



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**MARCELO DIAS CAMPOS**

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO E SUA  
INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO DE FACHADAS**

UBERLÂNDIA

2018

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**MARCELO DIAS CAMPOS**

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO E SUA  
INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO DE FACHADAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil (FECIV) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

**Orientadora:** Prof. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão

UBERLÂNDIA

2018

**MARCELO DIAS CAMPOS**

**ANÁLISE E AVALIAÇÃO DA ORIENTAÇÃO E SUA  
INFLUÊNCIA NO COMPORTAMENTO DE FACHADAS**

Monografia submetida ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Uberlândia, \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Banca de avaliação:

---

Profa. Dra. Maria Cláudia de Freitas Salomão – UFU/MG  
(Orientadora)

---

Profa. Dra. Eliane Betânia Carvalho Costa – UFU/MG  
(Examinador Interno)

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabana Guterres – UFU/MG  
(Examinador Interno)

## **AGRADECIMENTOS**

À meus pais Marcos e Aparecida, que desde sua juventude construíram o caminho para que fosse possível, além da minha formação pessoal, a profissional. Com amor, respeito e honestidade me guiaram sempre para o caminho do bem e a vocês devo tudo que tenho e sou. Aos meus irmãos Gabriel, Mariana e Mateus, pela amizade e cumplicidade. Compartilhar bons momentos com vocês tornou mais leve a caminhada da minha graduação. À Isabella, minha companhia de sempre, pelo apoio, motivação, crença e carinho que sempre demonstrou. Sua presença muitas vezes facilitou o que seria muito complicado sem ela.

À minha orientadora e referência profissional Maria Cláudia, pela atenção, paciência e organização. Sua participação na minha graduação foi muito valiosa. Saiba que levarei seus métodos e ensinamentos adiante e, sempre que possível, me espelharei neles com a garantia do sucesso.

Aos amigos e companheiros de faculdade Emiliano, Filipe, Guilherme, João, Matheus Bonfá, Borges, Dariva e Ribeiro, Mauro, Othon, Paulo Vinícius, Pedro, Pedro Paulo, Rafael e Rodrigo, com quem pude viver momentos incríveis que tornarão as lembranças da faculdade mais divertidas e nostálgicas.

À Deus, pela capacidade, condição e discernimento para concluir o curso com a certeza desta escolha.

À Universidade Federal de Uberlândia, pela estrutura e oportunidade de aprender com os mais capacitados profissionais da região.

## RESUMO

Este trabalho tem o objetivo de verificar, através da análise de um edifício na cidade de Uberlândia/MG, a validade da correlação entre a orientação e o desempenho de suas fachadas. Para isto, estudou-se a incidência de fissuras nestas fachadas por meio de duas análises: visitas de campo e simulação higrotérmica. Com a inspeção visual feita no campo, foi possível obter um mapeamento das fissuras existentes nas fachadas em questão, além de levantar hipóteses iniciais acerca de suas causas. Já na simulação higrotérmica, pôde ser feita uma análise mais específica sobre as condições externas e como os componentes da fachada se comportam sob elas. Por fim, a comparação dessas duas metodologias permitiu o melhor entendimento das causas de fissuração e, conseqüentemente, um direcionamento adequado dos parâmetros de projeto, uso e manutenção para que a vida útil do edifício seja preservada tanto na construção quanto na utilização.

**Palavras-chave:** Fachada, Fissuras, Simulação Higrotérmica, Orientação, Desempenho.

## **ABSTRACT**

This paper aims to verify, through the analysis of a building in the city of Uberlândia/MG, the validity of the correlation between the orientation and the performance of its facades, by visual inspection and hygrothermal simulation. The goal of the visual inspection done on site is to map the existing fissures in those facades, allowing to raise hypotheses about their causes. With the hygrothermal simulation a more specific analysis of the external conditions and how the facade components behave under is done. Finally, a comparison between the two methodologies gives a better understanding of the factors that cause the fissures, allowing future improvements on the design specifics and ways to use and repair the building to enhance its service life.

**Keywords:** Facades, Fissures, Hygrothermal Simulation, Orientation, Performance.

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>8</b>
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1 DEGRADAÇÃO DE FACHADAS.....</b>	<b>9</b>
<b>3.1.1 INCIDÊNCIA DE FISSURAS EM FACHADAS.....</b>	<b>11</b>
<b>3.2 DESEMPENHO DE FACHADAS.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2.1 ORIENTAÇÃO DE FACHADAS: INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS: INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO.....</b>	<b>16</b>
<b>3.3 COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO.....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA.....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.3 SIMULAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS.....</b>	<b>22</b>
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>4.3 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA.....</b>	<b>30</b>
<b>5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 MAPEAMENTO DE FISSURAS.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA.....</b>	<b>39</b>
<b>5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>45</b>
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

É certo que um edifício cuja fachada é mapeada por fissuras está em situação problemática no que se refere a sua superfície. A incidência de tal tipo de manifestação patológica está condicionada a diversos fatores que podem ser caracterizados como de natureza estrutural ou superficial. Um dos importantes fatores a ser considerado em uma fachada que apresente fissuras é a retração térmica, já que a variação dos níveis de temperatura oriunda, por exemplo, da exposição a luz solar, pode submeter os componentes do revestimento da fachada a comportamentos não sincronizados de maneira a possibilitar o surgimento de fissuras na superfície da mesma (IBDA, 2018).

Um influente variável no que se refere a suscetibilidade das fachadas às ações climáticas é a orientação dos edifícios. É natural imaginar que em todas as orientações as anomalias podem se mostrar presentes, entretanto, algumas delas tendem a apresentar tipos específicos e maior degradação do que outras (SOUZA, 2016). Embora as ideias iniciais sobre degradação e sua relação com a exposição aos agentes climáticos sejam de natureza intuitiva, quantificar a incidência dessa degradação associada com as condições de exposição e com o comportamento higrotérmico dos componentes de fachada se mostrou uma lacuna nos estudos brasileiros sobre o tema (ZANONI, 2015).

Conhecer e caracterizar os danos decorrentes da ação do clima e sua relação com a orientação das fachadas é, portanto, um ponto muito importante para evoluir a concepção de projetos e as práticas de preservação e manutenção nas edificações, já que esses conhecimentos podem propiciar, além de melhorias de caráter econômico e estético, um ganho de conforto para o usuário e de vida útil para a edificação.

## **2 OBJETIVOS**

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo verificar a correlação entre a orientação e o desempenho (incidência de fissuras) de fachadas de um edifício localizado na cidade de Uberlândia/MG.

Buscou-se, mais especificamente, estabelecer parâmetros de manutenção e concepção de projetos baseados em observações de campo e simulações higrotérmicas. Com as visitas de campo, pretende-se estabelecer informações iniciais acerca das fachadas que estariam mais expostas à fissuração e dos detalhes construtivos que poderiam, se negligenciados, favorecê-la. A partir da simulação higrotérmica, tem-se por objetivo obter resultados que



quando comparados com as observações de campo possam validar ou não a correlação entre orientação e desempenho de fachadas.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

É certo dizer, segundo Braga (2010), que a fachada é um dos mais importantes sistemas de uma edificação. Do ponto de vista técnico, ela é responsável por resguardar os ambientes internos da edificação e, assim, promover conforto e habitabilidade aos usuários da mesma. Já no âmbito arquitetônico, a fachada detém um importante papel estético em virtude de suas variedades de arranjos e cores que muitas vezes se destacam nos cenários urbanos. A fachada recebe um conceito que a caracteriza como cada uma das faces de qualquer construção, em que a fachada de frente é denominada fachada principal e as restantes denominadas fachada posterior e fachadas laterais. A fachada pode, então, ser sucintamente definida como o envoltório de alvenaria da edificação que limita os espaços interior e exterior da mesma (BRAGA, 2010).

Essa envoltória é, em virtude de sua posição estratégica de exposição no ambiente em que se localiza, quem primeiro recebe as agressões externas dos agentes de degradação. Como consequência deste ataque, o desempenho esperado de seus elementos e também sua vida útil são comprometidos (BRAGA, 2010). Tal vida útil está diretamente relacionada ao projeto, às características dos materiais, ao cumprimento das especificações construtivas, ao adequado uso e operação da edificação e de suas partes, à constância e efetividade das operações de limpeza e manutenção, além de alterações climáticas, níveis de poluição no local do edifício e mudanças no entorno do mesmo ao longo do tempo (BAUER *et al.*, 2015).

Tensões mecânicas e térmicas, fadiga, expansão por umidade, infiltrações e esforços higrotérmicos: são estes alguns exemplos de fatores que causam movimentações em edifícios de modo a afetá-lo parcial ou totalmente (BAUER *et al.*, 2015). Elevadas tensões térmicas e tensões mecânicas de tração, por exemplo, podem provocar falhas de aderência entre as diversas camadas do revestimento. Em um cenário de propagação desta eventual falha, um processo de degradação progressivo se desencadeará a ponto de, possivelmente, comprometer o desempenho global da fachada (BAUER *et al.*, 2010). É certo dizer, portanto, que a degradação da fachada pode se atribuir à sequência de alterações químicas ou físicas, ou

ambas, que acarretem em mudanças prejudiciais nas propriedades dos componentes da fachada quando a mesma está exposta a fatores de degradação como, por exemplo, a incidência solar (BAUER *et al.*, 2015).

A agressividade do ambiente é, como já citado, um fator preponderante para a incidência de patologias nas fachadas e consequente perda de durabilidade de seus elementos (BRAGA, 2010). É possível, nesse sentido, observar conforme a Tabela 1 a sistematização de tal agressividade através da classificação dos agentes degradantes conforme sua natureza/origem.

Vale ressaltar o fato de que a durabilidade não é uma propriedade característica do material, mas sim resultado da interação do mesmo com o ambiente em que ele se localiza. Um mesmo material pode, por exemplo, apresentar desempenho diferente ao longo do tempo para condições de exposição também diferentes e pode, ainda, apresentar desempenho diferente em condições de exposição constantes, caso a função desse material seja modificada (JOHN, 2006).

A incidência de manifestações patológicas nas fachadas advém, muitas vezes, da falta de competência técnica nas construções no que se refere à execução (KISS, 2003). Diante da necessidade máxima de reduzir o tempo e o custo, um sistema muito sacrificado é o revestimento, de maneira que os devidos cuidados durante o preparo da superfície, dosagem e aplicação das argamassas são negligenciados (SEGAT, 2006). Nesse cenário é necessário considerar, entretanto, o aumento do risco de manifestações patológicas e, consequentemente, das despesas pós-ocupação, que podem se elevar a ponto de atribuir à economia inicial um aspecto de insignificância. É importante frisar, ainda, que o revestimento representa para o leigo, uma radiografia das condições da edificação, de modo que ter problemas no revestimento da fachada pode significar equivocadamente para o usuário que a construção foi, em sua totalidade, mal executada (LEAL, 2003).

Tabela 1 – Agentes de degradação atuantes nos edifícios.

Natureza/Origem	Exterior à edificação		Interior à edificação	
	Atmosfera	Solo	Impostos pela Ocupação	Consequências da Concepção
<b>1. Agentes Mecânicos</b>				
<b>1.1 Gravidade</b>	Cargas de neve, água e chuva	Pressão do solo, de água	Sobrecarga de utilização	Cargas permanentes
<b>1.2 Forças e deformações impostas</b>	Pressão de gelo, dilatações térmica e higroscópica	Escorregamentos, recalques	Esforços de manobra	Retrações, fluência, forças e deformações impostas
<b>1.3 Energia cinética</b>	Vento, granizo, choques exteriores	-	Choques interiores, abrasão	Impactos de corpo mole
<b>1.4 Vibrações e ruídos</b>	Ruídos exteriores	Sismos, vibrações exteriores	Ruídos interiores, vibrações interiores.	Ruídos/vibrações da edificação.
<b>2. Agentes Eletromagnéticos</b>				
<b>2.1 Radiação</b>	Radiação solar.	-	Lâmpada, radiação nuclear.	Painel radiante.
<b>2.2 Eletricidade</b>	Raios.	Correntes parasitárias.	-	Correntes de distribuição.
<b>2.3 Magnetismo</b>	-	-	Campos magnéticos.	Campos magnéticos.
<b>3. Agentes Térmicos</b>	Reaquecimento, congelamento, choque térmico.	Reaquecimento, congelamento.	Calor emitido, cigarro.	Aquecimento, fogo.
<b>4. Agentes Químicos</b>				
<b>4.1 Água e solventes</b>	Umidade do ar, condensação, precipitação.	Água de superfície, água subterrânea.	Ações de lavagem com água, condensações, detergentes, álcool.	Águas de distribuição, águas servidas, infiltrações.
<b>4.2 Oxidantes</b>	Oxigênio, ozônio, óxidos de nitrogênio.	-	Água de lavanderia, água oxigenada.	Potenciais eletroquímicos positivos.
<b>4.3 Redutores</b>	-	Sulfetos.	Agentes combustíveis, amônia.	Agentes combustíveis, potenciais eletroquímicos positivos.
<b>4.4 Ácidos</b>	Ácido carbônico, excremento de pássaros, ácido sulfúrico.	Ácido carbônico, Ácidos húmicos.	Vinagre, ácido cítrico, ácido carbônico.	Ácido sulfúrico, ácido carbônico.
<b>4.5 Bases</b>	-	Cales.	Soda cáustica, hidróxido de potássio, hidróxido de amônio.	Soda cáustica, cimentos.
<b>4.6 Sais</b>	Névoa salina.	Nitratos, fosfatos, cloretos, sulfatos.	Cloreto de sódio.	Cloreto de cálcio, sulfatos, gesso.
<b>4.7 Matérias inertes</b>	Poeira.	Calcário, sílica.	Gorduras, óleos, tintas, poeira.	Gorduras, óleos, poeira, sujeira.
<b>5. Agentes Biológicos</b>				
<b>5.1 Vegetais</b>	Bactérias, grãos.	Bactérias, fungos, cogumelos, raízes.	Bactérias, plantas domésticas.	-
<b>5.2 Animais</b>	Insetos, pássaros.	Roedores, vermes.	Animais domésticos.	-

Fonte: SOUZA (2015).

### 3.1.1 INCIDÊNCIA DE FISSURAS EM FACHADAS

Um exemplo comum de patologia incidente em fachadas de edificações são as fissuras, definidas como aberturas de espessura inferior a 0,5 mm (SABBATINI; BARROS, 1990). Na argamassa de revestimento, em um caso de não movimentação ou fissuração da base (estrutura de concreto ou alvenaria) a incidência de fissuras está, geralmente, condicionada

a fatores relativos à execução do revestimento argamassado, solicitações higrotérmicas e, principalmente, por retração hidráulica da argamassa (BAUER, 1997). Tal retração é um fenômeno físico que ocorre com os materiais de base cimentícia, no qual o volume inicialmente ocupado pelo material no estado plástico diminui de acordo com as condições de umidade do sistema e a evolução da matriz de cimento. A retração, associada à baixa resistência à tração, caracteriza uma grande desvantagem dos materiais a base de cimento Portland, principalmente quando aplicados em grandes superfícies expostas que tenham restrição quanto a este movimento. Essas características dos compostos de cimento possuem ligação direta com a ocorrência de fissuras que, além de comprometer a estética, afeta globalmente a durabilidade do revestimento de argamassa (SCARTEZINI, 2002).

