e pelo acúmulo de pó branco sobre a superfície (BAUER, 1997; CINCOTTO, 1988).

Segundo Gaspar (2009), a água presente no interior dos elementos de construção pode migrar para o exterior transportando sais dissolvidos nestes. Conforme a água se aproxima do exterior, ela evapora e os sais se cristalizam na superfície.

As manchas por sujidades, pela definição de Flores-Colen (2009), são provenientes da acumulação na superfície de material estranho de diversa natureza (poeiras, fuligem), com espessura variável, pouco aderente e de fraca coesão, provenientes do próprio revestimento, do meio ambiente ou do suporte de aplicação.

Já as manchas por umidade, são alterações de cor devido a zonas mais umedecidas do que outras, com diferentes origens: umidade de obra, terreno, precipitação ou fenômenos de higroscopicidade. (FLORES-COLEN, 2009). De maneira geral, as principais causas deste tipo de mancha figuram entre as ações de ventos e chuvas dirigidas.

De maneira geral, as manchas causadas por microrganismos, vegetações parasitas e por corrosão, estão ligados à ação da água nas fachadas. Santos (2017) aponta que a menor exposição ao sol e alta umidade propiciam o crescimento de agentes biológicos. Segundo Flores-Colen (2009), os efeitos de corrosão sobre a fachada são alterações cromáticas na superfície do reboco, resultantes da deposição de produtos de corrosão de elementos metálicos (óxidos) e que são transportados pela água.

Na maioria dos casos, o efeito de uma mancha, qualquer que seja sua origem, gera alterações na cor e na superfície da fachada. Tais alterações podem alterar o comportamento em relação à radiação, uma vez que a absorvância dessa região pode sofrer alteração.

O termo “absortância” é definido como a quantidade de energia radiante que atinge uma superfície e que é absorvida por ela. A absorvância de uma superfície será função da absorvância do material que compõe a sua camada superficial exposta à radiação e de outras características da superfície, como rugosidade, ondulação, etc. (DORNELLES, 2008).

Dentro deste panorama, justifica-se a presença do estudo de manchas a partir da técnica termográfica. Muito embora se constata uma falta de estudos com este enfoque específico, elencou-se estas patologias como relevantes ao estudo bem como fissurações e descolamentos, já detalhados na bibliografia.

2.3.4 Pulverulência

A pulverulência ou desagregação geralmente se manifesta pela desagregação de vários componentes da argamassa, de forma esfarelada conduzindo ao desprendimento de materiais sob a forma de pó; ou pela perda ou lavagem de partículas finas da argamassa e facilidade de desprendimento com pequenos esforços, segundo Gaspar (2009). A tabela 7 mostra as considerações de Bauer (1997) acerca das causas deste quadro patológico.

| | |
|---|--|
| Pulverulência (desagregação) | Alta concentração de materiais pulverulentos e torrões de argila no agregado |
| | Traço pobre em aglomerantes |
| | Excesso de cal |
| | Camada muito espessa do reboco |
| | Aplicação prematura de pintura |

Tabela 7 – Fatores que levam a desagregação.

A desagregação pode se manifestar, também, associada a outras patologias. Por exemplo posteriormente ao descolamento, como consequência da exposição das camadas mais internas do revestimento, geralmente menos rígidas, aos agentes atmosféricos. (MACÊDO, 2017).

A Figura 15 exemplifica um aparecimento de região pulverulenta associado à patologia de descolamento.



Figura 15 – Desagregação em fachada com acabamento em reboco e pintura de edifício em Brasília, registro LEM – UnB.

Pelo mesmo mecanismo explicado no caso das manchas, a pulverulência se caracteriza como um sintoma muitas vezes pré-patológico e que pode alterar a resposta da região pulverulenta em relação à radiação, principalmente pela alteração significativa de textura nas superfícies. Neste cenário, justifica-se a relevância desta patologia para os objetivos do presente estudo.

2.3.5 Patologias no sistema de pintura

Esta seção pretende mostrar aspectos ligados às patologias mais comuns no sistema de pintura dos edifícios de Brasília-DF. Serão considerados, descolamentos, fissurações e bolhas na pintura, devido a frequência de ocorrência nos mapeamentos de fachada fornecidos por Santos (2018).

2.3.5.1 Descolamento de Pintura

Garrido (2010) caracteriza o destacamento (descolamento) como uma perda, geralmente localizada, da película de tinta que reveste a fachada. Este desprendimento local é normalmente antecedido por uma perda de aderência entre esta e seu substrato. Ainda a espessura da película de tinta, o ligante, a textura da película e a preparação da superfície como fatores de degradação que influenciam no descolamento e em outras patologias.

2.3.5.2 Fissuração na Pintura

As fissurações no sistema de pintura podem estar associadas a diversos fatores desde erros na execução da pintura, erro na concentração de solventes até movimentações hidrosópicas não previstas ou ainda, tintas de baixa qualidade.

Segundo Garrido (2010), o ligante da tinta está intimamente relacionado à susceptibilidade desta à fissuração. Pinturas com tinta a óleo superfície lisa (sem textura) apresentam fissuração típica generalizada do tipo “craquelê” ou “pele de crocodilo”. Os óleos sicativos são ligantes autoxidáveis e, portanto, ao longo do processo de endurecimento, a película fica mais quebradiça e sujeita a retração.

Ao contrário das fissurações em outros materiais, nos revestimentos de pintura, a fissuração usualmente tem menos de 1mm de abertura, o que torna difícil a identificação do tamanho sem equipamentos de ampliação (Chai *et al.*, 2015). A Figura 16 ilustra a configuração típica de fissurações em pinturas, que pode estar associada inclusive ao descolamento da película de tinta.



Figura 16 – Fissuração associada com descolamento no sistema de pintura, registro do LEM – UnB

2.3.5.3 Bolhas na Pintura

O aparecimento de bolhas na pintura é produto da perda local de adesão da pintura à superfície do revestimento na maioria das ocorrências, o que gera um levantamento do filme da superfície. Esta falta de adesão pode ocorrer devido a fatores como exposição à umidade ou preparação inadequada da superfície antes do recebimento da pintura.

Macêdo (2017) indica que outros motivos que podem levar a fragilização da película de tinta são a exposição ao oxigênio no ar, radiação ultravioleta e a entrada de água. As bolhas, de maneira geral são resultado de padrões resultantes de um levantamento localizado da película de pintura, devido a perda de adesão por conta de umidade infiltrada através de paredes externas ou preparação inadequada da base para a pintura. Além disto, o aparecimento de bolhas na

pintura também pode estar associado ao mecanismo de degradação dos descolamentos, conforme a Figura 17.



Figura 17 – Bolhas na pintura e descolamento.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

A metodologia do presente trabalho foi organizada em dois ciclos principais: aquisição e análise de dados.

A aquisição consiste nas seguintes etapas:

1. Seleção de amostras para o estudo;
2. Simulação higrotérmica de fachadas;
3. Inspeção termográfica;

A análise dos dados divide-se nos procedimentos de:

4. Tratamento de termogramas e análise qualitativa;
5. Análise quantitativa de patologias;

Nas seções deste capítulo, serão detalhados os objetivos e procedimentos de cada etapa, bem como a relação destes com as variáveis de estudo.

3.1. Variáveis de estudo

As variáveis de estudo consistem no comportamento térmico das patologias em revestimentos em argamassa nas situações de aquecimento e resfriamento e a influência de fatores que afetam a termografia tais como o efeito nas patologias da ação do sol sobre a fachada, a partir da orientação da fachada. A Tabela 8 organiza as variáveis do estudo mencionadas.

| Variáveis do estudo | Objeto de observação |
|----------------------------|--|
| Patologias de Fachada | Fissuração Descolamento Eflorescências Manchas Pulverulência Fissura na pintura Descolamento de pintura Bolhas na pintura |
| Incidência Solar | Orientações das amostras Delta - T dos defeitos |

Tabela 8 – Variáveis do estudo e respectivos objetos de observação.

A primeira variável de estudo elencada na Tabela 8 consiste nas singularidades de cada patologia. Cada anomalia apresenta um mecanismo de formação e degradação diferente e portanto, o seu comportamento térmico nos ciclos de aquecimento e resfriamento acompanha esta variação, justificando a observação de cada patologia como variável de estudo.

O efeito da incidência direta do sol em fachadas de edifícios interfere na absorção de radiação e este efeito varia conforme a própria orientação de uma amostra de fachada, principalmente nas direções Leste e Oeste.

Em suma, as variáveis do estudo bem como seus objetos de observação viabilizam a investigação a qual se propõe o trabalho dentro do que já foi citado na seção de objetivos gerais e específicos.

3.2. Seleção de Amostras de Estudo

A partir do universo de edifícios avaliados pelo Laboratório de Ensaio de Materiais - LEM – UnB e de edifícios do Plano Piloto, foram selecionadas amostras de fachada contendo cada tipo de patologia. Neste sentido, as amostras selecionadas foram escolhidas a partir de edifícios que abrangeram os seguintes critérios:

- Fachada em acabamento em reboco e pintura;
- Fachada com registro fotográfico e mapeamento de anomalias de Santos (2018);
- Edifício com amostras representativas das orientações Leste e Oeste;
- Edifício localizado em ambiente que permita a aquisição de imagens respeitando o ângulo máximo de 45°, de acordo com as especificações da câmera;
- Fachada sem sinais de revitalização ou grandes reparos;

A Figura 18 apresenta uma composição de amostra de fachada com seu respectivo mapeamento de anomalias, onde cada cor representa um tipo de patologia mapeada.

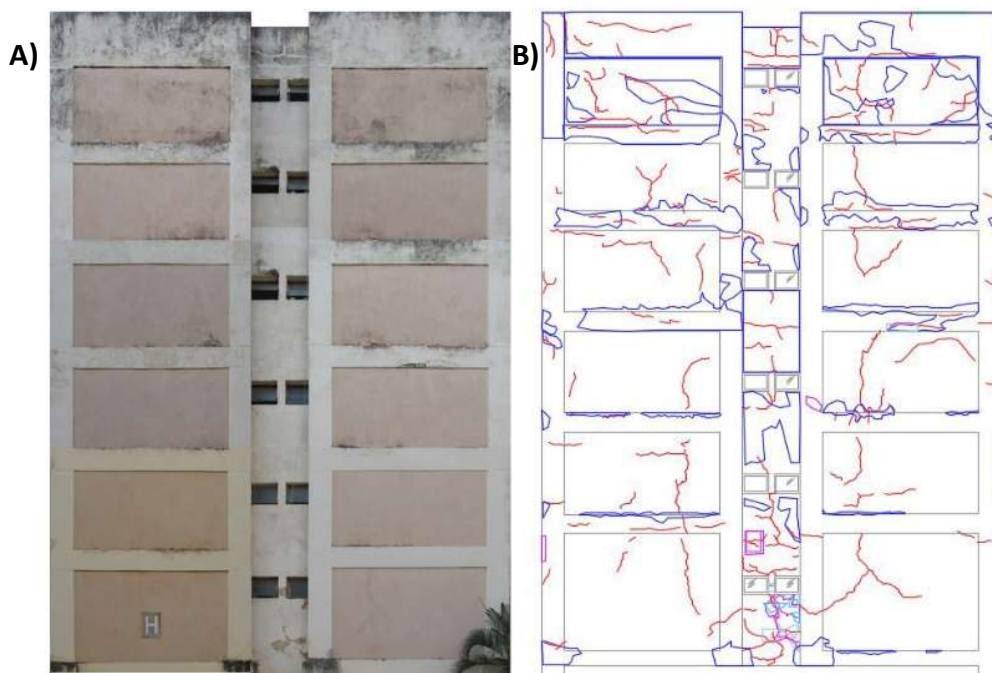


Figura 18 – Exemplo de fachada para seleção de amostras: registro fotográfico ortogonalizado (“A”) e mapeamento de anomalias (“B”) por Santos (2018).

3.3. Simulação Higrotérmica

A simulação higrotérmica tem o intuito de determinar gradientes de temperatura que indiquem os melhores momentos de nitidez das patologias bem como justificar o comportamento observado em outros momentos.

A metodologia desta etapa é baseada nas simulações numéricas de Pavon (2017) e Zaroni (2015) utilizando, portanto, o *software* WUFI PRO 5.3. Para a simulação se utilizou o arquivo “*Typical Meteorological Year*” (TMY) elaborado por Roriz (2012) com base na medição da estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em Brasília-DF entre os anos de 2000 e 2010.

De maneira geral, no WUFI, para a simulação do comportamento do edifício, o procedimento da simulação é composto por 4 etapas:

1. Modelagem;
2. Processamento;
3. Extração de dados numéricos;
4. Tratamento de dados;

A modelagem consiste em definir o sistema construtivo alimentando o software com os seguintes dados de entrada:

- Orientação da fachada e período de simulação;
- Inclinação, altura, direção da chuva da fachada;
- Além das espessuras das camadas do revestimento e seus respectivos dados de emissividade e higroscopicidade;
- Valores da absorvância da cor predominante da fachada;
- Pontos de aferição de temperaturas;

Os dados relativos aos materiais tais como emissividade e curvas higroscópicas, utilizou-se resultados de ensaiados pelo LEM – UnB. Para a absorvância dos materiais, utilizou-se como

base os resultados de Dornelles (2008) que ensaiou tintas de vários fabricantes comerciais (Figuras 89 a 91 do Anexo A).

A Figura 19 mostra as espessuras e revestimento modelados para simulação higroscópica. No Anexo A, constam as Figuras 80 até 88, que ilustram o procedimento modelagem supracitado.

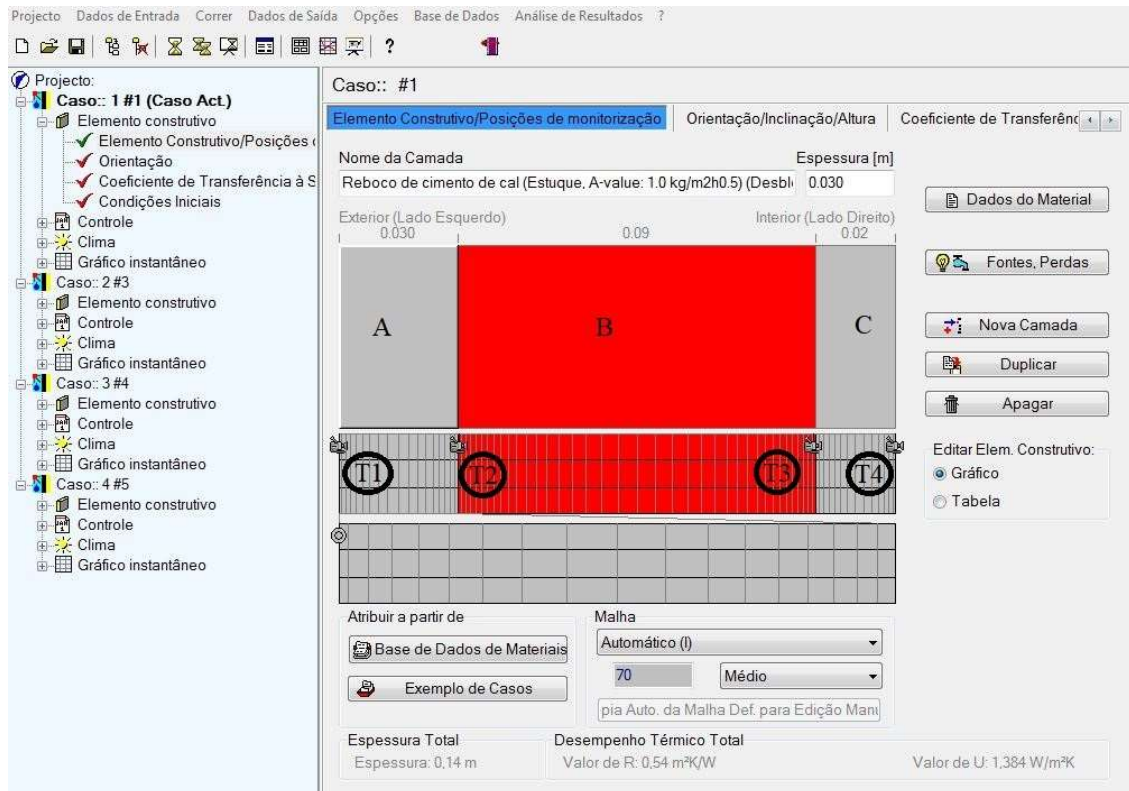


Figura 19 – Definição das camadas e pontos de aferição no WUFI.

A partir da Figura 19, tem-se:

- Camada “A”: Reboco Externo = 30 mm;
- Camada “B”: Bloco Cerâmico = 9cm;
- Camada “C”: Reboco Interno = 25mm;
- Pontos T1, T2, T3 e T4: pontos de aferição de temperatura;

Após a modelagem, o processamento acontece através do comando “*Correr simulação*” (faz o WUFI calcular o fluxo de calor a partir do regime transiente) e então a extração de dados numéricos definida obtém as seguintes informações no período simulado:

- Precipitação horária;
- Radiação total horária;
- Temperatura ambiente;
- Temperatura nos pontos T1 a T4 (da Figura 19);

A etapa de tratamento de dados se deu a partir de resultados em um período de 24h sem precipitação que relaciona as grandezas da Tabela 9 com o fluxo de calor durante o ciclo de 1 dia selecionado.

| Parâmetros de Análise | Sigla | Cálculo |
|---|-----------------|----------------------|
| Temperatura ambiente externo | T_{ar} | medição do WUFI |
| Temperatura Superficial do revestimento | T_{sup} | medição do WUFI (T1) |
| Gradiente Superfície – Bloco | $G_{sup-bloco}$ | T1 - T2 |

Tabela 9 – Parâmetros utilizados para análise da simulação

Os resultados das simulações são semelhantes aos da Figura 6 e são apresentados nas seções devidas com as devidas justificativas. A Figura 20 a seguir ilustra um exemplo do produto final da simulação higtotérmica a partir da modelagem definida nesta metodologia, de uma amostra de fachada Leste.

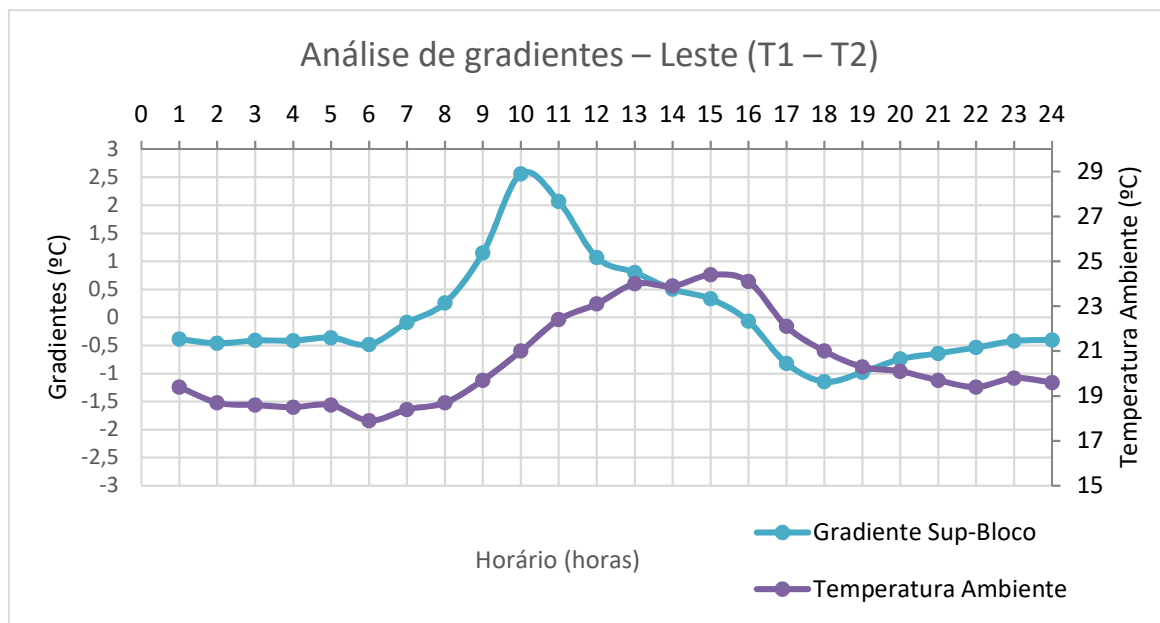


Figura 20 – Exemplo de produto gráfico de simulação Higrotérmica.

3.4. Inspeção Termográfica

Para a aquisição de imagens, foi utilizado o equipamento da marca FLIR, modelo FLIR 400, com uma faixa de temperatura de -20° a 120°C , precisão de 2%, faixa espectral de $7,5$ a $13 \mu\text{m}$, com resolução de 320×240 pixels, com lente de 25 graus e IFOV $1,363 \text{ mrad}$. O equipamento de aferição da temperatura ambiente e umidade relativa utilizado foi um psicrômetro de umidade sem fuso com termômetro, modelo MO297. A Figura 21 permite observar os modelos dos equipamentos supracitados.



Figura 21 – FLIR 400 (“A”) e Psicrômetro MO297 (“B”).

O procedimento e coleta de dados para aquisição de imagens termográficas se baseia segundo o estudo de Bauer *et al.* (2016b). Para as condições de aquecimento e de resfriamento, foram definidos horários de baterias de aquisição de imagens e medições de temperatura ambiente, temperatura aparente refletida e umidade relativa do ar nas amostras selecionadas.

São utilizados pontos fixos para a aquisição das imagens térmicas com distâncias conhecidas da fachada. Com base no mapeamento de anomalias, a posição relativa a cada patologia é localizada na fachada. Além disto, busca-se sempre a sobreposição de áreas de uma imagem para outra, de maneira a evitar a perda de detalhes nos procedimentos de mudança de pontos para aquisição das fotos térmicas.

De acordo com as etapas de Bauer *et al.* (2016b) a rotina de inspeção segue as seguintes etapas:

- Aferição da temperatura aparente refletida: fixar uma lâmina de alumínio na superfície da fachada e obtenção da imagem a uma distância de dois metros (ASTM E1862-97);
- Determinação da temperatura ambiente e umidade relativa;
- Posicionamento do termografista nos mesmos pontos fixos definidos para aquisição de imagens em horários diferentes;
- Ajuste do foco térmico e aquisição de imagens (termogramas);
- Análise e tratamento das imagens no *software* Flir QuickReport 1.2;

3.5. Tratamento de termogramas e análises qualitativas

A partir do resultado da inspeção (termogramas e dados de umidade, temperatura ambiente e temperatura aparente refletida), esta etapa visa tratar as imagens térmicas para identificar qualitativamente as anomalias em confronto com o mapeamento, inspeções visuais e fotográficas. Será utilizado o *software* Flir QuickReport 1.2 para os procedimentos de correção.

