



ANDRIELLY MOURA
CATHERINE ROSSI
NATHÁSSIA M. GUEDES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O ENSAIO DE PERCUSSÃO E
TERMOGRAFIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE DESPLACAMENTO DE
REVESTIMENTO EM FACHADA**

SÃO PAULO

2019



ANDRIELLY MOURA
CATHERINE ROSSI
NATHÁSSIA M. GUEDES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE O ENSAIO DE PERCUSSÃO E
TERMOGRAFIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE DESPLACAMENTO DE
REVESTIMENTO EM FACHADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. Msc. Luís César De Luca.

SÃO PAULO
2019

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por todas as bênçãos recebidas. Não seria possível a realização deste trabalho sem a força, coragem, motivação, saúde, sabedoria e determinação que foi concebida a nós, graças a Deus, que sempre orientou nossos caminhos.

Ao nosso orientador Professor Luís César Siqueira De Luca, que colaborou com todo o auxílio e paciência, nos motivando para a realização deste trabalho.

Ao Professor Alexandre Tomazeli, por ter disponibilizado o material que auxiliou no nosso estudo de caso e nos incentivou para o desenvolvimento do trabalho.

Ao Professor Msc. Kirke Andrew Wrubel Moreira que nos orientou a manusear o equipamento para o estudo de caso sendo de suma importância para a evolução desse trabalho.

À nossa família, avós, tios e primos, que sempre estiveram ao nosso lado torcendo pelo sucesso e felicidade.

A todos que sempre nos auxiliaram de forma direta ou indireta e que de alguma forma nos ajudaram a desenvolver este trabalho.

RESUMO

Este trabalho busca realizar um estudo comparativo entre os métodos de identificação de manifestações patológicas do tipo deslocamento em fachadas através do ensaio de percussão e termografia. Tendo como as justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas a utilização da câmera como uma ferramenta mais ágil e não destrutiva, método viável de realizar manutenção preventiva, não requer instalação de cadeira suspensa, reduz o entulho gerado por reformas futuras. Foram analisados e comparados os resultados do ensaio de percussão e registros da câmera termográfica para o mapeamento das manifestações patológicas de destacamento do revestimento cerâmico e de argamassa da fachada no Edifício Arturo, em Perdizes – São Paulo/SP. A revisão da literatura teve ênfase nas manifestações patológicas frequentes nos revestimentos cerâmicos e de argamassa, além da utilização da termografia infravermelho para identificação dos pontos que apresentam problemas. Nesse estudo de caso o método mostrou coerência em alguns dos pontos identificados pelo ensaio a percussão, tanto para fachadas com revestimentos cerâmicos quanto para revestimento com apenas argamassa, porém com resultados finais melhores para a fachada com o acabamento cerâmico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquema da base para receber o revestimento cerâmico	15
Figura 2 - Índice do espectro visível ao homem.	19
Figura 3- Cerâmicas de diferentes cores expostas ao sol.	21
Figura 4 - Identificação de uma superfície com e sem defeito pela termografia.	22
Figura 5 - Exemplificação do teste de percussão em fachada	28
Figura 6 - Planta de localização sem escala.	29
Figura 7- Vista geral das fachadas frontal e lateral esquerda.	30
Figura 8- Vista geral da fachada lateral esquerda e direita.....	30
Figura 9 - Características do sistema de revestimento de argamassa de fachadas.	31
Figura 10 - Características do sistema de revestimento com placas cerâmicas. ..	32
Figura 11 - Martelinho de inspeção.....	33
Figura 12- Ilustração das áreas do revestimento cerâmico das fachadas (RCF) com a existência de “som cavo”, abrangendo todo o conjunto de revestimento.....	33
Figura 13 - Áreas demarcadas com som cavo à percussão denotando perda de aderência de todo o conjunto de revestimento.	34
Figura 14 - Frontal – As áreas demarcadas com círculos no trecho ilustrado na fotografia estão com falha de aderência no conjunto de revestimento.....	34
Figura 15 - Ilustração das áreas do revestimento de acabamento cerâmico com a existência de “som cavo”.....	35
Figura 16 - Detalhe da fotografia anterior. Nota-se a ruptura na interface entre a argamassa adotada para o assentamento (alvaiade) e a pastilha cerâmica.	35
Figura 17 - Frontal– Perda de aderência com desprendimento do revestimento cerâmico em pastilhas	36
Figura 18 - Nota-se a ruptura na interface entre a argamassa adotada para o assentamento (alvaiade) e a pastilha cerâmica.....	36
Figura 19 - Ilustração das áreas do revestimento argamassado das fachadas (RAF) com a existência de “som cavo”.	37

Figura 20 - Lateral Esquerda – Marcações de “som cavo” no revestimento argamassado.	37
Figura 21 - Detalhe da fotografia anterior. Marcações de círculos sobre área com falha de aderência do revestimento, indicado em vermelho.	38
Figura 22 - Lateral Direita – Áreas demarcadas com “som cavo”, denotando falha de aderência do revestimento argamassado de fachada.	38
Figura 23 - Câmera FLIR i3	39
Figura 24- Imagem térmica e física lateral direita entre o 3º e o 4º andar.....	40
Figura 25 - Imagem térmica e física lateral direita 6º andar.....	40
Figura 26 - Imagem térmica e física lateral direita entre o 5º e o 6º andar.	41
Figura 27 - Imagem térmica e física lateral esquerda 5º e 6º andar.....	41
Figura 28- Imagem térmica e física lateral esquerda 5 e 6º andar.....	42
Figura 29- Imagem térmica e física frontal 3º andar.....	42
Figura 30 - Imagem térmica e física frontal 5º e 6º andar.	42
Figura 31- Imagem térmica e física lateral esquerda 5 e 6º andar.....	43
Figura 32 – Mapeamento da Fachada Frontal.	44
Figura 33 - Mapeamento fachada lateral esquerda	45
Figura 34 - Mapeamento fachada lateral direita.....	46
Figura 35 – Visualização gráfica do mapeamento da fachada frontal.....	47
Figura 36 – Visualização gráfica do mapeamento das fachadas das laterais esquerda e direita.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores da emissividade dos materiais.	20
Tabela 2 - Especificações da Câmera FLIR i3	39

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	10
1.2	OBJETIVOS	10
1.2.1.	Objetivo Geral	10
1.2.2.	Objetivos Específicos	10
1.3	HIPÓTESE	10
1.4	JUSTIFICATIVAS	10
1.4.1.	Tecnológicas	11
1.4.2.	Econômicas	11
1.4.3.	Sociais	11
1.4.4.	Ecológicas	11
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	12
1.6	APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	12
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO TIPO DESPLACAMENTO EM REVESTIMENTO DE FACHADA	13
2.2	TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (TIV)	19
2.2.1.	Parâmetros termográficos	24
2.2.2.	Limitações	26
2.3	ENSAIO DE PERCUSSÃO	28
3.	ESTUDO DE CASO	29
3.1	DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO	29
3.2	ENSAIO DE PERCUSSÃO	32
3.3	TERMOGRAFIA	39
4.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	47
6.	REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho propõe um estudo comparativo entre os métodos de identificação de manifestações patológicas do tipo deslocamento em fachadas através do ensaio de percussão e termografia.

As fachadas representam a parte externa da construção, ou seja, recebem a incidência direta da radiação solar, das chuvas, dos ventos, da poluição, da maresia e dos demais agentes agressores, dispersos ou não na atmosfera.

Com o passar dos anos, o envelhecimento dos revestimentos das fachadas fica evidente. Conforme o manual do proprietário “Em fachada é recomendado a lavagem e verificação dos elementos, por exemplo, rejuntas e mastique e, se necessário, solicitar inspeção a cada 3 anos” (SINDUSCON-SP).

É um intervalo de tempo bastante relativo, pois há que se levar em consideração o tipo de revestimento, o grau de exposição, a orientação cardinal, a posição geográfica do edifício, a idade da edificação, dentre outros fatores que interferem na conservação das fachadas. Principalmente devem ser analisados danos e reparos existentes e recorrentes (SECOVI-PR 2014).

Não há como generalizar um prazo padronizado. Por exemplo, as fachadas revestidas de cerâmica, geralmente, resistem mais àquelas que recebem apenas pintura. Porém, se houver infiltração de água sob o revestimento cerâmico, estas tendem a deteriorar antes do que as fachadas simplesmente pintadas (SECOVI-PR 2014).

O ensaio de percussão é o método mais utilizado para verificar as condições de aderência do revestimento. O ensaio consiste na aplicação de impactos leves realizados com martelo com ponta de borracha para verificar a ocorrência de sons cavos nos locais onde há manifestações patológicas do tipo descolamento de argamassa.

O ensaio de percussão requer instalação de cadeira suspensa para descida e é considerada como alta periculosidade, pois é necessário técnico capacitado para realizar o mapeamento das patologias.

Já a análise termográfica é uma técnica não tão recente, porém menos utilizado que o método de percussão. Utiliza câmeras e sensores infravermelhos para medição de temperatura e distribuição de calor, com o objetivo de detectar problemas em sua fase inicial e precisamente no local afetado.

Desta forma o trabalho busca comparar e avaliar o método mais viável e resultados com maior confiabilidade através de levantamentos realizados em campo.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O ensaio de termografia leva aos mesmos resultados que o ensaio de percussão quanto as manifestações patológicas do emboço?

1.2 OBJETIVOS

Objetivo Geral

Realizar um estudo comparativo entre os métodos de identificação de manifestações patológicas do tipo deslocamento em fachadas através do ensaio de percussão e termografia.

Objetivos Específicos

Verificar se os diferentes acabamentos da fachada influenciam na identificação das manifestações patológicas.

1.3 HIPÓTESE

Presume-se que os resultados obtidos pelos métodos em questão sejam similares.

1.4 JUSTIFICATIVAS

O deslocamento do revestimento em fachadas pode gerar desconforto e risco, tanto para os usuários diretos quanto aos indiretos.

Neste item serão apresentadas justificativas tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas para elaboração da pesquisa.

- **Tecnológicas**

A câmera termográfica é uma ferramenta interessante para realizar o ensaio, pois a inspeção e a detecção das manifestações patológicas tornam-se mais ágil (em tempo real), eficaz (sem contato) e não destrutiva.

- **Econômicas**

Utilizar o método mais viável como manutenção preventiva, é importante considerar que esse elemento está diretamente relacionado aos custos de um negócio por uma série de motivos. Sendo empregada de maneira consistente, oferece uma redução nos gastos em vários aspectos. Consertar um problema no prédio, qualquer que seja, normalmente sai muito mais caro, com a manutenção acontecendo de forma periódica, os problemas são identificados logo no começo.

- **Sociais**

O ensaio de termografia não requer instalação de cadeira suspensa e reduz a periculosidade. Utilizando os ensaios como manutenção predial, já que os riscos de acidentes são diversos, especialmente para colaboradores. Tratando-se de uma responsabilidade da empresa, a consequência é a obrigação quanto ao pagamento de verbas indenizatórias.

- **Ecológicas**

A realização da manutenção preventiva para redução do entulho gerado por reformas futuras e na utilização de recursos naturais para produção de novos materiais.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este trabalho teve início com uma pesquisa bibliográfica, abrangendo os seguintes temas:

- a) Manifestações patológicas do tipo de deslocamento em revestimento de fachada;
- b) Termografia infravermelha
- c) Ensaio de percussão

Próxima fase consiste no levantamento de campo, realizando leituras com a câmera térmica e o mapeamento com o ensaio a percussão, na fachada frontal com revestimento cerâmico e nas fachadas laterais revestidas em argamassa e pintura. Por final, a análise e comparação dos resultados de ambos os ensaios.

1.6 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho é dividido em cinco capítulos.

O primeiro capítulo é a introdução, na qual está apresentado o conceito de patologia de destacamento do revestimento em fachada, citando ensaio de percussão e leituras cm câmera termográfica.