Na execução de revestimento nas fachadas externas, as condições climáticas têm grande influência, visto que a aplicação em dias muito quentes pode provocar uma desidratação precoce da argamassa e, assim, causar fissuras do tipo mapeadas como visto na Figura 1 (LEAL, 2003). Esse tipo de fissura muitas vezes é invisível, a não ser que sejam molhadas de maneira a permitir a penetração capilar da água e consequente exposição de sua trajetória. A ocorrência de ciclos sucessivos de umedecimento e secagem pode, entretanto, resultar em mudanças na tonalidade e, desse modo, permitir a visualização das fissuras mesmo com o paramento seco (BARROS *et al.*, 1997). Tais ciclos associados às próprias movimentações térmicas do revestimento provocam microfissuras que se acentuam de maneira progressiva e, devido às infiltrações de água cada vez maiores, geram as fissuras (THOMAZ, 1989).

Figura 1 – Fissuras Mapeadas.



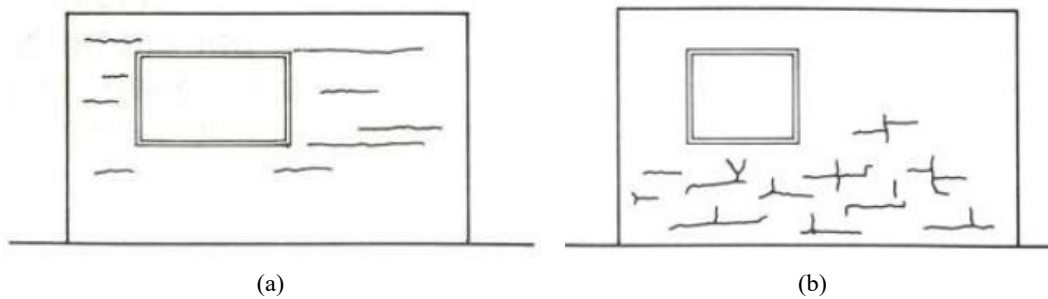
Fonte: LEAL (2003).

Há que se ressaltar, também, as fissuras predominantemente horizontais nas argamassas de revestimento. Este tipo de fissura decorre da expansão da argamassa de assentamento, seja

por hidratação retardada do óxido de magnésio da cal ou por ataque de sulfatos e podem, inclusive, resultar em descolamento do revestimento em placas. Como essa expansão da argamassa ocorre no sentido vertical, as fissuras provenientes da mesma têm como sentido resultante o horizontal (CINCOTTO, 1988).

As fissuras do tipo horizontal são apresentadas através das Figuras 2(a) e 2(b):

Figura 2 – Fissuras horizontais: provocadas pela hidratação retardada do óxido de magnésio (a); provocadas pelo ataque de sulfatos (b).



Fonte: THOMAZ (1989).

Outro aspecto importante diz respeito a possível ocorrência de fissuras lineares sobrepostas ao encontro entre a alvenaria da parede e a estrutura em concreto (Figura 3), que colocam em destaque a separação dos dois materiais e, conseqüentemente, indicam ineficiência no processo de execução (SEGAT, 2006). Diferentes propriedades térmicas dos materiais, gradientes térmicos nas fachadas, flexibilidade da estrutura: são estes exemplos de fatores que, se negligenciados, levam à essa manifestação patológica (THOMAZ, 2001).

Figura 3 – Fissuras causadas por movimentações térmicas diferenciadas.



Fonte: THOMAZ (1989).

### 3.2 DESEMPENHO DE FACHADAS

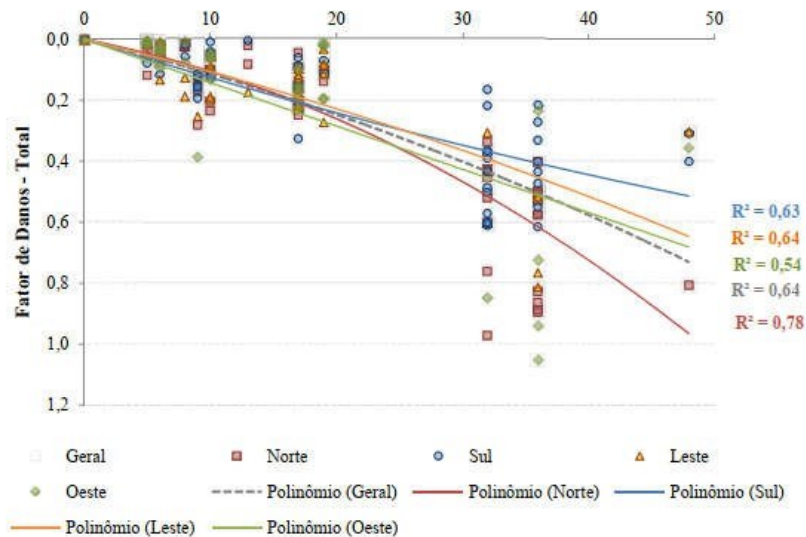
O desempenho de uma edificação pode ser definido como o comportamento em uso da mesma e dos sistemas que o compõem. A durabilidade deste edifício está ligada, de fato, à capacidade que ele ou suas partes têm de cumprir suas funções básicas ao longo do tempo. Tal período de tempo corresponde à vida útil da edificação, na qual o sistema pode ser utilizado sob condições satisfatórias de uso e manutenção, segurança, saúde e higiene (SABBATINI, 2007).

#### 3.2.1 ORIENTAÇÃO DE FACHADAS: INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO

É sabido que a variação de exposição de um mesmo material ou componente aos agentes climáticos como, por exemplo, a radiação solar, promove a degradação do elemento e/ou sistema de fachada. A análise da influência desta exposição no desempenho das fachadas pode ser conduzida pela classificação da orientação (Norte, Sul, Leste, Oeste) das mesmas, visto que é este o fator que condiciona os agentes climáticos (SOUZA, 2016).

Em um estudo aplicado na cidade de Brasília que relaciona a degradação de fachadas (através de um fator de danos) às suas respectivas orientações, Souza (2016) observou tendências diferentes de comportamento para cada orientação, em que as fachadas de orientação Norte apresentaram maiores índices de degradação que as demais (Figura 4).

Figura 4 – Curvas de degradação fator de danos (FD) em função da idade das edificações e de acordo com a orientação cardinal

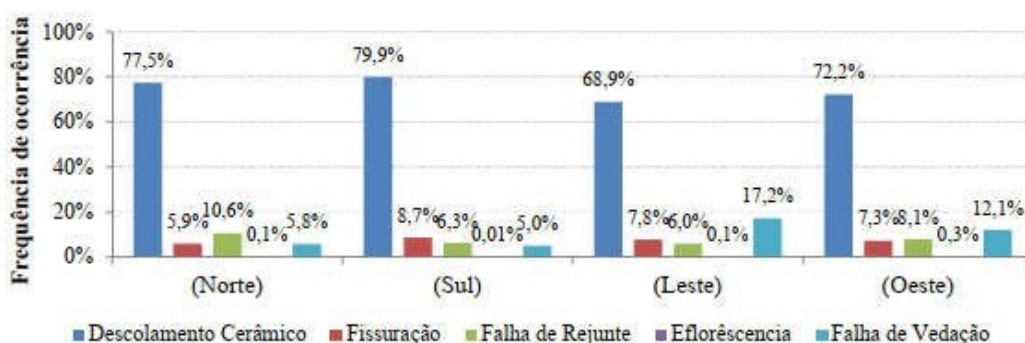


Fonte: SOUZA (2016).

Tal estudo considerou, ainda, as idades dos edifícios, visto que o comportamento de degradação das orientações muda ao decorrer das idades, pois algumas delas se apresentam mais suscetíveis à degradação que outras. Essa mudança denota, de fato, o caráter cumulativo das ações sobre a edificação de modo a possibilitar, nitidamente, a observação de que as orientações com maior atuação de agentes climáticos, particularmente incidência solar, são as mais degradadas (ZANONI, 2015).

Souza (2016) retrata em sua pesquisa, ainda, a distribuição de vários tipos de danos para cada orientação de fachada, conforme mostra a Figura 5.

Figura 5 – Distribuição de danos em função das orientações.



Fonte: SOUZA (2016).

Torna-se evidente nesse estudo o fato de que, embora algumas anomalias apresentem maior ocorrência que outras, todas elas estão presentes em todas as orientações. É importante ressaltar, ainda, que os valores apresentados se referem à distribuição de danos e, portanto, uma porcentagem maior de ocorrência de, por exemplo, fissuras, na orientação Sul (79,9%) do que na orientação Norte (77,5%) não significa que há uma área fissurada maior na orientação Sul do que na Norte, mas sim que na orientação Sul a distribuição de fissuras é maior do que a distribuição das demais patologias para esta mesma orientação (SOUZA, 2016).

Conforme aponta Melo Jr. (2010), as orientações influenciam no processo de degradação e algumas delas tendem a apresentar maior degradação e tipos específicos de anomalias. Não foi possível observar, entretanto, a influência das orientações na ocorrência de tipos específicos de patologias com base nos estudos de Souza (2016). Já no que se refere à degradação, é possível observar nitidamente a influência da exposição aos agentes climáticos na degradação da fachada e ratificar, conforme avaliou Silva (2014), que os maiores

índices de degradação se concentram nas orientações Norte e Oeste devido à exposição severa à tais agentes.

### **3.2.2 ASPECTOS CONSTRUTIVOS: INFLUÊNCIA NO DESEMPENHO**

É certo dizer que na concepção arquitetônica das fachadas devem ser considerados, além dos aspectos econômicos e estéticos, uma série de fatores que influenciam no desempenho das mesmas a curto e longo prazo. Vale ressaltar entre eles, no que se refere aos elementos construtivos, o tipo de revestimento, exigências acústicas e detalhes arquitetônicos (SOUZA *et al.* 2004). Os mecanismos de formação de anomalias tais como as fissuras, são oriundas por vezes da própria concepção construtiva do sistema (associada aos agentes climáticos) de natureza externa ou, ainda, de falhas associadas ao uso e manutenção (HENRIQUE, 2017).

Os elementos arquitetônicos que compõem a fachada como pingadeiras, peitoris e guarda-corpos são exemplos de detalhes (arquitetônicos e construtivos) que, além de visar a elevação do desempenho dos materiais de revestimento, servem como proteção da fachada à ação de agentes climáticos (HENRIQUE, 2017).

Um aspecto importante nesse sentido diz respeito ao procedimento de produção da alvenaria. As definições para a execução de juntas, tratamentos de interfaces, vergas e contra-vergas, conformação de vãos de portas e janelas, entre outros detalhes devem, segundo Silva e Sabbatini (2007), estar claramente definidas no projeto de alvenaria. A clareza na especificação destas informações, está ligada à possibilidade de as deformações impostas e admitidas pela parede se mostrarem incompatíveis de modo a gerar fissuras que, eventualmente, possam condicionar a penetração de água para o interior do edifício (HENRIQUE, 2017). Há que se considerar, ainda, a deformabilidade das estruturas, que está diretamente relacionada à formação de fissuras. Tal variação dimensional, seja por dilatação ou contração, repercute nos materiais, visto que estes encontram-se restringidos pelos diversos vínculos que envolvem os elementos e componentes, de maneira a favorecer o surgimento de tensões que podem ocasionar fissuras. A capacidade de suportar tais tensões está ligada à natureza do material bem como à intensidade de variação da temperatura (THOMAZ, 1989).



É importante enfatizar, por fim, a sensibilidade da região das aberturas ao surgimento de fissuras. Ausência ou ineficiência de vergas e contravergas, ausência de juntas de dessolidarização, impactos mecânicos no encontro entre as esquadrias e o revestimento, falhas no processo de execução: são estes alguns fatores que acentuam a concentração de tensões junto aos vértices das janelas e portas e, assim, desencadeiam as fissuras (SOUZA, 2016). As alvenarias devem ser projetadas, segundo Thomaz (1989), de maneira que as zonas de concentração destas tensões sejam neutralizadas e o cisalhamento responsável pelas fissuras, em especial na angulação de 45° a partir dos cantos dos vãos (Figura 6), seja evitado.

Figura 6 – Fissuração na região das aberturas.



Fonte: SANTOS (2017).

### **3.3 COMPORTAMENTO HIGROTÉRMICO**

O comportamento higrotérmico dos edifícios é a reflexão de fenômenos de natureza térmica e relacionados à umidade, que influenciam e determinam o comportamento destes quando sujeitos às ações oriundas do clima e condicionadas pela envolvente (HENRIQUES, 2011). Tal conceito relaciona-se diretamente ao desempenho que os materiais e sistemas apresentam durante a vida útil, já que o mesmo depende diretamente das condições de exposição (NASCIMENTO, 2016).

Para o bom entendimento dos materiais frente à ação da umidade e temperatura é importante definir, conforme apresenta a Tabela 2, alguns conceitos que, segundo os estudos de Nascimento (2016) são necessárias para desenvolver a simulação do comportamento higrotérmico dos materiais.

Na construção civil utiliza-se, de fato, variados tipos de materiais com propriedades também variadas e é, segundo estas variações, que as condições de transporte de umidade e

calor são caracterizadas. Ao relacionar tais materiais às suas respectivas propriedades higrotérmicas, é notória a grande variação das mesmas e, conseqüentemente, a atribuição de condições de transporte de umidade e calor totalmente distintas para cada material.

Tabela 2 – Propriedades higrotérmicas básicas dos materiais.