A Figura 22 mostra o layout do *software* supracitado, identificando nos quadros vermelhos as regiões para entrada de parâmetros de correção tais como Temperatura Refletida, Temperatura Ambiente, Umidade Relativa e Distância do alvo. Além disto, no quadro inferior, destaca-se o ajuste de escala, essencial para a melhor nitidez das imagens.

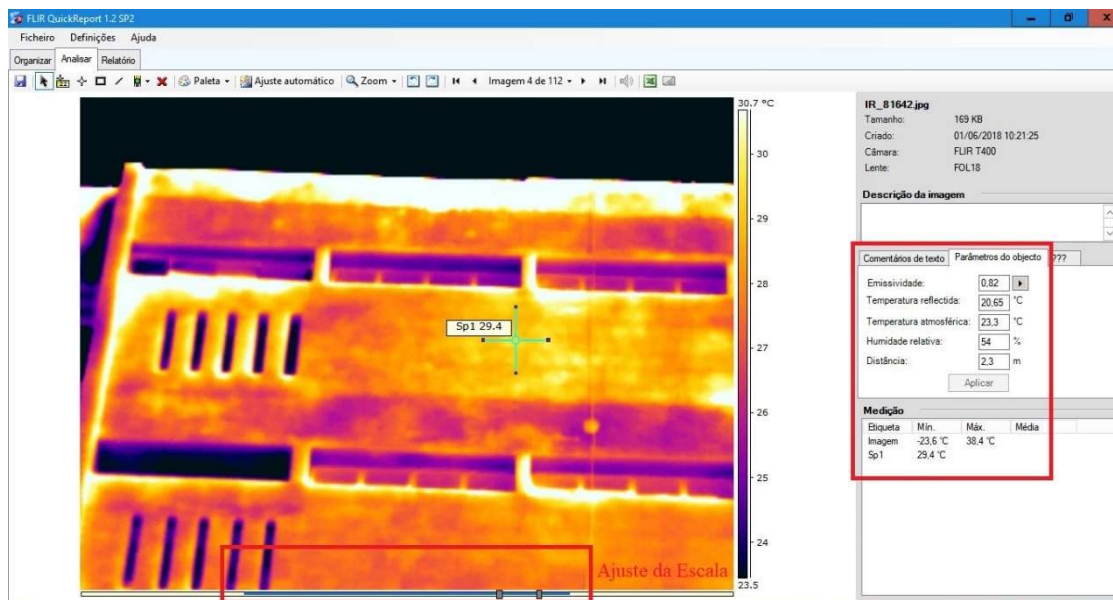


Figura 22 – Interface do Flir QuickReport 1.2, inserção de parâmetros (direita) e ajuste de escala (abaixo)

Inseridos os parâmetros de correção e ajuste da a escala para melhorar a nitidez para cada termograma das amostras, é realizado uma análise qualitativa acerca de como cada anomalia se apresentou nos diversos momentos da inspeção termográfica em confronto com registros fotográficos e mapeamentos de anomalias.

É importante ressaltar que nesta etapa, é feita uma triagem dos termogramas que serão analisados quantitativamente, pois nem todas as imagens de inspeção são nítidas o suficiente para a extração de informações térmicas.

3.6. Análise quantitativa de patologias

Inseridos os parâmetros de correção e ajustada a escala para melhorar a nitidez, ferramentas de análise do *software* Flir QuickReport 1.2 (*selecionar, medidor de ponto ou spot, área, linha, isoterma e paleta de cores*) providenciam a extração de informações de temperatura para a análise quantitativa das patologias.

Nesta etapa, o objetivo é calcular o Delta – T de cada defeito em relação a regiões sem defeito, denominadas *regiões padrão* em todos os momentos inspecionados para cada amostra. Nesta seção, ainda se relaciona o comportamento do Delta – T com a orientação de cada amostra e com os ciclos de aquecimento e resfriamento.

Pela singularidade de cada patologia, a extração de informações de temperatura que viabilizem o cálculo do Delta – T segue um padrão para cada defeito utilizando as ferramentas do Flir QuickReport 1.2 de maneira distinta. As Tabelas 10 e 11 detalham a quantidade de amostras a serem analisadas por patologia e trazem informações providenciais para as análises e resultados.

É importante ressaltar que a escolha de amostras para a análise quantitativa busca atingir o objetivo do trabalho: estudar o Delta – T de cada amostra e relacionar esta grandeza à incidência de sol na fachada em diversos momentos. Portanto, as Tabelas 10 e 11 mostram os períodos de inspeção e os horários selecionados para análise dos termogramas. Além disso, as Tabelas 10 e 11 informam o período de inspeção de cada amostra onde percebe-se que o período matutino corresponde ao aquecimento e o vespertino ao resfriamento.

| Identificação da amostra | Patologia de Observação | Orientação da amostra | Inspecionada no período Matutino | Inspecionada no período Vespertino | Horários de inspeção |
|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------|---|---|--|
| F1 | Fissuração | Norte | X | | 10h30 - 11h30 |
| F2 | Fissuração | Oeste | X | | 10h30 - 11h30 |
| F3 | Fissuração | Oeste | | X | 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| F4 | Fissuração | Leste | | X | 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| D1 | Descolamento | Oeste | X | X | 8h30 - 10h00 - 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| D2 | Descolamento | Oeste | X | X | 8h30 - 10h00 - 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| D3 | Descolamento | Leste | X | X | 8h30 - 10h00 - 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| D4 | Descolamento | Leste | X | X | 8h30 - 10h00 - 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| M1 | Manchas | Norte | X | | 11h00 |
| M2 | Manchas | Leste | | X | 14h00 |
| E1 | Eflorescência | Leste | X | | 10h00 |
| P1 | Pulverulência | Oeste | X | | 10h00 |
| P2 | Pulverulência | Oeste | X | | 10h00 |
| P3 | Pulverulência | Leste | X | X | 8h30 - 10h00 - 12h00 - 14h00 - 16h00 |

Tabela 10 – Informações das amostras para análise quantitativa.

| Identificação da amostra | Patologia de Observação | Orientação da amostra | Inspecionada no período Matutino | Inspecionada no período Vespertino | Horários de inspeção |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|
| FP1 | Fissura de pintura | Oeste | X | X | 7h30 - 8h30 - 10h00 - 15h00 - 16h00 - 17h00 |
| FP2 | Fissura de pintura | Leste | X | X | 7h30 - 8h30 - 10h00 - 15h00 - 16h00 - 17h00 |
| DP1 | Descolamento de pintura | Leste | X | X | 7h30 - 9h30 - 11h00 - 15h00 |
| DP2 | Descolamento de pintura | Oeste | X | X | 8h30 - 10h00 - 12h00 - 14h00 - 16h00 |
| BP1 | Bolhas na pintura | Leste | X | X | 7h30 - 9h30 - 11h00 - 15h00 |
| BP2 | Bolhas na pintura | Oeste | X | X | 7h30 - 9h30 - 11h00 - 15h00 - 17h00 |

Tabela 11 – Informações das amostras do sistema de pintura para análise quantitativa.

Para a análise quantitativa no caso das amostras F1 a F4 a ferramenta de linhas e pontos do *software* Flir Quick Report 1.2 foi escolhida para verificar o Delta – T em vários momentos. Sobre o encaminhamento das fissuras foram traçadas linhas de temperatura no intuito de verificar o comportamento da região de fissura em relação à *região padrão*, que corresponde às regiões laterais das fissuras.

Neste sentido, o Delta – T consiste na diferença entre as maiores temperaturas nas linhas e as temperaturas médias nas *regiões padrões*. Processo semelhante de análise foi adotado para o estudo de fissuras de pintura.

No caso de descolamentos, selecionou-se a ferramenta *área* para calcular o Delta – T. Esta ferramenta permite calcular uma temperatura média dentro de uma seleção a ser posicionada região de descolamento bem como numa *região padrão* próxima, sem defeito.

A partir destas temperaturas médias nas áreas selecionadas, calcula-se a diferença de temperatura deste defeito em momento inspecionado. Processo semelhante de análise foi adotado para o estudo de descolamentos de pintura e bolhas de pintura.

O processo de análise quantitativa para as amostras de manchas, eflorescências e pulverulência se deram a partir do mapeamento dessas anomalias a partir da ferramenta isoterma. Esta ferramenta do Flir QuickReport 1.2 atribui uma cor cinza em pixels dentro de uma determinada faixa de temperatura escolhida pelo usuário. Neste sentido, ao mapear as áreas em cinza, percebe-se o efeito da temperatura de manchas, eflorescências e pulverulências nos termogramas, viabilizando o cálculo do Delta – T quando se relaciona a região do defeito com uma *região padrão* (sem defeito).

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Esta seção dedicada aos resultados está organizada a partir do estudo focado em cada tipo de patologia nos ciclos de aquecimento e resfriamento. Reúnem-se as informações retiradas dos termogramas através de registros fotográficos, tabelas, gráficos e termogramas.

4.1. Fissuração

4.1.1. Aquecimento

A Figura 23 ilustra um mapeamento de fissura e uma imagem térmica da amostra F1. Na Figura 24, a região de fissuração da amostra F1 é detalhada através de um registro fotográfico.

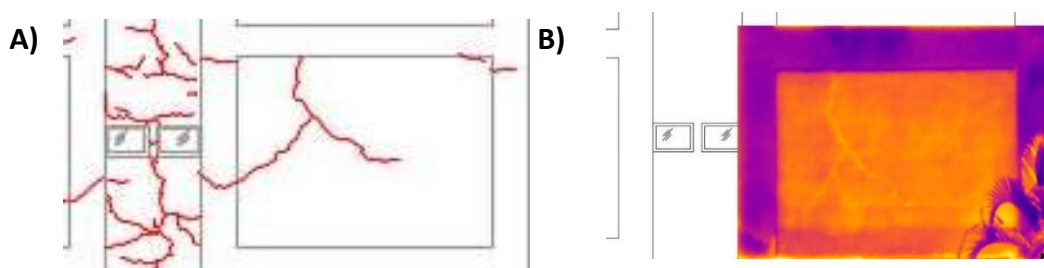


Figura 23 – Mapeamento de fissura por inspeção (“A”), registro termográfico ortogonalizado da região (“B”), da amostra F1.



Figura 24 – Registro fotográfico da região de fissuração na amostra F1 (LEM – UnB).

A imagem (B) da Figura 23 sugere qualitativamente, que a fissura se apresenta com temperatura maior, apresentando o comportamento esperado. A Figura 25 corrobora com esta afirmativa ao apresentar o termograma da região capturado às 10h30 da manhã.

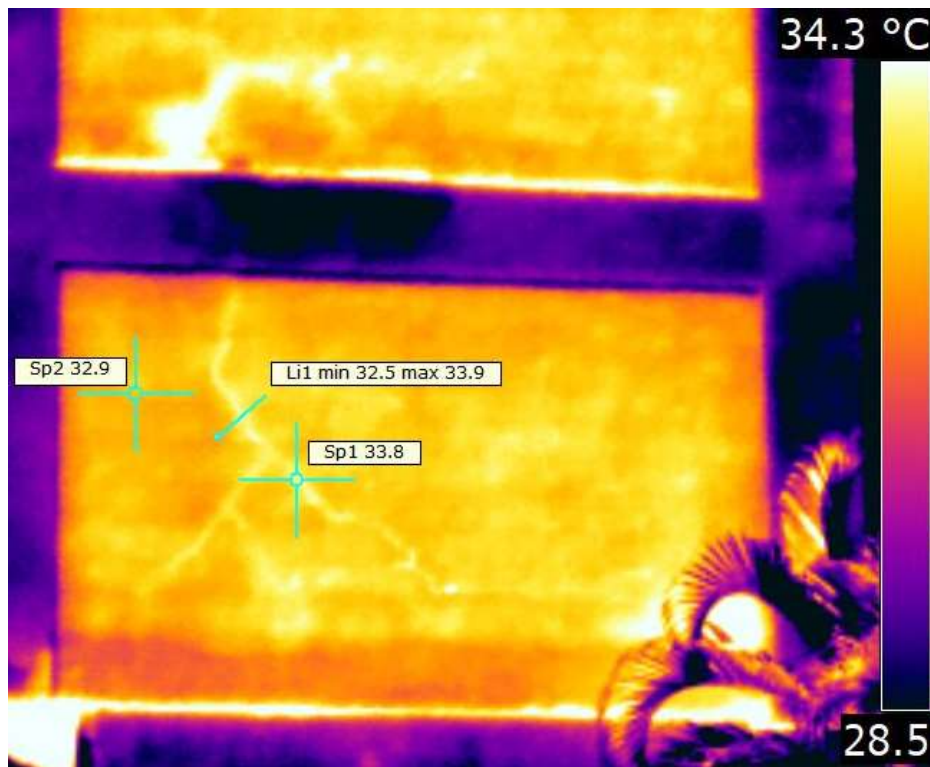


Figura 25 – Pontos “Sp1” e “Sp2” e linha “Li1” no termograma da amostra F1.

Valendo-se das informações de temperatura dos pontos “Sp1” (33,8 °C) e “Sp2” (32,9°C), o Delta-T se caracteriza pela diferença positiva de 0,9°C entre a região fissurada e adjacente, sem fissuras. A linha “Li1” traz como temperatura máxima 33,9°C, o que corrobora para a identificação do padrão de temperatura mais quente esperado neste tipo de patologia. Cabe lembrar que a amostra F1, de orientação Norte, recebeu incidência solar direta no período da manhã.

A amostra F2 tem direção Oeste e foi investigada sob aquecimento sem incidência solar direta. A Figura 26 mostra um recorte do mapeamento de fissuras e um registro fotográfico da região de análise da amostra.

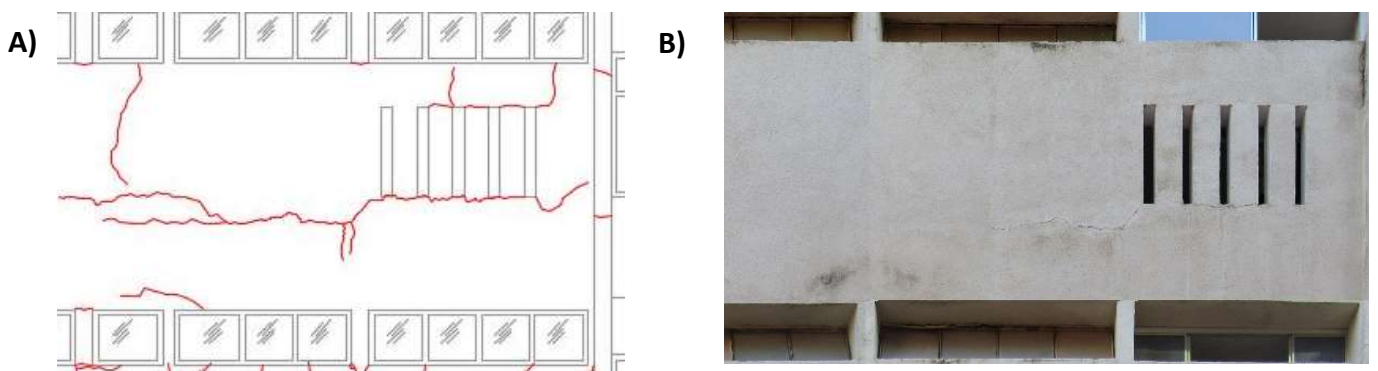


Figura 26 – Detalhe do mapeamento de fissuras (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra F2.

A Figura 27 traz o termograma mais nítido desta região fissurada, obtido às 11h30. É possível inferir juntamente como mapeamento, que existe uma marcação mais quente na região esperada para a fissura. Esta condição é menos evidente qualitativamente em relação ao termograma da Figura 25.

Para análise do Delta-T, foram traçadas 3 linhas: “Li1”, “Li2” e “Li3”, conforme a Figura 27. A temperatura de cada pixel contido ao longo destas linhas foi avaliada graficamente, viabilizando o cálculo do Delta-T através da diferença entre o pixel mais quente e a média das regiões adjacentes. As Figuras 28, 29 e 30 mostram os gráficos de temperatura de cada linha do termograma em comparação com a temperatura média nas regiões adjacentes à fissura.

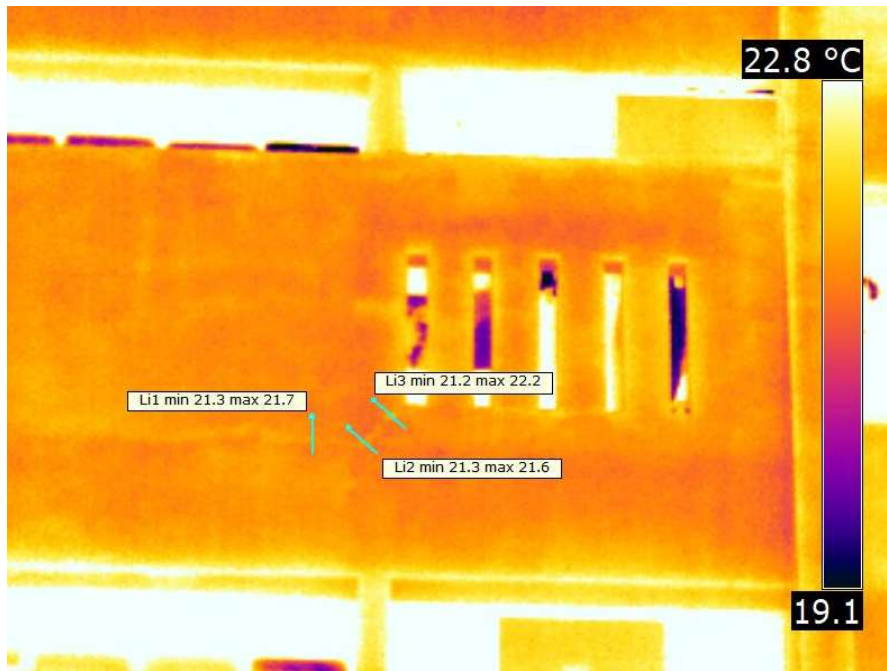


Figura 27 – Posição das linhas “Li1”, “Li2” e “Li3” no termograma da amostra F2.



Figura 28 – Gráfico de temperaturas da “Li1” e temperatura média nas regiões adjacentes na amostra F2.

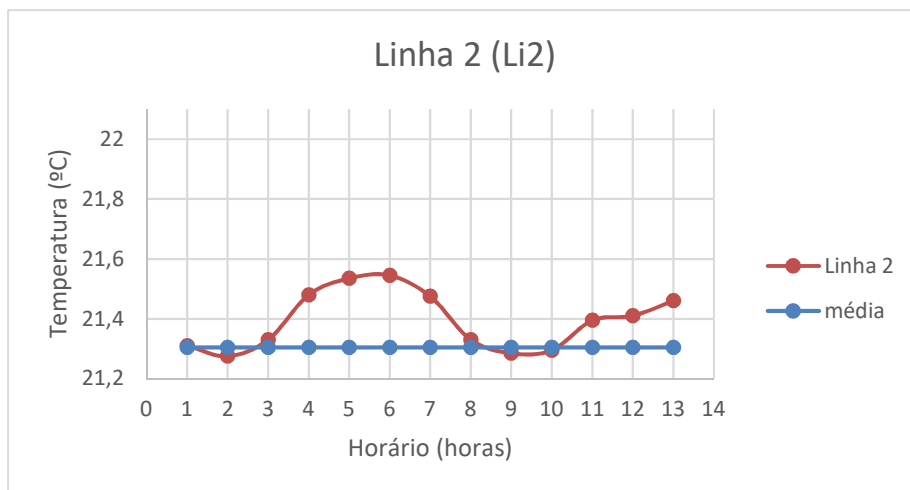


Figura 29 – Gráfico de temperaturas da “Li2” e temperatura média nas regiões adjacentes na amostra F2..

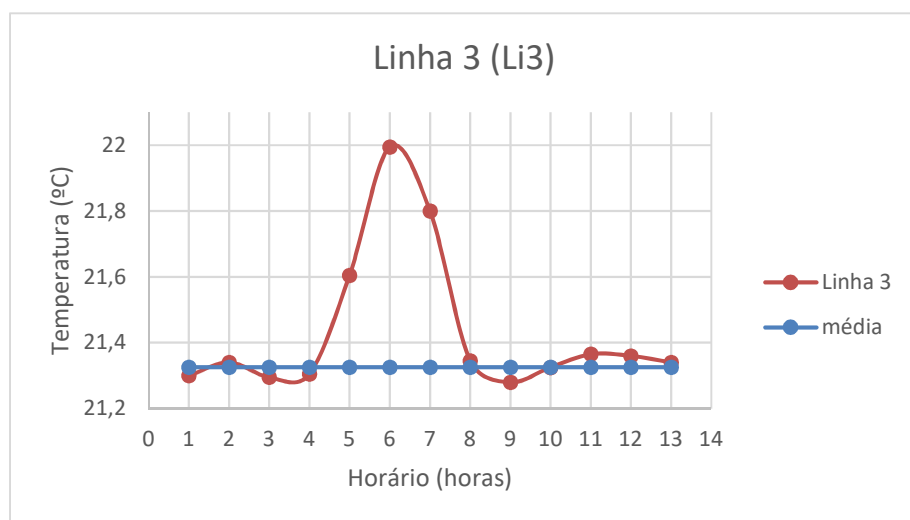


Figura 30 – Gráfico de temperaturas da “Li3” e temperatura média nas regiões adjacentes na amostra F2.

Os três gráficos apresentam temperaturas mais quentes em regiões intermediárias das linhas, o que sugere o comportamento de fissuração previsto pela revisão bibliográfica. Entretanto, a diferença entre a temperatura máxima na linha e a temperatura média nas regiões adjacentes não chega a ser tão expressiva quanto no caso da amostra F1.