O segundo contém a revisão da literatura, na qual está apresentado o estado da arte relacionado ao tema estudado.

O terceiro capítulo é apresentada o estudo de caso e os ensaios realizados em campos.

O quarto capítulo, é composta pela apresentação e análise dos resultados.

O quinto e último capítulo foi utilizada para apresentar as considerações finais e indicações de pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção serão abordados aspectos inerentes aos revestimentos externos das fachadas, manifestação patológica do tipo deslocamento, a utilização de percussão nas fachadas para identificação do problema existente e a termografia como uma ferramenta para indicar a posição do problema, auxiliando no diagnóstico.

2.1 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DO TIPO DESPLACAMENTO EM REVESTIMENTO DE FACHADA

Os revestimentos podem apresentar uma série de patologias prejudiciais ao seu bom funcionamento no que se refere a aspectos estéticos, bem como em relação às funções de proteção, isolamento e estrutural.

Os descolamentos/desplacamento ocorrem de modo a separar uma ou mais camadas dos revestimentos argamassados e apresentam extensão que varia desde áreas restritas até dimensões que abrangem a totalidade de uma alvenaria.

As placas do revestimento de argamassa que se descolam englobam geralmente o reboco e o emboço e a ruptura ocorre na ligação entre essas camadas e a base (alvenaria) (BAUER, 1997).

A placa pode se apresentar endurecida, quebrando com dificuldade, ou então quebradiça, podendo se partir com facilidade. Em ambos os casos o sem produzido quando a superfície é submetida à percussão é cavo (CINCOTTO, 1988).

A perda de aderência de um revestimento provém de tensões surgidas que ultrapassam a capacidade de aderência das ligações, sendo proveniente de um processo em que ocorrem falhas ou ruptura na interface das camadas que constituem o revestimento, ou então na interface com a base ou substrato (BARROS et al., 1997). De modo geral, Thomaz e Chimelo (1993), bem como Leal (2003b), relacionam as seguintes causas mais comuns dos descolamentos de argamassa, que podem atuar de forma combinada ou isoladamente:

a. Proporcionamento incorreto da argamassa (traço inadequado), de modo que o excesso de cimento resulta em material com pouca elasticidade, podendo não absorver as

movimentações da estrutura e/ou da alvenaria, enquanto a falta de aglomerante pode prejudicar a capacidade a argamassa aderir ao substrato;

b. Emprego de materiais com alto teor de finos, particularmente material silto-argiloso (tipo saibro, caulim), resultando em revestimento com baixa porosidade, dificultando o processo de carbonatação da cal;

c. Emprego de cal hidratada adulterada ou de baixa qualidade que, se parcialmente extinta, tem reação e hidratação retardada, acompanhada de aumento de volume e expansão;

d. Emprego de aditivos plastificantes que não substituem a propriedade de retenção de água da cal hidratada, ou aplicação da argamassa sobre o material com elevado poder de absorção de água, sem prévio umedecimento, elevando os níveis de retração por secagem;

e. Aplicação da argamassa sobre base contaminada, engordurada ou impermeabilizada, impedindo a penetração da nata do aglomerante no substrato;

f. Aplicação de argamassa sobre superfície muito lisa, sem prévio chapisco do substrato, reduzindo as condições de aderência do revestimento à base.

g. Aplicação da argamassa em camada muito espessa, de modo que o peso próprio da argamassa pode gerar uma força gravitacional maior que a adesão inicial com o substrato;

h. Operação de chapar a argamassa na parede com pouca força, não preenchendo o material adequadamente os poros da base;

i. Pintura precoce dos revestimentos à base de cal, inibindo a carbonatação da al principalmente na interface com a parede.

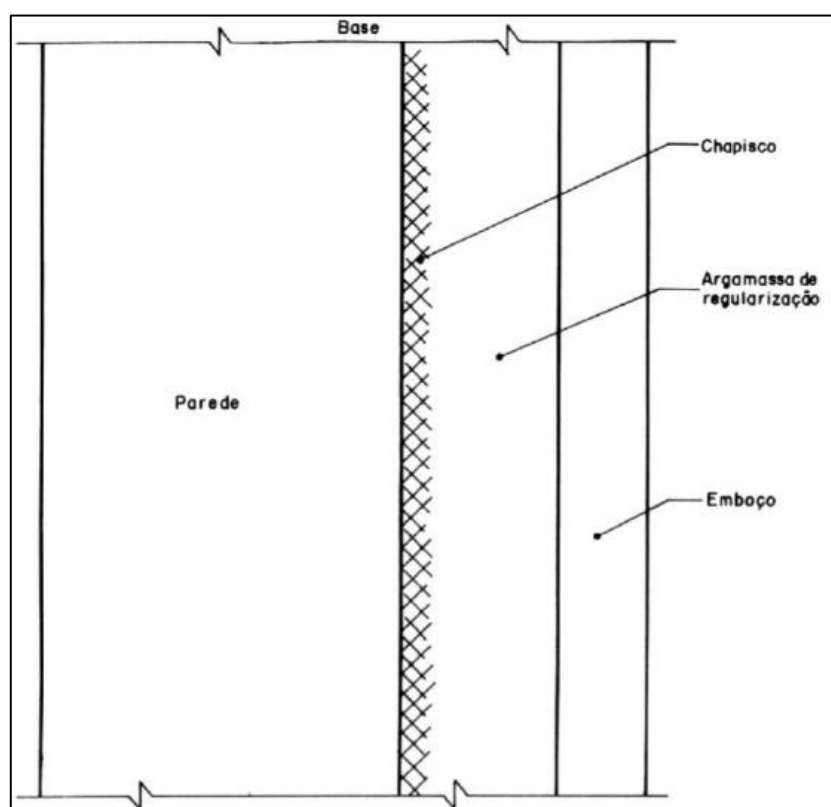
Apesar de ser um dos mais nobres e versáteis sistemas de revestimento, os revestimentos cerâmicos aderidos (RCA) têm apresentado manifestações patológicas de forma cada vez mais frequente, em virtude do descompasso entre a técnica dos intervenientes do processo construtivo e as inovações tecnológicas da indústria de placas cerâmicas e de materiais de assentamento (SILVESTRE; BRITO, 2008).

De acordo com a NBR 13816 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997, 1 p.), revestimento cerâmico é o “Conjunto formado pelas placas cerâmicas, pela argamassa de assentamento e pelo rejunte.”. O revestimento cerâmico de fachada (RCF) ainda agrega os conceitos de revestimento externo, assim descrito pela NBR 13755 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1996, 2 p., grifo do autor):

Revestimento externo: conjunto de camadas superpostas e intimamente ligadas, constituído pela estrutura-suporte, alvenarias, camadas sucessivas de argamassas e revestimento final, cuja função é proteger a edificação da ação de chuva, umidade, agentes atmosféricos, desgaste mecânico oriundo da ação conjunta do vento e partículas sólidas, bem como dar acabamento estético.

A seguir, na Figura 1, é apresentado um esquema da base de um revestimento externo, sobre a qual são aplicadas as placas cerâmicas.

Figura 1- Esquema da base para receber o revestimento cerâmico



Fonte: ABNT-NBR 13755:1996

De acordo com Campante e Sabbatini (2001) são funções esperadas dos revestimentos:

- a) Proteção do elemento de vedação;
- b) Isolamento térmico e acústico;
- c) Estanqueidade à água e gases;
- d) Acabamento final, função estética e de valorização econômica.

Os mesmos autores ainda descrevem que manifestação patológica é a situação em certo ponto da vida útil do revestimento, em que o desempenho fica abaixo do mínimo esperado, não atendendo às funções para as quais foi projetado e deixando de cumprir as necessidades dos usuários.

As manifestações patológicas mais frequentes nos RCF são:

- a) Rachaduras;
- b) Umidade;
- c) Descolamento;
- d) Destacamento.

Segundo Lourenço et al., (2016), o destacamento do revestimento cerâmico é provavelmente a patologia mais comum e mais difícil de se identificar a causa. O problema pode estar relacionado a inúmeros fenômenos, entre eles as anomalias em sistemas estruturais, em alvenarias, no emboço, na própria placa cerâmica ou nos procedimentos de aplicação da mesma.

Entre os problemas estruturais mais frequentes, que interferem na aderência dos revestimentos cerâmicos, destacam-se:

- a) Expansão térmica da laje de cobertura.
- b) Estruturas com grandes balanços.
- c) Recalques diferenciais.

Problemas de projeto, de execução das bases que suportam os revestimentos e anomalias na aplicação dos mesmos, também podem resultar nos destacamentos das placas. Entre os problemas mais comuns estão:

- a) Falha na ligação da alvenaria ao pilar.
- b) Falha no encunhamento da alvenaria.
- c) Deficiência no chapisco por falha no traço ou falta de cura.
- d) Ausência de reforços do emboço nas regiões de acúmulos de tensões.
- e) Resistência insuficiente do emboço por falha no traço ou falta de cura.
- f) Falta de aderência entre as camadas que compõe a base por falha na limpeza e preparação da camada inferior antes da aplicação da camada seguinte.

- g) Vencimento do tempo em aberto da argamassa colante.
- h) Impregnação parcial do tardo com argamassa colante.

Conforme apresentado, existem muitos fenômenos que levam ao destacamento da placa cerâmica, todos eles resultantes de materiais ou procedimentos que não estão relacionados especificamente à fabricação dos elementos cerâmicos. A elevada expansão por umidade (EPU) é a principal característica resultante da fabricação das placas que pode levar ao destacamento das mesmas, uma vez que a expansão das placas insere tensões nas camadas que compõe o revestimento, culminando na ruptura da camada menos resistente.

Diante do exposto, torna-se evidente a necessidade de se compreender o fenômeno que causou o destacamento, para que seja possível elaborar um diagnóstico e consequentemente o prognóstico, o projeto de recuperação, as especificações técnicas e os materiais de reparo de uma obra com problemas de destacamento de revestimento cerâmico.

Usualmente os diagnósticos são realizados em função dos resultados dos seguintes métodos de inspeções de fachadas:

- a) **Exame visual:** Através da observação das características físicas das manifestações patológicas e de sua extensão, o engenheiro deve realizar um primeiro mapeamento das ocorrências, além de formular as primeiras hipóteses que possam explicar as manifestações. A limitação desse exame está relacionada principalmente à dificuldade de se observar com precisão todos os pontos de uma fachada de um edifício.
- b) **Fotografias com lentes objetivas de longo alcance:** em virtude da limitação do método de exame anteriormente apresentado, pode-se utilizar uma máquina fotográfica dotada de lente objetiva de longo alcance, para que seja possível realizar o exame visual com maior proximidade. Este método também apresenta limitações, pois em edifícios com mais de 10 pavimentos ficam muito fechados os ângulos de visão das patologias dos pavimentos superiores, causando distorções nas imagens, que impedem a perfeita compreensão da patologia.
- c) **Percussão:** é a principal forma de mapeamento dos problemas de aderência dos revestimentos cerâmicos, no qual um profissional deve acessar todos os pontos da fachada em estudo, utilizando um guindaste ou técnicas de

rapel, indicando quais pontos apresentam sons cavo quando percutidos com um martelo de borda plástica. Paralelamente o profissional pode fazer uma análise visual dos problemas e tirar fotografias. Este método é preciso, no entanto é extremamente demorado e expõe o profissional a todos os riscos inerentes do trabalho em altura. Outra limitação deste ensaio diz respeito ao profissional que o realiza, pois quase a totalidade das vezes não são engenheiros qualificados que se sujeitam ao trabalho nessas condições, mas sim profissionais menos qualificados, que possuem apenas certa experiência prática no assunto.

d) **Arrancamento:** inserindo esforços de tração em uma área de dimensões conhecidas é possível determinar as tensões que resistem as camadas que compõem o sistema de revestimento cerâmico de fachada. O ensaio consiste no arrancamento de diversos pontos, para que sejam determinadas as tensões suportadas e as camadas que apresentam a menor resistência. A limitação deste ensaio está em admitir que os resultados pontuais refletem o comportamento de toda a extensão da fachada.

e) **Janelas de inspeção:** ao abrir janelas de inspeção em regiões específicas, é possível determinar a profundidade e extensão de fissuras, deficiências nas ligações de alvenarias a pilares, deficiências nos encunhamentos, ausências de reforços nos emboços, entre outros problemas. Trata-se de uma técnica precisa, porém trabalhosa e destrutiva.