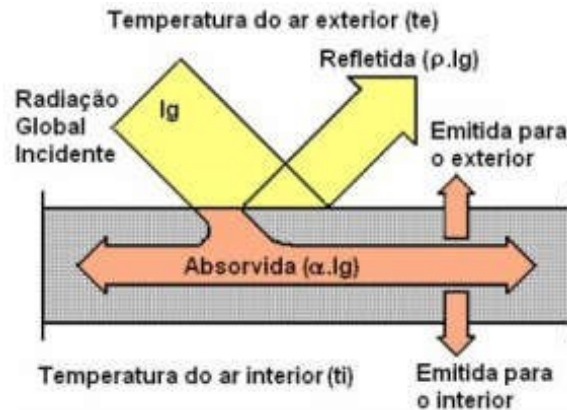
Propriedade	Definição
<b>Massa específica aparente ou massa unitária (<math>\rho_{\text{bulk}}</math>)</b>	Relação da massa de uma amostra e o volume total da mesma. Dado em $\text{kg/m}^3$ . $\rho_{\text{bulk}} = m / V_{\text{total}}$
<b>Massa específica (<math>\rho_{\text{true}}</math>)</b>	Relação entre a massa e volume de material de amostra, excluindo-se os poros permeáveis. Dado em $\text{kg/m}^3$ . $\rho_{\text{true}} = m / V_{\text{total}} - V_{\text{poros}} = m / V$
<b>Porosidade (<math>\xi</math>)</b>	Total de volume de vazios por unidade de volume de material poroso. Dado em $\text{m}^3/\text{m}^3$ . $\xi = 1 - \rho_{\text{bulk}}/\rho_{\text{true}}$
<b>Permeabilidade ao vapor de água (<math>\delta</math>)</b>	Quantidade de vapor de água que passa pela superfície do material por unidade de tempo, de forma a existir diferença unitária de pressão de vapor entre suas faces (HENRIQUES, 2011). $\delta = (2 \times 10^{-7} \times T^{0,81}) / P_L$ Em que T é a temperatura em Kelvin e $P_L$ é a pressão atmosférica do ambiente em Pa.
<b>Fator de resistência à difusão (<math>\mu</math>)</b>	O fator de resistência à difusão ( $\mu$ ) é um fator adimensional, calculado pela relação entre a permeabilidade ao vapor de água no ar ( $\delta_{v,a}$ ) e a permeabilidade ao vapor de água do material ( $\delta_v$ ). A permeabilidade ao vapor de água do ar pode ser assumida como $1,9 \times 10^{-10} \text{kg/m.s.Pa}$ . $\mu = \delta_{v,a} / \delta_v = 1,9 \times 10^{-10} / \delta_v$
<b>Capacidade térmica (c)</b>	Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura do sistema. Dado em J/K.
<b>Condutividade térmica (<math>\gamma</math>)</b>	Propriedade no qual se verifica um fluxo de calor constante, com densidade de $1 \text{ W/m}^2$ , quando submetido a um gradiente de temperatura uniforme de 1 Kelvin por metro. Dado em $\text{W/mK}$ .

Fonte: NASCIMENTO (2016).

Ao analisar o comportamento higrotérmico dos materiais especificamente em função do transporte de calor, é importante condicionar tal fenômeno à diferença de temperatura entre duas regiões, que faz com que haja o fluxo de calor de uma para a outra, sempre da região de maior para a de menor temperatura (COSTA, 1974; RIVERO, 1985; FROTA; SCHIFFER, 2003). Estas trocas térmicas podem ocorrer de três formas: condução, convecção e radiação. No cenário de análise da influência dos raios solares no desempenho das fachadas, a radiação seria a forma de propagação do calor a requerer maior atenção. As trocas de calor por radiação (Figura 7) ocorrem através da capacidade dos corpos de absorver e

emitir energia que, por sua vez, possui uma natureza eletromagnética distribuída em diferentes comprimentos de onda e, assim, os corpos podem tanto transmitir como refletir ou absorver a radiação térmica incidente (FROTA; SCHIFFER, 2003; NASCIMENTO, 2016).

Figura 7 – Trocas de calor.



Fonte: DORNELLES; RORIZ (2007).

Um aspecto importante a considerar diz respeito à seletividade dos materiais de construção à radiação de onda curta. O principal fator que determina tal característica é a cor superficial e, assim, é possível dizer que os materiais escuros absorvem mais radiação incidente se comparados a materiais mais claros (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2004). Após a radiação ser absorvida por um material, é natural que este se aqueça e reemita parte da mesma para o ambiente externo e parte para o ambiente interno. A propriedade que denota a emissão dos corpos é a emissividade ( $\epsilon$ ).

Ao comparar os diferentes materiais e cores (Tabela 3) é possível observar que, em relação à absorvância, o menor valor apresentado é o da cor branca e o maior da cor preta bem como do revestimento asfáltico. Vale ressaltar, entretanto, que conforme estudos de Dornelles e Roriz (2007) este parâmetro não depende apenas da cor, mas, também, da rugosidade do material. No que se refere à emissividade observa-se também uma grande variação entre os materiais, de modo que o menor valor é o da chapa de alumínio nova e o maior do revestimento asfáltico. É importante dizer, por fim, que tanto para absorvância quanto para emissividade devem ser considerados os comprimentos de onda incidentes, temperatura, distância e o material a ser caracterizado (NASCIMENTO, 2016).

Tabela 3 – Valores de absorvância e emissividade para materiais e cores diferentes.

<b>Tipo de superfície</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\epsilon</math></b>
Chapa de alumínio (nova)	0,05	0,05
Chapa de alumínio (oxidada)	0,15	0,12
Chapa de aço galvanizada (nova)	0,25	0,25
Caiação nova	0,12/0,15	0,9
Concreto aparente	0,65/0,8	0,85/0,95
Telha de barro	0,75/0,8	0,85/0,95
Tijolo aparente	0,65/0,8	0,85/0,95
Reboco claro	0,3/0,5	0,85/0,95
Revestimento asfáltico	0,85/0,98	0,90/0,98
Vidro incolor	0,06/0,25	0,84
Vidro colorido	0,4/0,8	0,84
Vidro metalizado	0,35/0,8	0,15/0,84
<b>Pintura</b>		
Branca	0,2	0,9
Amarela	0,3	0,9
Verde clara	0,4	0,9
Alumínio	0,4	0,5
Verde escura	0,7	0,9
Vermelha preta	0,74	0,9
Preta	0,97	0,9

Fonte: ABNT NBR 15220-1:2005.

### 3.4 AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS

#### 3.4.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Elaborar um modelo eficaz e fiel à realidade para a avaliação da degradação das fachadas é, de fato, de suma importância no que se refere ao controle de danos nas edificações. Em um cenário cujo objetivo do estudo é expressar os defeitos da edificação numérica ou graficamente (avaliação quantitativa) e, assim, facilitar a análise dos mesmos, é necessário, inicialmente, avaliar o edifício com um caráter qualitativo (GASPAR; BRITO, 2008).

O estado de conservação dos revestimentos pode ser caracterizado pelos tipos de anomalias existentes e sua intensidade de manifestação. Taguchi (2010) apresenta, como exemplo disso, a seguinte comparação: um revestimento mesmo em grau elevado de fissuração, pode ser facilmente reparado através de técnicas bastante conhecidas, já a preservação de eventuais deficiências de aderência ao suporte ou de coesão entre partículas, exigiria o emprego de técnicas mais caras e complexas. Consultas e entrevistas com engenheiros, arquitetos, pesquisadores e proprietários acerca dos danos em um edifício, além da própria inspeção visual são, segundo Gaspar e Brito (2008), boas alternativas para avaliar qualitativamente os danos de fachadas. Para sistematizar tais avaliações de maneira a possibilitar

a inserção das mesmas em uma posterior análise quantitativa, Taguchi (2010) elaborou, a partir de estudos de Gaspar (2005), uma escala para a classificação da degradação em um edifício que relaciona, entre outros critérios, a severidade dos danos (Tabela 4).

Tabela 4 – Classe de severidade dos danos.

Tipo de dano	Classe de severidade			
	1	2	3	4
	5 - 10%	11 - 30%	31 - 50%	>50%
Umidades	Leve, aparente.	Leve, aparente.	Localizada.	Extensas infiltrações
Manchas	Leve, aparente.	Presença de fungos, mofos, eflorescências.	Pintura/textura desagregados.	Extensas manchas de fungos, mofos, eflorescências.
Destacamento	Leve, aparente.	Leve desagregação da cor, textura.	Arestas e cantos danificados.	Separação de paredes/muros ou revestimento cerâmico, pedra.
Fissuras	Eventual fissura capilar, < 0,1mm.	Fissuras visíveis com lente, 0,1 - 0,3mm.	Fissuras visíveis a olho nu, 0,3 - 10mm.	Fissuras extensas, fragmentação da superfície.

Fonte: Gaspar (2005) e Taguchi (2010).

### 3.4.2 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA

Diversos autores estudaram e aperfeiçoaram as metodologias que visam auxiliar na inspeção, avaliação e quantificação das degradações em fachadas. É importante ressaltar, então, alguns deles, como Shohet *et al.* (1999), que desenvolveu um modelo analítico fatorial para a estimativa de vida útil de três tipos de revestimentos de fachadas: estuque, cerâmica ou mosaico e revestimento em pedra e, nesse sentido, efetuou a análise de trinta mecanismos de falhas que podem acarretar no surgimento de patologias em revestimentos de fachadas, sistematizando um banco de dados de patologias que ocorrem nos componentes e sistemas construtivos. Tal modelo serviu de base para outros pesquisadores, como Gaspar e Brito (2008) e (2011), Sousa (2008) e Silva (2009) que também desenvolveram modelos de cálculo para a quantificação da degradação e estimativa da vida útil de diferenciados tipos de sistemas de revestimentos. No Brasil, vale destacar o estudo de Taguchi (2010), que utilizou do método fatorial desenvolvido pelo FIB (1998) para estruturas de concreto. Foi necessário, para que tal utilização fosse possível, que o autor adaptasse o modelo para vedações verticais de edifícios e, através desta adaptação, o mesmo pôde observar a simplicidade e eficiência desta ferramenta para a avaliação dos casos estudados (SILVA, 2014).

Estes estudos apresentam, de fato, um elevado acréscimo no que se refere à controlar e impedir a degradação de fachadas, visto que ao sintetizar os modelos, é possível perceber que facilitar e simplificar este controle pode ser viável através dos fatores estudados, são eles: verificar a precisão e confiabilidade da vida útil prevista para componentes da construção (SHOHET *et al.*, 1999); quantificar, através de curvas de degradação e formulações específicas, o nível de degradação global de fachadas rebocadas e, posteriormente, comparar os resultados com as respostas obtidas em consultorias e entrevistas com arquitetos, pesquisadores e proprietários acerca do tema (GASPAR; BRITO, 2008; SOUSA, 2008; SILVA, 2009); avaliar o desempenho de elementos da construção com base em inspeções visuais, de maneira a qualificar e classificar as patologias e, assim, identificar os casos mais deteriorados através de um índice de danos e um fator de deterioração para possibilitar uma análise mais detalhada e fiel à realidade, além de uma intervenção objetiva de reparos (TAGUCHI, 2010).

### **3.4.3 SIMULAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE FACHADAS**

É certo que o comportamento dos materiais da fachada frente a ação da umidade e temperatura está diretamente relacionado à sua vida útil. A simulação deste comportamento representa, nesse sentido, um importante objeto de estudo no que se refere a projetar esta vida útil através da verificação das respostas higrotérmicas dos sistemas da fachada (NASCIMENTO, 2016).

Um dos programas computacionais de destaque para simular este comportamento higrotérmico é o WUFI®, desenvolvido pelo Instituto de Física das Construções de Fraunhofer (*Fraunhofer Institute for Building Physics – IBP*). Tal destaque se deve ao fato de que, quando comparado aos demais programas desta natureza, o WUFI apresenta mais propriedades analisadas e consideradas para os materiais e suas condições de contorno (NASCIMENTO, 2016).

Experimentos realizados por pesquisadores e desenvolvedores de vários países validaram, através de análise de sensibilidade, o uso do WUFI como ferramenta de estudos higrotérmicos. O programa apresenta alguns fatores de grande relevância para a simulação higrotérmica (dados de entrada), são eles: configuração dos componentes do sistema de fachada, orientação e inclinação da fachada; propriedades higrotérmicas dos componentes; condições de fronteira, coeficientes de transferência à superfície do clima interior e exterior; condições iniciais, período de simulação e parâmetros numéricos de controle. Há que se

destacar, além disso, os dados de saída fornecidos pelo programa, tais como: incidência de radiação; distribuição dos fluxos de temperatura e calor e variações temporais; umidade relativa e distribuição dos fluxos de umidade (ZANONI, 2015).

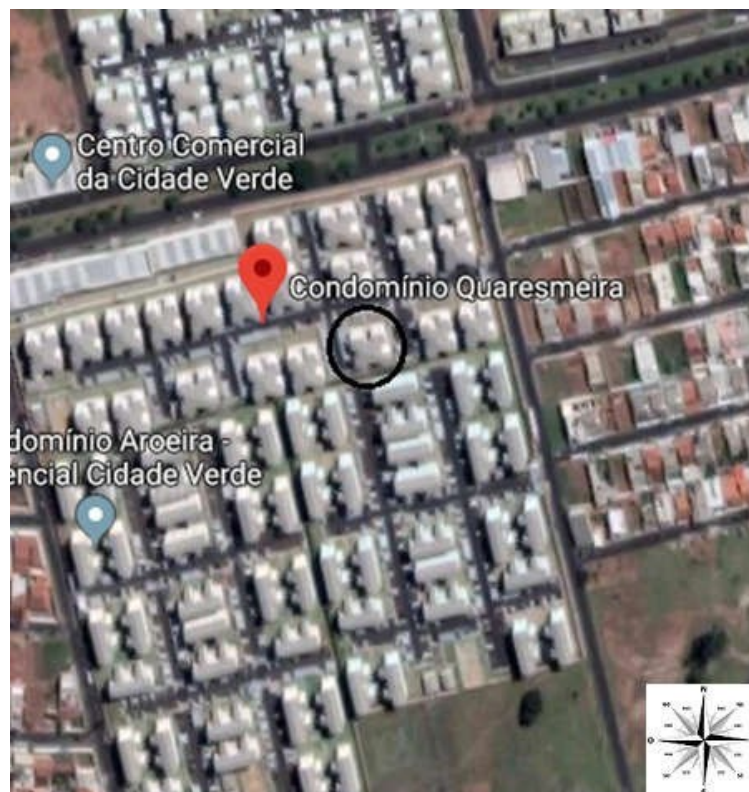
## **4 METODOLOGIA**

Os métodos por meio dos quais este estudo foi dirigido tiveram, como principais diretrizes, os aspectos referentes à incidência de fissuras nas fachadas de um edifício, sua procedência e a maneira como a vida útil do mesmo pode ser afetada por esta eventual presença de anomalias. Nesse sentido, as análises realizadas se basearam, principalmente, nos estudos de Silva (2014) e Souza (2016) que, ao conjugar inspeções visuais e registros fotográficos em um levantamento de dados, além do tratamento destes dados através de um método de mensuração de danos para quantificar os mesmos, conduziram suas pesquisas à resultados que representam referências de grande valor para este trabalho.