As temperaturas médias nas regiões laterais das fissuras ficaram entre 21,3°C e 21,4°C enquanto as maiores temperaturas não passam de 22°C no caso da linha “Li3”. Este comportamento levou aos valores de Delta-T detalhados conforme a Tabela 12.

| Linha | Temperatura máxima | Temperatura média | Delta-T |
|--------------|---------------------------|--------------------------|----------------|
| Li1 | 21,67 | 21,43 | 0,24 |
| Li2 | 21,55 | 21,31 | 0,24 |
| Li3 | 22 | 21,33 | 0,67 |

Tabela 12 – Temperaturas (em °C) extraídas dos gráficos das Figuras 27, 28 e 29.

O padrão mais quente para fissuração é confirmado a partir das análises das amostras F1 e F2. Ainda que considerado o efeito da incidência solar, o padrão de temperaturas esperadas para uma região de fissura foi mais quente no aquecimento (período da manhã).

4.1.2. Resfriamento

A Figura 31 ilustra o mapeamento de fissuras e registro fotográfico da amostra F3, investigada em período vespertino, com incidência direta do sol, por ter orientação Oeste.

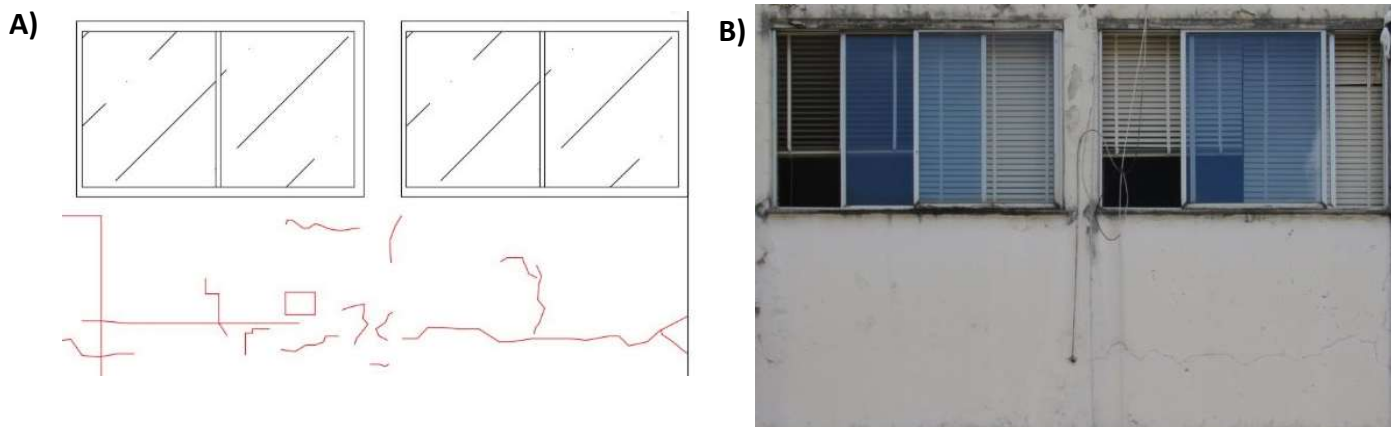


Figura 31 – Detalhe de mapeamento de fissuras (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra F3.

A imagem térmica mais nítida para a identificação de fissuras nesta amostra se deu às 16h00 e é evidenciada na Figura 32, onde foram traçadas 3 linhas para análise de temperatura e Delta-T.

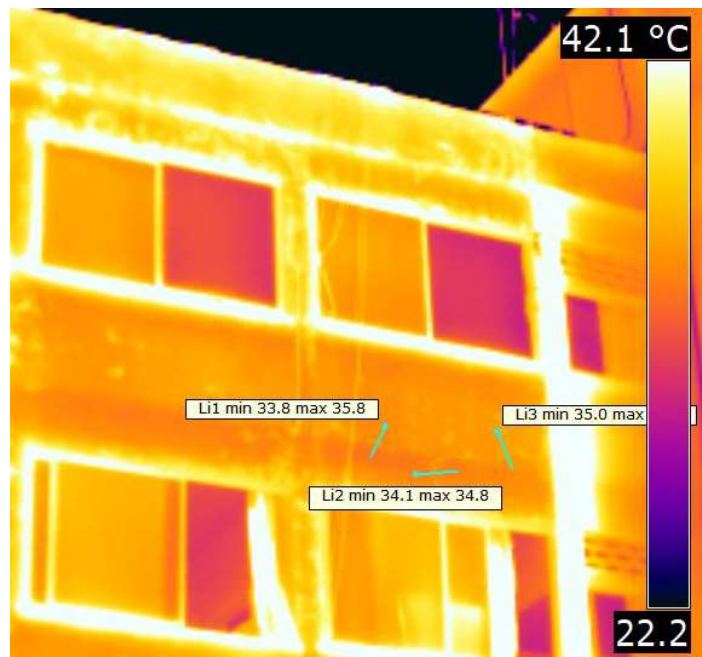


Figura 32 – Posição das linhas “Li1”, “Li2” e “Li3” no termograma da amostra F3.

A mesma análise gráfica realizada no aquecimento da amostra F2 foi replicada para as linhas marcadas no termograma da Figura 35. Os gráficos das Figuras 33, 34 e 35 ilustram o comportamento das linhas “Li1”, “Li2” e “Li3”, respectivamente.

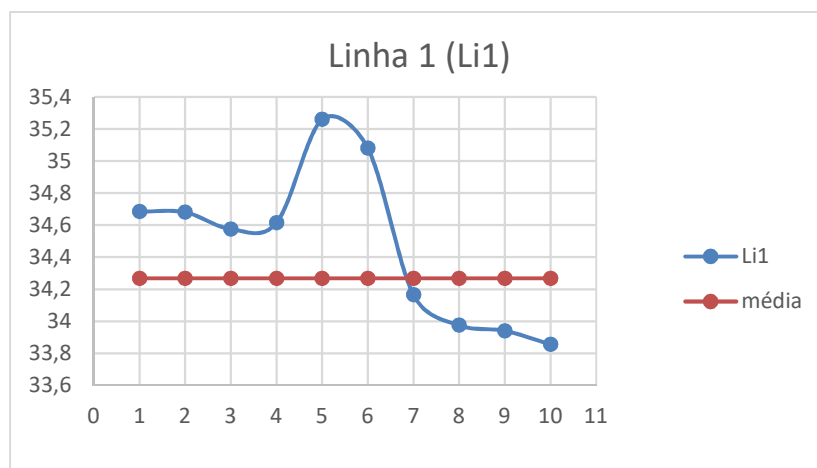


Figura 33 – Gráfico de temperatura na “Li1” e média das regiões adjacentes à fissura da amostra F3.

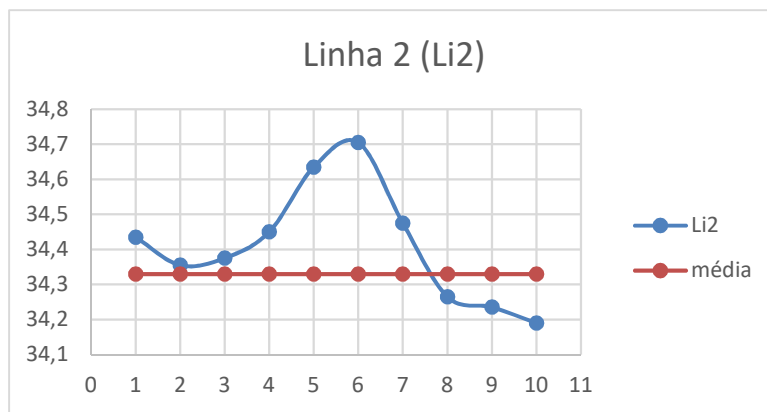


Figura 34 – Gráfico de temperatura na “Li2” e média nas regiões adjacentes a fissura da amostra F3

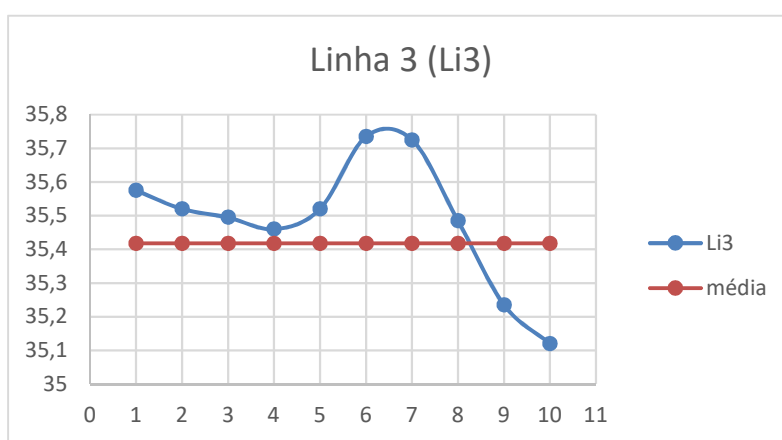


Figura 35 – Gráfico de temperatura na linha “Li3” e média das regiões adjacentes a fissura da amostra F3

Os três gráficos acima apresentaram um padrão semelhante às curvas anteriormente já estudadas na amostra F2, porém com um decréscimo acentuado de temperatura nos últimos *pixels* dos gráficos. Esse comportamento pode estar associado à posição da fissura em relação ao sistema construtivo devido a uma provável viga acima das janelas.

Quando se analisa o termograma da Figura 32 de maneira mais abrangente, é possível inferir que há uma região mais fria padronizada e bem definida localizada logo acima das janelas. Tal aspecto que sugere a identificação de uma viga, conforme o recorte da Figura 36.

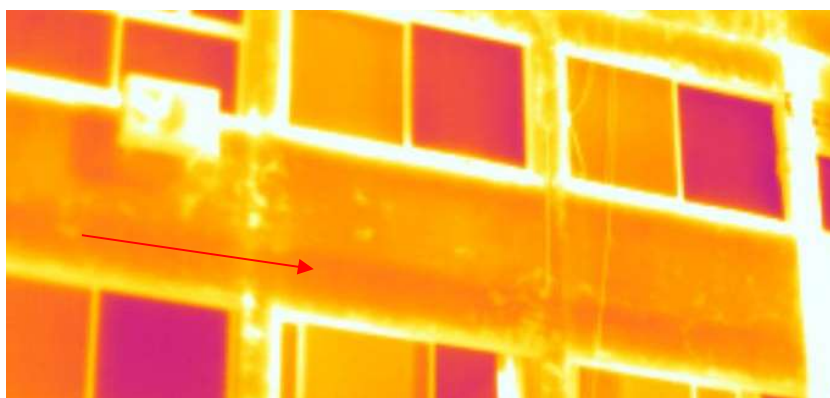


Figura 36 – Seta vermelha indicando a direção do comprimento da viga acima das janelas (padrão mais escuro de temperatura) no termograma da Figura 34.

A localização da fissura (região de ligação alvenaria-estrutura) propõe que esta patologia foi motivada por uma instabilidade de movimentação local, o que levou a uma concentração de tensões acumuladas no revestimento, resultando no quadro de fissuração observado. A técnica termográfica não foi suficiente para a confirmação de tais origens para uma fissuração, mas se mostra como ferramenta auxiliar e indicativa em estudos caso a caso.

Levando em consideração a influência da presença de uma viga nas linhas traçadas (Figura 32), o comportamento dos gráficos das Figuras 33 a 35 é esperado e sumarizado pela Tabela 13 que apresenta o cálculo do Delta-T.

| Linha | Temperatura máxima | Temperatura média | Delta-T |
|--------------|---------------------------|--------------------------|----------------|
| Li1 | 35,26 | 34,27 | 0,99 |
| Li2 | 34,71 | 34,33 | 0,38 |
| Li3 | 35,74 | 35,42 | 0,32 |

Tabela 13 - Temperaturas (em °C) extraídas dos gráficos das Figuras 35, 36 e 37.

A Tabela 13 mostra as temperaturas máximas e médias em cada linha, onde a temperatura média foi calculada com exclusão das maiores temperaturas, para considerar somente a média das regiões adjacentes à fissura. Além disto, a Tabela 13 mostra os valores de Delta-T de cada linha.

A amostra F4 com orientação Leste, é ilustrada na Figura 37 através de um mapeamento de fissura (“A”) e do registro fotográfico localizado (“B”).

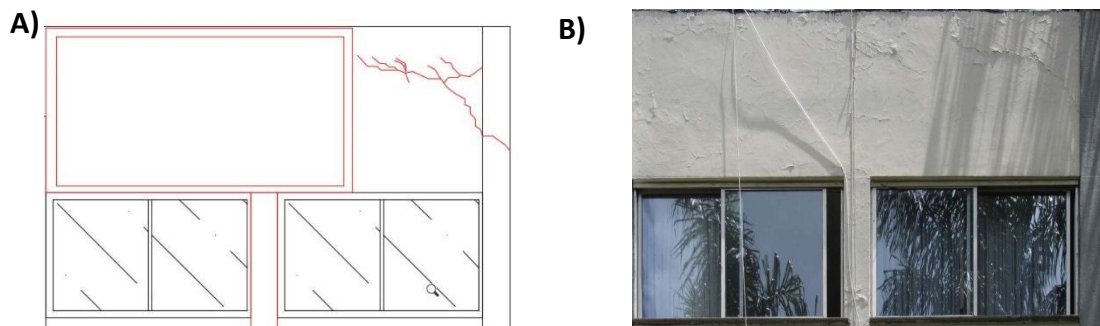


Figura 37 - Detalhe de mapeamento de fissuras (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra F4.

A fissura escolhida na amostra F4 para a análise tem formato diagonal na parte superior da amostra, conforme evidenciado na imagem “A” da Figura 37. Na Figura 38 foi possível examinar os termogramas obtidos nos horários previstos na metodologia.



Figura 38 – Termogramas às 12h (“A”), 14h (“B”) e 16h (“C”) da amostra F4

Na amostra F4, nos períodos de inspeção, não ficou evidente a fissuração inclinada indicada no mapeamento de anomalias, inviabilizando assim o estudo do Delta-T por não ser possível a localização das regiões fissuradas e não fissuradas.

No intuito de investigar a falta de contraste da fissura a partir da termografia, foi resgatado um recorte da simulação termográfica da fachada correspondente a esta amostra, num dia sem precipitação, a partir do gráfico da Figura 39.

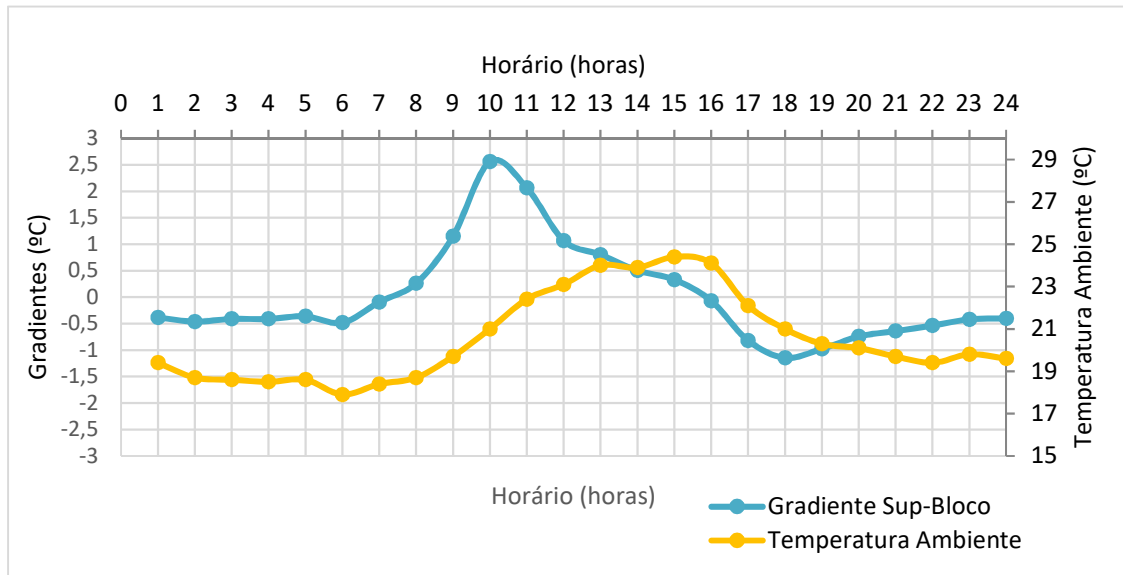


Figura 39 – Gráfico da Simulação numérica para análise de gradientes da amostra F4.

A simulação numérica mostra que nos horários iniciais do resfriamento (12h e 14h), o valor do gradiente de temperatura fica em torno de 0,5°C tal fato torna a visibilidade de patologias no revestimento menor do que se comparada no período de aquecimento, que atingiu valores de até 2,5 °C (às 10h). Além disto, a curva de temperatura ainda não apresenta uma tendência de resfriamento bem definida.

Nos momentos finais do ciclo de arrefecimento (16h às 18h), a curva de gradiente inicia uma queda mais acentuada partindo de cerca de 0°C (16h) atingindo cerca de -1°C (18h). Da mesma maneira, a curva de temperatura começa uma queda acentuada a partir das 16h.

Os dados numéricos dos gradientes e da temperatura ambiente na fachada da amostra F4 apontam que no ciclo do resfriamento, a dificuldade de notar patologias é maior por conta da

não incidência do sol já esperada nesta fachada, bem como pelos baixos valores de gradiente de temperatura.

4.2. Descolamento

4.2.1. Aquecimento

As Figuras 40 a 43 ilustram uma composição do mapeamento com um registro fotográfico de cada amostra de descolamento (D1 a D4), além da orientação cardinal de cada uma.

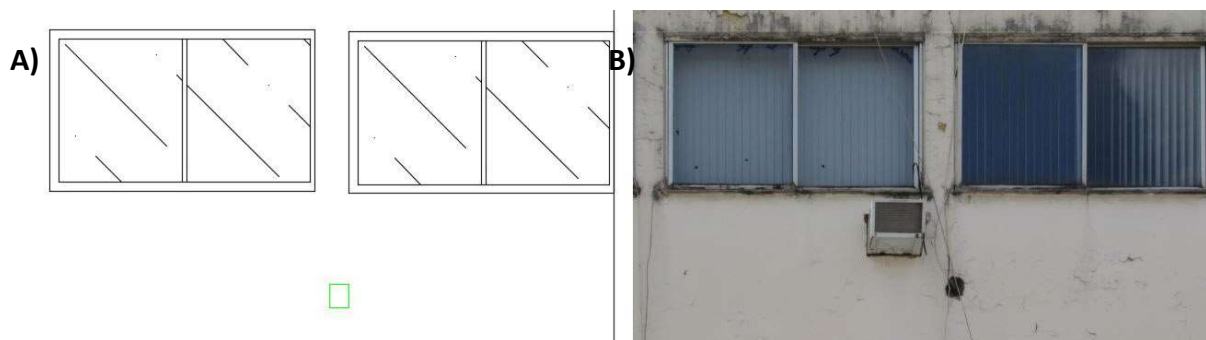


Figura 40 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D1, de orientação Oeste.

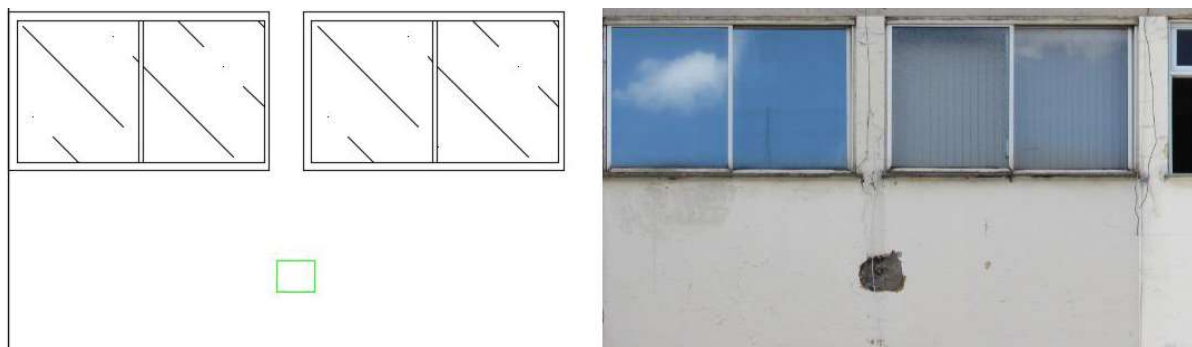


Figura 41 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D2, de orientação Oeste.

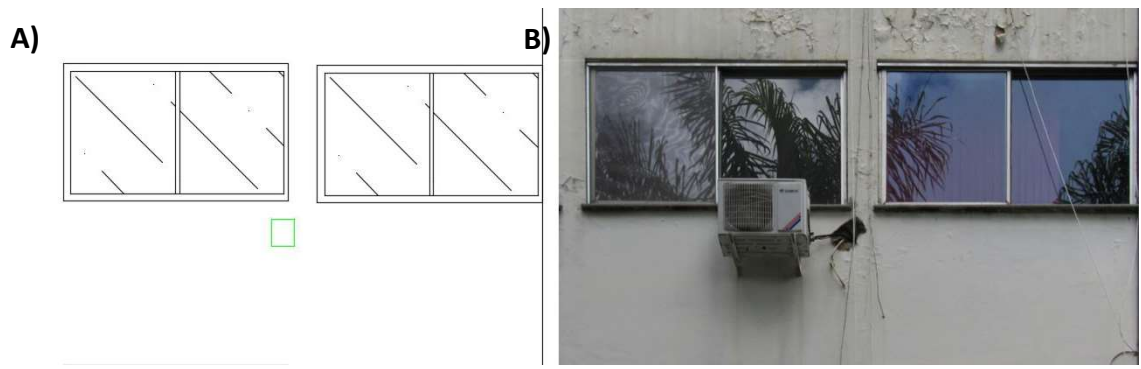


Figura 42 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D3, de orientação Leste.