Segundo Lourenço et al., (2016), é necessário estudar um processo de inspeção mais eficiente e econômico do que esses usualmente aplicados.

Uma alternativa aos ensaios anteriormente descritos são as Inspeções através da Termografia Infravermelha (TIV). Segundo Balaras e Argiriou (2002), esta é uma técnica de ensaio não destrutivo (END), utilizada para detectar umidade e patologias de destacamento de revestimentos de fachadas, entre muitas outras aplicações possíveis.

A técnica é absolutamente segura e não emite qualquer radiação, apenas capta a radiação térmica que é naturalmente emitida por qualquer objeto. O funcionamento é similar ao de um termômetro, porém muito mais eficiente (MALHOTRA; CARINO, 2004).

2.2 TERMOGRAFIA INFRAVERMELHA (TIV)

Apesar da radiação infravermelha (RI) não ser detectável pelo olho humano, uma câmera de RI pode detectá-la e convertê-la em uma imagem, que retrata os gradientes de temperatura de um objeto ou uma cena (FLIR, 2012). Estas imagens são conhecidas como termogramas.

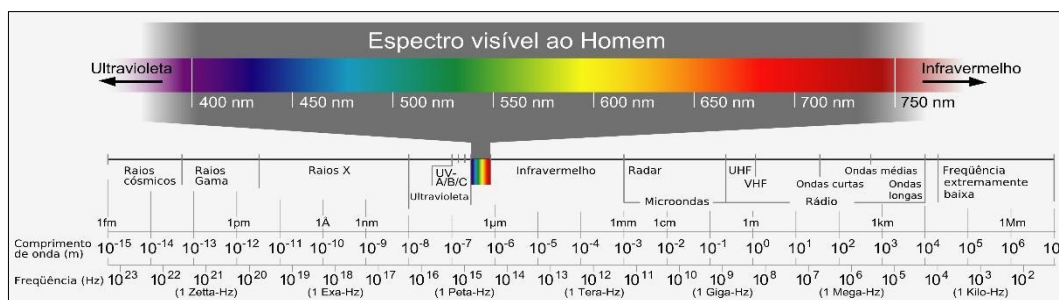
A Termografia Infravermelha (TIV) é uma técnica que envolve medições e análises de radiação térmica infravermelha. Os estudos compreendem etapas realizadas em campo e outras etapas de análises computacionais. Em campo são feitos termogramas, que posteriormente passam por tratamentos em software específico, no qual são ajustados os parâmetros termográficos dos elementos, possibilitando um refinamento das imagens e consequentemente análises mais precisas (FLIR, 2012).

A análise termográfica é uma técnica de diagnóstico baseado em um ensaio não destrutivo (END), que utiliza câmeras e sensores infravermelhos para medição de temperatura e distribuição de calor, com o objetivo de detectar problemas em sua fase inicial e precisamente no local afetado (FLIR, 2012).

Com essa técnica, caso haja desconfiança de alguma situação, não é necessário interromper processos, desmontar equipamentos ou quebrar paredes para inspeção.

O olho humano só enxerga uma pequena parte de todas as radiações existentes. A parte que é possível ser enxergada é chamada de radiação visível, ou espectro visível, mais conhecida pelas cores do arco-íris. O espectro visível vai da cor vermelha, que tem menor energia, até a violeta, cor mais energética.

Figura 2 - Índice do espectro visível ao homem.



Fonte: [SBFísica](#)

Todos os seres vivos e objetos emitem radiação, e essa radiação ocorre em função da temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de radiação. A radiação associada à temperatura é a radiação infravermelha.

Em altas temperaturas, a partir de 500°C, a radiação começa a entrar no espectro visível. Quando derretemos metal, esquentamos a resistência de um forno elétrico ou o carvão está em brasa, por exemplo, os materiais ficam avermelhados. Fora esses casos específicos, não consegue enxergar calor, e requer ajuda de câmeras.

As câmeras infravermelhas são capazes de detectar esse tipo de radiação e transformá-la numa imagem visível ao olho humano. Essa imagem, a princípio, é convertida em tons de cinza, indo do preto (para objetos frios) ao branco (para objetos quentes). E com um software pode-se interpretar e converter a imagem para que seja colorida.

Todo material com temperatura acima de zero Kelvin (zero absoluto) emite radiação eletromagnética que é dada pela emissividade da superfície do material e de seu acabamento. Essa propriedade que varia $0 < \epsilon < 1$, onde 0 é um refletor perfeito – espelho e 1 é um emissor perfeito ou corpo negro, fornece uma medida da capacidade de emissão de energia de uma superfície em relação a um corpo negro (ITC, 2014).

Na Tabela 1 é possível ver alguns valores típicos de emissividade, que podem variar conforme as condições de medição, o acabamento superficial do material, o ângulo de medição e a temperatura do ensaio (MARIO, 2011).

Tabela 1- Valores da emissividade dos materiais.

Descrição/Composição	Emissividade (ϵ)*
Aço inoxidável - Típico, polido	0,17
Alumínio - tipicamente polido, película	0,04
Água	0,96
Areia	0,9
Concreto	0,88-0,93
Janela de vidro	0,90-0,95
Materiais de construção - placa de amianto	0,93-0,96
Materiais de construção - Tijolo vermelho	0,93-0,96
Materiais de construção - Estuque ou placa de gesso	0,90-0,92
Materiais de construção - Madeira	0,82-0,92
Papel, branco	0,92-0,97
Pavimentação de asfalto	0,85-0,93
Rocha	0,88-0,95
Solo	0,93-0,96
Tecido	0,75-0,90
Tintas- Pretas (Parson)	0,98
Tintas - branca acrílica	0,9
Tintas - branca óxido de zinco	0,92
Vegetação	0,92-0,96

Fonte: ITC (2014)

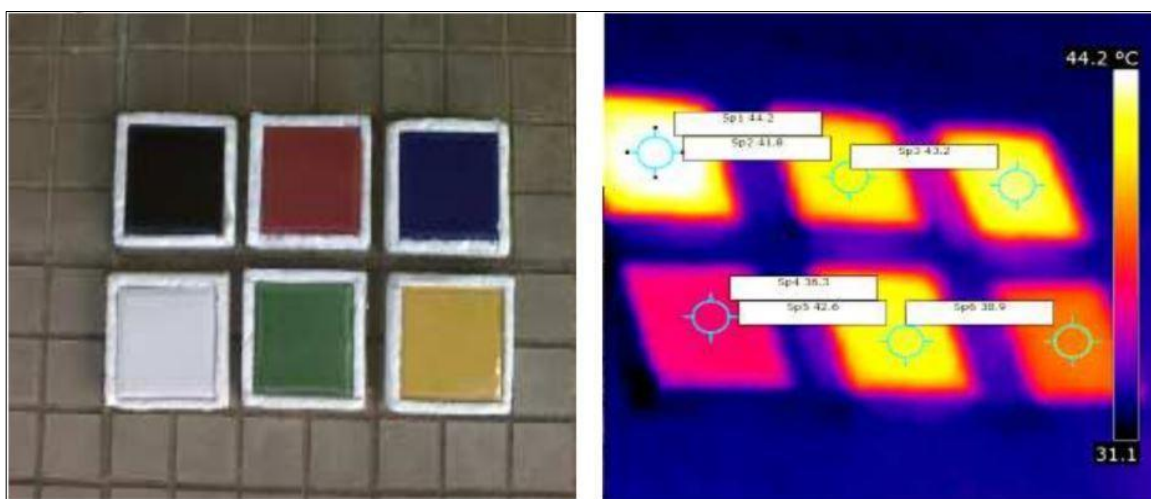
Superfícies extremamente polidas a emissividade se apresenta inferior a 0,10 e, para superfícies com presença de sujidades, o valor é superior a 0.

A radiação que a câmera mede, segundo Silva et al. (2006) vai depender tanto da emissividade como da temperatura do material analisado, logo a emissividade que é fundamental para estimar a radiação emitida.

Os materiais mais comuns utilizados na construção civil, como argamassa, pedra e concreto, possuem altos valores de emissividade (geralmente superiores a 0,8).

A cor do material utilizado também influencia na análise dos resultados obtidos, um teste realizado por Amorim, Monteiro (2013) mostra um conjunto de placas cerâmicas submetidas a uma exposição à radiação solar direta de aproximadamente 10 minutos. Na Figura 3 nota-se que a cerâmica de cor preta registrou temperatura de 44,2°C, enquanto a de cor branca, 36,3°C, variação de 8°C, aproximadamente.

Figura 3- Cerâmicas de diferentes cores expostas ao sol.



Fonte: Amorim; Monteiro (2013)

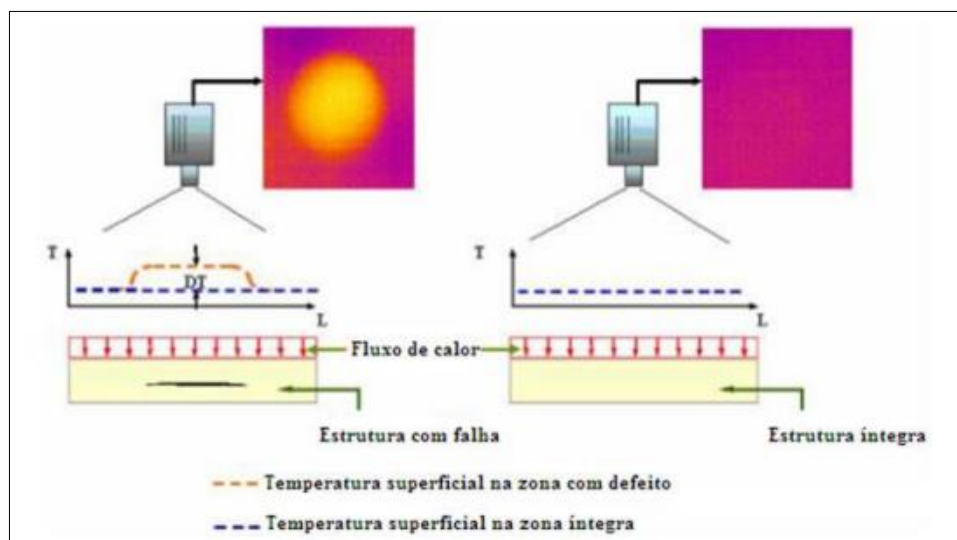
A termografia pode ser feita de duas maneiras: passiva e ativa. Na termografia passiva, os próprios objetos servem como fonte de energia para a câmera. A câmera capta as imagens de acordo com a diferença de temperatura desses objetos com o fundo.

Na termografia ativa, é necessário ter uma fonte de energia. A energia emitida é refletida pelos objetos em estudo e captada pela câmera. (PRINCIPAIS APLICAÇÕES DA ANÁLISE TERMOGRÁFICA, FLIR).

Na Figura 4 mostra um exemplo de como a termografia irá exibir a imagem de um corpo que apresenta falha. Na imagem da esquerda que apresenta a falha em sua superfície, através da termografia identifica-se a diferença de temperatura por intermédio

da diferença de cor, evidenciando o local com defeito. Na imagem da direita apresenta uma superfície íntegra, com coloração uniforme que assegura pela termografia uma superfície sem defeito.

Figura 4 - Identificação de uma superfície com e sem defeito pela termografia.



As inspeções são feitas à distância, de maneira não-destrutiva, sem a necessidade de elaboração de logísticas complexas para acessar os objetos de estudo. Os resultados são imediatos e permitem ao operador verificar ainda em campo a necessidade de refazimento dos termogramas, caso existam problemas na execução dos serviços de obtenção das imagens (reflexos, ângulos inadequados).