### **4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO**

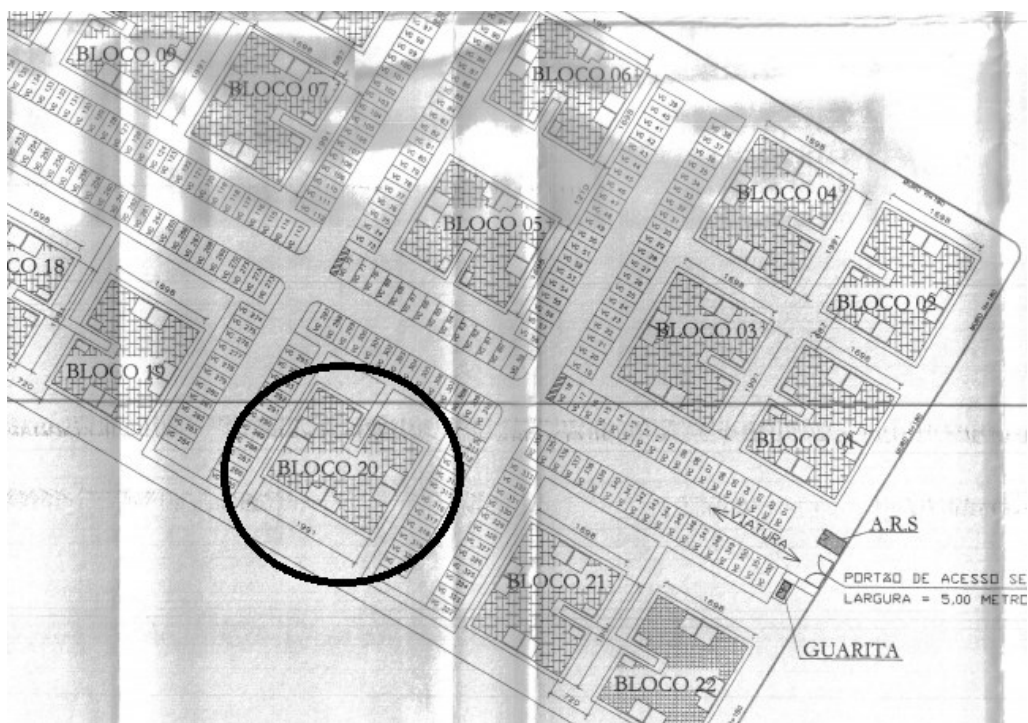
O passo inicial para modelar as causas da degradação de uma fachada é uma inspeção visual. Fez-se necessário, para tal, estabelecer um edifício base que tivesse como características alguns fatores que justificassem seu estudo. Neste caso específico, os critérios adotados para selecionar o edifício foram: idade superior a cinco anos, acesso aos projetos, local cujo perímetro permitisse a observação de todas as orientações da fachada e acessibilidade adequada para que o levantamento visual e registros fotográficos fossem fiéis à situação real. Com um período de cinco anos desde sua construção, o edifício escolhido para análise foi o Bloco 20 (Figuras 8 e 9) do Condomínio Quaresmeira, localizado na zona oeste da cidade de Uberlândia/MG.

Figura 8 – Condomínio Quaresmeira, Bloco 20.



Fonte: Google Maps (2018).

Figura 9 – Planta de locação Condomínio Quaresmeira.



Fonte: Autor (2018).



## 4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para identificar as fissuras existentes nas fachadas do edifício escolhido, foi realizada a sua inspeção visual acompanhada de registros fotográficos. Isto foi feito em diferentes períodos do dia, com o intuito de encontrar as melhores condições de luminosidade e visualização e, assim, facilitar o mapeamento das fissuras que seria feito posteriormente. A orientação de cada fachada foi determinada com o uso de uma bússola digital e, durante este procedimento, constatou-se que não seria necessário estabelecer nenhum intervalo de angulação ou quaisquer outros critérios para definir exatamente a orientação das fachadas, visto que as mesmas correspondiam praticamente de forma exata aos pontos cardeais. As condições das fachadas (Figura 10) foram, então, fotografadas e organizadas conforme os períodos de registro e suas respectivas orientações.

Figura 10 – Amostra das Fachadas Norte (a), Sul (b), Leste (c) e Oeste (d).



(a)



(b)



(c)

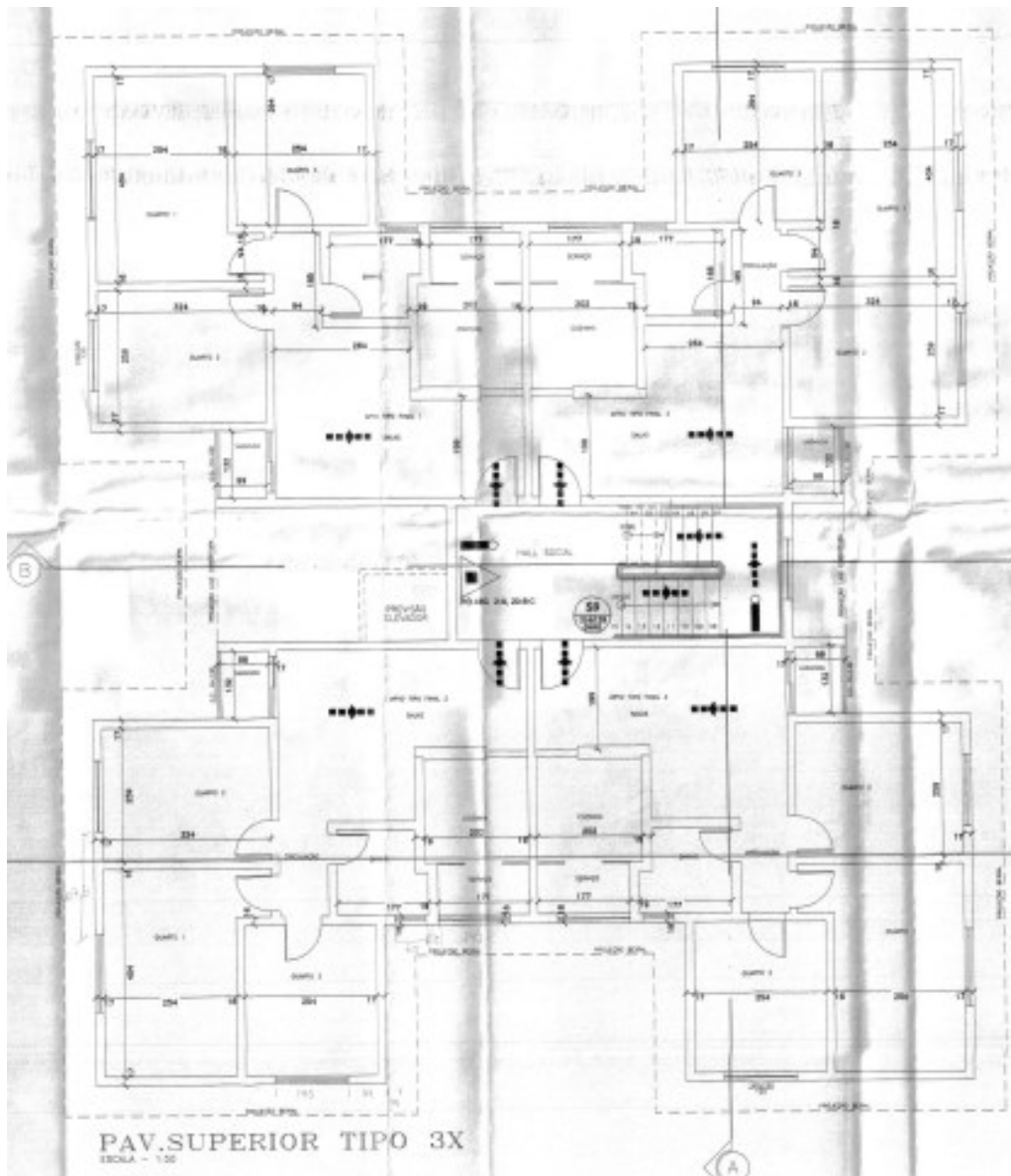


(d)

Fonte: Autor (2018).

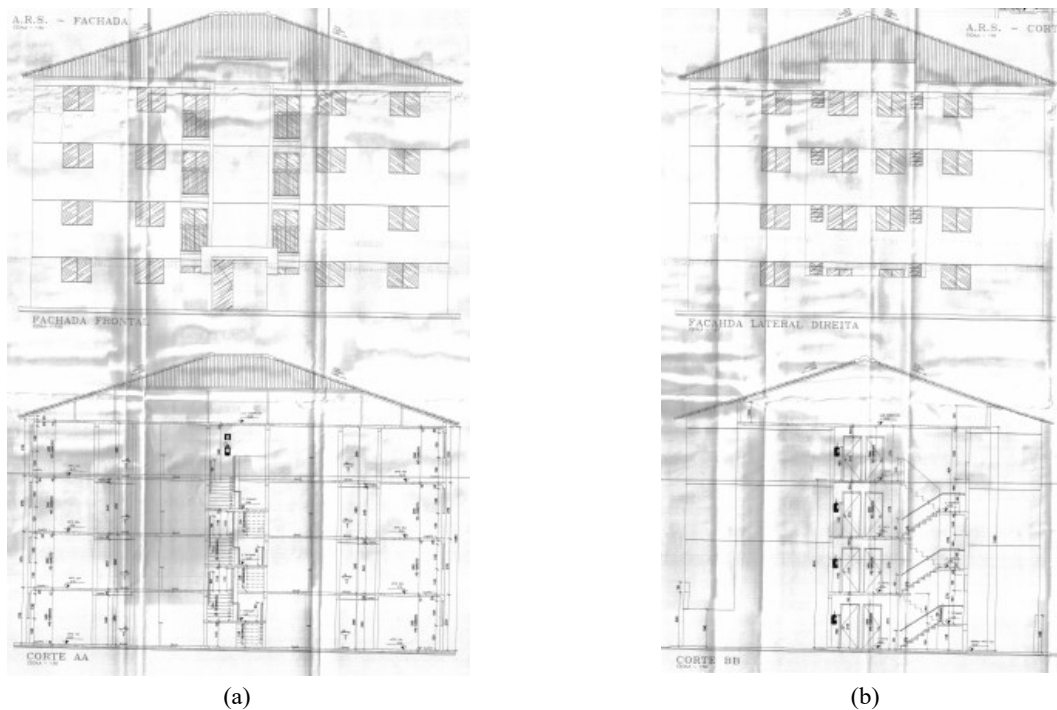
Como os diversos registros fotográficos desempenhariam um papel exclusivo de auxílio na verificação da incidência de fissuras foi necessário, também, acessar os projetos da edificação para representar de maneira fiel à realidade seus detalhes e dimensões. As características em planta e corte da edificação (Figuras 14 e 15) em conjunto com os registros fotográficos e informações coletadas na visita acerca dos componentes do edifício (sistema reticulado, blocos cerâmicos na alvenaria de vedação, revestimento argamassado) possibilitaram, então, a concepção dos croquis das fachadas.

Figura 14 – Detalhe do edifício em planta.



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 – Detalhe das fachadas Norte e Sul (a) e Leste e Oeste (b) em corte.

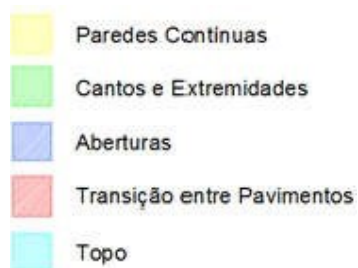
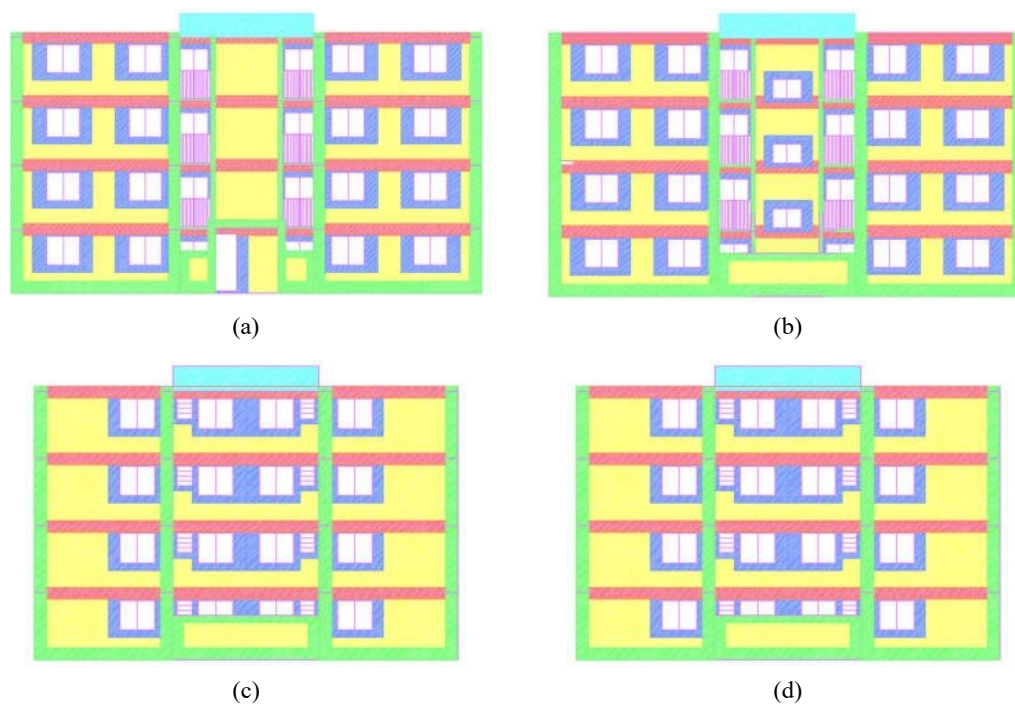


Fonte: Autor (2018).

Ao elaborar estes croquis, buscou-se estabelecer regiões de análise das fissuras ou, em outras palavras, a relevância dos danos em cada região das fachadas. Segundo estudos de Gaspar e Brito (2008) e Antunes (2010) posteriormente adaptados por Silva (2014) e Souza (2016), é importante definir regiões de análise de fachada de maneira a atribuir aos danos observados um peso relativo de acordo com a posição em que eles se encontram no plano da mesma. A divisão se dá, basicamente, através das seguintes regiões: Paredes Contínuas (áreas contínuas da fachada; Aberturas (áreas em torno das esquadrias); Sacadas (áreas de parede de guarda corpo que se sobressaem do plano da fachada); Cantos e Extremidades (áreas de contorno da fachada); Transição entre Pavimentos (áreas entre os andares, a cada pé direito) e Topo (áreas de platibanda) (SOUZA, 2016).

No contexto deste trabalho, foi observado que não seria possível contabilizar a região de “Sacada”, visto que as sacadas das fachadas em análise não são construídas de alvenaria, têm características de abertura e, além disso, não se sobressaem do plano da fachada como pôde ser visto nos projetos e registros fotográficos. Restaram, desse modo, apenas cinco regiões de análise a serem representadas no croqui (Figura 16) e cujas áreas foram estimadas na Tabela 5: “Paredes Contínuas”, “Aberturas”, “Cantos e Extremidades”, “Transição entre Pavimentos” e “Topo”.

Figura 16 – Croqui e regiões de análise da fachada – Norte (a), Sul (b), Leste (c) e Oeste (d).



Fonte: Autor (2018).

Tabela 5 – Estimativa das áreas totais das regiões de análise.

Regiões	Áreas por Orientação (m <sup>2</sup> )				Total por Região (m <sup>2</sup> )
	Norte	Sul	Leste	Oeste	
Paredes Contínuas	69	65	76	76	286
Aberturas	37	42	26	26	131
Cantos e Extremidades	37	37	33	33	140
Transição entre Pavimentos	30	30	25	25	110
Topo	6	6	6	6	24
<b>TOTAL</b>	<b>179</b>	<b>180</b>	<b>166</b>	<b>166</b>	<b>691</b>

Fonte: Autor (2018).

É importante ressaltar, também, que as regiões transversais ao plano da fachada (Figura 17) foram desconsideradas, visto que não foi possível notar um número relevante de fissuras nas mesmas e, além disso, desconsiderá-las teria como resultado um croqui mais simples de se representar.