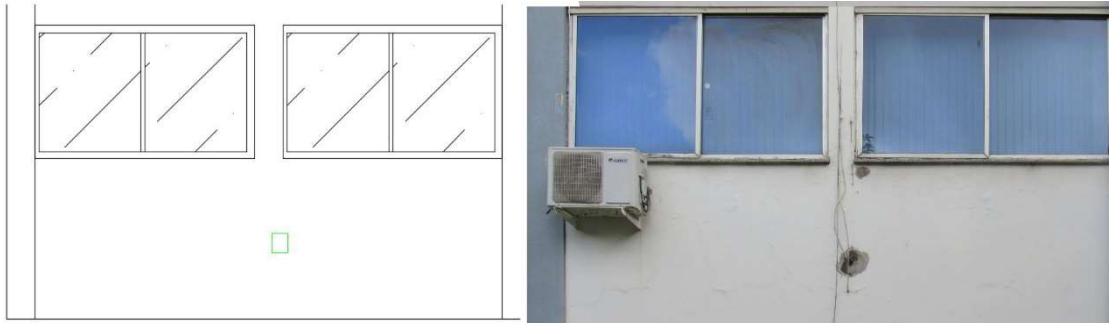


Figura 43 - Mapeamento (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra D4, de orientação Leste.

No intuito de avaliar o comportamento da região com defeito, apresentam-se os termogramas das regiões detalhadas nas Figuras 43 a 46 referentes às medições realizadas às 8h30, 10h00 e 12h00, nas Figuras 44 a 47.

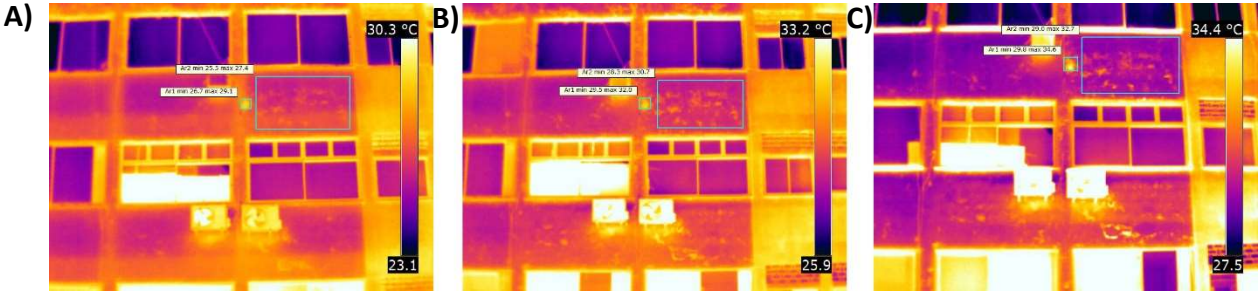


Figura 44 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D1



Figura 45 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D2

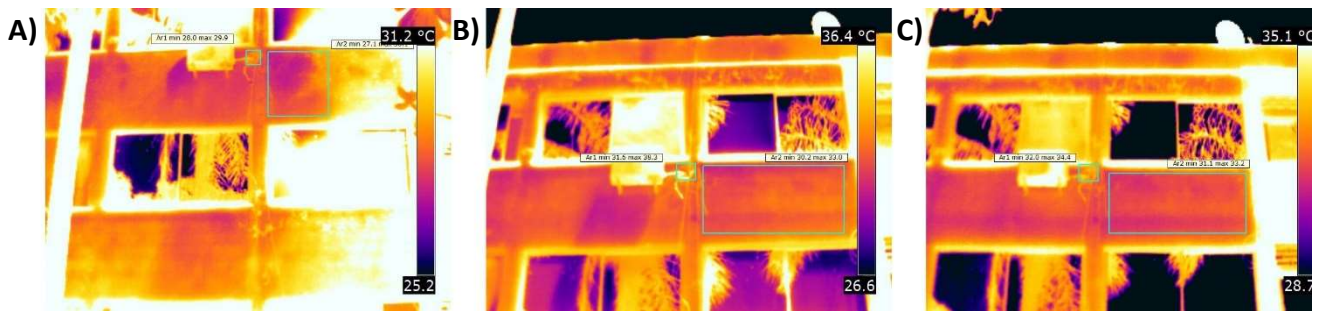


Figura 46 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D3.



Figura 47 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”) e 12h00 (“C”), da amostra D4.

É possível observar qualitativamente, que o defeito se apresentou de maneira mais quente em relação à uma região vizinha sem defeito. Esse comportamento é notável tanto no aquecimento com incidência solar (amostras D3 e D4 com orientação Leste) quanto no aquecimento sem

incidência direta do sol (amostras D1 e D2 com orientação Oeste). Na Tabela 14, seguem os valores encontrados e o cálculo do Delta-T entre as regiões de descolamento e *regiões padrão*, para cada momento das amostras D1 até D4.

| Amostra D1 | | | |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Oeste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 8h30 | 28,1 °C | 26,3 °C | 1,8 °C |
| 10h00 | 30,7 °C | 28,9 °C | 1,8 °C |
| 12h00 | 31,7 °C | 29,6 °C | 2,1 °C |
| Amostra D2 | | | |
| Oeste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 8h30 | 28,5 °C | 26,5 °C | 2,0 °C |
| 10h00 | 31,0 °C | 29,0 °C | 2,0 °C |
| 12h00 | 33,1 °C | 31,8 °C | 1,3 °C |
| Amostra D3 | | | |
| Leste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 8h30 | 28,9 °C | 28,2 °C | 0,7 °C |
| 10h00 | 33,9 °C | 31,7 °C | 2,2 °C |
| 12h00 | 33,6 °C | 32,3 °C | 1,3 °C |
| Amostra D4 | | | |
| Leste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 8h30 | 34,9 °C | 29,5 °C | 5,4 °C |
| 10h00 | 37,1 °C | 31,8 °C | 5,3 °C |
| 12h00 | 35,1 °C | 32,1 °C | 3,0 °C |

Tabela 14 – Dados de Temperatura e Delta-T no Aquecimento das Amostras D1 a D4.

A partir dos dados da Tabela 14 é possível perceber que todos os valores de Delta-T são positivos, confirmando o comportamento mais quente do descolamento verificado qualitativamente. Além desta observação as amostras D3 e D4, de orientação Leste, apresentaram os maiores valores de Delta-T (acima de +5°C). Este quadro pode estar associado à presença da insolação nesta fachada no período matutino.

4.2.2. Resfriamento

As amostras D1 a D4 também foram acompanhadas no período de arrefecimento gerando duas baterias de aquisição de imagens: às 14h00 e às 16h00. As Figuras 48 a 51 mostram os termogramas obtidos nos dois momentos para cada amostra e as áreas de cálculo do Delta – T.

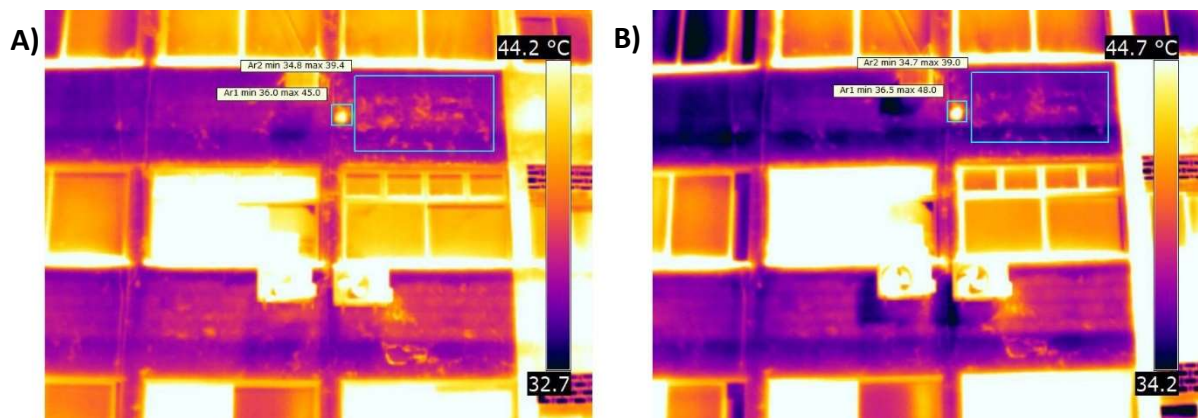


Figura 48 – Termograma às 14h00 (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D1.

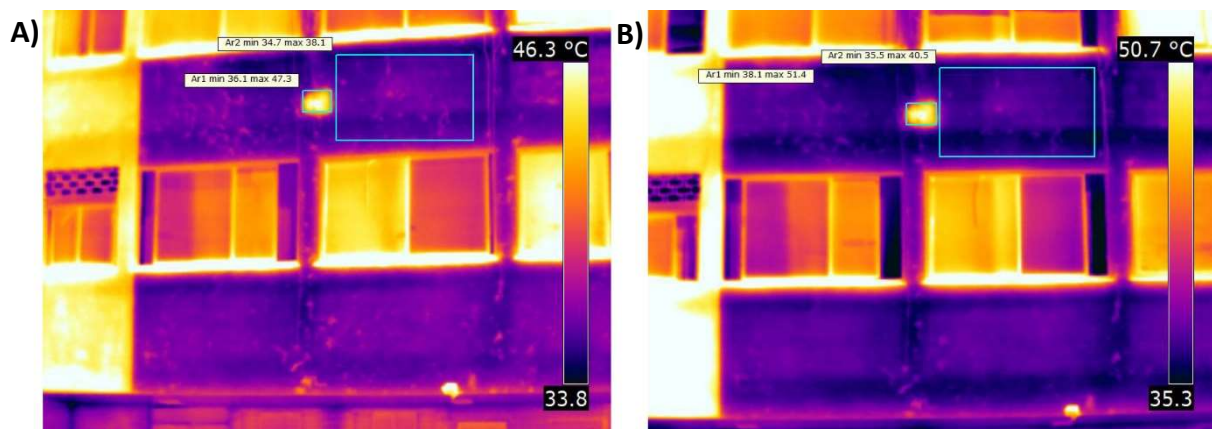


Figura 49 – Termograma às 14h00 (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D2.

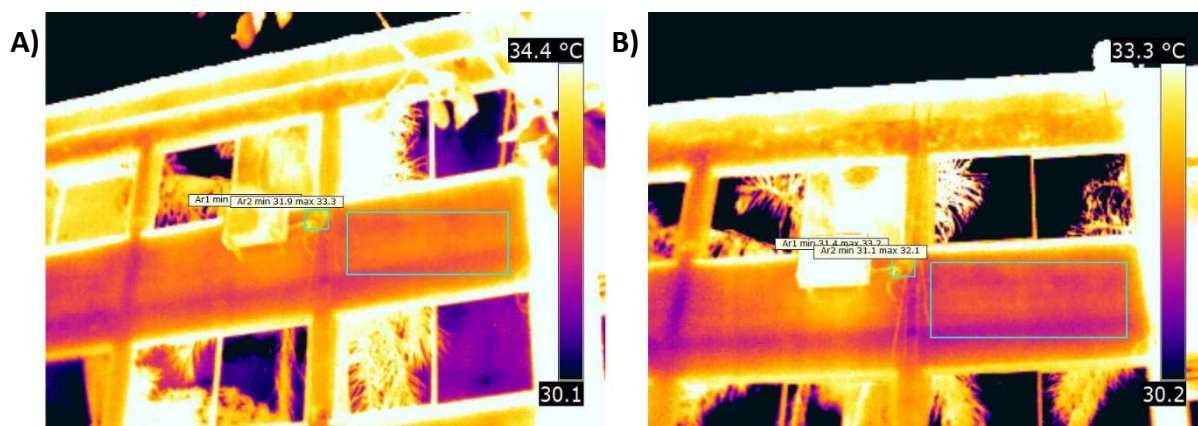


Figura 50 – Termograma às 14h (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D3.

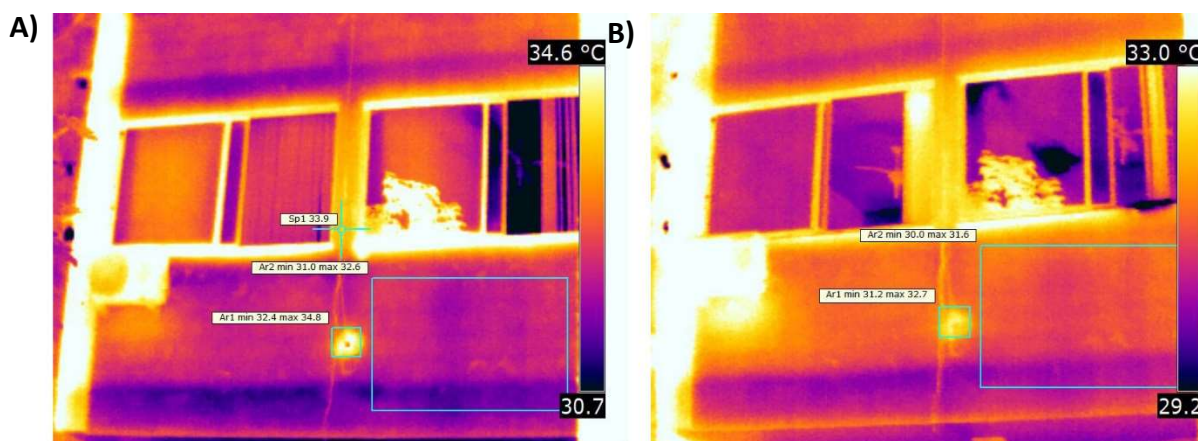


Figura 51 – Termograma às 14h00 (“A”) e às 16h00 (“B”), da amostra D4.

Percebeu-se ainda que nos períodos de resfriamento, o descolamento se apresentou qualitativamente com maior temperatura. A Tabela 15 ilustra a corroboração desta afirmação ao apresentar os dados de temperatura para cálculo do Delta-T entre as regiões selecionadas nas Figuras 48 a 51.

Ao observar os dados da Tabela 15 é possível perceber que na situação de arrefecimento, os valores de Delta-T maiores estão presentes nas amostras D1 e D2, de orientação Oeste (valores acima de +9°C). O comportamento se inverteu em relação ao que acontece no aquecimento: as

amostras de orientação oeste resfriaram com incidência direta do sol, o que eleva os valores de Delta-T.

| Amostra D1 | | | |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Oeste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 14h00 | 39,6 °C | 36,1 °C | 3,5 °C |
| 16h00 | 40,8 °C | 36,3 °C | 4,5 °C |
| Amostra D2 | | | |
| Oeste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 14h00 | 43,1 °C | 35,9 °C | 7,2 °C |
| 16h00 | 46,9 °C | 37,0 °C | 9,9 °C |
| Amostra D3 | | | |
| Leste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 14h00 | 33,2 °C | 32,5 °C | 0,7 °C |
| 16h00 | 32,3 °C | 31,6 °C | 0,7 °C |
| Amostra D4 | | | |
| Leste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 14h00 | 33,8 °C | 31,9 °C | 1,9 °C |
| 16h00 | 32,1 °C | 30,9 °C | 1,2 °C |

Tabela 15 – Dados de Temperatura e Delta-T no resfriamento das amostras D1 a D4.

De modo a contemplar todo o ciclo de absorção e irradiação de energia térmica durante 1 dia, com os dados das Tabelas 14 e 15, construiu-se um gráfico com a variação no tempo dos valores de Delta -T para cada amostra. Estes gráficos estão representados nas Figuras 52 e 53.

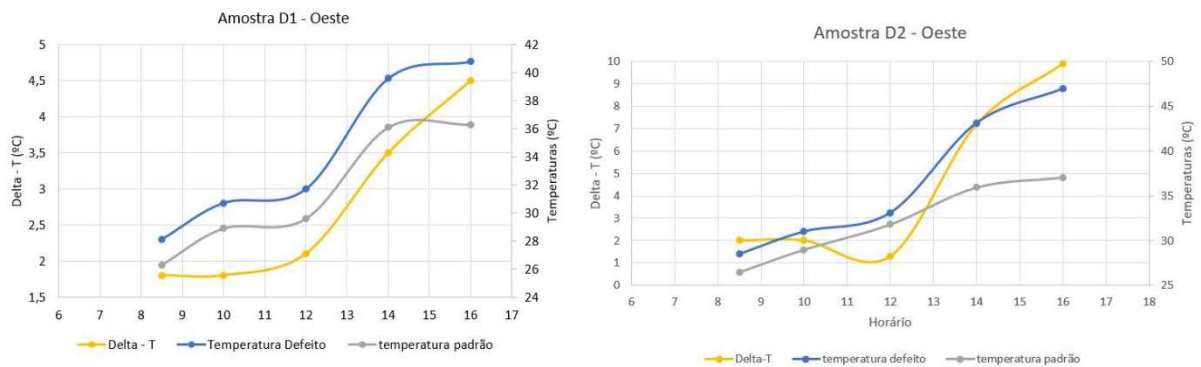


Figura 52 – Gráficos de Temperaturas e Delta – T das amostras de orientação Oeste: D1 e D2

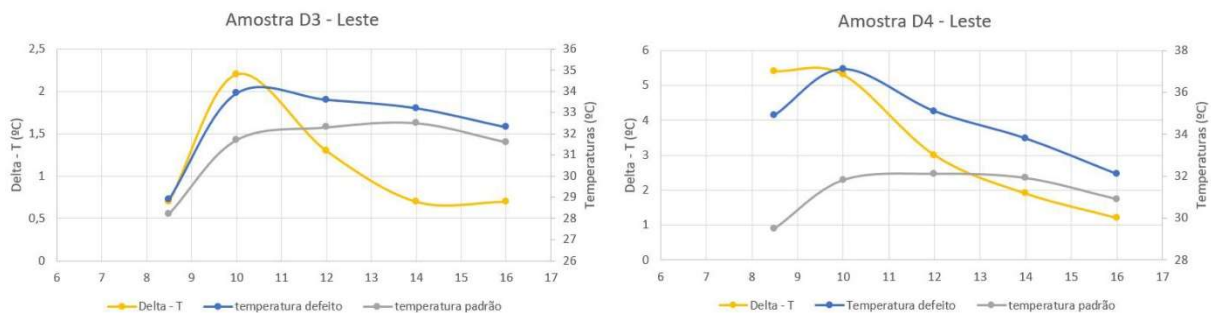


Figura 53 – Gráficos de Temperaturas e Delta – T das amostras de orientação Leste: D3 e D4

As Figuras 52 e 53 mostram que a região de descolamento em todas as amostras tem temperatura mais quente do que as *regiões padrão* selecionadas sem descolamento. Isso justifica todos os valores de Delta-T (curvas em amarelo) se apresentarem positivos.

Além disto, as curvas de Delta-T mostram um comportamento crescente nas amostras D1 e D2. No período vespertino estas amostras receberam ação direta do sol, o que elevou as temperaturas do sistema mesmo na condição de arrefecimento.

Já nas amostras D3 e D4, o comportamento das curvas foi crescente nos primeiros momentos do aquecimento, mas acompanham uma tendência esperada de decréscimo ao longo do dia para amostras de orientação Leste.

4.3. Manchas, Eflorescência e Pulverulência

O foco do estudo dessas patologias teve um caráter mais exploratório, como o objetivo de identificar como essas patologias se apresentam num termograma em diferentes condições de insolação e momentos do dia.

O comportamento de manchas ficou documentado a partir de duas amostras: M1 e M2. A amostra M1 consiste num recorte de fachada com orientação Norte com recebimento direto da radiação solar no período da manhã. A amostra M2 mostra uma ocorrência de mancha numa amostra com orientação leste, no período da tarde. As Figuras 54 e 55 detalham o registro fotográfico com o termograma gerado para as amostras supracitadas.

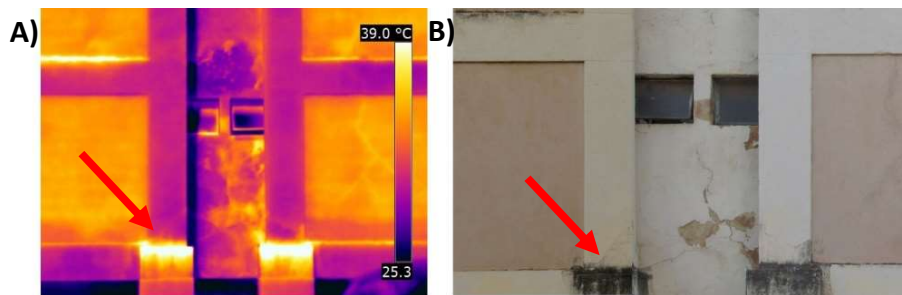


Figura 54 – Manchas escurecidas na amostra M1 às 11h00: termograma (“A”) e registro fotográfico (“B”).

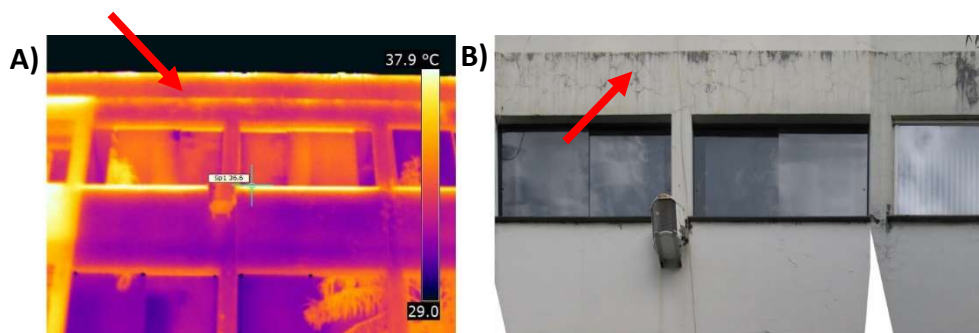


Figura 55 – Manchas escurecidas na amostra M2 às 14h00: termograma (“A”) e registro fotográfico (“B”).

Na Figura 54 é possível perceber com nitidez que a região de manchas aparece mais quente ao centro da imagem “A” (seta vermelha). A coloração escurecida deste tipo de mancha ocorre devido ao acúmulo de sujidades, principalmente em regiões angulosas de acúmulo de águas pluviais, conforme se observa na imagem “B” da Figura 54.

A coloração escura dessa região da fachada atribui uma maior absorção de radiação solar, principalmente no aquecimento com incidência direta do sol. O resultado é uma temperatura mais quente para as regiões de manchas. A Figura 56 mostra um mapeamento da região com mancha, a partir da ferramenta *isoterma* para temperaturas acima de 35,6°C.