Bauer et al., (2016) explicam que os fatores que possibilitam o uso da termografia no diagnóstico do destacamento do revestimento cerâmico são:

- a) Em decorrência da perda de aderência entre o revestimento e o substrato surge um espaço vazio entre as duas camadas, semelhante a um colchão de ar.
- b) Os materiais de revestimento possuem pequena espessura, entre 5 e 10 mm.

As inspeções de fachadas se baseiam no princípio de que os vazios existentes abaixo das superfícies dos materiais afetam os fluxos térmicos, reduzindo a taxa de transmissão de calor dos elementos, gerando uma heterogeneidade do comportamento térmico do material, sendo possível determinar, através dos termogramas, diferenças de

temperaturas que indicam a presença de descolamentos, invisíveis a olho nu (BAUER et al., 2016).

Edis, Flores-colen e Brito (2014) afirmam que durante o aquecimento da superfície, a temperatura da área defeituosa aumenta de forma mais acentuada do que a área sã e continua maior por algum tempo após a remoção da fonte de calor. Ao longo do esfriamento observa-se o comportamento inverso, no qual a superfície que apresenta problemas de aderência registra temperaturas menores do que as áreas regulares.

A termografia ativa é caracterizada quando estímulos térmicos são emitidos contra um corpo em estudo e é avaliada a evolução dos decaimentos das temperaturas, para determinação de anomalias ou defeitos. Dificilmente será possível a aplicação da técnica ativa em inspeção de fachadas, por impossibilidade técnica de emitir os estímulos em escala compatível com a extensão de uma fachada.

Por serem áreas extensas, as fachadas necessitam de uma fonte de calor que não seja extremamente cara e ainda assim seja capaz de produzir um aquecimento homogêneo de toda a superfície. O sol preenche estes dois requisitos (BAUER et al., 2016). Quando a fonte de calor que aquece o edifício é solar, a inspeção termográfica é classificada como passiva.

Segundo Bauer et al., (2016), a inspeção termográfica de fachadas possui diversas vantagens quando comparada aos métodos usuais de inspeção, entre eles:

- a) Pode ser realizada à distância;
- b) Avalia as temperaturas em tempo real;
- c) Não destrutiva;
- d) Rapidez na execução.

Bauer et al., (2016) complementam a lista anterior com outras vantagens deste tipo de inspeção:

- a) Precisão;
- b) Possibilidade de reprodução dos ensaios;
- c) Não-destrutiva;
- d) Utilizada tanto para inspecionar regiões localizadas, como grandes áreas;
- e) Eficiente em termos de trabalho e custos de equipamentos;
- f) Econômica;
- g) Procedimentos de inspeção não causam danos ao meio ambiente;

- h) Usuários das edificações não sofrem qualquer tipo de privação ou restrição durante as inspeções.

A termografia infravermelha é uma técnica que permite testar áreas, enquanto os métodos tradicionais permitem testar apenas pontos ou linhas. Através da TIV são formadas imagens bidimensionais do plano em análise, nas quais as características são expressas de maneira contínua, sendo retratadas tanto as regiões sãs como aquelas que possuem anomalias sob a superfície. O método tradicional de mapeamento por percussão apresenta resultados na forma discreta, ou seja, ponto a ponto. Quando uma área necessita ser testada, são necessárias múltiplas leituras para obter um diagnóstico do todo (MALHOTRA; CARINO, 2004).

Segundo Bauer et al., (2016), um aspecto importante a ser definido no momento do exame é o da definição da abordagem a ser adotada, que pode ser qualitativa ou quantitativa.

A análise quantitativa busca determinar a intensidade da anomalia, sendo necessária maior precisão nas leituras das temperaturas obtidas no termograma. O conhecimento da emissividade, distância, temperatura refletida, dentre outros parâmetros passam a ser essenciais para a precisão dos estudos subsequentes. Para este tipo de análise torna-se necessário o uso de câmeras térmicas radiométricas, que são aquelas cujos termogramas contém informações da temperatura de cada pixel que aparece na imagem.

A abordagem qualitativa é utilizada em investigações nas quais são constantes os fluxos térmicos e a região que apresenta temperatura mais alta ou mais baixa da média da faixa de trabalho pode representar uma anomalia. Neste tipo de análise não há preocupação com a determinação da severidade da anomalia, observa-se somente a existência e a localização de um eventual problema. Este tipo de análise pode ser realizado com câmeras térmicas não-radiométricas, que são aquelas que não fornecem a leitura da temperatura de cada ponto, fornecendo apenas uma imagem em um gradiente de cores, nas quais é possível apenas saber quais regiões estão mais quentes e quais estão mais frias.

- **Parâmetros termográficos**

Para a realização da análise quantitativa de patologias em fachadas é necessário conhecer os parâmetros termográficos que influenciam nos valores das temperaturas

medidas pelos termogramas, sendo importante determinar precisamente o efeito produzido pelas variações destes parâmetros (BAUER et al., 2016).

O mesmo autor defende que os parâmetros que mais influenciam os valores de temperaturas dos termogramas, que podem ser controlados de forma quantitativa, são:

- a) Emissividade
- b) Distância ao alvo
- c) Temperatura refletida

Bauer et al., (2016) complementam a lista de parâmetros adicionando outros dois parâmetros:

- a) Composição do substrato
- b) Condições ambientais

A habilidade que um material tem de irradiar energia é medida pela sua emissividade, que por sua vez é definida como a eficiência com que a superfície emite radiação, comparada a um corpo negro submetido à mesma temperatura. Esta é uma propriedade especificamente da superfície. A emissividade é maior para as superfícies escuras e ásperas, sendo menor para as superfícies claras e lisas. (LOURENÇO et al., 2016).

O valor deste parâmetro está entre 0 e 1. São fatores que influenciam na emissividade: material, estrutura/textura da superfície, geometria, ângulo, comprimento de onda e temperatura. Uma das formas de medir este parâmetro é pela comparação com a fita padrão, de emissividade conhecida, ou com a utilização de emissômetro.

A distância ao alvo é o parâmetro mais simples de ser determinado, especialmente com o auxílio dos modernos e cada vez mais baratos equipamentos de medição de distâncias.

A temperatura aparente refletida é a leitura feita por uma câmera de infravermelho, considerando-se toda a radiação nela incidente, sem nenhuma correção em função da radiação emitida por outros corpos.

Os efeitos da composição do substrato se baseiam no princípio que o calor não pode ser impedido de transitar das áreas mais aquecidas para as menos aquecidas, porém as taxas de transferência de calor dependem das características dos materiais, que possuem variações na condutividade térmica. Além disso, conforme descrito anteriormente, os defeitos existentes nas fachadas também apresentam variações na

condutividade térmica, por exemplo, um vazio decorrente do descolamento de uma placa cerâmica possui uma condutividade térmica inferior à região que o cerca (BAUER et al., 2016).

O quinto fator que afeta a medição de temperatura de uma superfície é a condição ambiental ao seu redor e suas diversas especificidades:

- a) Radiação solar: os ensaios devem ser realizados nos períodos em que a radiação solar, ou a falta dela, produz o mais rápido aquecimento ou esfriamento da superfície;
- b) Cobertura de nuvens: nuvens refletem a radiação infravermelho, reduzindo a velocidade da transferência de calor do objeto para o meio ambiente. Por este motivo ensaios noturnos não devem ser realizados com tempos nublados, para garantir uma eficiente transferência de calor;
- c) Temperatura ambiente: o efeito da temperatura ambiente pode ser negligenciável, uma vez que o fator mais importante é o rápido aquecimento ou esfriamento da superfície. Este parâmetro influenciará apenas na duração do período em que as medições irão apresentar o maior contraste possível;
- d) Velocidade do vento: rajadas de vento reduzem as temperaturas das superfícies, por este motivo as medições devem ser realizadas com velocidade do vento inferiores a 25 Km/h.
- e) Umidade da superfície: a presença de umidade tende a dispersar o calor de uma superfície, mascarando as diferenças de temperatura, assim como as anomalias do substrato. Não devem ser feitas medições em superfícies úmidas.

Estabelecidas as condições adequadas para as medições, uma área relativamente grande pode ser selecionada para execução da calibração, contendo regiões conhecidamente sãs e outras com problemas. Cada tipo de anomalia mostrará um padrão de temperatura, dependendo das condições existentes (BAUER et al., 2016).

- **Limitações**

Malhotra e Carino (2004) afirmam que a incidência de sombra sobre as áreas em estudo pode gerar imprecisões nos termogramas, pois as sombras se movem

constantemente e nas regiões encobertas a temperatura tende a ficar mais baixa, podendo sugerir patologias que na prática não existem.

Bauer et al. (2016) afirmam que a TIV ainda não pode ser amplamente aplicada nos estudos de patologias de revestimentos cerâmicos de fachadas, devido à ausência de procedimentos e critérios que direcionam as atividades de inspeção e garantam a confiabilidade dos resultados.

De acordo com os autores, a utilização de valores errados para os parâmetros descritos na seção anterior gera erros nas leituras de temperaturas dos termogramas, acarretando interpretações equivocadas a respeito da intensidade das manifestações patológicas presentes na fachada em estudo.

Existem técnicas para a correta determinação da emissividade de cada material, no entanto a realização desse processo para todos os elementos de uma fachada é uma atividade trabalhosa, sendo comum a utilização de valores aproximados, resultando em erros nas leituras das temperaturas dos termogramas.

Os autores seguem afirmando que é preciso estudar e quantificar os erros usualmente cometidos na determinação dos parâmetros de materiais mais frequentemente utilizados em fachadas, pois nesses locais é muito comum a temperatura do alvo ser superior à temperatura refletida. Nestes casos, a adoção de um valor menor para a emissividade gera leituras maiores de temperaturas. O comportamento é oposto quando a temperatura do alvo é menor do que a refletida.

O cenário pouco promissor retratado por Bauer et al. (2016) pode ser atribuído à tentativa de obtenção de resultados quantitativos a respeito das patologias de destacamento, pois conforme a revisão da literatura apresentada anteriormente, a obtenção de medições precisas da temperatura em cada ponto de uma fachada é uma tarefa que tende ao impossível, visto que muitas das variáveis envolvidas não podem ser controladas pelo homem.

Desta forma, a obtenção de resultados qualitativos aparece como a solução mais viável, pois a temperatura exata medida na fachada deixa de ser o ponto central da inspeção, que passa a focar somente nas diferenças de temperaturas existentes em um mesmo plano, em regiões contíguas.

Nesta linha, Edis, Flores-colen e Brito (2014) apresentam uma visão mais otimista para o emprego deste tipo de ensaio e concluem seu trabalho afirmando que a técnica passiva de termografia infravermelha é um ensaio que permite detectar de forma qualitativa os problemas de destacamentos de revestimentos cerâmicos em 70-78% das

áreas defeituosas, apesar das limitações existentes demandarem, em determinados casos, a complementação dos estudos com ensaios consagrados.

2.3 ENSAIO DE PERCUSSÃO

O ensaio de percussão é utilizado para verificar as condições de aderência do revestimento, consiste na aplicação de impactos leves realizados com martelo com ponta de borracha para verificar a ocorrência de sons cavos demonstrados na Figura 5. É adequado analisar todos os panos do revestimento incluindo pingadeiras e enchimentos, este processo de investigação é feito somente após a superfície ter idade ideal para a execução de acabamento final.

No momento em que o ensaio é realizado e verifica-se as falhas no revestimento, o local precisa ser identificado com o auxílio de um giz, circulando todo o trecho com o som cavo. Os locais serão avaliados pelo engenheiro responsável que definirá quanto à remoção ou não do trecho, levando em consideração o tamanho, forma e local. Se optado pela remoção da área comprometida, identifica-se o ponto de ocorrência de falha (interface entre substrato e chapisco ou chapisco e revestimento) para que possa facilitar a identificação do motivo real da causa da degradação (COSTA, 2013).