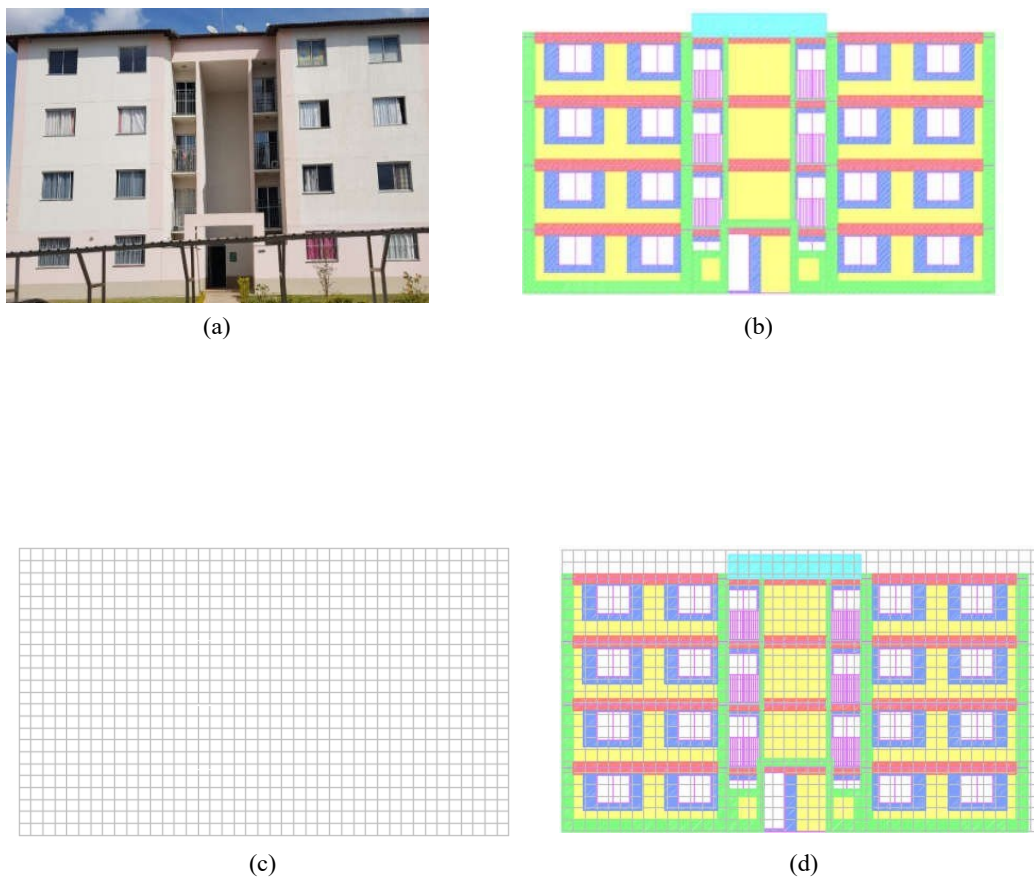
Figura 17 – Amostra de região da fachada desconsiderada.



Fonte: Autor (2018).

Com a definição das regiões de análise e os croquis já representados, foi realizado o mapeamento das fissuras com o auxílio dos registros fotográficos. Por fim, a quantificação das mesmas foi análoga ao método adotado por Silva (2014), que consiste em sobrepor ao croqui uma malha de dimensões  $0,50\text{ m} \times 0,50\text{ m}$  ( $0,25\text{ m}^2$ ) cujo ponto inferior esquerdo representa o início da sobreposição (Figura 18). A contagem das fissuras é feita de modo que a simples presença de fissuração em uma unidade de malha caracteriza uma unidade de dano ou  $0,25\text{ m}^2$  de fissuração. Os resultados obtidos na quantificação foram, posteriormente, separados por região de análise e orientação da fachada.

Figura 18 – Exemplo do procedimento de sobreposição da malha para quantificação: Fachada “Norte” (a); Croqui da fachada (b); Malha (c); Malha sobreposta ao croqui (d).



Fonte: Autor (2018).

### 4.3 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

Para simular o comportamento higrotérmico dos componentes das fachadas, foi utilizado o programa computacional WUFI®. Esta simulação teve como objetivo comparar os resultados obtidos através do programa com os observados nas visitas de campo, para possibilitar a validação de ambos e uma análise paralela entre eles.

Inicialmente, foi necessário definir as condições de materiais, clima e exposição das fachadas que serviriam como dados de entrada no WUFI® para a simulação e, em seguida, tratar os dados de saída conforme o contexto deste trabalho. Tais definições são apresentadas em: elementos construtivos; propriedades higrotérmicas dos materiais; orientação, inclinação e altura; coeficientes de transferência à superfície; condições iniciais; clima; tratamento dos dados de saída.

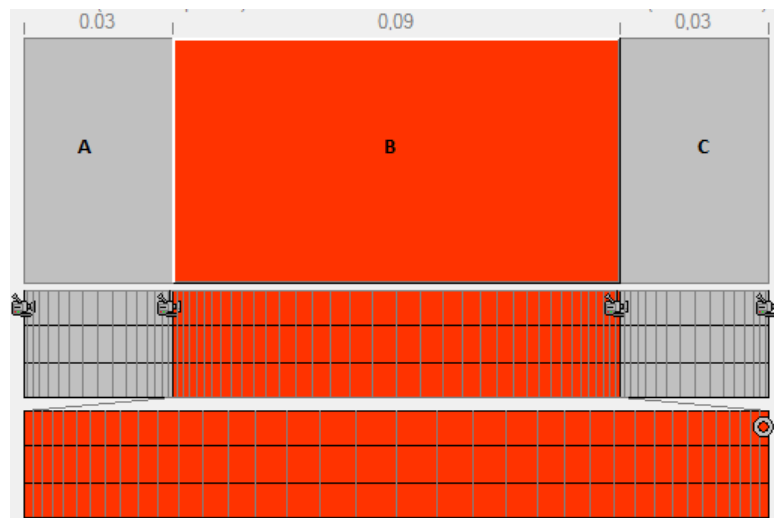
- **Elementos Construtivos**

Como observado nos projetos e visitas, o sistema que compõem as fachadas em questão é o de revestimento argamassado. Para a inserção no *software*, foram adotadas um padrão de espessuras de 3 cm para as argamassas de revestimento e 9 cm para o bloco cerâmico que corresponderiam aos 15 cm de alvenaria observados nas plantas do edifício. Assim, a composição se dá por:

- Argamassa de revestimento externo – 3 cm (Camada A);
- Bloco cerâmico – 9 cm (Camada B);
- Argamassa de revestimento interno – 3 cm (Camada C).

As posições de monitoramento (adotadas nas interfaces dos materiais) destas camadas bem como a disposição adotada para elas no WUFI ® são descritos conforme a Figura 19.

Figura 19 – Camadas de elementos construtivos e posições de monitoramento.



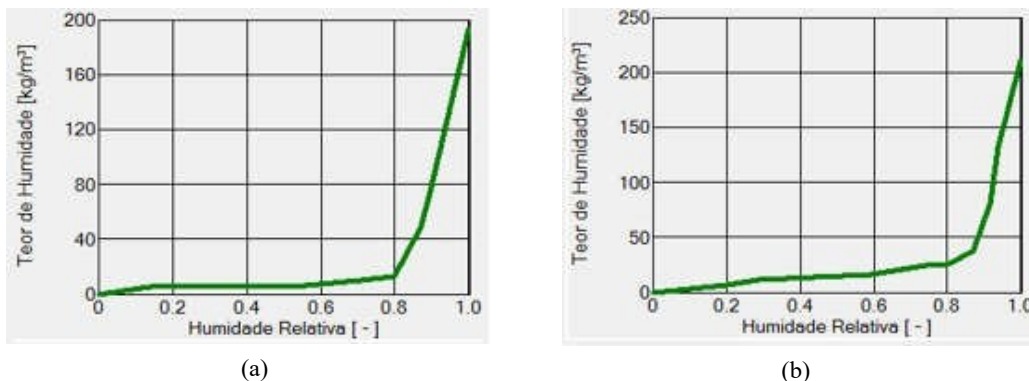
Fonte: WUFI ® 6 (2018).

- **Propriedades Higrotérmicas dos Materiais**

Embora o WUFI ® apresente um vasto banco de dados de materiais, suas características e propriedades são referentes a condições típicas de outros países. Nesse contexto, além das curvas higroscópicas dos componentes da fachada (Figura 20), as propriedades necessárias para a simulação (Tabela 6) foram adotadas conforme Nascimento (2016) que, com exceção das propriedades térmicas e do teor de umidade (adotados conforme materiais semelhantes do banco de dados), as caracterizaram através de métodos de ensaio para retratar com fidelidade as condições dos materiais do Brasil.

É importante, ainda, diferenciar o conceito de teor de umidade de umidade relativa para contextualizar a análise das curvas higroscópicas. O teor de umidade corresponde a quantidade de água contida nos poros do material por unidade de volume do mesmo, já a umidade relativa se refere, basicamente, à relação entre a quantidade de água existente no ar e o seu ponto de saturação (quantidade máxima de água que poderia haver naquela mesma temperatura).

Figura 20 – Curvas higroscópicas dos materiais: (a) Bloco Cerâmico; (b) Argamassa Externa/Interna.



Fonte: NASCIMENTO (2016).

Tabela 6 – Propriedades higrotérmicas para a simulação.

	Massa específica aparente $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidade $\xi$ (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Calor específico $c$ (J/kg.K)	Condutividade térmica $\lambda$ (W/m.K)	Fator de resistência à difusão de vapor de água $\mu$ (-)	Teor de umidade de referência $W_{ref}$ (kg/m <sup>3</sup> )	Umidade de saturação livre $W_f$ (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de absorção de água $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$
Argamassa Externa/Interna	1755	0,21	850	0,8	28	26	210	0,039
Bloco Cerâmico	578	0,486	850	0,158	23	13	193	0,09

Fonte: NASCIMENTO (2016).

- **Orientação, Inclinação e Altura.**

Como já mencionado, as fachadas apresentaram orientações de correspondência praticamente exata aos pontos cardeais e, portanto, não foi necessário utilizar nenhum critério especial para determiná-las. A inclinação utilizada foi de 90°, visto que se trata de uma fachada e não de uma cobertura. A altura do edifício é de aproximadamente 12 m, já que são quatro pavimentos cujo pé direito é de 2,70 m além de uma platibanda coberta de 1 m. Esta definição de altura condiciona os valores dos coeficientes  $R_2$  como pode, juntamente com as demais definições descritas, ser observado na Figura 21.



Figura 21 – Exemplo da definição de dados para uma das fachadas.

Orientação

Inclinação

Altura do Edifício/Coefficientes de Chuva Incidente

Chuva incidente calculada segundo a Norma ASHRAE 160

R1 [-] 0

R2 [s/m] 0.1

Nota:  
Intensidade da Chuva =  
Precipitação\*(R1 + R2 \* Velocidade)

Edifício alto, parte média até 10-20 m

Fonte: WUFI ® 6 (2018).

- **Coefficientes de Transferência à Superfície**

Os fluxos de ar presentes na superfície da fachada oferecem resistência à passagem de umidade e calor. A grandeza que caracteriza este fenômeno é a resistência térmica de superfície ( $R_c$ ) que, conforme a ABNT NBR 15220-1: 2005 tem valores de  $0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  para a superfície externa e  $0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  para a interna. Ainda segundo tal norma, adotou-se o valor de  $0,4$  (reboco claro) para a absorvância. Os valores de refletividade do solo e fator de redução da chuva incidente foram adotados conforme os padrões do *software*. Além disso, o programa possibilita computar a resistência de revestimentos e acabamentos diversos como, por exemplo, a tinta. O valor que a representa é o “sd” que, para o caso deste trabalho, foi desprezado.

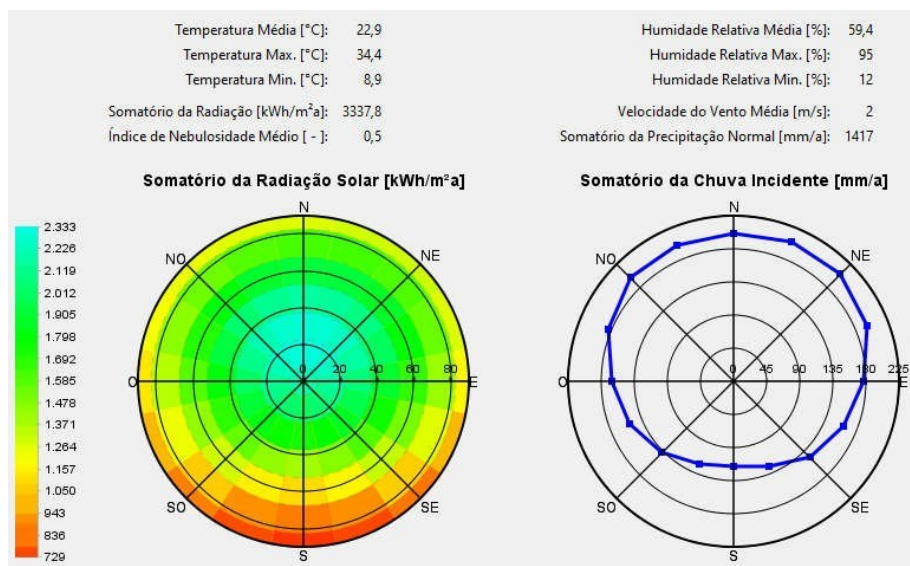
- **Condições Iniciais**

Os parâmetros referentes às condições de contorno do edifício no início do período considerado na simulação também foram adotados conforme Nascimento (2016), são eles: umidade relativa inicial ( $0,8$ ); temperatura inicial ( $20^\circ\text{C}$ ); período de simulação de 3 anos (considerado nos resultados apenas o terceiro ano em virtude da estabilidade de condições iniciais); intervalos de tempo de 1 h para o monitoramento.

- **Clima**

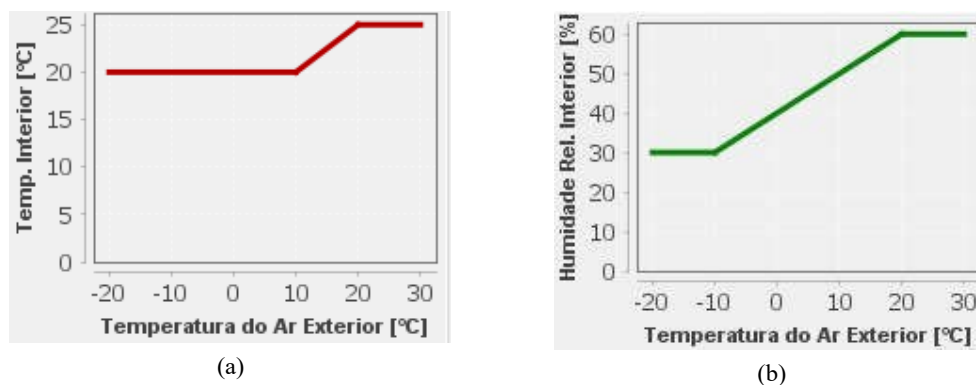
As definições de clima foram obtidas através do arquivo climático da cidade de Uberlândia/MG, disponibilizado pelo LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) juntamente com o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Na análise do clima exterior, foi possível observar antes mesmo da simulação que em Uberlândia as orientações “Norte” e “Oeste” são as mais afetadas pela radiação e chuva dirigida, seguidas pela “Leste” e “Sul” (Figura 22). Já para o clima interior, foi utilizada a norma DIN EN 15026: 2007 que estabelece valores de temperatura e umidade interiores em função dos exteriores (Figura 23).