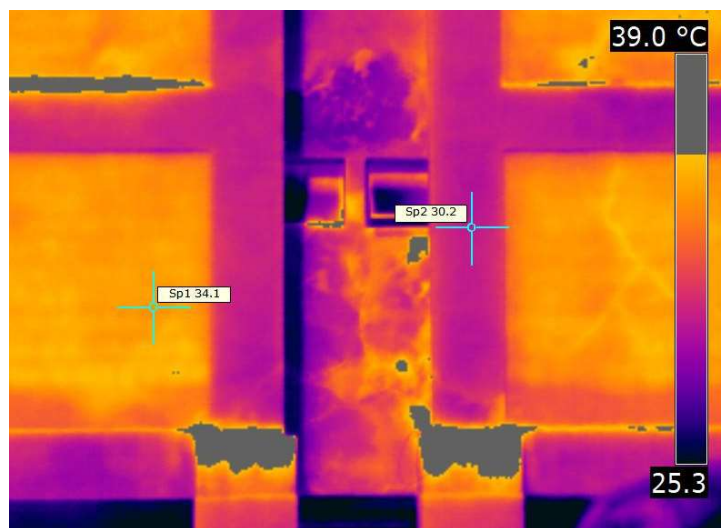


Figura 56 – Manchas (em cinza) da amostra M1 e posição de pontos de temperatura Sp1 e Sp2.

A Figura 56 mostra as regiões destacadas em cinza como as regiões de mancha e marca a temperatura em dois pontos de temperatura: “Sp1” e “Sp2”. O ponto “Sp1” aponta uma temperatura representativa da região de alvenaria externa da amostra (34,1°C). O ponto “Sp2” representa uma temperatura média na região da superestrutura do edifício (30,2°C). Ambas as temperaturas são inferiores aos 35,6°C utilizados como condição para o mapeamento de manchas através da ferramenta *isoterma*.

Em conformidade com a análise da amostra M1, na Figura 55 é possível notar uma faixa de temperatura mais quente no topo do edifício. Isso indica a ocorrência de manchas quando se compara o termograma com o registro fotográfico. Outro ponto importante: o registro fotográfico aponta a ocorrência de manchas numa região fissurada. Como mencionado, este quadro é bastante frequente devido a característica secundária inerente aos manchamentos e, portanto, a uma temperatura maior nesta região deve ser creditada uma contribuição da mancha e da fissura.

A amostra E1 corresponde a um caso de eflorescência em conjunto com um caso de mancha. A Figura 57 ilustra o termograma da região em confronto com o registro fotográfico.

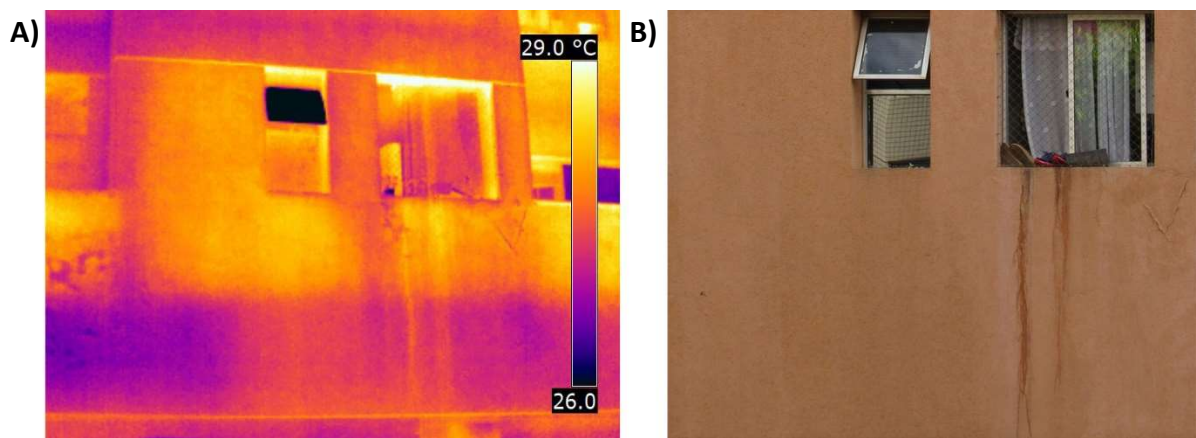


Figura 57 – Eflorescência e mancha na amostra E1, às 10h00.

A imagem “B” da Figura 57 mostra duas manchas escuras abaixo da janela que provavelmente estão associadas a algum escorrimento ocasionado pelo usuário. Além disso, é possível perceber uma região esbranquiçada associada a um comportamento inicial do processo de eflorescência.

A imagem “A” da Figura 57 apresenta o termograma mais nítido da região, às 10h00. Não é evidente a região de eflorescência, muito embora as manchas estejam nítidas e com um padrão mais quente do que o resto da fachada. Vale lembrar que o padrão mais quente observado pode ser resultado de variações no ângulo de aquisição do termograma.

Para o caso das análises de pulverulência, foram selecionadas 3 amostras: P1, P2 e P3. As amostras P1 e P2 têm orientação Oeste e a P3, orientação Leste. As Figuras 58 até 60 ilustram os termogramas selecionados nos horários de melhor nitidez em conjunto com um recorte do registro fotográfico para análise, mostrando os casos de pulverulência em detalhe.

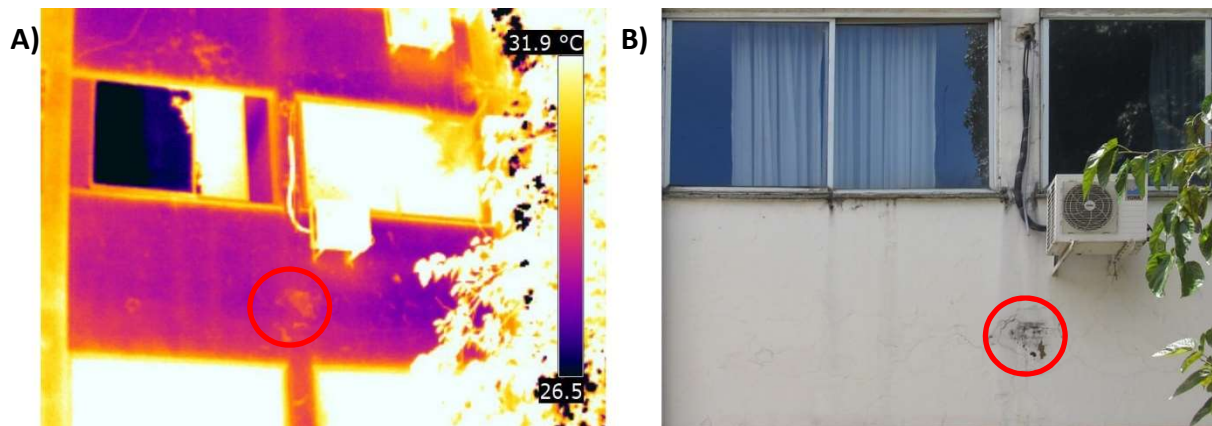


Figura 58 – Termograma às 10h00 (“A”) e registro fotográfico (“B”) de região com pulverulência na amostra P1.

A Figura 58 ilustra um caso localizado de pulverulência associado a uma região de fissuração e descolamento de pintura. Esta região da amostra P1 se apresenta de maneira mais quente no aquecimento mesmo sem incidência direta do sol, conforme os círculos das imagens “A” e “B” apontam. Foram acompanhados outros horários no período vespertino. Era esperada uma melhor nitidez de imagem para esta orientação, entretanto o efeito de árvores e vegetações laterais não possibilitaram o aquecimento com o sol na fachada, inviabilizando a análise de pulverulência nesta amostra.

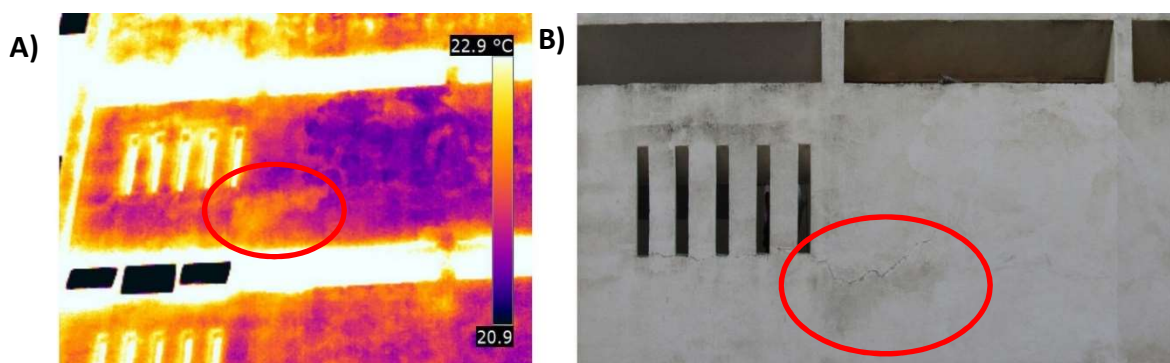


Figura 59 – Termograma às 10h00 (“A”) e registro fotográfico (“B”) de região com pulverulência na amostra P2.

A Figura 59, imagem “B” aponta uma região pulverulenta (círculos em vermelho) onde se percebe uma avaria superficial sobre a película de pintura. Esta avaria apresentou-se de maneira mais nítida às 10h00 com temperatura maior no termograma da imagem “A”.

Nota-se também que a fissura do revestimento vista no círculo da imagem “B”, deixa de ficar nítida na região de pulverulência. Isso mostra que o efeito de sobreposição de anomalias nem sempre é benéfico numa análise termográfica, a depender do foco da análise.

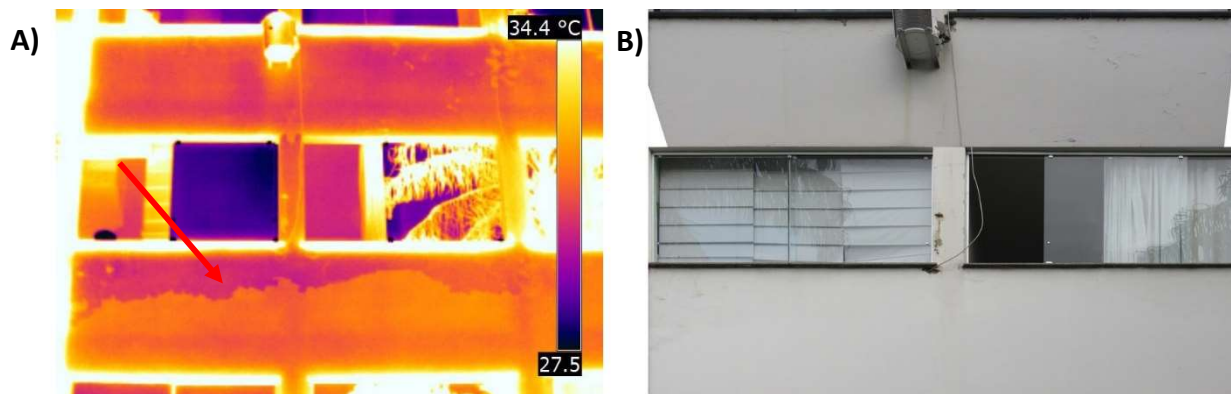


Figura 60 – Termograma às 12h00 (“A”) e registro fotográfico (“B”) de região com pulverulência na amostra P3.

A Figura 60, por meio da comparação entre as imagens “A” e “B”, revela um quadro não registrado fotograficamente: observa-se uma divisão entre duas regiões abaixo das janelas, conforme a seta vermelha. De maneira a investigar mais a fundo este comportamento, a Figura 61 ilustra os termogramas desta região às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”), 14h00 (“C”) e 16h00 (“D”).

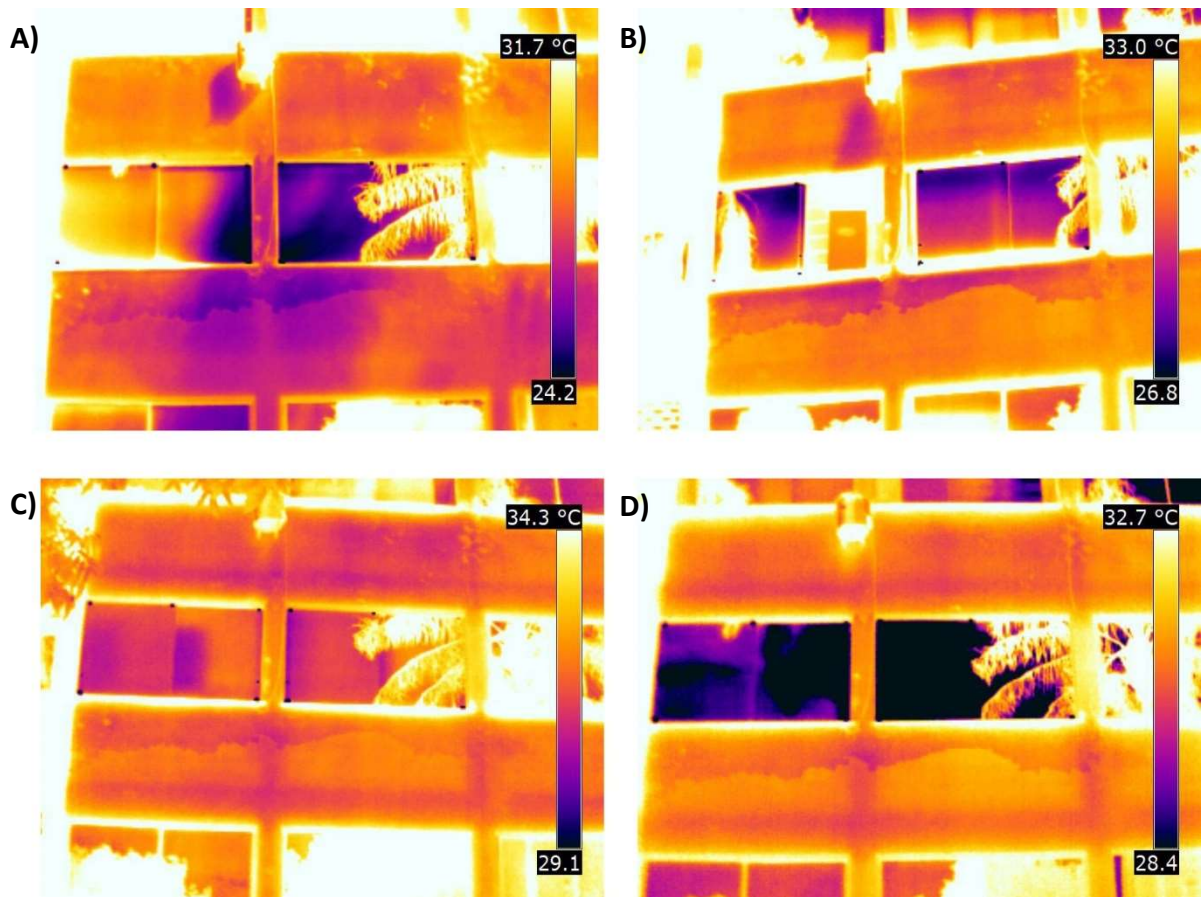


Figura 61 – Termogramas às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”), 14h00 (“C”) e 16h00 (“D”) da amostra P3.

O termograma da amostra às 12h00 (imagem “A” da Figura 60) poderia estar refletindo a radiação de algum fenômeno alheio a fachada, explicando o padrão não visível no registro fotográfico. Entretanto, o mesmo padrão é evidente nos termogramas em horários distintos, no aquecimento (com incidência solar) e no resfriamento (sem incidência solar).

Este comportamento pode estar associado a uma mudança de textura na película de tinta formada sobre o revestimento, caracterizando um estado pulverulento localizado na fachada e que em momentos futuros, pode vir a se configurar em outras patologias relacionadas à pintura.

4.4. Patologias de Pintura: Fissuração

As amostras FP1 e FP2 foram acompanhadas nos períodos matutino e vespertino. As Figuras 62 e 63 mostram uma composição do mapeamento de fissuras e o registro fotográfico ortogonalizado de cada amostra.

4.4.1. Aquecimento

No período de aquecimento, foram gerados termogramas provenientes de três horários em cada amostra: 7h30, 8h30 e 10h00. As imagens “A”, “B” e “C” das Figuras 64 e 65 apontam os termogramas no regime de aquecimento sem incidência solar (Amostra FP1) e com incidência solar. (Amostra FP2).

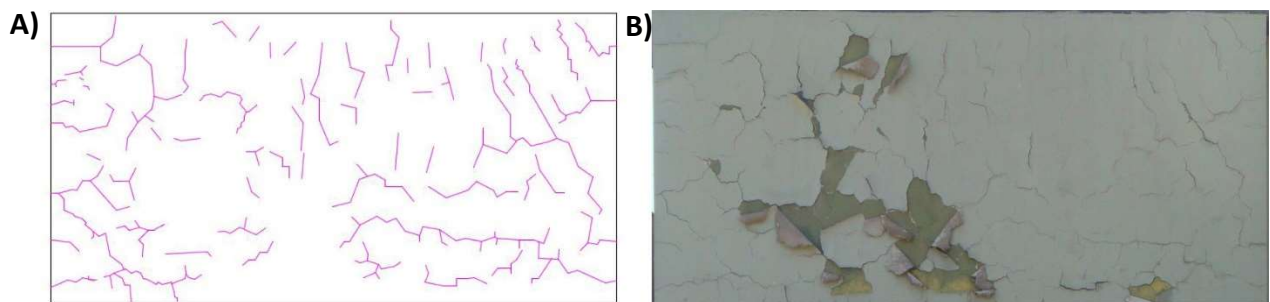


Figura 62 – Mapeamento de fissuras de pintura (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra FP1.

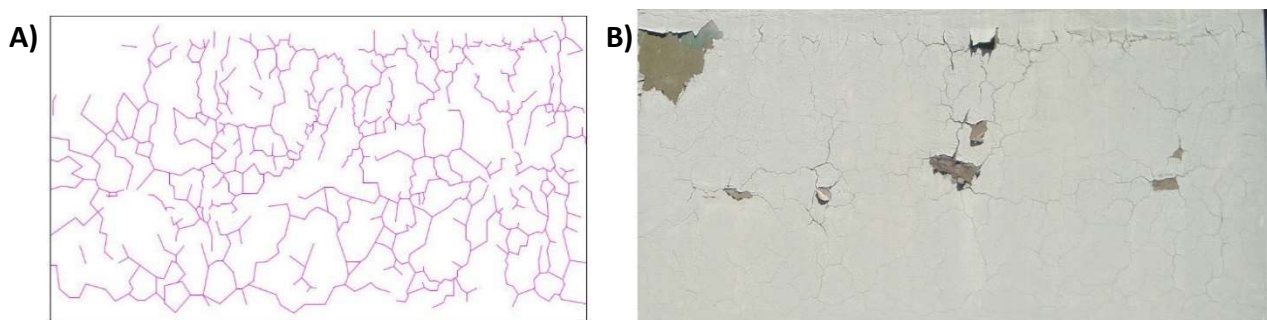


Figura 63 – Mapeamento de fissuras de pintura (“A”) e registro fotográfico (“B”) da amostra FP2.



Figura 64 – Termograma às 7h30 (“A”), 8h30 (“B”) e 10h00 (“C”) da amostra FP1.

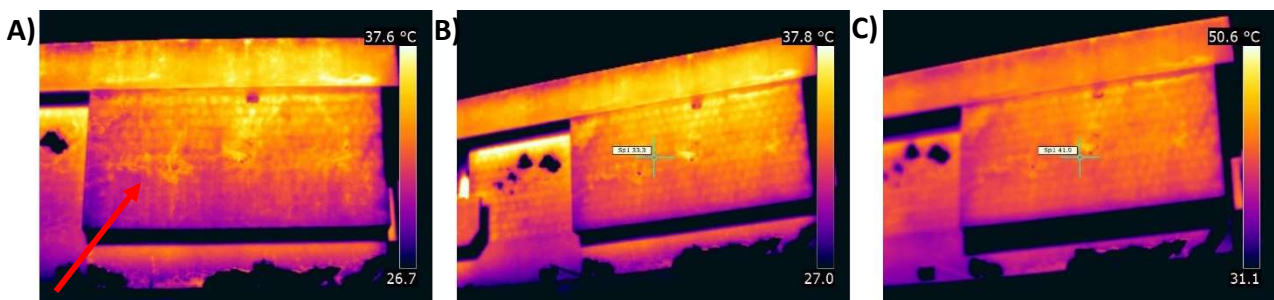


Figura 65 - Termograma às 7h30 (“A”), 8h30 (“B”) e 10h00 (“C”) da amostra FP2.

A amostra FP2 contém maior frequência de ocorrência de fissurações (imagem “B” da Figura 63), porém com aberturas aparentes menores quando esta amostra é comparada com a amostra FP1. Ainda assim, a amostra FP2 aponta as fissuras mais nitidamente nos termogramas de aquecimento do que os termogramas da amostra FP1, por ter orientação Leste.

A alta frequência de ocorrência das fissuras se traduz principalmente às 7h30 (imagem “A” da Figura 65), pela mancha mais quente apontada (seta vermelha) e se torna menos nítida conforme a evolução do horário.

A amostra FP1 com orientação Oeste, apresenta um quadro considerável de fissuras na pintura somente a partir do horário das 10h00 (imagem “C” da Figura 64). As fissurações também se apresentam com configurações mais quentes, conforme a apontado na imagem (seta vermelha).

4.4.2. Resfriamento

No período de resfriamento, foram gerados termogramas provenientes de três horários em cada amostra: 15h00, 16h00 e 17h00. As imagens “A”, “B” e “C” das Figuras 66 e 67 apontam os termogramas no regime de resfriamento com incidência solar (Amostra FP1) e sem incidência solar. (Amostra FP2).

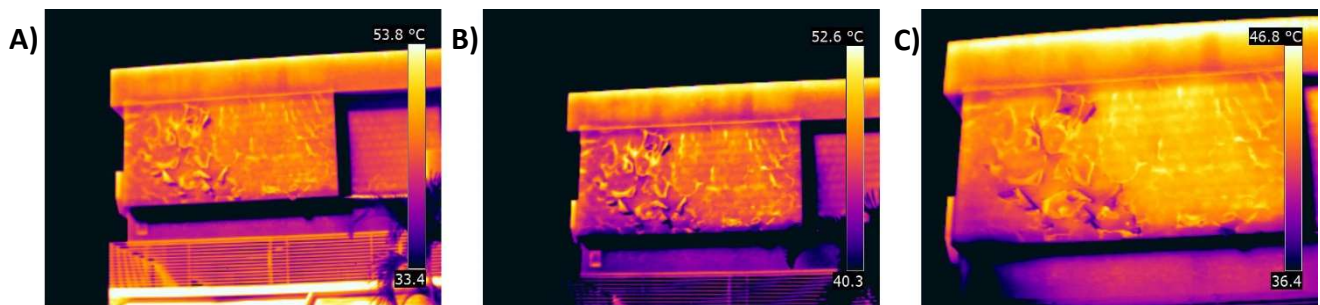


Figura 66 - Termograma às 15h00 (“A”), 16h00 (“B”) e 17h00 (“C”) da amostra FP1.