Figura 5 - Exemplificação do teste de percussão em fachada



Fonte: <http://www.lepar.com.br>

3. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso consiste na apresentação do resultado e comparação entre os ensaios de termografia e percussão em revestimento de fachada em argamassa e cerâmica em um edifício residencial de 8 pavimentos em Perdizes -SP.

Com objetivo de detectar deslocamento no revestimento nas fachadas, utilizou-se os ensaios não destrutivos através do uso de uma câmera termográfica, a qual possibilita a análise do fluxo de calor irradiado pela superfície da fachada e através da auscultação com o auxílio de um martelo com ponta de borracha para identificar o som cavo.

3.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO

Os ensaios de termografia e percussão foram realizados no Edifício Arturo Francesconni – Rua Clélia, 170 – Perdizes - São Paulo, SP localizado na Figura 6.

O edifício possui 08 pavimentos sendo eles: andar térreo, 06 pavimentos tipos de apartamentos e ático. A idade do edifício é de aproximadamente 60 anos após o habite-se.

Figura 6 - Planta de localização sem escala.



Fonte: Google Mapas

O revestimento da fachada frontal é em argamassa e cerâmica, conforme Figura 7.

Figura 7- Vista geral das fachadas frontal e lateral esquerda.



O revestimento das fachadas laterais foi realizado em emboço e textura, como pode-se observar na Figura 8.

Figura 8- Vista geral da fachada lateral esquerda e direita

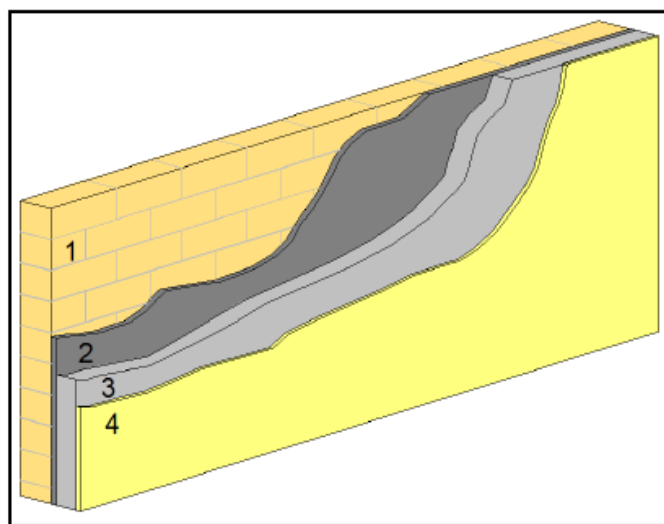


3.1.1 Caracterização das camadas e materiais constituintes do acabamento das fachadas

Nas inspeções das fachadas foi caracterizado um tipo de revestimento argamassado de fachada (RAF) aplicado nas laterais, tal como abaixo especificamos:

- Base ou suporte: Concreto e/ou alvenaria de bloco.
- Ponte de aderência: Chapisco virado em obra (v.o. sobre alvenaria).
- Emboço: Argamassa de cimento e areia virado em obra.
- Acabamento: Textura sobre argamassa.

Figura 9 - Características do sistema de revestimento de argamassa de fachadas.



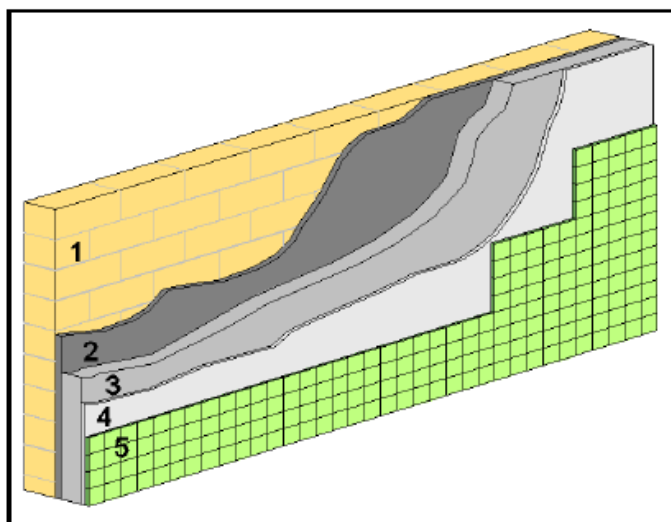
Legenda:

- 1 – Base.
- 2 – Chapisco.
- 3 – Emboço.
- 4 – Acabamento em textura sobre argamassa.

Na fachada frontal foi caracterizado um tipo de revestimento cerâmico de fachada (RCF) aplicado, tal como abaixo especificamos:

- Base ou suporte: Concreto e/ou alvenaria de bloco.
- Ponte de aderência: Chapisco virado em obra.
- Emboço: Argamassa cimentícia virada em obra.
- Argamassa colante: Virado em obra (cimento branco e areia fina)
- Acabamento: Pastilha cerâmica 2 x 2 cm.

Figura 10 - Características do sistema de revestimento com placas cerâmicas.



Legenda:

- 1 – Base.
- 2 – Chapisco.
- 3 – Emboço.
- 4 – Argamassa colante.
- 5 – Pastilhas 2 x 2 cm.

3.2 ENSAIO DE PERCUSSÃO

Procedeu-se ensaio de auscultação em todas as fachadas do edifício com cordeiro oficial, para detectar e registrar as áreas onde o revestimento de argamassa apresentasse aderência duvidosa com a base.

Partiu-se o critério de que o revestimento de argamassa apresentasse aderência duvidosa da base, quando do impacto não contundente de um martelo dotado de cabeça em pvc, resulta-se em som cavo a percussão (som ‘oco’).

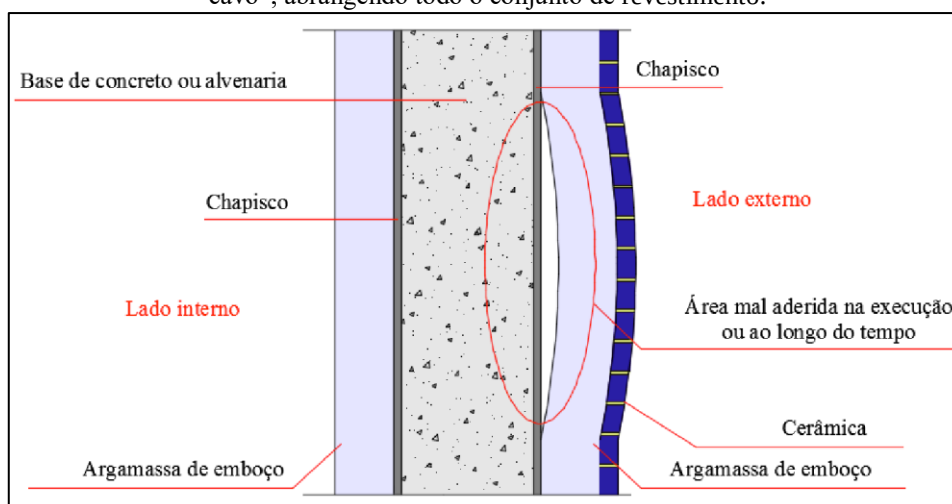
A Figura que segue ilustra o martelo empregado na inspeção:

Figura 11 - Martelinho de inspeção.



Áreas com aderência duvidosa do sistema de revestimento cerâmico de fachada (RCF), detectadas como “som cavo” durante teste de percussão (auscultação). Este caso compreende falhas de aderência provenientes das camadas internas do sistema de revestimento, ou seja, decorrentes das camadas de argamassa de emboço, chapisco e substrato (base), e suas interfaces. Conforme exemplificado na Figura 12.

Figura 12- Ilustração das áreas do revestimento cerâmico das fachadas (RCF) com a existência de “som cavo”, abrangendo todo o conjunto de revestimento.



Na fachada frontal foi identificado áreas verificadas no ensaio com som cavo indicando perda de aderência de todo o conjunto de revestimento, Figura 13.

Figura 13 - Áreas demarcadas com som cavo à percussão denotando perda de aderência de todo o conjunto de revestimento.



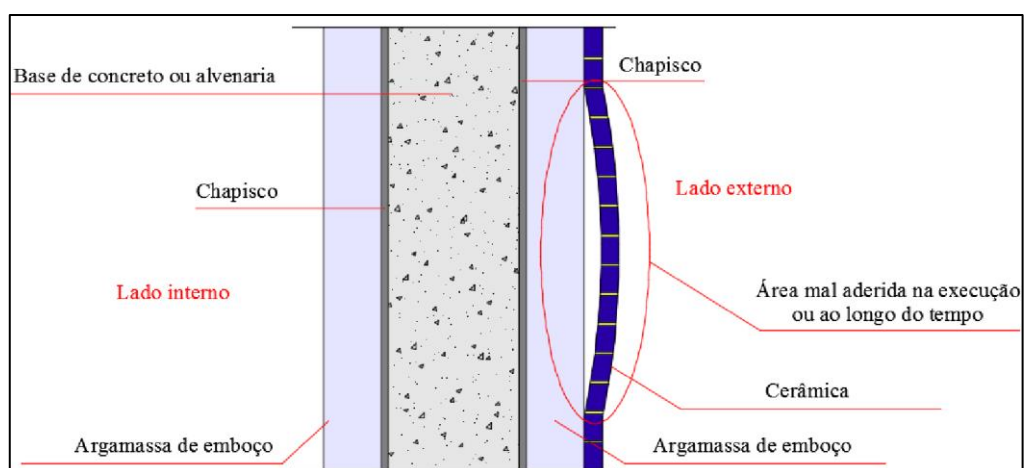
Influenciam para ocorrência de som oco no revestimento, situação mostrada na Figura 14, são as características da superfície, o tipo de argamassa empregado, o processo de execução e as condições climáticas. O substrato a ser revestido deve apresentar absorção que propicie a microancoragem, decorrente da penetração da pasta ou argamassa nos seus poros, e a macrorrugosidade, que proporcione maior área de contato da mistura nas irregularidades da base (Masuero, 2016).

Figura 14 - Frontal – As áreas demarcadas com círculos no trecho ilustrado na fotografia estão com falha de aderência no conjunto de revestimento.



Áreas com aderência duvidosa e em alguns casos deslocamento, do revestimento de acabamento cerâmico (pastilhas) que recobrem a argamassa de emboço ao longo das fachadas, detectadas como “som cavo” durante teste de percussão (auscultação). Este caso compreende somente falhas de aderência provenientes do revestimento de acabamento de pastilhas ou placas cerâmicas sobre o emboço, conforme Figura 15.

Figura 15 - Ilustração das áreas do revestimento de acabamento cerâmico com a existência de “som cavo”.



Alguns locais já haviam ocorrido o desprendimento involuntário do material cerâmico de acabamento, como mostra as Figura 16.

Figura 16 - Detalhe da fotografia anterior. Nota-se a ruptura na interface entre a argamassa adotada para o assentamento (alvaiade) e a pastilha cerâmica.



É possível verificar os indícios de deslocamento de revestimento cerâmico, conforme Figura 17, as possíveis causas do deslocamento cerâmico ocorre por falhas no assentamento das placas cerâmicas, pelo preenchimento incompleto do verso das placas e também pelo tempo em aberto excedido da argamassa colante. Além disso o destacamento pode ocorrer devido à movimentação excessiva do edifício, à expansão das placas cerâmicas, ao erro na especificação de argamassa colante ou na sua mistura, com uso de água em excesso. É viável mencionar, ainda, o emboço com baixa resistência superficial e com material pulverulento em sua superfície, o uso de rejunte rígido e além de falta de juntas de movimentação ou posicionamento inadequado.