Figura 22 – Análise do clima exterior.



Fonte: WUFI ® 6 (2018).

Figura 23 – Análise do clima interior: (a) Temperatura; (b) Umidade.



Fonte: WUFI ® (2018).

- **Tratamento dos Dados de Saída**

Ao simular o comportamento higrotérmico das fachadas em questão, foi necessário interpretar os dados de saída do WUFI®. Com os parâmetros de umidade, radiação e temperatura na superfície dos componentes das fachadas, seria possível justificar ou mesmo analisar em outra perspectiva as causas da fissuração observada no campo.

Nesse contexto, observou-se inicialmente o comportamento das fachadas em relação à umidade nos dias mais críticos de chuva. Em seguida, analisou-se a incidência de radiação (global) e temperatura média na superfície da fachada mensais para cada uma das orientações para que, por fim, fosse possível identificar se os efeitos do choque térmico teriam relação com a incidência de fissuras já observada.

## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 MAPEAMENTO DE FISSURAS

A sobreposição das malhas aos croquis com o mapeamento de fissuras e as respectivas regiões de análise de cada fachada estão representados nas Figuras 24 a 27.

Figura 24 – Mapeamento da fachada “Norte”.



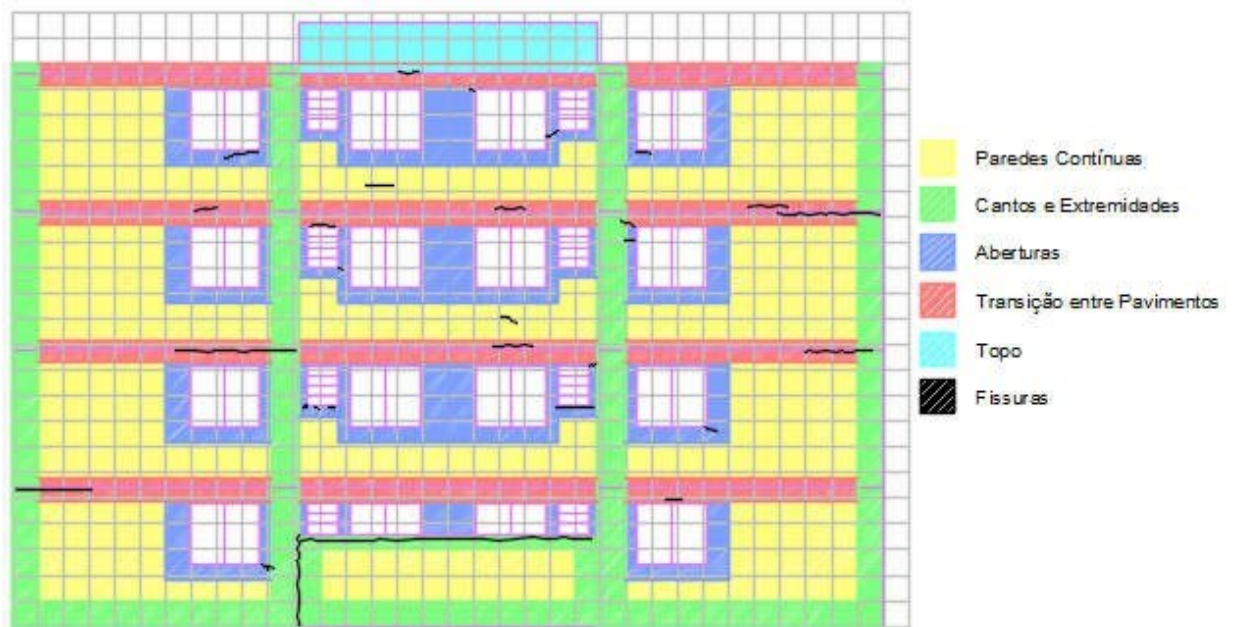
Fonte: Autor (2018).

Figura 25 – Mapeamento da fachada “Sul”.



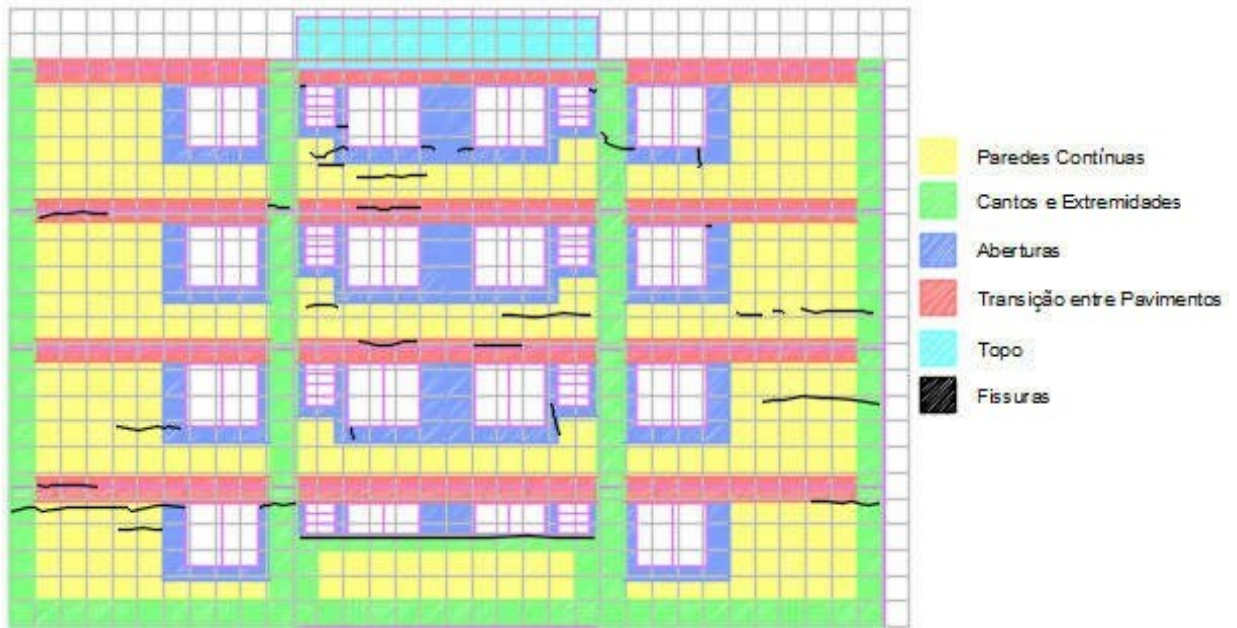
Fonte: Autor (2018).

Figura 26 – Mapeamento da fachada “Leste”.



Fonte: Autor (2018).

Figura 27 – Mapeamento da fachada “Oeste”.



Fonte: Autor (2018).

Ao realizar o mapeamento, foi possível sistematizar a contagem de fissuras (Tabela 7) conforme os métodos especificados anteriormente e, assim, observar que havia fissuração, com exceção de algumas regiões de topo, em todas as regiões e orientações. Desse modo, foram obtidas informações importantes como a área fissurada para cada região de análise e sua respectiva orientação, além da área total de fissuração apresentada pelo edifício (62 m<sup>2</sup>). Foi possível, inclusive, comparar esses resultados com os valores apresentados anteriormente na Tabela 5 e estabelecer uma relação de proporções de área fissurada pela área total de cada uma das regiões.

Tabela 7 – Quantificação das fissuras.

Regiões	Orientação das Fachadas								Total por Região	
	Norte		Sul		Leste		Oeste			
	un. malha	m <sup>2</sup>	un. malha	m <sup>2</sup>	un. malha	m <sup>2</sup>	un. malha	m <sup>2</sup>	un. malha	m <sup>2</sup>
Paredes Contínuas	6	1,5	6	1,5	4	1	32	8	48	12
Aberturas	12	3	12	3	16	4	15	3,75	55	13,75
Cantos e Extremidades	14	3,5	16	4	20	5	20	5	70	17,5
Transição entre Pavimentos	19	4,75	15	3,75	21	5,25	14	3,5	69	17,25
Topo	0	0	5	1,25	1	0,25	0	0	6	1,5
<b>TOTAL</b>	<b>51</b>	<b>12,8</b>	<b>54</b>	<b>13,5</b>	<b>62</b>	<b>15,5</b>	<b>81</b>	<b>20,3</b>	<b>248</b>	<b>62</b>

Fonte: Autor (2018).

A fachada “Norte” apresentou 1,5 m<sup>2</sup> de fissuras em “Paredes Contínuas”, 3 m<sup>2</sup> nas “Aberturas”, 3,5 m<sup>2</sup> nos “Cantos e Extremidades”, 4,75 m<sup>2</sup> na “Transição entre Pavimentos” onde notou-se a maior fissuração para esta orientação, além de nenhuma fissuração relevante no “Topo” e uma área total de fissuração de 12,8 m<sup>2</sup>. Na fachada “Sul” foram observados 1,5 m<sup>2</sup> e 3 m<sup>2</sup> em “Paredes Contínuas” e “Aberturas”, respectivamente. Além disso, 4 m<sup>2</sup> nos “Cantos e Extremidades” (maior fissuração desta orientação), 3,75 m<sup>2</sup> na “Transição entre Pavimentos”, ausência de fissuras no “Topo” e 13,5 m<sup>2</sup> de fissuração total. A fachada “Leste” apresentou 1m<sup>2</sup> de fissuras em “Paredes Contínuas”, 4 m<sup>2</sup> em “Aberturas”, 5 m<sup>2</sup> em “Cantos e Extremidades”, 5,25 m<sup>2</sup> na “Transição entre Pavimentos” (maior fissuração), 0,25 m<sup>2</sup> no Topo e uma área total de fissuras de 15,5 m<sup>2</sup>. Por fim, observou-se na fachada “Oeste” 8 m<sup>2</sup> de fissuras em “Paredes Contínuas” (maior fissuração), 3,75 m<sup>2</sup> em “Aberturas”, 5 m<sup>2</sup> em “Cantos e Extremidades”, 3,5 m<sup>2</sup> na “Transição entre Pavimentos”, nenhuma fissura no “Topo” e 20,3 m<sup>2</sup> de área de fissuração total.

Com a análise desses valores uma série de peculiaridades acerca das causas de fissuração foram levantadas. Ao comparar as regiões de análise e as orientações, notou-se que a fachada “Oeste” apresentou, em geral, maior área fissurada que as demais, de maneira a contrariar parcialmente as avaliações de Silva (2014), que constatou maior degradação nas fachadas orientadas ao Norte e à Oeste. Vale ressaltar que a quantidade de fissuras observadas na região de “Paredes Contínuas” teve grande influência no valor total de área fissurada da fachada “Oeste”, o que leva a inferência de que a orientação pode, de fato, influenciar nesse aspecto. A incidência de fissuras nessa região pode estar relacionada à retração do revestimento, possivelmente oriunda de uma cura ineficaz aliada à exposição solar e que, segundo Bauer (1997), é uma das principais causas de fissuração em fachadas. Em contrapartida, observou-se que a fachada “Sul” apresentou maior fissuração que a fachada “Norte”, de maneira a contrariar integralmente as constatações de Silva (2014) e, consequentemente, evidenciar que a fissuração da fachada pode nem sempre estar ligada à sua orientação.

Em linhas gerais, foi possível observar que as regiões de “Cantos e Extremidades” apresentaram mais fissuras do que qualquer outra, o que pode ser consequência, por exemplo, de uma fixação inadequada da alvenaria de vedação. Este aspecto construtivo aliado a possível ausência de juntas de dilatação nas lajes podem, também, explicar a grande área fissurada nas regiões de “Transição entre Pavimentos”. Já as fissuras observadas nas regiões de “Aberturas”, possivelmente são decorrentes de má execução de elementos como vergas

e contravergas. Por fim, observou-se uma pequena incidência de fissuras nas regiões de “Topo”. Isto pode ser explicado pela presença de beiral na edificação já que, como visto na Figura 10, o mesmo gera uma região sombreada no topo da fachada e, consequentemente, diminui a incidência solar e ajuda a inibir a fissuração por movimentação térmica.

## 5.2 SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA

- **UMIDADE RELATIVA**

O primeiro parâmetro a ser analisado na simulação foi a umidade relativa. Para isto, foram separados para cada fachada os dias de maior chuva. Ao realizar esta separação, notou-se uma peculiaridade em relação a fachada “Sul”, que apresentava o dia 30/10 como o de maior precipitação (13,98 L/m<sup>2</sup>) (Tabela 7). Apesar desta intensidade de precipitação, observou-se que a umidade relativa nos componentes da fachada ao longo das posições de monitorização apresentava um comportamento diferente das demais fachadas. Isso ocorreu pois no dia e horário em questão, choveu praticamente a quantidade integral de precipitação diária, ou seja, se tratava de uma tempestade. Além disso, 30/10 apresentou características de um dia seco visto que sua temperatura e a dos dias anteriores a ele chegou a quase 35 °C e não houveram outras precipitações. Em contrapartida, ao observar o dia 27/12 que apresentou a segunda maior precipitação, notou-se uma temperatura máxima de 29 °C neste dia e nos anteriores, além da ocorrência de pequenas precipitações.

Nesse contexto, considerou-se o dia 27/12 como situação crítica para a fachada “Sul” visto que este apresentou, em comparação com o dia 30/10, condições mais favoráveis para o acúmulo de umidade ao longo dos componentes da fachada, como as menores temperaturas e a ocorrência de pequenas chuvas nos dias anteriores a ele. A comparação entre estes dois dias de chuva para a fachada “Sul” é apresentada nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 – Dia de maior chuva e dia adotado como situação crítica para a fachada “Sul”.

Fachada	Dia	Hora	UR ext. (%)	Precipitação (L/m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)
Sul	30/out	19:00	83	13,98	22,15
Sul	27/dez	15:00	94	3,45	21,29

Fonte: WUFI ® (2018).

Tabela 9 – Umidade relativa ao longo da fachada para a comparação feita na fachada “Sul”.

Fachada	Dia	UR nas Posições de Monitorização (%)			
		1 (Sup. Externa)	2 (Arg. Ext./Bloco Cerâmico)	3 (Bloco Cerâmico/Arg. Int.)	4 (Sup. Interna)
Sul	30/out	99,98	56,16	64,36	56,56
Sul	27/dez	99,98	82,94	80,58	60,85

Fonte: WUFI ® (2018).

Após estas constatações, foram determinados os dias e horários de maior incidência de chuva (Tabela 10) para todas as fachadas e, conseqüentemente, a porcentagem de umidade relativa nas interfaces (posições de monitorização) ao longo da fachada (Tabela 11).