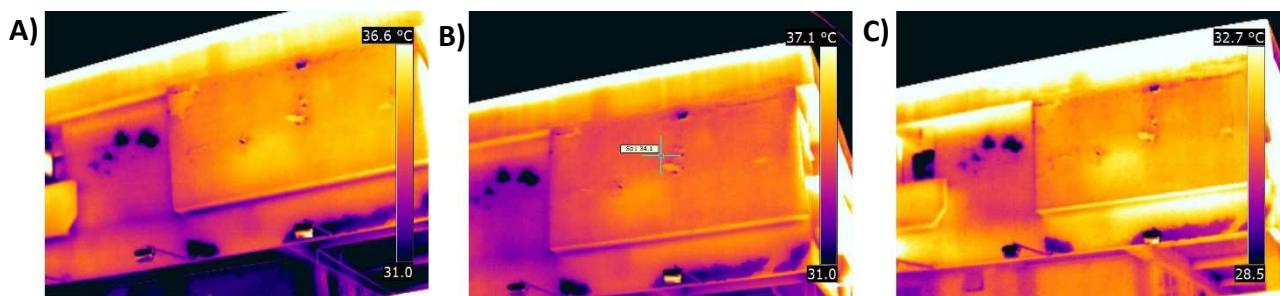


Figura 67 - Termograma às 15h00 (“A”), 16h00 (“B”) e 17h00 (“C”) da amostra FP2.

A observar o comportamento nas imagens das Figuras 66 e 67, as regiões apontadas anteriormente como nítidas na amostra FP2 não são facilmente detectadas. A situação já se inverte para o caso da amostra FP1: no período da tarde é possível visualizar com clareza mais fissuras com comportamento térmico mais quente, principalmente às 17h00.

Além das observações mencionadas acerca do comportamento de fissuras, as Amostras FP1 e FP2 também mostram casos de descolamento da película de pintura. Observa-se uma relação entre a fissuração e o descolamento: a configuração randômica das fissuras tende a gerar uma

figura fechada e as fissuras mais visíveis (maiores aberturas) podem estar associadas à região de queda do filme da pintura.

Além disto, uma fissura na película de pintura leva a um desprendimento localizado da película, o que incentiva o descolamento da região fechada de fissuração. A Figura 68 ilustra a tendências de figura fechada (imagem “A”) e também um termograma no detalhe de uma fissura na película (imagem “B”).

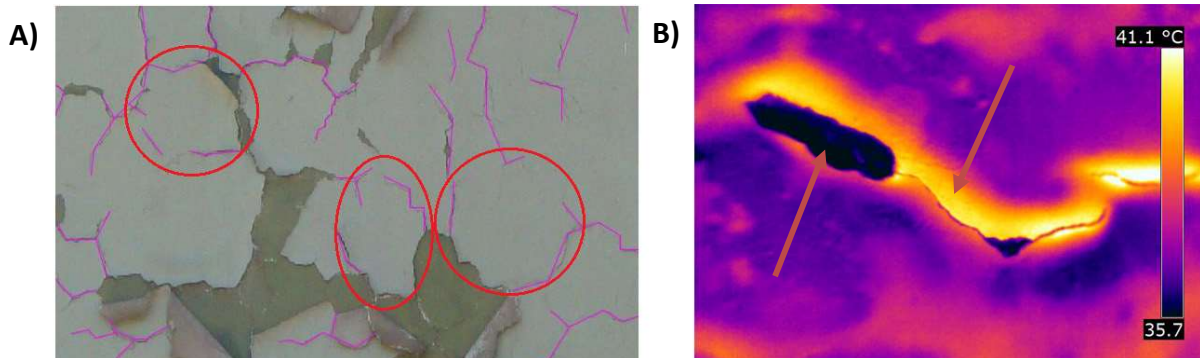


Figura 68 – Padrões de figuras fechadas por configuração de fissuras em magenta (“A”) e termograma de uma fissura na pintura a 1m de distância (“B”).

A Figura 68 na imagem “A”, aponta através dos círculos vermelhos os padrões de figuras fechadas mencionadas. Na imagem “B”, tem-se um termograma de uma parte de uma fissura num sistema de pintura. A partes mais escuras (indicadas pelas setas vermelhas) são regiões onde a película já se desprendeu. Além disto, a imagem “B” revela o encaminhamento da fissura com uma região mais quente circundante, o que mostra o descolamento localizado da película ao longo do comprimento fissura.

4.5. Patologias de Pintura: Descolamento

As investigações deste tipo de patologia se deram a partir de duas amostras nas orientações Leste e Oeste: amostra DP1 e DP2, respectivamente. As amostras foram acompanhadas nos períodos matutino e vespertino.

As Figuras 69 e 70 apresentam o registro fotográfico de cada amostra com a indicação da falha específica escolhida para análise.



Figura 69 – Amostra DP1 de orientação Leste e defeito escolhido para observação (seta vermelha)



Figura 70 – Amostra DP2 de orientação Oeste e defeito escolhido para observação (seta vermelha).

Os horários de acompanhamento da amostra DP1 foram: 7h30, 9h00, 11h00 e 15h00. Já da amostra DP2: 8h30, 10h00, 12h00, 14h00 e 16h00. A partir dos termogramas gerados e ajustados de cada amostra, foi calculada o Delta – T entre o defeito e a *região padrão* através da ferramenta *área* do *software* Flir QuickReport 1.2.

As Figuras 71 e 72 mostram uma composição de imagens que representam os termogramas adquiridos para cada amostra, bem como as regiões de cálculo das temperaturas nas regiões de descolamento e regiões padrão.

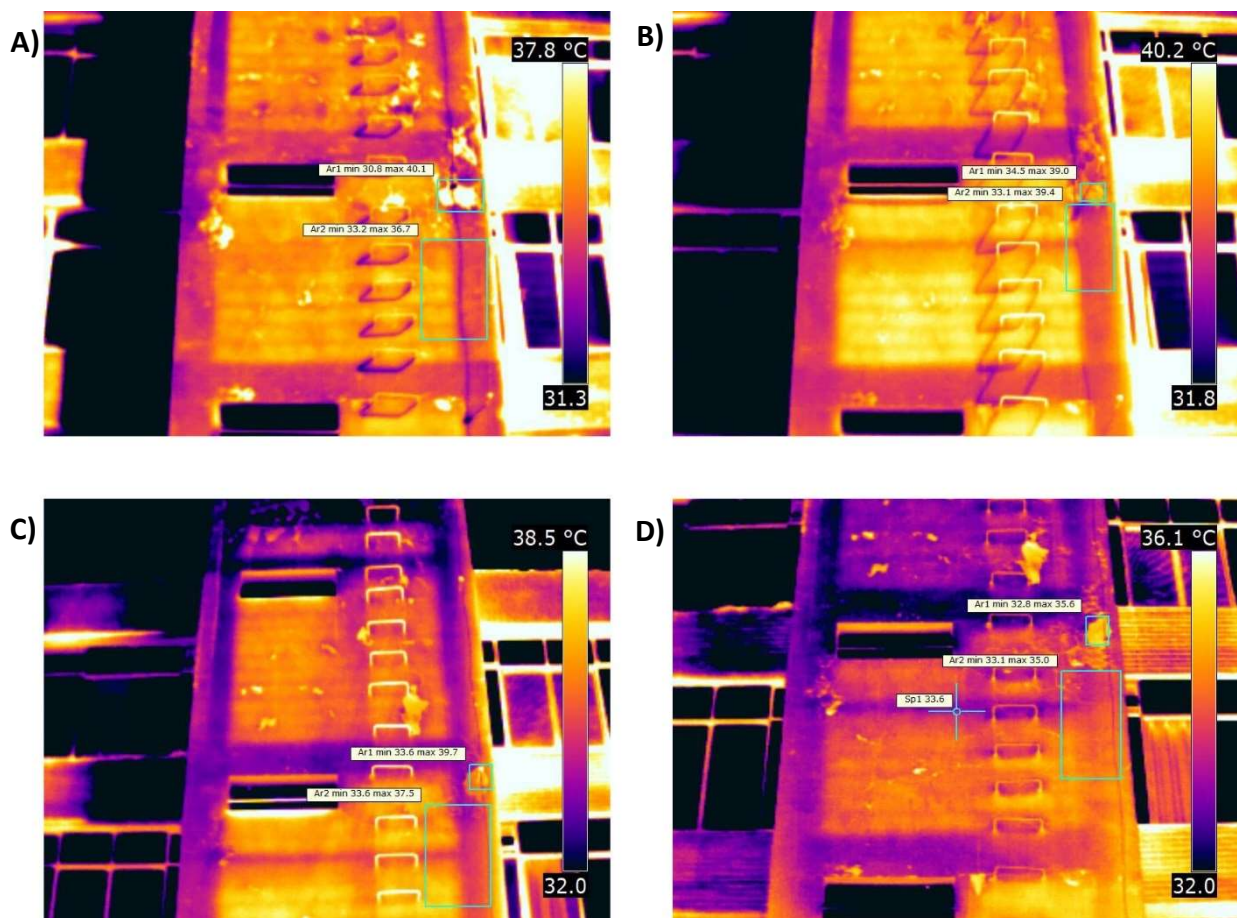


Figura 71 – Termograma às 7h30 (“A”), 9h30 (“B”), 11h00 (“C”) e às 15h00 (“D”) da amostra DP1 e regiões de cálculo de temperaturas.

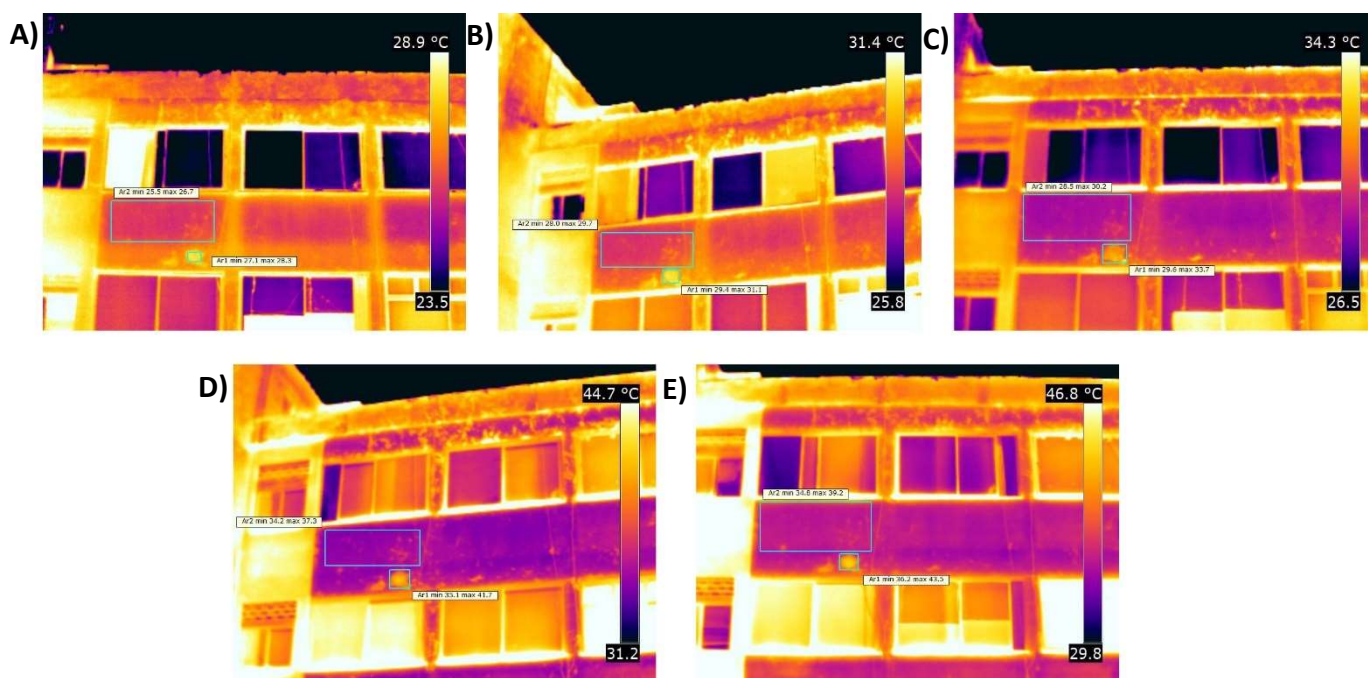


Figura 72 – Termograma às 8h30 (“A”), 10h00 (“B”), 12h00 (“C”), 14h00 (“D”) e 16h00 (“E”) da amostra DP2 e regiões de cálculo de temperaturas.

Nota-se que o descolamento de pintura também se apresentou com temperaturas maiores durante o decorrer do dia, tanto na amostra de orientação Leste (DP1) quanto na amostra de orientação Oeste (DP2). As temperaturas registradas nas áreas em seleção evidentes nas Figuras 71 e 72 estão presentes nas Tabelas 16 e 17.

| Amostra DP1 | | | |
|-------------|------------------------|---------------------------|---------|
| Leste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 7h30 | 36,1 °C | 35,1 °C | 1,0 °C |
| 9h00 | 37,2 °C | 36,4 °C | 0,8 °C |
| 11h00 | 36,2 °C | 35,6 °C | 0,6 °C |
| 15h00 | 34,7 °C | 34,2 °C | 0,5 °C |

Tabela 16 – Valores de temperatura e Delta-T extraídos dos termogramas da amostra DP1.

| Amostra DP2 | | | |
|-------------|------------------------|---------------------------|---------|
| Oeste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 8h30 | 27,9 °C | 25,9 °C | 2,0 °C |
| 10h00 | 30,4 °C | 28,5 °C | 1,9 °C |
| 12h00 | 31,3 °C | 29,0 °C | 2,3 °C |
| 14h00 | 38,8 °C | 34,9 °C | 3,9 °C |
| 16h00 | 40,4 °C | 35,9 °C | 4,5 °C |

Tabela 17 - Valores de temperatura e Delta-T extraídos dos termogramas da amostra DP2.

A partir das Tabelas 16 e 17 foi possível a construção gráfica do comportamento dos descolamentos em relação às regiões padrão. As Figuras 73 e 74 mostram os gráficos de Temperatura do defeito, da região padrão e do Delta-T para os casos de descolamento na orientação Leste e Oeste, respectivamente.

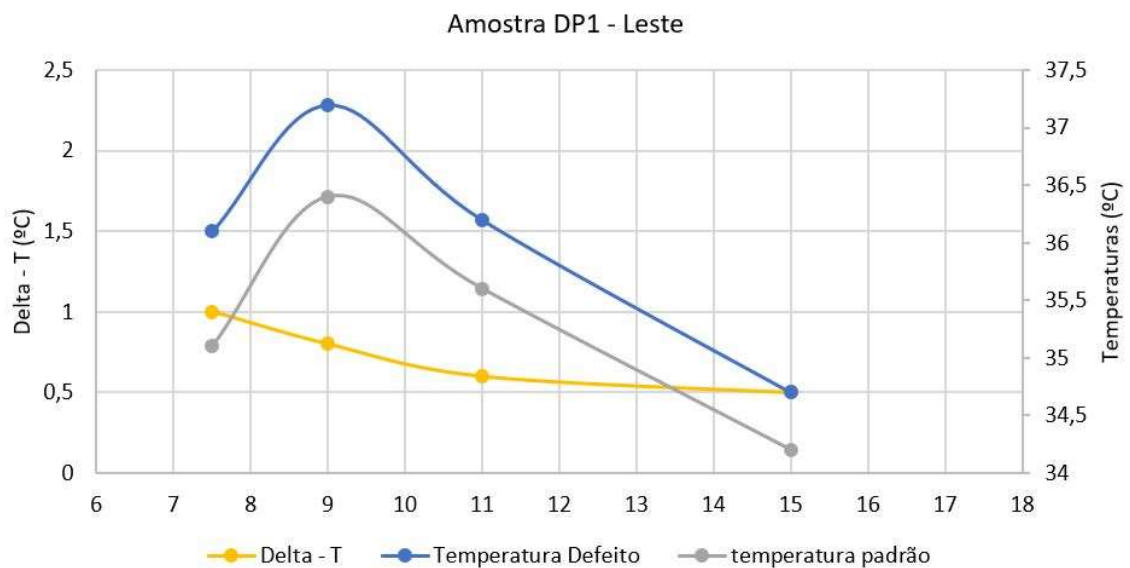


Figura 73 – Gráfico de comportamento do defeito da amostra DP1.

A Figura 73 confirma a temperatura mais quente do defeito durante o dia pelo fato de apresentar todos os valores de Delta – T positivos, decorrentes da diferença entre as curvas de temperatura do defeito e da região padrão. Nota-se que na orientação Leste, as temperaturas aumentam no período inicial da manhã e tendem a diminuir, conforme o decorrer do dia. Este comportamento está atrelado à insolação solar nesta orientação. Além disto, na amostra DP1, a variação do Delta-T se apresentou decrescente, entretanto com baixa variação entre os valores máximo (1°C) e mínimo (0,5°C) registrados na Tabela 16.

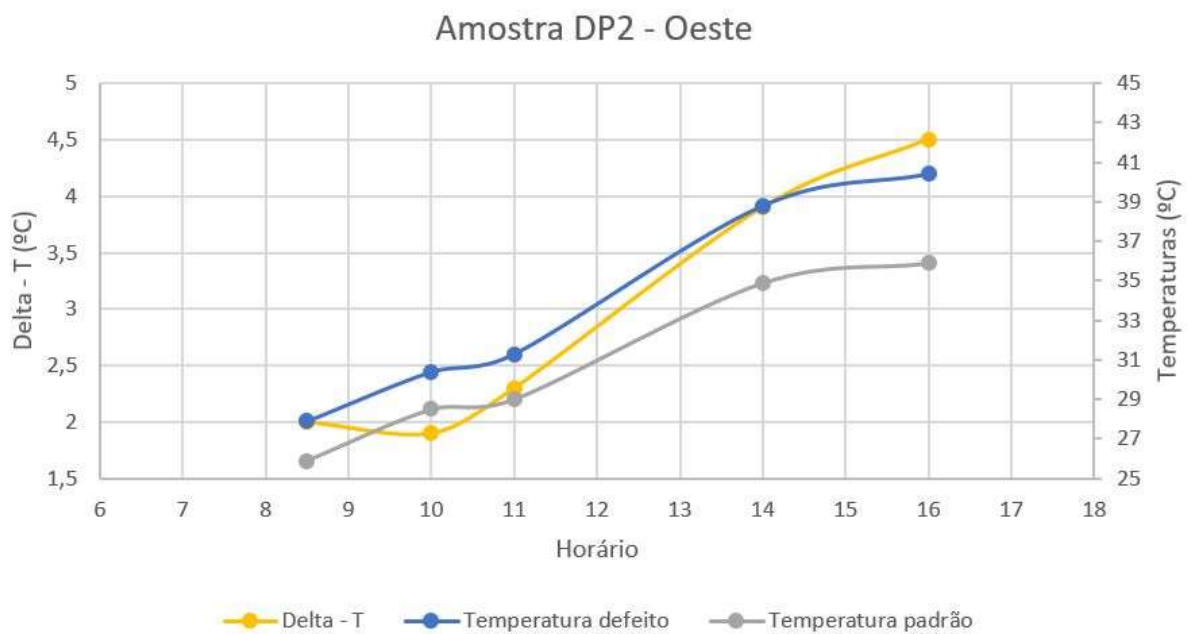


Figura 74 – Gráfico de comportamento do defeito da amostra DP2.

A Figura 74 aponta que na amostra de orientação Oeste (DP2), os valores de Delta – T atingiram valores de até 4,5°C no período vespertino, indicando que o recebimento direto do sol nesta orientação impacta no valor do Delta – T. Além disto, é possível observar que os valores registrados são sempre positivos, ratificando o comportamento mais quente do defeito.

De maneira geral, a relação entre o Delta – T e a orientação das amostras é mais expressiva na orientação Oeste (amostra DP2) quando confrontado o comportamento do descolamento da amostra DP1 (Leste).

4.6. Patologias de Pintura: Bolhas

Foram selecionadas duas amostras de bolhas de pintura (denominadas BP1 e BP2) de orientação Leste e Oeste. Assim como no processo de análise de descolamento, as amostras foram acompanhadas durante o decorrer de uma manhã e uma tarde. As Figuras 75 e 76 apresentam as amostras com indicação da bolha em estudo e respectivas orientações cardeais.



Figura 75 – Amostra BP1 de orientação Leste e região de bolhas selecionada para observação (círculo em vermelho).



Figura 76 – Amostra BP2 de orientação Oeste e região de bolhas selecionada para observação (círculo em vermelho).

As amostras BP1 e BP2 foram acompanhadas nos horários de: 7h30, 9h00, 11h00, 15h00 e 17h00. Entretanto o registro termográfico às 17h00 só foi possível na amostra BP2 por nebulosidades no momento da aquisição de imagens da amostra BP1. As Figuras 77 e 78 mostram a uma composição de imagens referentes aos termogramas em cada horário.