Figura 17 - Frontal– Perda de aderência com desprendimento do revestimento cerâmico em pastilhas



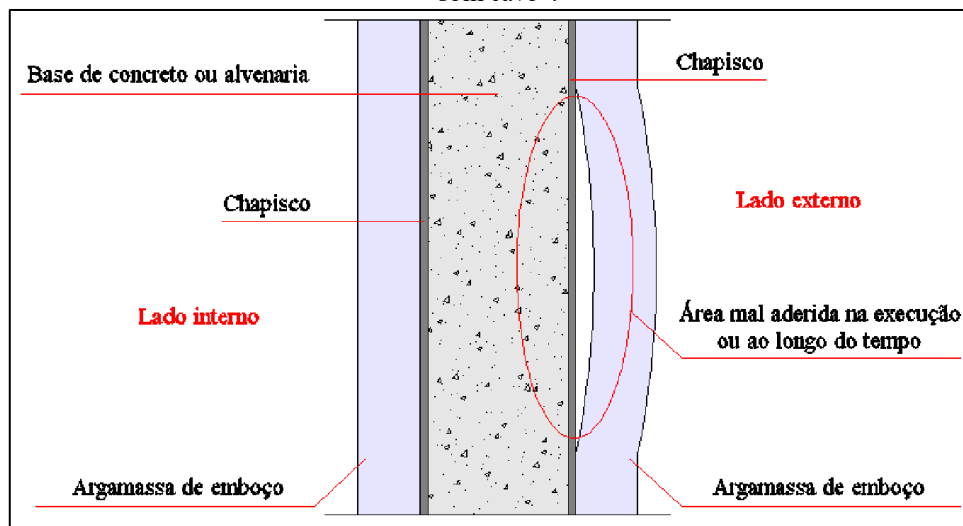
São muitas as causas, que podem ocorrer isolada ou conjuntamente. Contudo o que incomoda bastante os usuários, além de fazer com que os revestimentos deixem de cumprir todas as suas funções de proteção, estanqueidade e estética, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Nota-se a ruptura na interface entre a argamassa adotada para o assentamento (alvaiade) e a pastilha cerâmica.



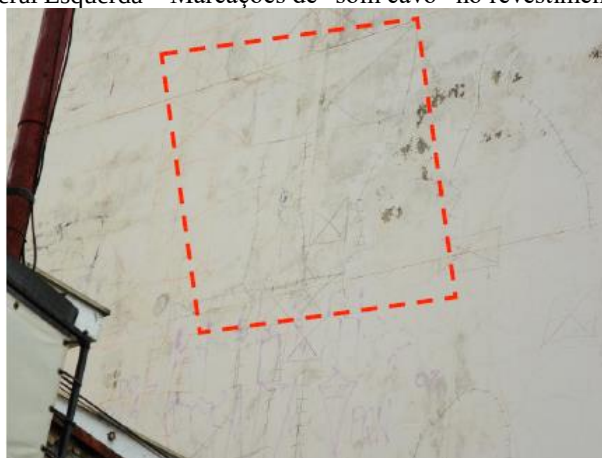
Áreas com aderência duvidosa do revestimento argamassado de fachada (RAF), conforme ilustrado na Figura 19 detectadas como “som cavo” durante teste de percussão (auscultação) nos locais cujo revestimento de acabamento é de textura.

Figura 19 - Ilustração das áreas do revestimento argamassado das fachadas (RAF) com a existência de “som cavo”.



Na Figura 20, pode se observar a demarcação identificada pelo ensaio de percussão como sem oco, consequentemente com ocorrência de deslocamento de revestimento do emboço.

Figura 20 - Lateral Esquerda – Marcações de “som cavo” no revestimento argamassado.



Na Figura 21, podemos verificar pelo mapeamento a região com som cavo, a grande maioria dos problemas de fachada acontece devido à execução inadequada. Cuidados muitos simples com a lavagem da fachada antes da execução do chapisco, que representa

uma parcela muito pequena dessa atividade, quando não executada, pode levar ao comprometimento de todo o serviço, com futuro deslocamento do revestimento, cuja correção é muito demorada e custosa.

Figura 21 - Detalhe da fotografia anterior. Marcações de círculos sobre área com falha de aderência do revestimento, indicado em vermelho.



Para prevenir manifestações patológicas do tipo deslocamento identificado na Figura 22, existem algumas maneiras de se evitar o descolamento de revestimentos são a elaboração de um projeto detalhado do revestimento de fachada, controle na execução do projeto, aquisição e controle adequados dos materiais empregados, treinamento e conscientização da mão-de-obra e execução de acordo com as especificações e procedimentos da ABNT (VELOSO, 2017).

Figura 22 - Lateral Direita – Áreas demarcadas com “som cavo”, denotando falha de aderência do revestimento argamassado de fachada.



3.3 TERMOGRAFIA

O ensaio com câmera termográfica visa apresentar o perfil térmico superficial do Edifício Arturo Francesconi através do mapeamento termográfico das paredes externas do mesmo.

O critério adotado utilizado foi emissividade 0.95 para realização do mapeamento em todas as paredes do prédio. Os dados ambientais no momento do mapeamento foram: temperatura ambiente de 23°C, velocidade do vento de ≤ 2 m/s e horário as 10:00hs.

O equipamento utilizado para o ensaio termográfico foi a câmera FLIR i3 como mostra a Figura 23, as principais características técnicas na tabela.

Figura 23 - Câmera FLIR i3



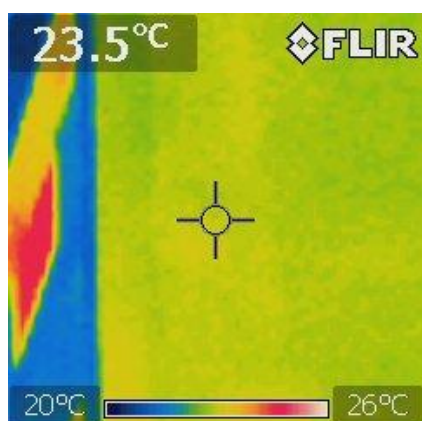
Tabela 2 - Especificações da Câmera FLIR i3

Especificações	
Modelo	i3
Imagem	
Resolução	60 x 60
Total de Pixels	3.600
Sensibilidade Térmica	<0,15 °C
Precisão	2° ou 2% da leitura
Faixa de Temperatura	-20°C a 250°C
Campo de Visão	12,5° x 12,5°
Foco	Foco Fixo
Detector	Microbolômetro
Tela	LCD de 2,8" Colorido
Frequência da Imagem	9 Hz
Correção de Emissividade	Ajustável de 0 a 1,0
Análise	
Paleta	Ferro, Arco-Iris, Preto/Branco
Modo de Medição	Ponto Central
Armazenamento	
Tipo de Arquivo	Radiométrico JPEG (>5.000)
Outros	
Tipo da Bateria / Duração	Li-Ion / >5 hrs
Sistema de Recarga	Adaptador AC na câmera
Dimensões / Peso	223 x 79 x 83 mm / 340 g incluindo Bateria
Choque	25 G, IEC 68-2-29
Vibração	2 G, IEC 68-2-6
Garantia	2 anos de garantia do termovisor e 10 anos para o detector

Foram monitorados com a câmera termográfica a fachada frontal e as laterais. Na fachada frontal onde o revestimento final é cerâmico, o comportamento heterogêneo do termograma apresentados nos mapas térmicos em anexo, mostram áreas com temperaturas diferentes indicado pela alteração de cor nas imagens, consequentemente são regiões com problemas de aderência, que se deve ao fato de toda a região estar destacada em uma mesma camada, provavelmente na interface da argamassa colante com o emboço, porém apesar da heterogeneidade dos termogramas, os mesmos não fornecem dados precisos que permitam delimitar as áreas destacadas e em qual camada e profundidade o revestimento se rompeu.

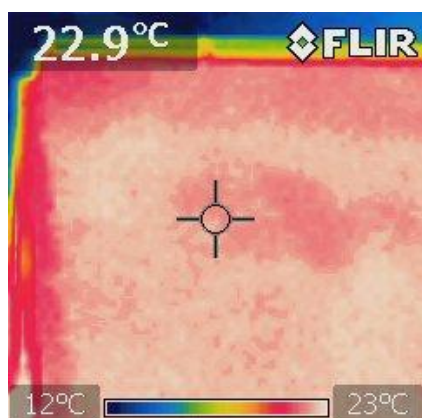
3.3.1 MAPEAMENTO TERMOGRÁFICO

Figura 24- Imagem térmica e física lateral direita entre o 3º e o 4º andar.



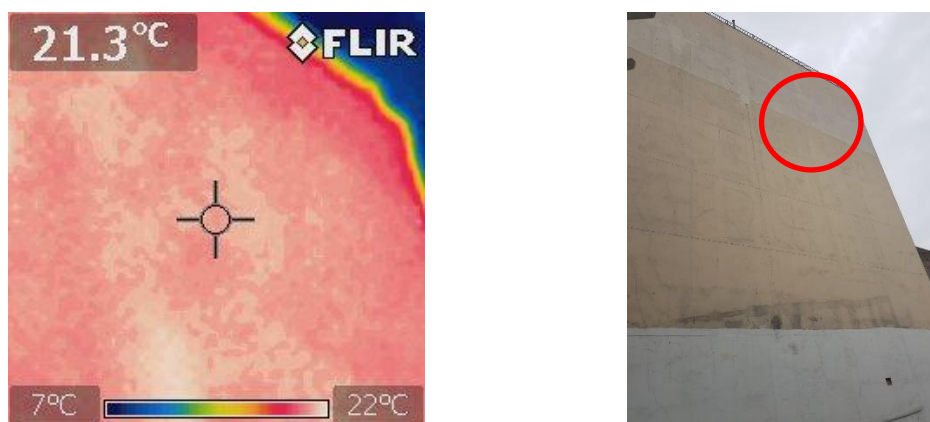
Observa-se na imagem térmica a região de cor amarela indicando diferença na temperatura superficial do local, na qual pode ser identificado o mapeamento existente neste mesmo local na foto física.

Figura 25 - Imagem térmica e física lateral direita 6º andar.



Nota-se manchas mais escuras na foto térmica indicando diferença na temperatura superficial do local, na qual pode ser identificado o mapeamento existente neste mesmo local na foto física.

Figura 26 - Imagem térmica e física lateral direita entre o 5º e o 6º andar.



Notam-se manchas mais claras na foto térmica no mesmo local do mapeamento existente na foto física.

Figura 27 - Imagem térmica e física lateral esquerda 5º e 6º andar.



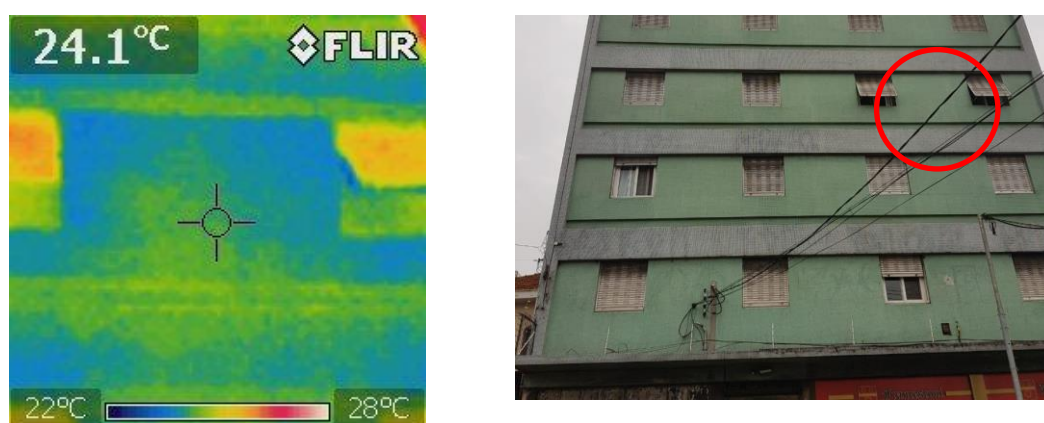
Observam-se manchas mais claras na foto térmica indicando variações de temperaturas no local, na qual está identificado como “oco” no mapeamento realizado com ensaio de percussão.