Tabela 10 – Maiores precipitações diárias por fachada.

Fachada	Dia	Hora	UR ext (%)	Precipitação (L/m <sup>2</sup> )	Temperatura (°C)
Norte	13/fev.	18:00	92	5,3	21,14
Sul	27/dez	15:00	94	3,45	21,29
Leste	06/fev.	19:00	92	6,42	20,31
Oeste	04/jan.	22:00	92	6,03	19,45

Fonte: WUFI ® (2018).

Nota-se que as fachadas “Leste” e “Oeste” apresentaram maior incidência de precipitações diárias (6,42 L/m<sup>2</sup> e 6,03 L/m<sup>2</sup> respectivamente), seguidas pelas fachadas “Norte” e “Sul” (5,3 L/m<sup>2</sup> e 3,42 L/m<sup>2</sup>). Além disso, todas as fachadas apresentaram baixas temperaturas superficiais, de maneira a desfavorecer a secagem das mesmas.

Tabela 11 – Umidade relativa nas posições de monitorização.

Fachada	1 (Sup. Externa)	2 (Arg. Ext./Bloco Cerâmico)	3 (Bloco Cerâmico/Arg. Int.)	4 (Sup. Interna)	UR média (%)
Norte	99,8	89,98	89,33	60,78	84,97
Sul	99,98	82,94	80,58	60,85	81,09
Leste	99,98	87,61	87,34	59,41	83,59
Oeste	99,98	87,44	81,71	62,36	82,87

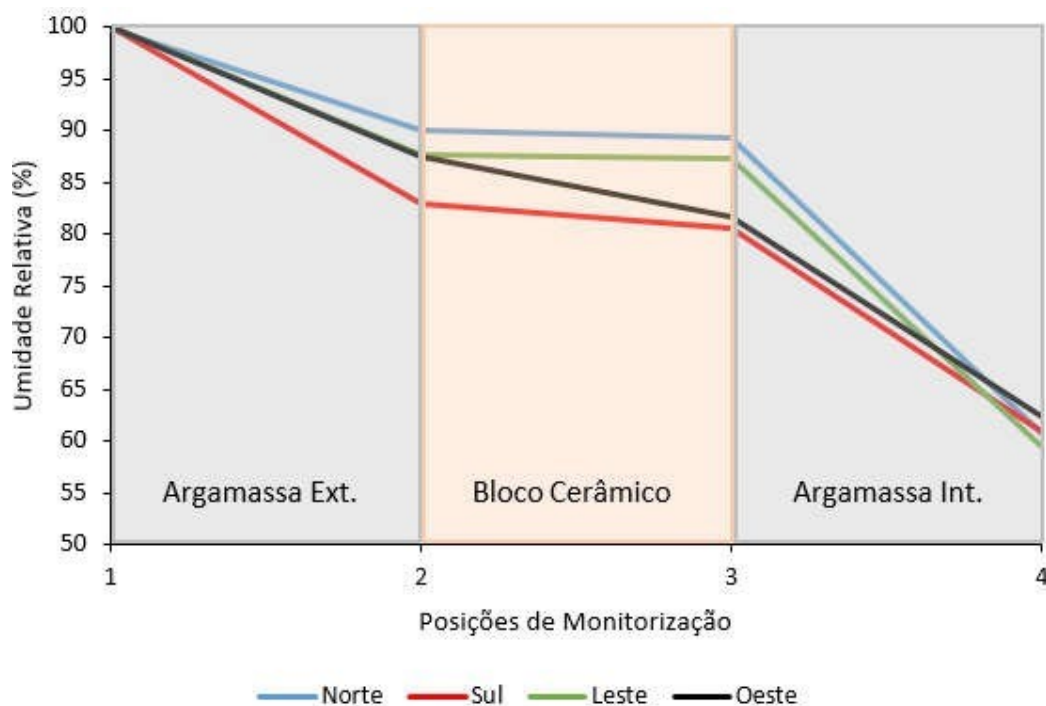
Fonte: WUFI ® (2018).

Observou-se, também, uma tendência média de umidade relativa maior nas fachadas “Norte” (84,97%) e “Leste” (83,59%), seguidas por “Oeste” (82,87%) e “Sul” (81,09%).

Com o intuito de facilitar a visualização destes comportamentos, foi feita a comparação gráfica (Figura 28) da umidade relativa para cada orientação e posição de monitorização (interface dos materiais da fachada) nos dias e horários selecionados.



Figura 28 – Umidade relativa nas posições de monitorização estabelecidas no software.



Fonte: Autor (2018).

Ao analisar o gráfico, nota-se que os componentes das fachadas apresentaram percentuais elevados de umidade relativa ao longo do sistema, exceto no final, onde ocorre praticamente o equilíbrio com o ambiente interno (60%).

No que se refere ao teor de umidade, foram analisadas separada e globalmente o conjunto de camadas das fachadas (Tabela 12).

Tabela 12 – Análise dos teores de umidade.

Fachada	Teor de Umidade na Camada (kg/m <sup>3</sup> )			Teor Total (kg/m <sup>2</sup> )
	Argamassa Ext.	Bloco Cerâmico	Argamassa Int.	
Norte	121,40	77,86	38,72	11,81
Sul	110,98	21,28	22,47	5,92
Leste	106,38	54,78	29,60	9,01
Oeste	113,45	37,30	22,99	7,45

Fonte: WUFI ® (2018).

Observa-se que com relação a argamassa externa, a fachada que apresentou maior teor de umidade foi a “Norte” (121,4 kg/m<sup>3</sup>), seguida pela “Oeste” (113,45 kg/m<sup>3</sup>), “Sul” (110,98 kg/m<sup>3</sup>) e “Leste” (106,38 kg/m<sup>3</sup>). No bloco cerâmico, a fachada “Norte” também apresentava o maior teor de umidade (77,86 kg/m<sup>3</sup>), seguida pela “Leste” (54,78 kg/m<sup>3</sup>), “Oeste”

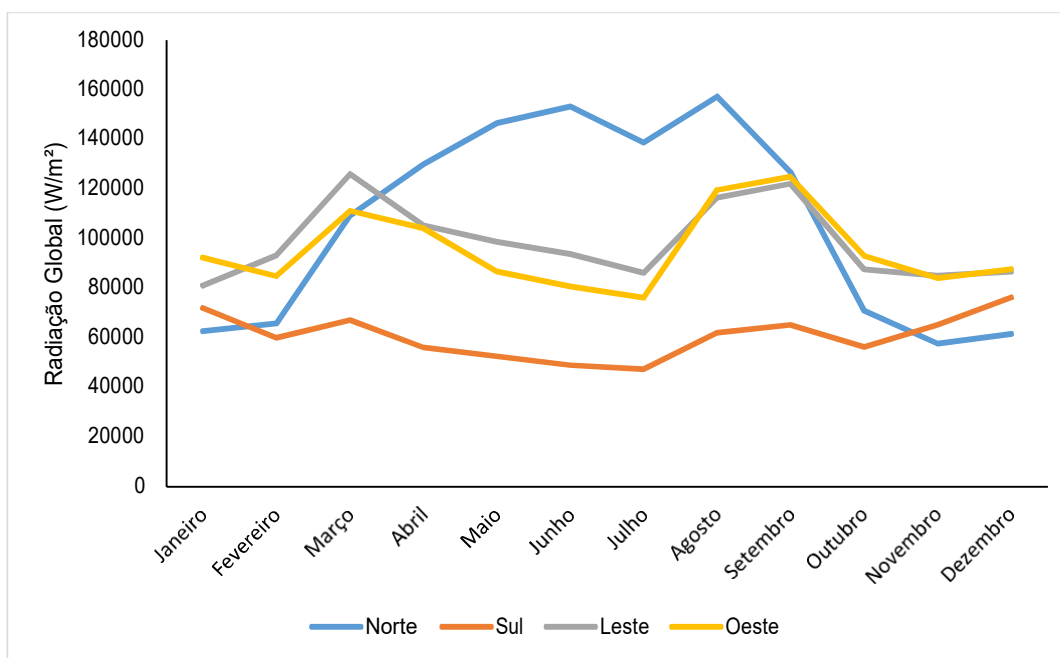
(37,3 kg/m<sup>3</sup>) e “Sul” (21,28 kg/m<sup>3</sup>). Para a argamassa interna, os teores de umidade seguiram o mesmo padrão do bloco cerâmico, com “Norte” (38,72 kg/m<sup>3</sup>) a frente de “Leste” (29,60 kg/m<sup>3</sup>), “Oeste” (22,99 kg/m<sup>3</sup>) e “Sul” (22,47 kg/m<sup>3</sup>).

Em uma análise global, foi possível determinar a ordem de suscetibilidade destas fachadas à manifestações patológicas oriundas de umidade. Conforme os teores de umidade, tal ordem se dá por: “Norte” (11,81 kg/m<sup>2</sup>), “Leste” (9,01 kg/m<sup>2</sup>), “Oeste” (7,45 kg/m<sup>2</sup>) e “Sul” (5,92 kg/m<sup>2</sup>).

### • RADIAÇÃO

Para analisar a radiação solar, considerou-se a junção dos efeitos diretos (que não sofrem nenhum desvio da atmosfera), difusos (que incidem em todas as direções após terem sido dispersados pela atmosfera) e refletidos (que são refletidos pela superfície de incidência), ou seja, a radiação global. O WUFI ® fornece este parâmetro por dia e hora como um dos dados de saída e, para comparar a irradiância solar (fluxo de radiação por unidade de área) sobre cada fachada ao longo do ano, a mesma foi mensalmente acumulada (Figura 29).

Figura 29 – Acúmulo mensal da radiação solar (3º ano da simulação).



Fonte: Autor (2018).

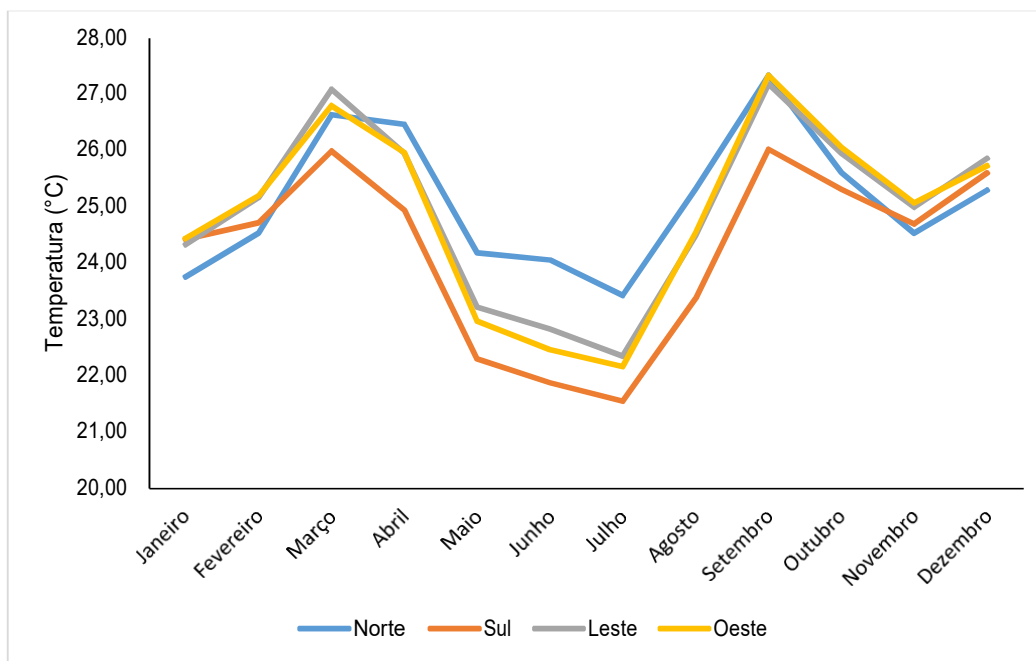
Com a análise gráfica da ascensão e depressão da radiação solar ao longo do ano, é possível determinar o período seco (março a setembro) e o chuvoso (outubro a fevereiro). Nesse

contexto, observa-se que a fachada “Norte” apresenta a maior incidência média de radiação no período seco (137445 W/m<sup>2</sup>), seguido por “Leste” (106994 W/m<sup>2</sup>) e “Oeste” (100477 W/m<sup>2</sup>) com comportamentos equivalentes, e “Sul” (57075 W/m<sup>2</sup>). Já no período chuvoso, as fachadas “Oeste” (88379 W/m<sup>2</sup>) e “Leste” (86766 W/m<sup>2</sup>) se mostram mais expostas à radiação, enquanto a “Sul” (65986 W/m<sup>2</sup>), ao contrário do observado no período seco, se torna mais suscetível a estes efeitos do que a “Norte” (63781 W/m<sup>2</sup>). Com o balanço dessas informações, é possível inferir que a fachada “Norte” apresenta, no período seco, maior tendência de manifestações patológicas de origem térmica, enquanto no período chuvoso, a fachada mais suscetível à tais manifestações é a “Oeste”.

- **TEMPERATURA**

Com os dados obtidos através do WUFI ®, a temperatura na superfície das fachadas foi, assim como na análise da radiação, acumulada mensalmente (Figura 30) para facilitar a comparação do comportamento de cada uma delas em relação a estes efeitos.

Figura 30 – Temperatura média mensal por orientação (3º ano da simulação).



Fonte: Autor (2018).

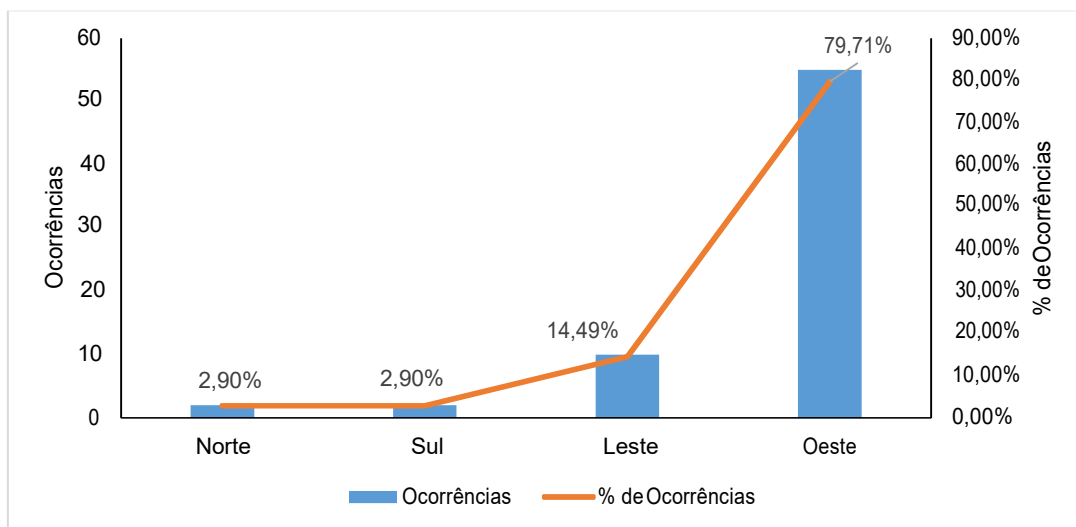
Como esperado, a temperatura da superfície das fachadas é praticamente um reflexo dos efeitos de radiação solar. Ao dividir o ano em períodos seco e chuvoso, nota-se que para o seco a fachada “Norte” apresenta maior média de temperatura (25,35 °C), seguido da

“Leste” (24,73 °C) e “Oeste” (24,61 °C) novamente com comportamentos bastante similares, e “Sul” (23,72 °C). No período chuvoso a temperatura das fachadas segue, em geral, uma tendência parecida, com “Oeste” (25,30 °C) e “Leste” (25,27 °C) à frente, seguidas de “Sul” (24,95 °C) e “Norte” (24,75 °C).