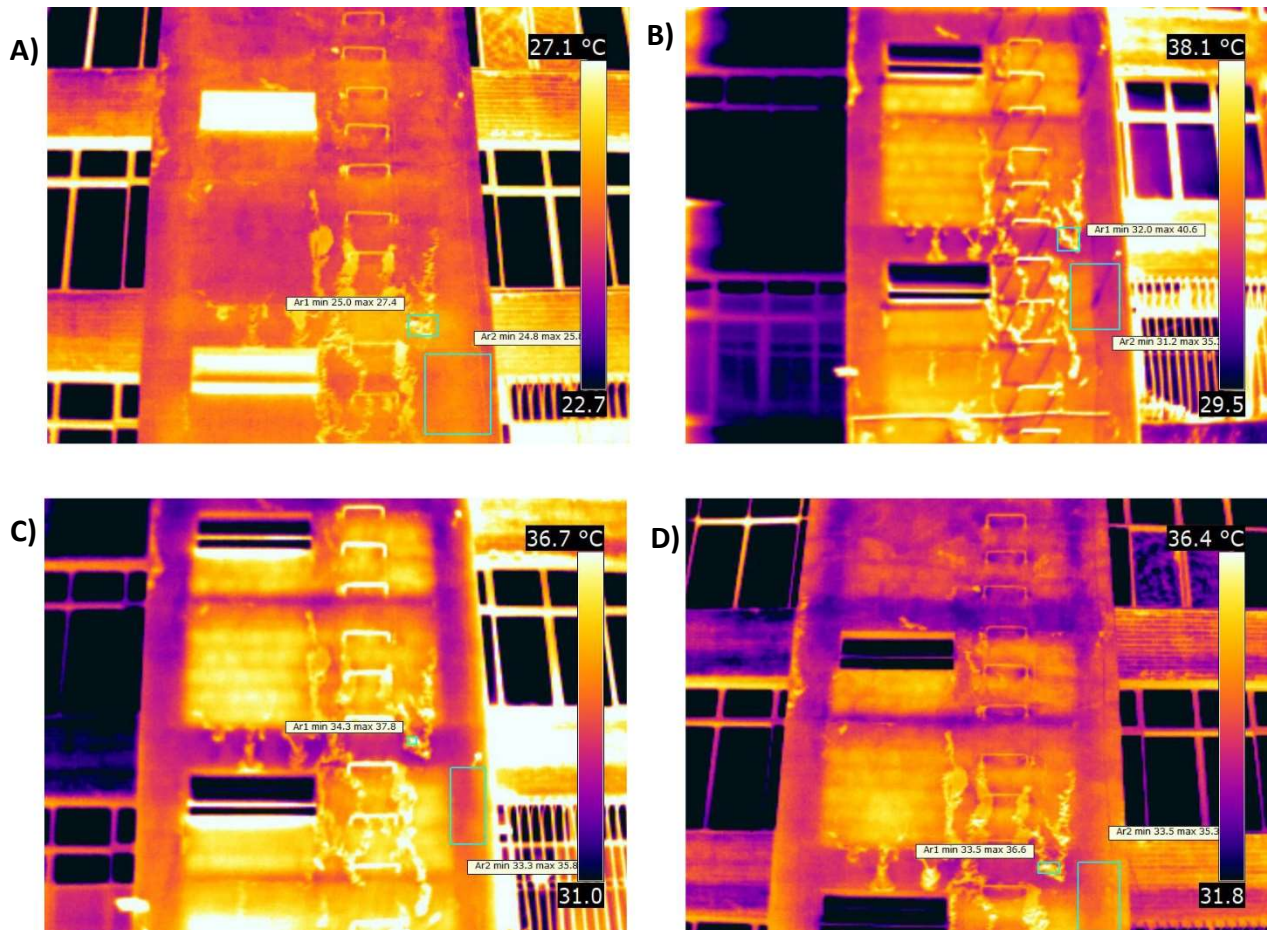


Figura 77 – Termograma às 7h30 (“A”), 9h00 (“B”), 11h00 (“C”) e 15h00 (“D”) da amostra BP1.

A Figura 77 revela que o comportamento das bolhas de pintura na amostra se caracteriza pelas marcações mais quentes na fachada. Além disto, as imagens de “A” a “D” apresentam quadros que foram utilizados para a extração de temperaturas médias em regiões com e sem bolhas. A Tabela 18 apresenta as temperaturas médias supracitadas, bem como o cálculo da diferença de temperatura entre as regiões para os momentos na amostra BP1.

| Amostra BP1 | | | |
|-------------|------------------------|---------------------------|---------|
| Leste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 7h30 | 26,1 °C | 25,3 °C | 0,8 °C |
| 9h00 | 35,2 °C | 33,7 °C | 1,5 °C |
| 11h00 | 36,0 °C | 34,2 °C | 1,8 °C |
| 15h00 | 35,1 °C | 34,5 °C | 0,6 °C |

Tabela 18 – Valores de temperaturas e Delta – T extraídos dos termogramas da amostra BP1.

A constatação qualitativa das imagens “A” a “D” é confirmada quando se observam todos os valores de Delta – T positivos na Tabela 18. Os maiores valores foram atingidos às 9h00 e 11h00, horários com incidência de sol na orientação Leste.

A Figura 78 mostra a composição dos termogramas da amostra BP2 no aquecimento e no resfriamento, bem como os quadros utilizados para o cálculo das áreas com defeito e sem defeito. Assim como na amostra BP1, qualitativamente a região de bolha se apresenta com temperatura maior do que as regiões sem este defeito.

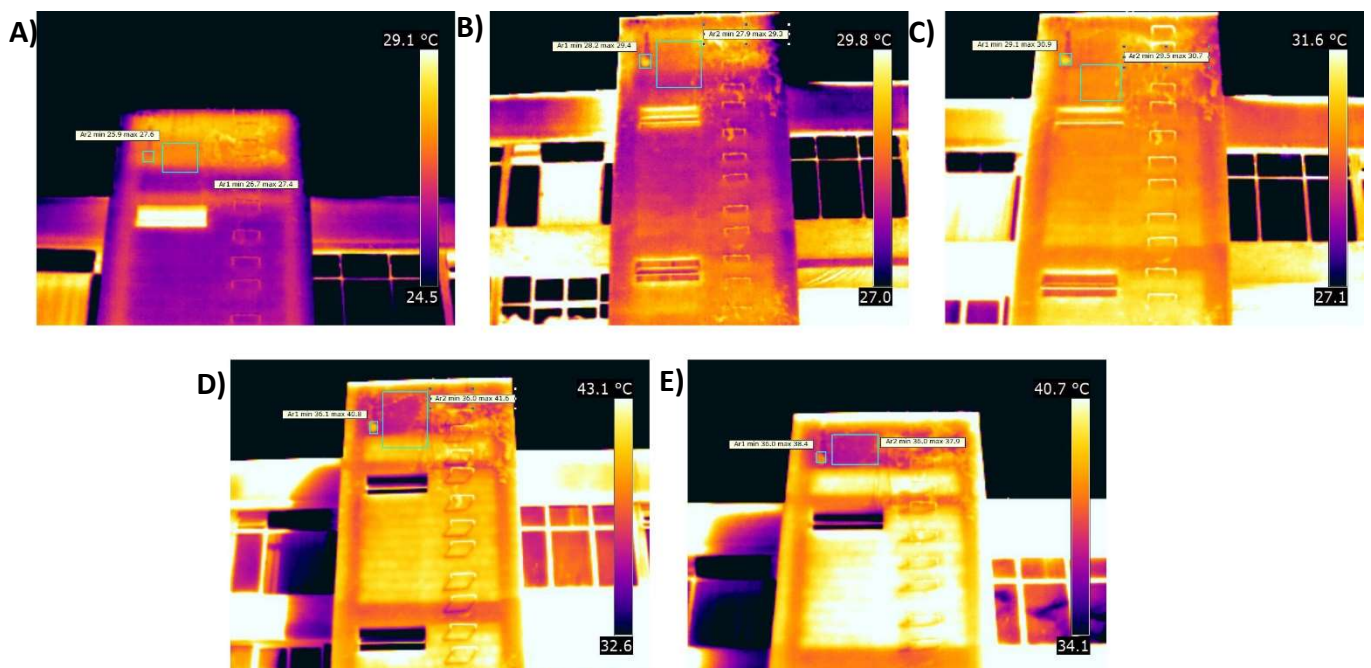


Figura 78 – Termografia às 7h30 (“A”), 9h00 (“B”), 11h00 (“C”), 15h00 (“D”) e 17h00 (“E”) da amostra BP2.

Além disto, a posição do defeito (localizado no topo de uma caixa de escadas) cria um efeito de distorção nas temperaturas devido ao ângulo da foto: nos momentos de aquecimento (7h30 e 9h00) há uma tendência do topo do prédio em apresentar temperaturas maiores enquanto no resfriamento (15h00 e 17h00), a mesma região se apresenta mais fria em comparação com o resto da caixa de escada.

A Tabela 19 apresenta os valores extraídos das regiões apontadas em cada termograma da Figura 80, bem como os valores de Delta – T calculados. Nota-se que os valores de diferença de temperatura mais expressivos atingiram no máximo 0,9°C e foram registrados no período vespertino, quando há incidência direta do sol sobre a superfície da fachada.

| Amostra BP2 | | | |
|--------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Oeste | Temperatura do defeito | Temperatura região padrão | Delta-T |
| 7h30 | 27,1 °C | 27,0 °C | 0,1 °C |
| 9h00 | 28,7 °C | 28,5 °C | 0,2 °C |
| 11h00 | 30,1 °C | 29,9 °C | 0,2 °C |
| 15h00 | 38,5 °C | 37,8 °C | 0,7 °C |
| 17h00 | 37,5 °C | 36,6 °C | 0,9 °C |

Tabela 19 – Valores de temperaturas e Delta – T extraídos dos termogramas da amostra BP2.

Para complementar a investigação dos comportamentos constatados, foram construídos gráficos de Delta – T e das temperaturas dos defeitos em função dos momentos de inspeção. As Figuras 79 e 80 mostram o comportamento das amostras BP1 e BP2.

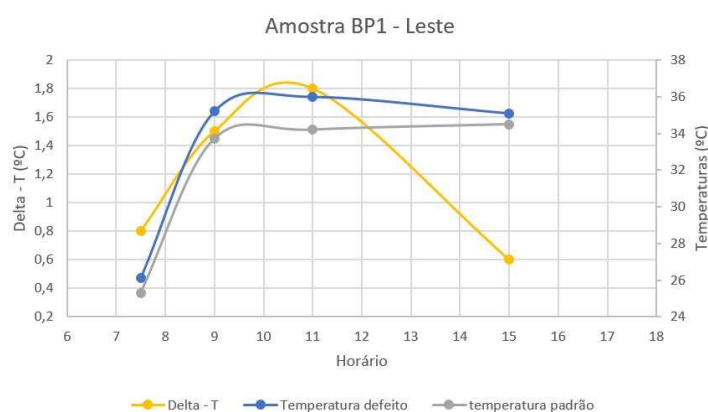


Figura 79 – Gráfico de comportamento térmico da amostra BP1.

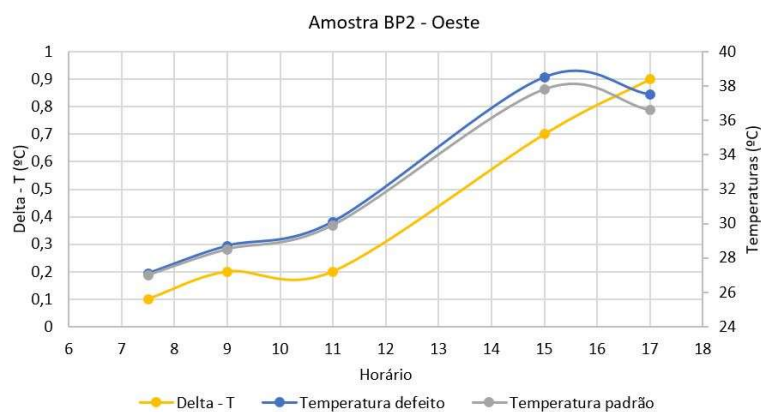


Figura 80 – Gráfico de comportamento térmico da amostra BP2.

A principal contribuição dos gráficos para o entendimento do comportamento das amostras BP1 e BP2 consiste na influência da incidência solar no Delta – T, assim como em outras patologias. A amostra Oeste (BP2) apresenta uma curva de Delta – T crescente, registrando maiores valores no período da tarde. Já a Amostra Leste (BP1) apresenta uma ascendente no período inicial do dia e tende a diminuir os valores de Delta – T no período Vespertino.

Os valores de Delta – T, mesmo em seus valores máximos não foram tão expressivos quanto em outras patologias, uma vez que as curvas de temperatura do defeito e padrão são muito próximas.

5. CONCLUSÕES

A partir da problemática que envolve o estudo e identificação de patologias em fachada, foi possível investigar patologias sob o escopo da técnica termográfica. Pontualmente acerca dos resultados:

- No geral, as patologias investigadas se apresentam com Delta – T positivo tanto no aquecimento quanto no resfriamento. Fissurações e descolamentos foram as patologias mais nítidas identificadas com valores de Delta – T acima de +5°C;
- As patologias investigadas têm Delta-T potencializado quando há incidência direta do sol na região de análise pois são registrados valores maiores de Delta – T. Isso melhora as condições de visibilidade e detalhamento na aquisição de imagens térmicas;
- Os momentos em que as patologias não são nítidas no termograma são caracterizados por baixos valores de Delta – T e são coerentes pelo baixo valor de gradiente de temperatura encontrados na simulação higrótérmica;
- As amostras de pulverulência e eflorescências foram investigadas de maneira exploratória por conta da baixa frequência nas amostras e os termogramas não apontaram diferenças padronizadas de temperatura associadas a cada defeito, porém foi possível identificar suspeitas de pulverulência e eflorescência não visíveis nos registros fotográficos;
- Para fissuras, descolamentos e falhas de pintura em amostras de orientação Leste, a curva de Delta – T apresenta tendência crescente no início do aquecimento, mas tende a decrescer no período de resfriamento. Já em amostras de orientação Oeste, a curva do Delta – T apresenta tendência crescente ao longo do dia, mas o crescimento é mais acentuado no período da tarde, no resfriamento;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_____. ASTM E1316 - 14. **Standard Terminology for Nondestructive Examinations**. West Conshohocken, PA, United States, 2014.

_____. ASTM E1862 - 97. **Standard Test Methods for Measuring and Compensating for Reflected Temperature Using Infrared Imaging Radiometers**. West Conshohocken, PA, United States, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-4: **Final Sistemas de vedações verticais internas e externas**. Rio de Janeiro, 2013.

BAUER, E.; CASTRO, E. K.; HILDENBERG, A.; PAVON, E. **Critérios para a aplicação da termografia de infravermelho passiva como técnica auxiliar ao diagnóstico de patologias em fachadas de edifícios**. Revista Politecnica (Bahia), v. 21, p. 266–277, 2014.

BAUER, E.; FREITAS, V. P. DE; MUSTELIER, N.; BARREIRA, E.; FREITAS, S. S. DE. **Infrared thermography – evaluation of the results reproducibility**. Structural Survey, v. 31, n. 3, p. 181–193, 2015

BAUER, E.; PAVÓN, E. **Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios**. Concreto & Construções, n. Jul-Set, p. 93–98, 2015.

BAUER, E.; PAVÓN, E.; BARREIRA, E.; CASTRO, E. K. DE. **Analysis of building facade defects using infrared thermography: Laboratory studies**. Journal of Building Engineering, v. 6, p. 93–104, 2016.

BAUER, E.; PAVÓN, E.; OLIVEIRA, E.; PEREIRA, H. F. **Facades inspection with infrared thermography: cracks evaluation**. Journal of Building Pathology and Rehabilitation, v. 1, n. 2, p. 1–7, 2016a.

BAUER, E.; PAVON, E.; PEREIRA, H. F.; NASCIMENTO, M. L. M. **Criteria for Identification of Ceramic Detachments in Building Facades with Infrared Thermography**. In: Recent Developments in Building Diagnostic. 5p. 51–68, 2016b.

BAUER, R. J. F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica.** In: II Simpósio Brasileiro de Tecnologia das argamassas, Salvador – BA, 1997.

BAUER, E.; MILHOMEM, P M.; AIDAR, L. A. G. **Evaluating the damage degree of cracking in facades using infrared thermography.** In: Journal of Civil Structural Health Monitoring. 2018.

CALDEIRA, M. M. **Aplicação da termografia infravermelha para identificação de danos na aderência entre concreto e polímero reforçado com fibras.** Tese de doutorado, PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

CHAI, C.; DE BRITO, J.; GASPAR, P. L.; SILVA, A. **Predicting the Service Life of Exterior Wall Painting: Techno-Economic Analysis of Alternative Maintenance Strategies.** Universidad Politecnica De Valencia, Valencia, Espanha, 2015.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações. In: Tecnologia das edificações.** São Paulo: Pini: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, 708 p., 1988.

DORNELLES, K. A. **Absortância solar de superfícies opacas: métodos de determinação e base de dados para tintas látex acrílica e PVA.** 2008. 160p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008.

FLORES-COLEN, I. DOS S. **Metodologia de avaliação do desempenho em serviço de fachadas rebocadas na óptica da manutenção predictiva.** Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior Técnico, 2009.

FREITAS, S. S. DE; FREITAS, V. P. DE; BARREIRA, E. **Detection of façade plaster detachments using infrared thermography – A nondestructive technique.** Construction and Building Materials, v. 70, p. 80–87, nov. 2014.

GARRIDO, M. A. J. **Previsão da vida útil em pinturas de fachadas de edifícios antigos – Metodologia baseada na inspeção de edifícios em serviço.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

GASPAR, P. **Vida útil das construções: desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa da durabilidade de elementos da construção - Aplicação a rebocos de edifícios correntes.** Dissertação de Doutorado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2009.

HOLST, G. C. **Common sense approach to thermal imaging.** SPIE, p. 2, 2000.

INFRARED TRAINING CENTER – ITC – **Manual do usuário – Certificação Nível 1 – 2014**
p. 70

KYLILI, A.; FOKAIDES, P. A.; CHRISTOU, P.; KALOGIROU, S. A. **Infrared thermography (IRT) applications for building diagnostics: A review.** *Applied Energy*, v.134, p. 531–549, dez. 2014.

MACÊDO, M. S. P. H. **Mensuração da degradação de fachadas em argamassa empregando a inspeção de edifícios.** Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2017.

MADRUGA, F. J.; IBARRA-CASTANEDO, C.; CONDE, O. M.; LÓPEZ-HIGUERA, J. M.; MALDAGUE, X. **Infrared thermography processing based on higher-order statistics.** *NDT & E International*, v. 43, n. 8, p. 661–666, nov. 2010.

MALDAGUE, X. **Introduction to NDT by Active Infrared Thermography.** *Materials Evaluation*, 2002.

MARIO, M. **Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas.** Trabalho de Diplomação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

MARTÍNEZ, E.; CASTILLO, A.; MARTÍNEZ, I.; CASTELLOTE, M. **Metodología para la intervención en elementos históricos: el caso de la espadaña del convento de Nuestra Señora de la Consolación (Alcalá de Henares-Madrid-España).** *Informes de la Construcción*, v. 65, n. 531, p. 359–366, 4 set. 2013.

NASCIMENTO, M. **Aplicação da simulação higrotérmica na investigação da degradação de fachadas de edifícios.** Dissertação de mestrado. Universidade de Brasília, 2016.

PAOLETTI, D.; AMBROSINI, D.; SFARRA, S.; BISEGNA, F. **Preventive thermographic diagnosis of historical buildings for consolidation.** Journal of Cultural Heritage, v. 14, n.2, p. 116–121, mar. 2013.

PAVON, E. **Critérios e padrões de comportamento para avaliação de descolamentos cerâmicos com termografia de infravermelho.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

PEDRA, S. A. **Potencialidades da termografia infravermelha aplicada ao design do conforto térmico de alvenaria estrutural.** Dissertação de mestrado. Universidade de Minas Gerais, 2011.

PEREIRA, C. H. A. F. **Contribuição ao estudo da fissuração, da retração e do mecanismo de descolamento do revestimento à base de argamassa.** Tese de doutorado, Universidade de Brasília, 2007.

RORIZ, M. **Arquivos Climáticos de Municípios Brasileiros.** ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP. 2012. Disponível em: <<http://www.labeec.ufsc.br/downloads/arquivosclimaticos/formato-epw>>. Acesso em: março de 2018.

SANTOS, D. G. **Estudo da vida útil e degradação de fachadas em argamassa a partir da inspeção de edifícios.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SANTOS, M. J. B. O. **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília.** Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SILVA, D. D. S. **Diagnóstico de patologias em fachadas utilizando termografia. Mestrado. Engenharia Civil. Universidade do Porto, 2012.**

SILVA, M. N. B. **Avaliação Quantitativa da Degradação e Vida útil de Revestimentos de Fachada - Aplicação ao Caso de Brasília.** Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SOUSA, R.; SILVA, F. M.; SOUSA, F. **Fachadas de edifícios.** Lisboa, Portugal: Lidel, 295 p., 2016.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília.** Tese (Doutorado) Universidade de Brasília, 2015. 293 p.

ANEXO A

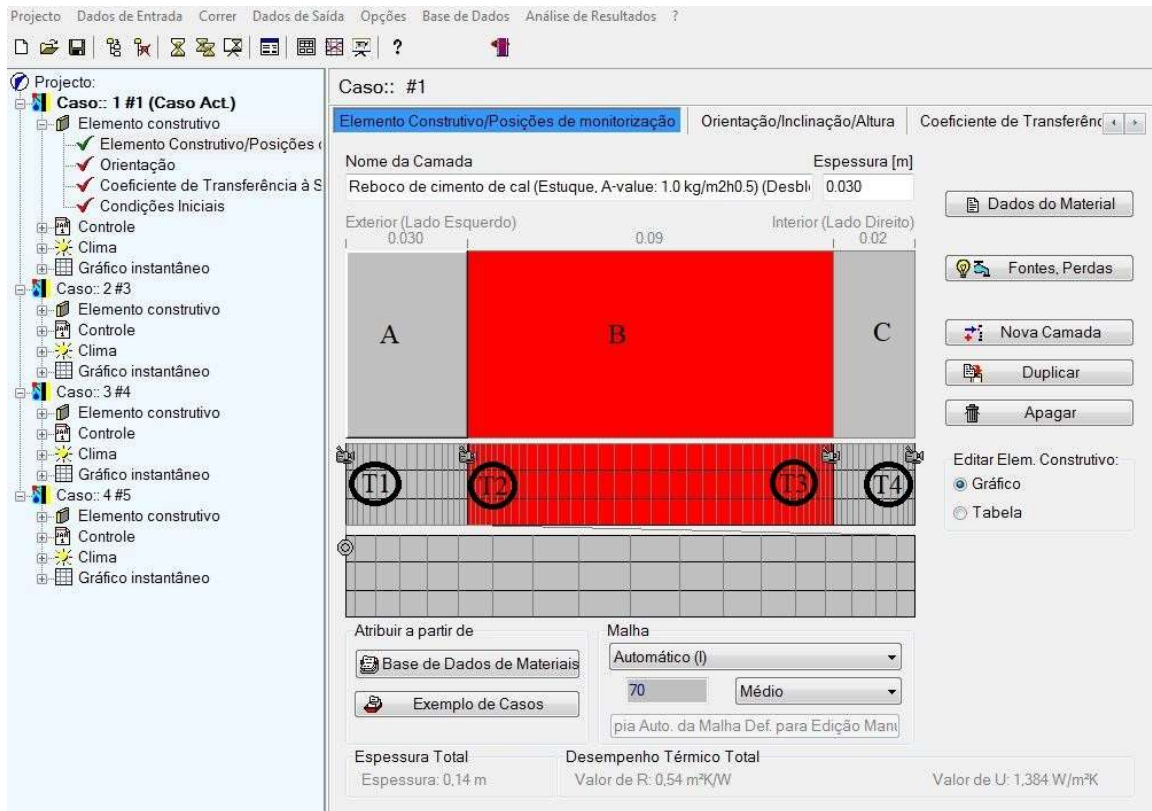


Figura 81 – Definição do revestimento de estudo para simulação.