Figura 28- Imagem térmica e física lateral esquerda 5 e 6º andar.



Novamente manchas mais claras nas mesmas regiões onde foram identificadas patologias através do ensaio de percussão.

Figura 29- Imagem térmica e física frontal 3º andar.



Notam-se manchas verdes na foto térmica no mesmo local do mapeamento existente na foto física.

Figura 30 - Imagem térmica e física frontal 5º e 6º andar.



Há manchas de coloração alaranjada na foto térmica que indicam diferenças na temperatura superficial, indicando existência de patologias nestas regiões. Os locais identificados por meio de foto térmica e por ensaio de percussão, estão coincidas.

Figura 31- Imagem térmica e física lateral esquerda 5 e 6º andar.



As regiões com manchas amarelas na foto térmica foram indicadas pelo ensaio de percussão, como pode ser observado na foto física.

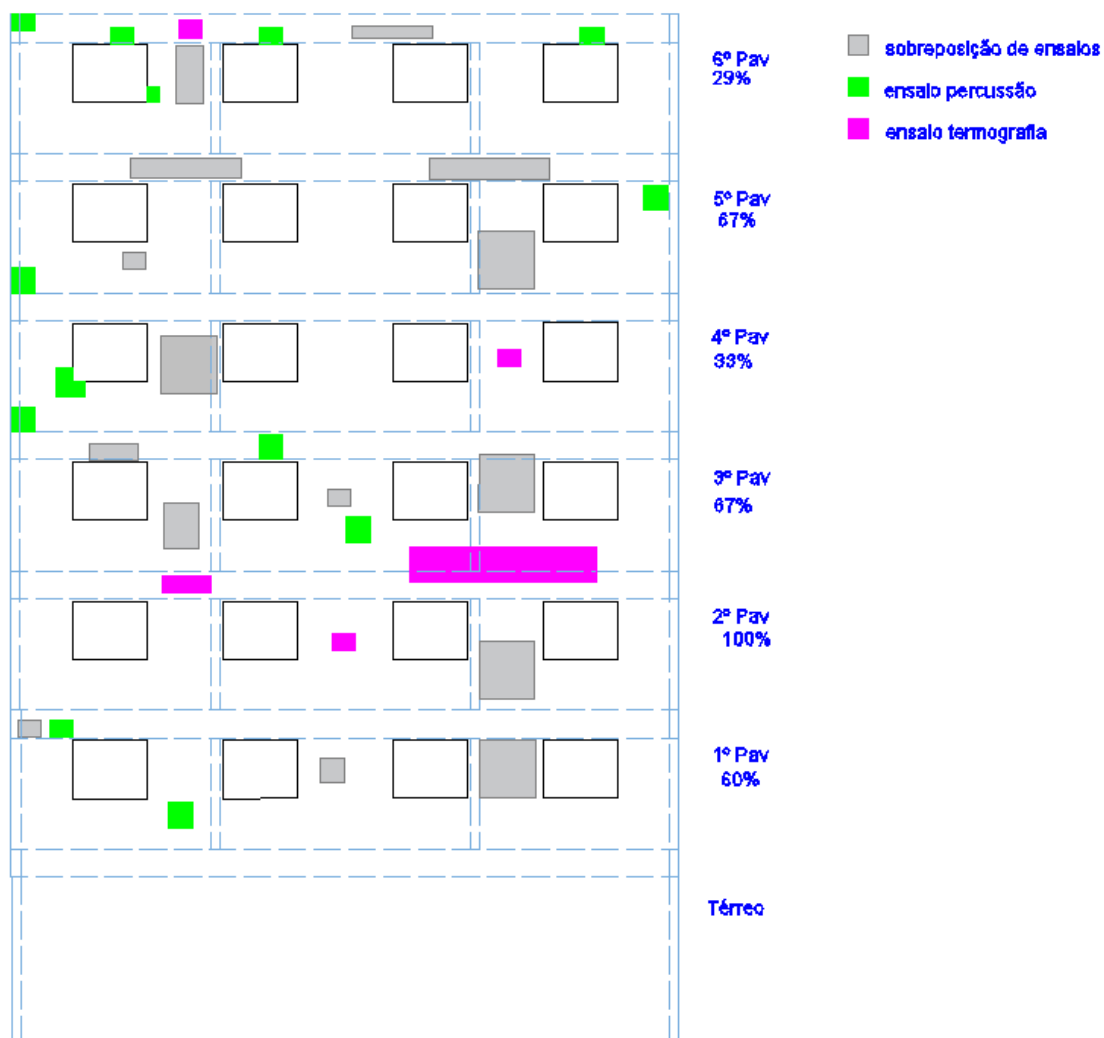
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após a realização dos ensaios de termografia e de percussão, com o auxílio do AutoCAD, foi criado um modelo do prédio onde foi realizada a sobreposição dos ensaios onde é possível visualizar os pontos em comum e verificar a porcentagem de patologias que convergem nos ensaios.

Em ambos os ensaios foi possível identificar a existência de manifestações patológicas do tipo deslocamento nas fachadas ensaiadas.

Na realização do ensaio de percussão foi possível identificar qual camada está com deslocamento, com a possibilidade de ser no emboço, chapisco e substrato ou cerâmica ,como ilustra a Figura 32, no entanto com a câmera termográfica não é plausível essa afirmação.

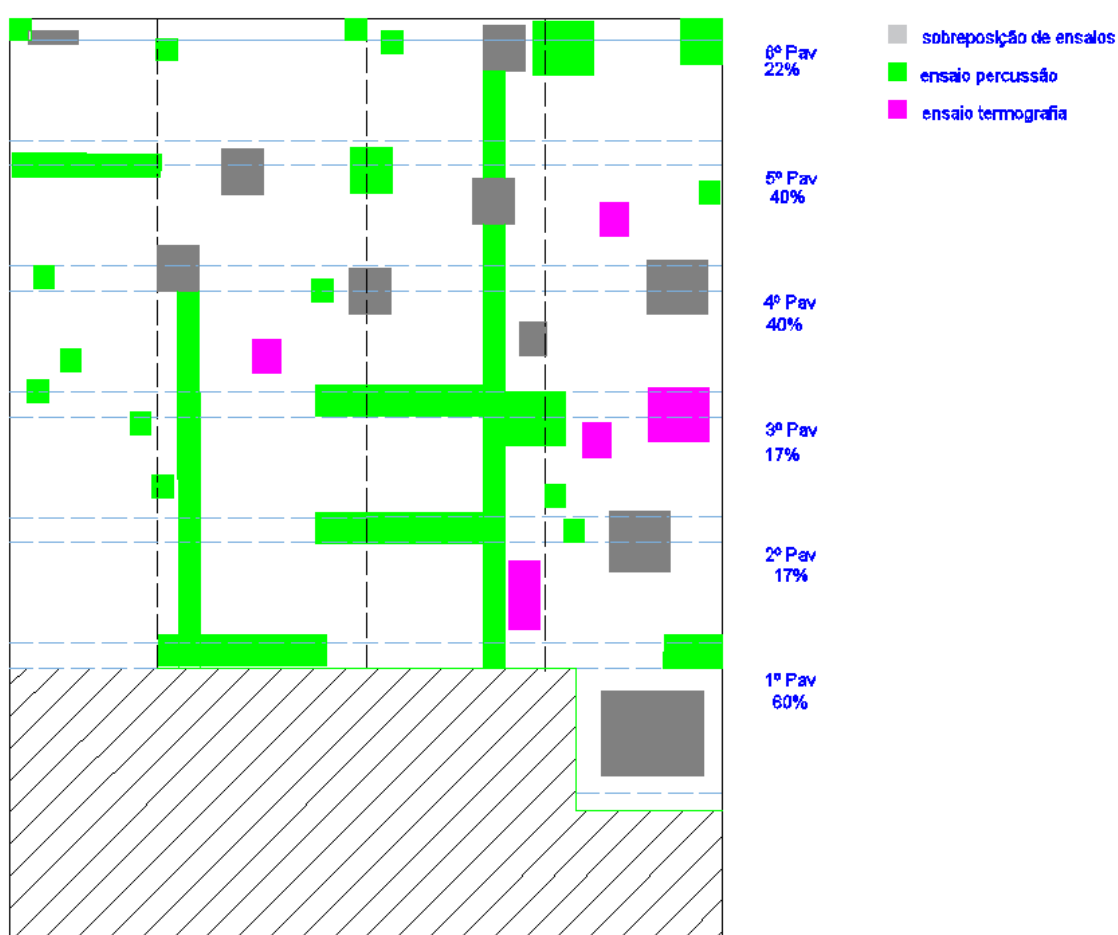
Figura 32 – Mapeamento da Fachada Frontal.



Na Figura 32 é apresentada a fachada frontal que é revestida com cerâmica, as porcentagens de convergência obtidas estão na maioria dos casos maior que 50%, mesmo sendo um dia nublado sem incidência direta do sol, o qual seria o ideal para a realização do ensaio.

No último andar a porcentagem de 29% é a menor obtida, devido ao baixo alcance da câmera utilizada em grandes distâncias, todos os resultados obtidos resultam em uma convergência de 59,4%.

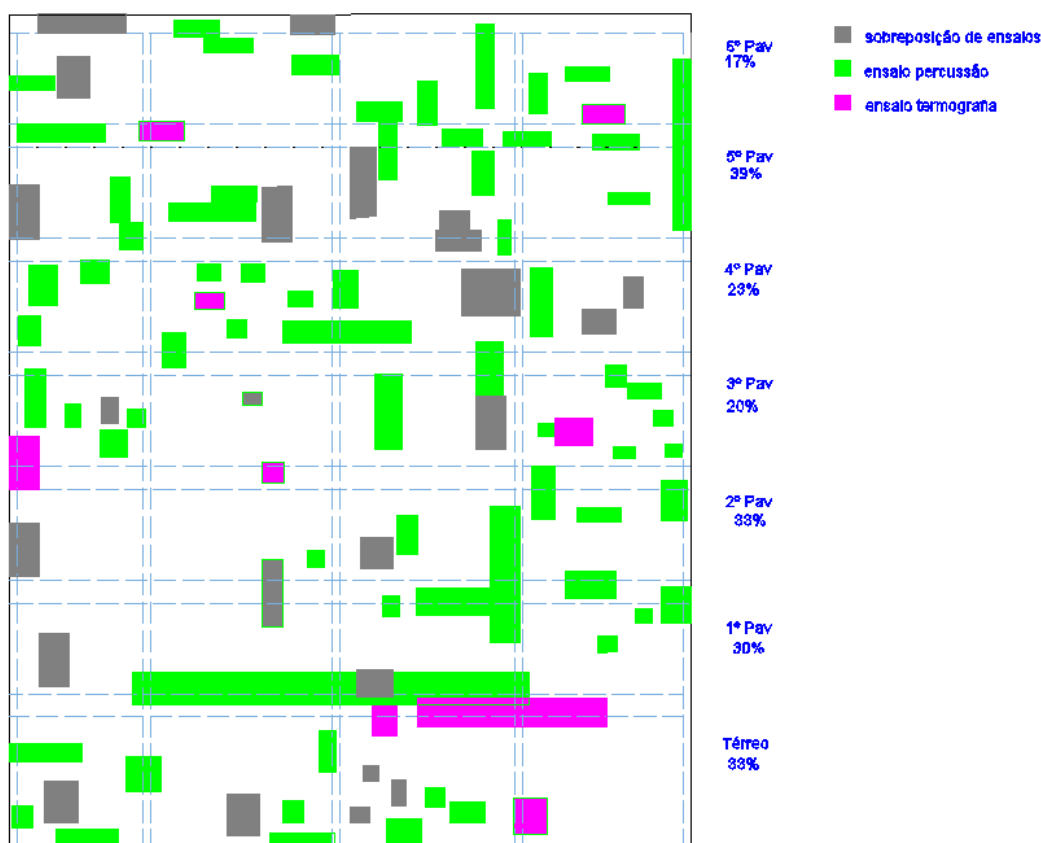
Figura 33 - Mapeamento fachada lateral esquerda



A Figura 33 mostra a fachada lateral esquerda, que é revestida com emboço e pintura. Os resultados estão muito aquém da fachada frontal, a correspondência máxima foi de 60% no primeiro andar por ser o de mais fácil acesso, já os outros andares estão abaixo de 40% que podem ter sido causado pela refletância menor que o revestimento dessa fachada tem em correspondência com o revestimento cerâmico.