- **CHOQUE TÉRMICO**

Após analisar a umidade, radiação e temperatura da superfície das fachadas, buscou-se obter outro parâmetro para fins de comparação entre os resultados de campo e da simulação: o choque térmico. Esta variável leva em consideração as variações bruscas de temperatura que podem, eventualmente, influenciar na fissuração das fachadas. A representação gráfica de tais variações (Figuras 29 e 30) foi, conforme Zanoni (2015), realizada a partir da análise da variação da temperatura em intervalos de uma e duas horas para cada orientação, com um critério que admite a quantificação de ocorrência de choque térmico relevante quando esta variação for maior ou igual a 8 °C.

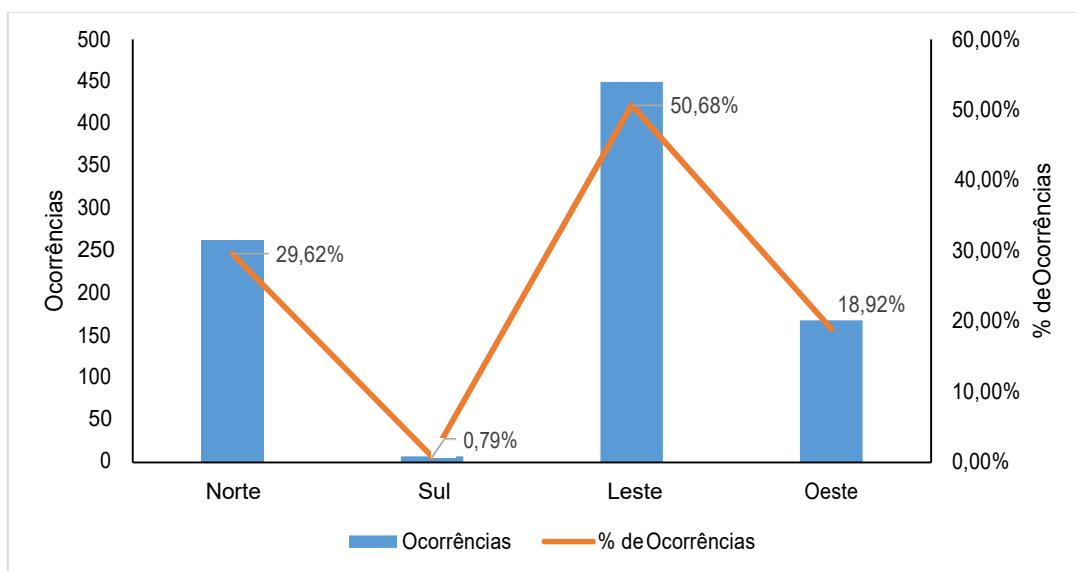
Figura 29 – Choque térmico (variações de temperatura em intervalos de 1h).



Fonte: Autor (2018).

Para o intervalo de uma hora, nota-se que a ocorrência de choques térmicos relevantes (variações maiores que 8 °C) é muito superior na fachada “Oeste” (79,71% das ocorrências), seguida pela fachada “Leste” (14,49%) e “Norte” e “Sul” ambas com 2,9%. Este cenário denota a grande suscetibilidade da fachada “Oeste” a variações bruscas de temperatura em curtos intervalos de tempo, o que indica que ela teria maior tendência a apresentar manifestações patológicas.

Figura 30 – Choque térmico (variações de temperatura em intervalos de 2h).



Fonte: Autor (2018).

Já para o intervalo de duas horas, a ocorrência de choques térmicos se mostrou melhor distribuída, de modo que a fachada “Leste” apresentou maior incidência (50,68% das ocorrências), seguida pelas fachadas “Norte” (29,62%), “Oeste” (18,92%) e “Sul” (0,79%). Estes dados denotam uma tendência de que a fachada “Leste” esteja mais exposta a variações de temperatura no intervalo de 2 horas do que as demais. É importante ressaltar, entretanto, que para esse caso os choques térmicos foram observados em intervalos de duas horas, o que caracteriza uma variação de temperatura menos brusca se comparado ao caso anterior, já que agora o intervalo de tempo é maior.

### 5.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

Através do mapeamento de fissuras, observou-se certa uniformidade de fissuração para todas as regiões e orientações, com exceção da região de “Paredes Contínuas” da fachada “Oeste”, o que levou à inferência de que a orientação poderia ter influência nesses resultados. Em geral, observou-se maior área fissurada na seguinte ordem de fachadas: “Oeste”, “Leste”, “Sul” e “Norte” e seria importante, em seguida, verificar efetivamente se estes resultados estariam ligados à orientação das mesmas.

Com a análise dos parâmetros de umidade, radiação e temperatura na simulação higrotérmica, verificou-se, como apontou Silva (2014), que a fachada mais suscetível a degradação

seria a “Norte”. Entretanto, notou-se que, embora apresentassem comportamentos similares, a fachada “Leste” se mostrou mais propícia a se degradar do que a fachada “Oeste”, seguida pela fachada “Sul”, o que divergiu parcialmente deste mesmo estudo.

Ao balancear as duas metodologias, notou-se que um fator determinante para efetivamente verificar a correlação entre a orientação e o desempenho das fachadas, mais especificamente acerca da fissuração, além de estabelecer um paralelismo entre os dois métodos estudados, seria a ocorrência do choque térmico.

A enorme incidência destas variações bruscas de temperatura para os intervalos de uma hora na fachada “Oeste”, pode explicar a grande área fissurada observada em seu mapeamento. Além disso, quando analisadas as variações de temperatura para os intervalos de duas horas, nota-se a maior suscetibilidade da fachada “Leste” em relação as demais. Como é possível admitir que as variações de temperatura de mesma magnitude, ocorridas em um intervalo de tempo de uma hora são mais bruscas do que as ocorridas em duas horas, este cenário pode, naturalmente, justificar a configuração observada no mapeamento de fissuras e validar a relação entre desempenho e orientação de fachadas. Por outro lado, a maior fissuração da fachada “Sul” em relação a fachada “Norte” denota que as fissuras podem ser determinadas por aspectos diferentes da orientação como, por exemplo, elementos e processos construtivos.

## **6 CONCLUSÃO**

Mapear as fissuras das fachadas conforme suas orientações e regiões de análise representou, de fato, uma metodologia eficaz na quantificação das mesmas. Com as visitas de campo e a elaboração dos croquis para o mapeamento, foi possível perceber, ainda sem parâmetros numéricos, as regiões que poderiam apresentar fissuras com mais frequência e, assim, levantar uma série de hipóteses acerca de suas causas. Neste método, observou-se uma grande discrepância de quantidade de fissuras na fachada orientada à Oeste, convergindo parcialmente com os estudos de Silva (2014) e Souza (2016), que apontavam as fachadas “Norte” e “Oeste” como as mais suscetíveis a manifestações patológicas. O fato de que essas fissuras estavam, em sua maioria, localizadas em regiões de “Paredes Contínuas” fortaleceu a tese de que a orientação desta fachada influenciava na incidência das fissuras, visto que para esta região de análise é menos provável que detalhes construtivos influenciem em tal degradação.

Com o intuito de comparar resultados para validar as hipóteses iniciais, realizou-se a simulação higrotérmica das fachadas em questão. Tal simulação foi de suma importância no conhecimento dos componentes de uma fachada e das características intrínsecas ou não a eles que podem influenciar na fissuração. Além disso, com a utilização do WUFI® foi possível expandir as possibilidades de projeção de vida útil de fachadas que, como consequência, traz maior confiabilidade aos projetos executados com o auxílio desta ferramenta. Através da simulação, notou-se que as fachadas “Norte” e “Leste” são mais propícias a degradação de maneira geral. Foi possível observar também, alguns parâmetros mais específicos como a mudança de comportamento das fachadas em períodos secos e chuvosos, além da suscetibilidade das mesmas a variações bruscas de temperatura.

A comparação dos dois métodos possibilitou não só que um validasse o outro, mas, também, que as hipóteses iniciais acerca da influência da orientação na incidência de fissuras observada especialmente na fachada “Oeste”, fossem confirmadas. Os resultados acerca da ocorrência de choques térmicos nas fachadas foram determinantes para esta confirmação, visto que através deles foi possível observar uma enorme suscetibilidade da fachada “Oeste” a variações bruscas de temperatura em intervalos de uma hora e, assim, explicar a discrepância de fissuração desta fachada em relação as demais. Além disso, a análise para intervalos de duas horas mostrou a ocorrência de choques térmicos também na fachada “Leste”, o que pôde explicar a divergência com estudos anteriores que apontaram as fachadas “Norte” e “Oeste” como mais suscetíveis a degradação, e não “Oeste” e “Leste” como no caso deste trabalho.

Há que se considerar, por fim, que ao verificar a correlação entre orientação e incidência de fissuras nas fachadas, surgem as possibilidades de parâmetros para manutenção e elaboração de projetos. A junção entre metodologias de campo e o uso de *softwares* pôde, de fato, evidenciar as fachadas onde mais frequentemente chove, maior é a temperatura e, em geral, que requerem maior atenção aos processos e elementos construtivos e de preservação na cidade de Uberlândia/MG. Estas informações são de utilidade técnica e pública, já que possibilitam tanto ao responsável que projete o edifício com mais segurança, quanto ao usuário que o preserve adequadamente e, assim, atribuem um grande valor ao estudo da degradação de fachadas.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-1**. Desempenho Térmico de Edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT, 2005. 30p.

BARROS, M. M. B. *et al.* **Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais**. Notas de aula: patologias em revestimentos verticais. São Paulo, 1997.

BAUER, R. J. F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS. Salvador, 1997.

BAUER, E. *et al.* **3º Cong. Port. Argamassas de Construção**, APFAC, Lisboa, Portugal, 2010.

BAUER, E. *et al.* **Estimativa da degradação de fachadas com revestimento cerâmico: estudo de caso de edifícios de Brasília**. 2015. 9f. Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil – Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

BRAGA, C. C. **Manifestações Patológicas em Conjuntos Habitacionais: A Degradação das Fachadas**. 2010. 150f. Dissertação de Mestrado – Universidade Católica de Pernambuco, Recife, 2010.

CINCOTTO, M. A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988.

**COMO FUGIR DAS PATOLOGIAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**. *IBDA (2018)*. Disponível em: <<http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=17>>. Acesso em: 29/06/2018.

DORNELLES, K. A.; RORIZ, M. **Influência das tintas imobiliárias sobre o desempenho térmico e energético de edificações**. X Congresso Internacional de Tintas. Anais... São Paulo. 2007.

FIB. *Strategies for testing and assessment of concrete structure*. CEB Bulletin. 1998.

FROTA, A.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2003.



GASPAR, P.; BRITO, J. *Mapping Defect Sensitivity in External Mortar Renders. Journal of Construction and Building Materials*. 2005.

GASPAR, P.; BRITO, J. *Quantifying environmental effects on cement-rendered facades: a comparison between diferente degradation indicators. Building and Environment*. 2008.

HENRIQUES, F. M. A. **Comportamento higrotérmico de edifícios**. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2011.

HENRIQUE, E. S. **Sensibilidade à degradação das fachadas: Estudo dos aspectos construtivos**. 2017. 102f. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, 2017.

JOHN, V. M. **Coletânea Habitare – Construção e Meio Ambiente**. Volume 7. 2006.

KISS, P. **Cuidado, fissuras!** *Téchne – A Revista do Engenheiro Civil*, São Paulo, 2003.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na Arquitetura**. 2ª ed. São Paulo. Pro Livros, 2004.

LEAL, U. **Fachadas e paredes estão doentes: apesar da maior oferta de argamassas e do compromisso dos fabricantes com a qualidade dos produtos, mais trincas e fissuras são visíveis nas edificações...** *Téchne – A Revista do Engenheiro Civil*, São Paulo, 2003.

MELO JÚNIOR, C. M. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**. 2010. 204f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, 2010.

NASCIMENTO, M. L. M. **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas em Edifícios**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 173p. 2016.

SABBATINI, F. H. e BARROS, M. M. S. B. **Recomendações para produção de revestimento cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria**. São Paulo, Convênio EPUSP/CqDCC, 1990.

SABBATINI, F. H. **Sugestões para a conceituação da durabilidade e vida útil**. Projeto norma de desempenho – vida útil. FHC – Consultoria e Engenharia. São Paulo, 2007.

SCARTEZINI, L. M. B. **Influência do tipo e preparo do substrato na aderência dos revestimentos de argamassa: estudo da evolução ao longo do tempo, influência da**

**cura e avaliação da perda de água da argamassa fresca.** 2002. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Goiás, 2005.

SEGAT, G. T. **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de Caxias do Sul (RS).** 2005. 166f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

SHOHET, I. M. *et al.* *Deterioration patterns for maintenance management – a methodological approach. Durability of Building Materials and Components. Institute for Research in Construction.* Ottawa, Canadá, 1999.

SILVA, M. M. DE A.; SABBATINI, F. H. **Conteúdo e padrão de apresentação dos projetos para a produção de alvenarias de vedação racionalizadas.** Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil. 2007.

SILVA, A. F. F. S. **Previsão da vida útil de revestimentos de pedra natural de paredes.** Dissertação de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Porto, Portugal. 2009.

SILVA, M. N. B. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada – Aplicação ao caso de Brasília/DF.** 2014. 198f. Tese de Doutorado – Universidade de Brasília, 2014.

SOUZA, J. S. S. *et al.* **Fachadas prediais – considerações sobre o projeto, os materiais, a execução, a utilização, a manutenção e a deterioração.** 2º Congresso Nacional da Construção. FEUP. 2004.

SOUSA, R. D. B. **Previsão da vida útil dos revestimentos cerâmicos aderentes em fachadas.** Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Portugal. 2008.

SOUZA, R. **O CONCEITO DE DESEMPENHO APLICADO ÀS EDIFICAÇÕES.** São Paulo: Tula Melo, 2015.

SOUZA, J. S. **Evolução da degradação de fachadas – efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes.** 2016. 114f. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, 2016.

TAGUCHI, M. K. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação nas edificações**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2010.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1 ed. São Paulo. PINI/EPUSP/IPT, 1989.

THOMAZ, E. **Tecnologia, gerenciamento e qualidade na construção**. São Paulo: Pini, 2001.

ZANONI, V. A. G. **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. 2015. 293f. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, 2015.