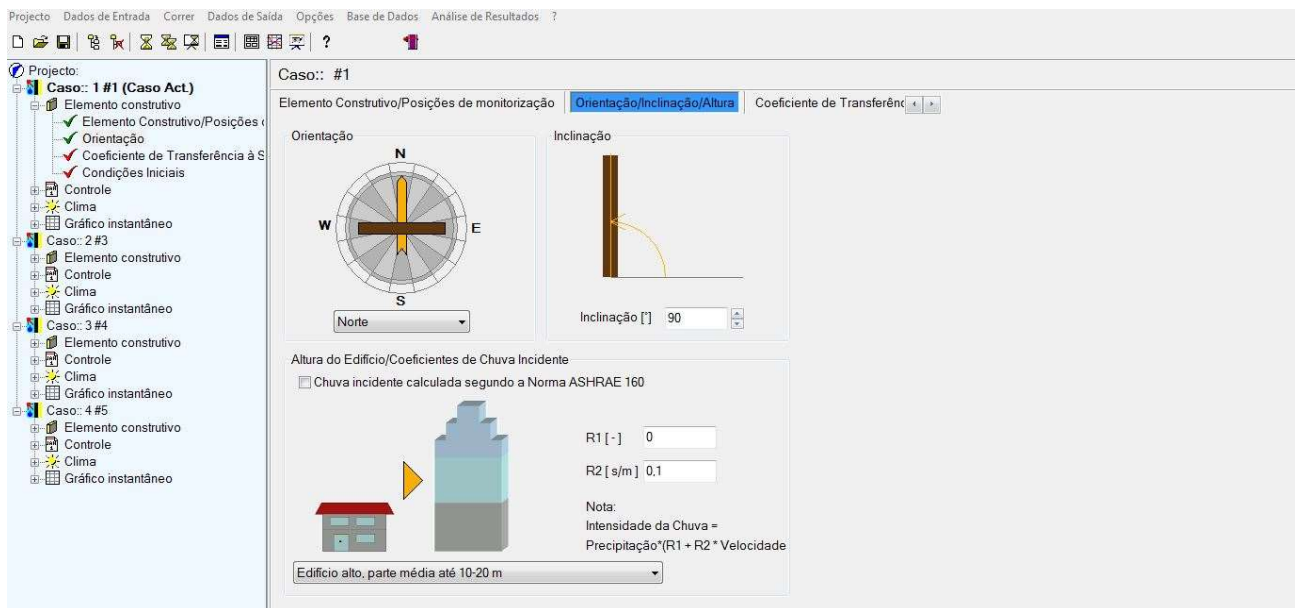


Figura 82 - Definição da orientação, inclinação e altura da fachada.

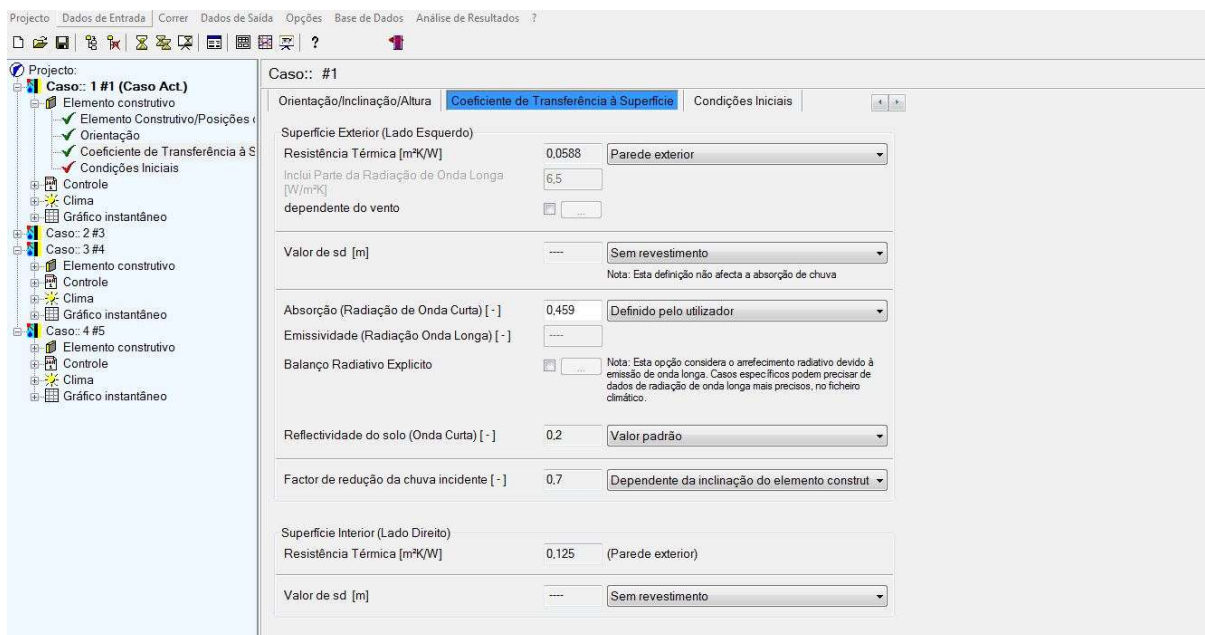


Figura 83 – Definição da Absortância da superfície da fachada.

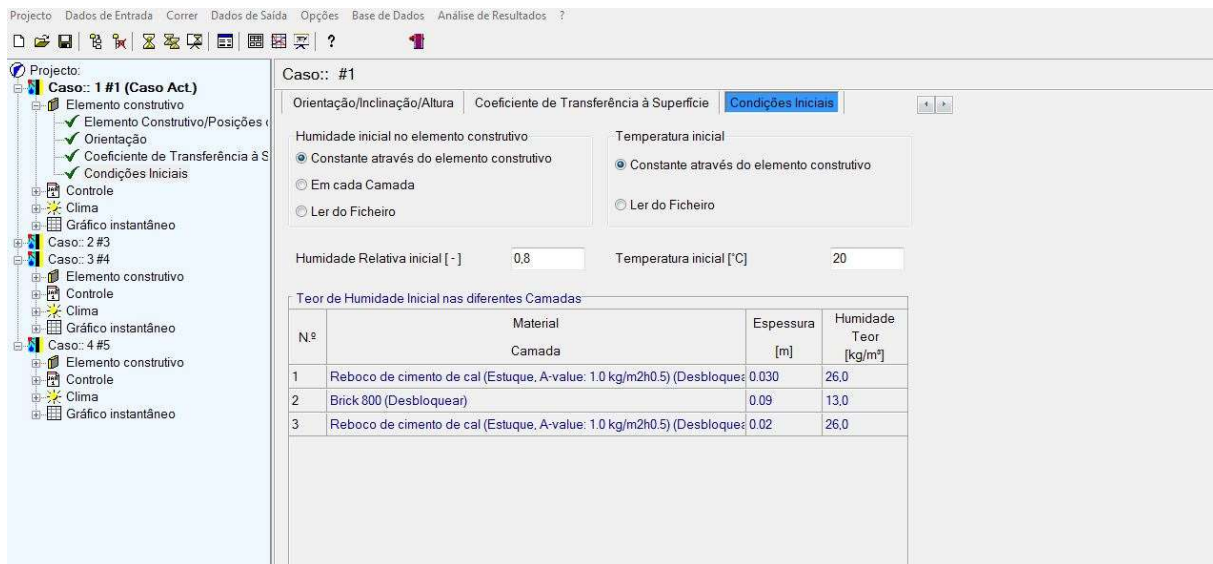


Figura 84 – Definição das condições iniciais de cálculo.

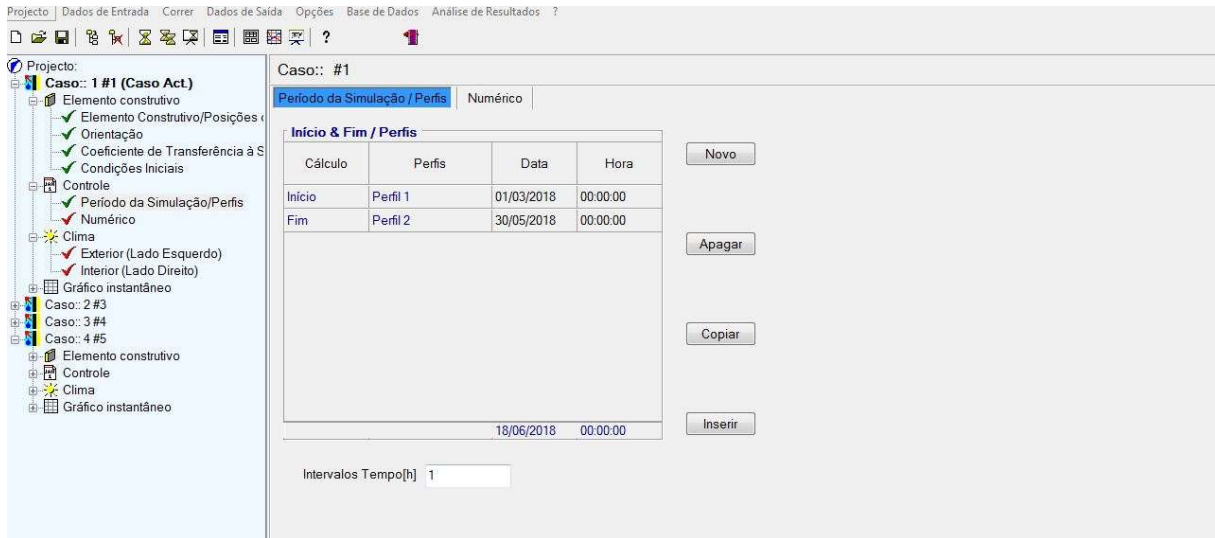


Figura 85 – Definição do Período de Simulação

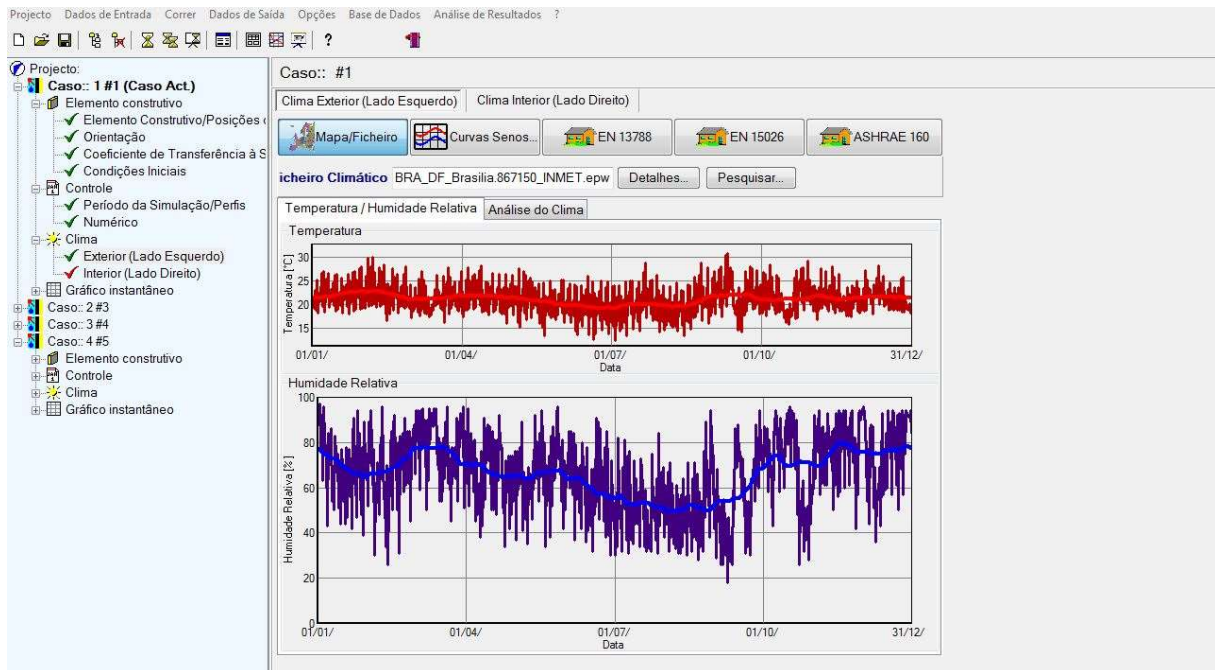


Figura 86 – Definição do Clima interior da Edificação.

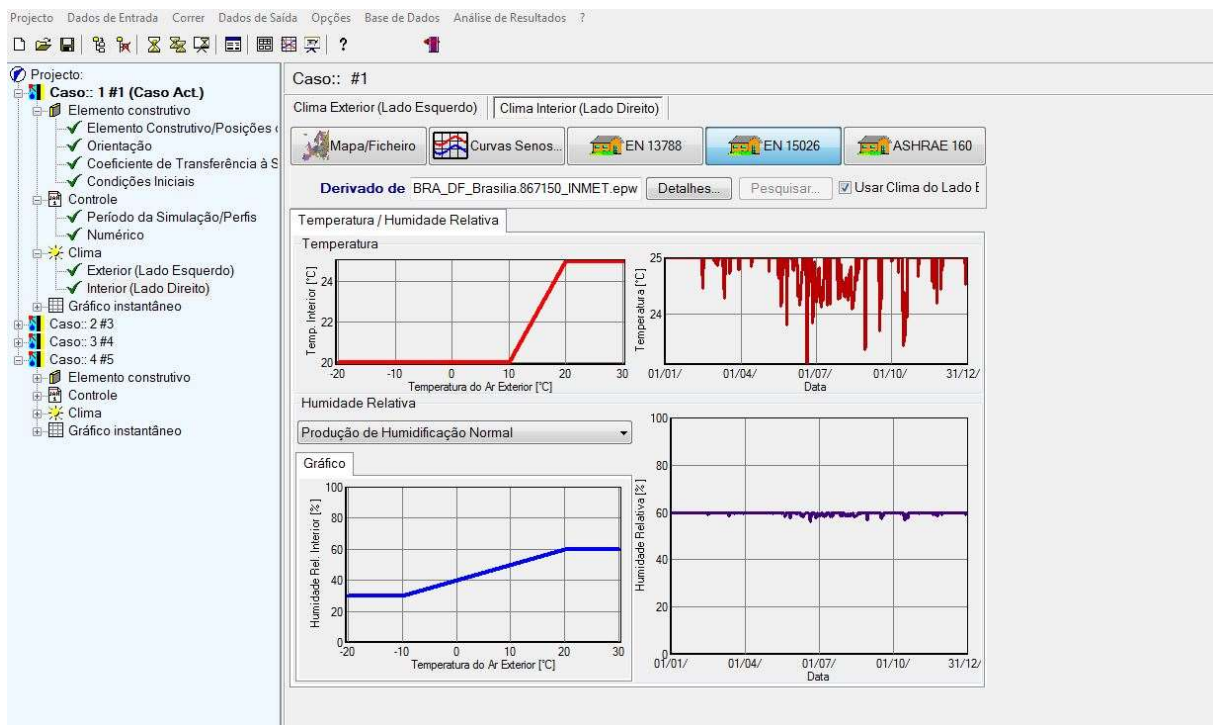


Figura 87 – Definição do Clima Exterior da Edificação

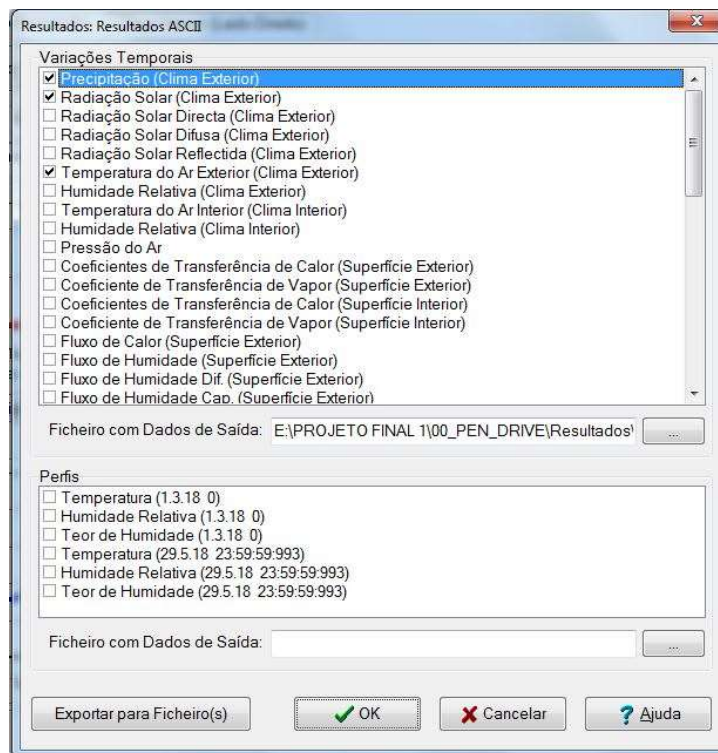


Figura 88 – Definição dos dados para extração após simulação

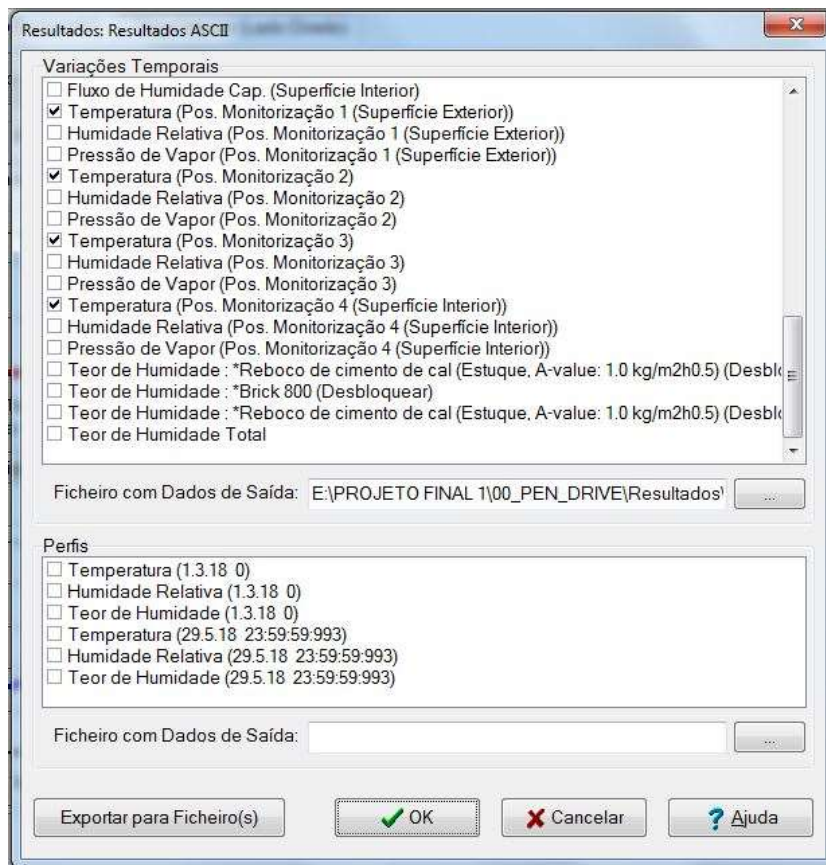


Figura 89 – Definição dos dados após a simulação – parte 2

| N° | Nome | Cor | α_{TOT} (%) |
|----|---------------|---|--------------------|
| 20 | Azul |  | 77,1 |
| 5 | Azul Imperial |  | 74,2 |
| 64 | Azul Profundo |  | 72,9 |
| 4 | Azul |  | 66,8 |
| 49 | Azul Bali |  | 49,7 |
| 37 | Azul Angra |  | 35,2 |

Figura 90 – Recorte de absorções e cores frias. Dornelles (2008).













| Nº | Nome | Cor | α_{TOT} (%) |
|----|-------------------|---|--------------------|
| 16 | Tabaco |  | 78,6 |
| 24 | Crepúsculo |  | 71,0 |
| 60 | Telha |  | 70,6 |
| 31 | Terracota |  | 69,1 |
| 17 | Terracota |  | 65,0 |
| 30 | Telha |  | 63,5 |
| 33 | Vermelho |  | 62,6 |
| 68 | Cerâmica |  | 62,5 |
| 8 | Camurça |  | 61,8 |
| 78 | Vermelho Cardinal |  | 61,2 |
| 52 | Camurça |  | 60,7 |
| 67 | Camurça |  | 54,4 |

Figura 91 - Recorte de absorções e cores quentes. Dornelles (2008).


| Nº | Nome | Cor | α_{TOT} (%) |
|----|----------------|---|--------------------|
| 19 | Amarelo Terra |  | 70,7 |
| 2 | Amarelo Terra |  | 65,1 |
| 35 | Amarelo Terra |  | 61,3 |
| 1 | Amarelo Antigo |  | 56,1 |
| 55 | Marrocos |  | 55,5 |
| 18 | Amarelo Antigo |  | 55,2 |
| 27 | Palha |  | 51,3 |
| 28 | Pérola |  | 45,9 |
| 56 | Mel |  | 45,9 |
| 13 | Palha |  | 45,6 |
| 26 | Marfim |  | 43,4 |
| 12 | Marfim |  | 43,0 |
| 14 | Pérola |  | 41,6 |

Figura 92 – Recorte de absorções e cores comuns em fachadas. Dornelles (2008).