A impossibilidade de realizar o ensaio na perpendicular da fachada também causou a redução do resultado do ensaio de termografia, que resultou em uma convergência geral de 32,7%.

Figura 34 - Mapeamento fachada lateral direita



A fachada lateral direita tem as mesmas características da lateral esquerda, corroborando os resultados com as porcentagens similares resultantes na comparação dos ensaios.

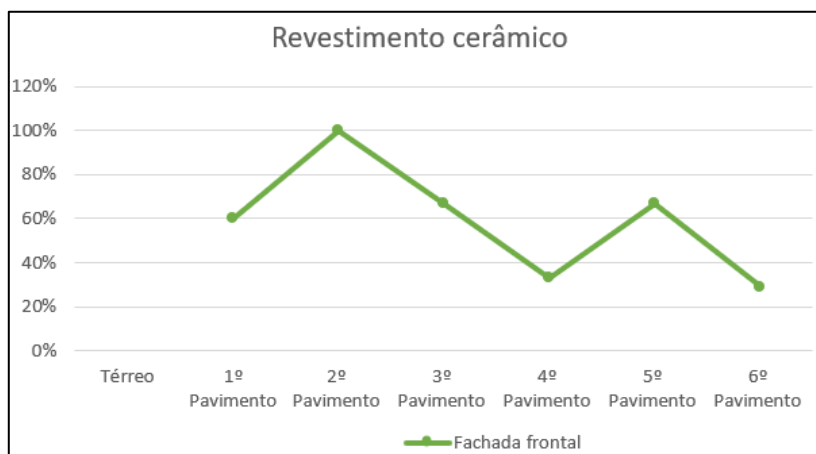
Esse lado do prédio foi o que apresentou os piores resultados de convergência, com o valor máximo de 39% e mínimo de 17% e uma média geral de 27,9%.

No geral, pelo mapeamento pode-se verificar que a fachada frontal com o revestimento cerâmico teve o resultado mais aproximado comparando os dois ensaios, pois a quantidade e locais das áreas com deslocamentos são similares.

Já nas laterais onde o acabamento é emboço e pintura o ensaio de percussão obteve resultado muito superior em quantidade de pontos do que o de termografia, devido a falta de acesso com a câmera termográfica.

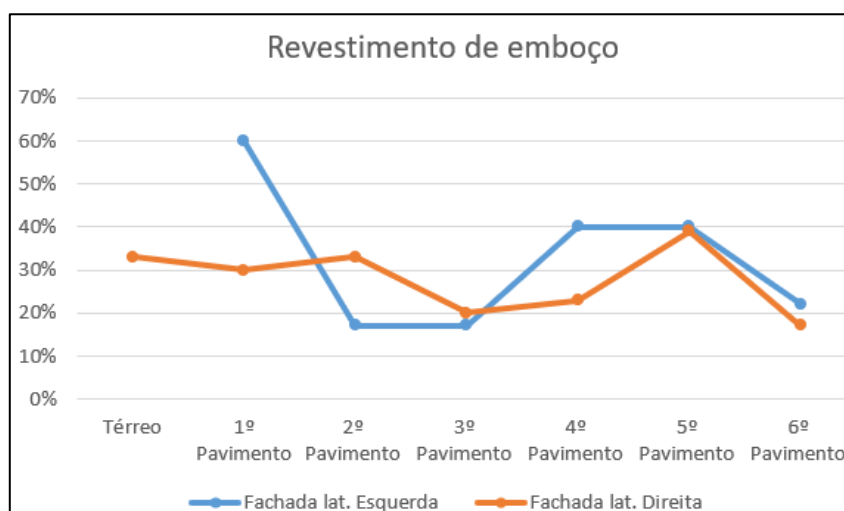
Pode-se observar na Figura 35 a fachada com revestimento cerâmico. O ensaio foi realizado perpendicular a fachada e apresentou resultados que variam de 100% a 17%.

Figura 35 – Visualização gráfica do mapeamento da fachada frontal.



Na Figura 36 mostra a comparação do mapeamento nas fachadas com revestimento em emboço, o ensaio foi realizado na diagonal em relação as fachadas por causa da impossibilidade do acesso. Os resultados com esse revestimento foram bem próximos e com porcentuais baixos variando de 60% a 17%.

Figura 36 – Visualização gráfica do mapeamento das fachadas das laterais esquerda e direita.



A termografia mostrou-se eficiente nas inspeções de fachadas acometidas com deslocamento de placas cerâmicas e emboço. Porém cabe ressaltar que o diagnóstico não é dado pela análise isolada da termografia, que apenas indica quais pontos devem ser

observados nas imagens convencionais. Para um diagnóstico preciso requer complementar com um ensaio de percussão.

No entanto o seu custo representa uma pequena fração do custo de um mapeamento através de técnicas tradicionais, por este motivo tem o potencial de se tornar um importante recurso para inspeções e estudo de fachada.

Verifica-se que a termografia infravermelha é uma tecnologia de grande utilidade para inspeção e manutenção de edifícios. Para além de permitir analisar patologias existentes, permite também que as mesmas sejam detectadas em fase inicial ou pouco disseminada, evitando assim custos agravados de manutenção. A possibilidade de detectar anomalias não visíveis a olho nu, revela-se de particular utilidade para os técnicos que as analisam e que estão encarregadas das operações de manutenção de edifícios.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

O presente trabalho comparou o uso de câmera termográfica e ensaio de percussão para a inspeção de fachadas. E pode-se observar pelo mapeamento que a termografia obteve um resultado final para a fachada em revestimento cerâmico a média de 59,40% e para as fachadas em revestimento com emboço com textura uma média geral de 30,30% em comparação a percussão na identificação de deslocamento nas fachadas.

Contudo, constatou que no ensaio de termografia, a fachada com o revestimento cerâmico teve resultados melhores do que o revestimento em emboço na comparação com o ensaio de percussão.

Na realização dos ensaios não tivemos problemas no de percussão, porém no de termografia encontramos algumas dificuldades. Primeiro realizamos o ensaio com a câmera termovisor da marca Flir modelo T300 no período noturno, mas não conseguimos visualizar as manifestações patológicas, pois o calor absorvido pelo revestimento da fachada já havia dissipado dessa maneira não foi possível identificar com a câmera a diferença de temperatura no revestimento. Após esse resultado recomendamos realizar o ensaio termográfico no período diurno, visto que os nossos resultados foram obtidos as 10hrs e foi possível identificar a diferença de temperatura no revestimento.

Os resultados obtidos nesse trabalho confirma a viabilidade da termografia como ensaio não destrutivo aplicável na inspeção de revestimento de fachada com potencial de utilização e monitoramento da evolução das manifestações patológicas com vantagens quanto a agilidade das inspeções, quando comparado com as técnicas usuais de inspeção de fachada, diminuindo a subjetividade de inspeções exclusivamente fotográficas, eliminando os riscos de segurança para trabalhos em altura e viabilizando a manutenção preditiva e preventiva dos sistemas de revestimento de fachada.

5.1 PARA FUTUROS TRABALHOS

Na utilização da câmera termográfica existem inúmeros fatores que podem interferir nos resultados, dessa forma sugerimos para trabalhos futuros:

Realizar um comparativo de imagens termográficas capturadas em horários diferentes durante o dia;

Confrontar imagens termográficas capturadas com temperaturas diferentes, com e sem a presença de umidade;

Verificar se os diferentes tipos de acabamento de fachada interferem nos resultados das imagens termográficas;

6. REFERÊNCIAS

AECWEB: **Conheça as patologias associadas à argamassa de revestimento**. Rio Grande do Sul: E-construmarket, 2016. Disponível em:<https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/conheca-as-patologias-associadas-a-argamassa-de-revestimento_16459_10_0>. Acesso em: 20 set. 2018.

AMORIM, R.; MONTEIRO, J. **A influência das cores no ganho térmico de superfícies cerâmicas**. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 5., 2013, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR, 2013. p. 1- 8.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13755: Revestimento de paredes externas e fachadas com placas cerâmicas**. Rio de Janeiro, p. 1. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13816: Placas cerâmicas para revestimento**. Rio de Janeiro, p. 1. 1997.

BARROS, M.M.B.; TANIGUTI E.K.; RUIZ L.B.;SABBATINI, F.H. **Tecnologia construtiva racionalizada para produção de revestimentos verticais**. Notas de aula: patologias em revestimentos verticais. São Paulo, 1997.

Balaras, C.A.; Argiriou, A.A. Infrared thermography for building diagnostics. *Energy and Buildings*, v.34 (2002) p.171-183.

BAUER, Elton; PAVÓN, Elier. Termografia de infravermelho na identificação e avaliação de manifestações patológicas em edifícios. **Concreto e Construções**, São Paulo, v. 1, n. 79, p.93-98, 2016.

BAUER, R.J.F. **Patologia em revestimentos de argamassa inorgânica**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2., 1997, Salvador. Anais... Salvador: CETA/ANTAC, 1997. P. 321-333.

CAMPANTE, Edmilson Freitas; SABBATINI, Fernando Henrique. **Metodologia de diagnóstico, recuperação e prevenção de manifestações patológicas em revestimentos cerâmicos de fachada**. EPUSP, 2001.

CINCOTTO, M.A. **Patologia das argamassas de revestimento: análise e recomendações**. In: Tecnologia de edificações. São Paulo: Pini, 1988 p. 549-554.

COSTA, Pedro Laranja D'araujo. **Patologia do Processo Executivo de revestimento de Fachada de Edifícios**. 2013. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

EDIS, Ecem; FLORES-COLEN, Inês; BRITO, Jorge de. Building Thermography: Detection of Delamination of Adhered Ceramic Claddings Using the Passive Approach. **Journal Of Nondestructive Evaluation**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.1-13, 18 nov. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10921-014-0268-2>.

FLIR SYSTEMS, Manual do operador. ThermaCAM E25. 2014

INFRARED TRAINING CENTER – ITC – Manual do usuário – Certificação Nível 1– 2014

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...** Técnica - A revista do Engenheiro Civil, São Paulo, ano 11, n. 76, p. 48-52, jul. 2003b.

LOURENÇO, Tomás; MATIAS, Luís; FARIA, Paulina. **Anomaly diagnosis in ceramic claddings by thermography a review**. 2016. Trabalho apresentado ao 7th International Conference On Safety And Durability Of Structures, Portugal, 2016.

MALHOTRA, V. M.; CARINO, N.J. **Nondestructive testing of concrete**. 2 ed. Boca Raton. Ed. CRC Press, 2004.

MARIO, Mauro. **Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestação patológicas ocultas**. 2011. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34409/000789733.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

SILVA, Arthur José da; VIÉGAS, Diego José Araújo; PÓVOAS, Yêda Vieira. **O uso da termografia infravermelha para detecção de manifestações patológicas**. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. Anais... Porto Alegre: ANTAC, 2016

SILVESTRE, José; BRITO, Jorge de. Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes. **Inspeção e Diagnóstico de Revestimentos Cerâmicos Aderentes**, Braga, v. 1, n. 30, p.68-82, 2008.

SINDUSCONSP - https://sindusconsp.com.br/tipos_documentos/manual/page/2/

THOMAZ, E.; CHIMELO, J.P. **Cupins e argamassas**. *Téchne - Revista de Tecnologia da Construção*, São Paulo, ano 2, n.7, p. 5, nov/dez. 1993.