

Detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado por termografia infravermelha

Joana Michelon Moresco^{1,2}

Fabiane Bordin^{1,2}

Maurício Roberto Veronez^{1,2}

Bernardo Fonseca Tutikian^{1,3}

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS)/ Graduação em Engenharia Civil/
joanamoresco@hotmail.com

²VizLab – Laboratório de Visualização Avançada – Universidade do Vale do Rio dos Sinos(UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil
{fabianebor, veronez}@unisinobr

³ITT Performance – Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil - Universidade do Vale do Rio dos Sinos(UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil
bftutikian@unisinobr

Abstract. Remote sensing has great potential for application as a nondestructive inspection and detection of pathological manifestations in civil engineering. This technology, still little used in buildings, can cooperate with the tests that are performed in the inspection of facades, for example. The technique of remote sensing studied for the detection of pathological manifestations in this work was infrared thermography. Infrared thermography captures the radiation emitted by the surface, without contact with it, and converts it into heat maps, called thermograms. Thermograms differentiate the temperatures of a surface using a color scale. The main objective of this research was to evaluate the efficiency of thermography to identify biodeterioration, cracks and presence of humidity. We also evaluated the efficiency of this technique as initial and complementary method to tests to detect pathological manifestations. The research methodology began with the definition of the study area and, later, data collection and field experiments. The building chosen to carry out the work was the building where is the library of the University of Vale do Rio dos Sinos, in São Leopoldo, Rio Grande do Sul. In the acquisition phase of the thermograms were considered the environmental variables, the technical specifications of the equipment manufacturer and the emissivity of the surface of the facade. From the analysis of results, it is concluded that the use of infrared thermography has great potential in detecting pathological manifestations in facades. May thus this technique be used as an aid in inspection to detect cracks of walls, biodeterioration and presence of humidity.

Palavras-chave: remote sensing, pathological manifestations, infrared thermography, sensoriamento remoto, manifestações patológicas, termografia infravermelha.

1. Introdução

O sensoriamento remoto possui grande potencial de aplicação como método não destrutivo na inspeção e detecção de manifestações patológicas na engenharia civil. Essa tecnologia, ainda pouco empregada em construções, pode colaborar com os ensaios que são realizados na inspeção de fachadas, por exemplo. A técnica de sensoriamento remoto estudada para a detecção de manifestações patológicas nesse trabalho foi a termografia infravermelha.

Levando em consideração que as edificações e, mais especificamente as fachadas, fazem parte do cenário urbano elas nem sempre recebem a atenção que necessitam no que diz respeito a projeto, execução e manutenção. (Silva, 2007).

Assim, é possível verificar a existência de diferentes manifestações patológicas em fachadas revestidas com argamassa, como: fissuras, biodeterioração, manchamentos e eflorescência. As falhas que ocasionam as manifestações patológicas podem ser causadas por deficiências no projeto, por desconhecimento das características dos materiais empregados e/ou emprego de materiais inadequados, por erro de execução, desconhecimento de normas técnicas e por problemas de manutenção. (Bauer, 2001).

A presença das manifestações patológicas em revestimento argamassado de fachadas prejudica, ao longo do tempo, o desempenho do sistema. A falta de desempenho pode fazer

com que o sistema de revestimento não cumpra as suas funções básicas, prejudicando assim o bem estar e a segurança dos usuários até comprometer a fachada. (Antunes, 2010).

Quando há dúvidas sobre a manifestação patológica, são executados ensaios destrutivos, como o ensaio de percussão, para saber mais informações sobre o problema. (Mario, 2011). De modo genérico, as fachadas recebem reparos somente quando os moradores conseguem visualizar as manifestações patológicas, que já são bem evidentes. Assim, a intervenção e a manutenção são realizadas apenas depois de um período de tempo de detecção pelos usuários, levantamento de custos e finalmente a intervenção. Essa demora ao início dos reparos pode acrescentar mais problemas à fachada. (Silva, 2007).

É muito importante aprimorar as técnicas de detecção de manifestações patológicas, bem como as técnicas de detecção de causas e origens. O propósito deste trabalho é analisar a eficiência da termografia infravermelha aplicada à inspeção e detecção de manifestações patológicas em fachadas revestidas com argamassa. Além disso, analisar se a técnica pode ser utilizada como método complementar e inicial aos ensaios que são realizados na detecção de anomalias servindo de guia no planejamento dos locais de colocação dos equipamentos de ensaios alternativos ou sondagens.

1.1 Revisão Bibliográfica

A termografia infravermelha é uma técnica que utiliza a radiação infravermelha emitida pela superfície dos objetos e a converte em imagens térmicas, também chamadas de termogramas. (Souza, 2010). Os termogramas transmitem para a imagem digital, diferentes temperaturas que são apresentadas em diferentes cores ou em escala de cinza. (Barreira, 2004). Dentro do espectro eletromagnético, a termografia infravermelha se enquadra na região de infravermelhos termais. Essa energia envolvida pelos infravermelhos termais é originária fundamentalmente de vibrações moleculares da temperatura dos corpos. A radiação emitida por um corpo é função basicamente da temperatura de um corpo e da sua emissividade (ϵ). (Novo, 2010). A termografia infravermelha colabora para a detecção de anomalias que se manifestam nas superfícies das estruturas pela diferença de temperatura. Essa detecção pode ser feita de forma rápida, à distância, sem destruir parte da estrutura, e eficaz, quando tomado os cuidados com os fatores que podem influenciar a leitura da temperatura. (Barreira, 2004). O sensoriamento remoto e a aplicação da termografia infravermelha dependem da emissividade do material, de fatores climáticos e das distâncias e ângulos de captação de imagens. A emissividade (ϵ) depende diretamente de características do material dos objetos e pode variar de 0 (zero) até 1,0 (um). A emissividade mede a capacidade que um corpo tem de emitir radiação comparada a um corpo negro. (Rosa, 1992).

As câmeras termográficas têm sido utilizadas em muitas áreas de estudo no mundo todo. Mendonça (2005) utilizou a termografia infravermelha para inspeção e manutenção em edifícios. Na pesquisa, foi possível verificar a presença de infiltrações, não visíveis a olho nu, pela termografia infravermelha. A técnica possibilitou a visualização da localização dos pilares, bem como, as instalações hidrosanitárias. Os autores concluíram que a termografia infravermelha apresenta muitas vantagens de utilização e pode ser uma técnica importante quando realizada de maneira correta. Souza, (2010), fez um estudo sobre alternativas para aumentar o desempenho e o conforto térmico em edificações, analisando como os materiais e suas cores podem influenciar na temperatura das edificações, utilizando a termografia infravermelha. Foram realizados ensaios com telhas de fibrocimento e telhas cerâmicas em diferentes cores. Foi constatado que as telhas de cerâmica chegaram a uma temperatura maior quando comparadas às de fibrocimento. Quando realizados os testes para a comparação em relação às cores, os pesquisadores encontraram uma diferença de 14°C entre a telha cerâmica na cor cinza e a telha cerâmica na cor verde escuro. O autor concluiu que a termografia infravermelha tem grande potencial para aplicações em análises térmicas quando utilizada de

forma correta, com as variáveis corretamente estabelecidas. Altoé e Oliveira, (2012), publicaram um estudo no qual se aplicou a termografia infravermelha para inspeção de edificações. O objetivo do estudo foi detectar infiltrações, localizar fendas estruturais, detectar vazios e defeitos em materiais construtivos. Os autores conseguiram observar que em uma das fachadas, entre o telhado e a base da edificação, houve uma diferença de temperatura de 7,3°C. Esse resultado já era esperado, já que o teto é o local da estrutura que mais recebe radiação. Foi possível detectar uma diferença de 1°C entre o teto a algumas paredes. Outro resultado dos testes foi em um dos cômodos que não possuía laje de concreto armado, sendo o seu forro de madeira. Nesse local, os autores encontraram a maior temperatura do ambiente, 5°C a mais quando comparado a outros cômodos fechados. O estudo concluiu que a técnica pode ser utilizada como ferramenta de inspeção, já que permitiu várias detecções de diferentes parâmetros das edificações.

A partir do exposto, verifica-se que existe uma grande potencialidade de aplicação dos métodos de sensoriamento remoto e mais especificamente, a termografia infravermelha na detecção de manifestações patológicas como fissuras, biodeterioração e presença de umidade. A fissuração é uma manifestação patológica comum e que deve ser dada devida atenção, seu aparecimento pode ter diferentes causas. Algumas possíveis causas de fissuras em revestimentos argamassados são: movimentações térmicas e/ou higroscópicas, alterações químicas do material de construção, recalque de fundações, retração de produtos à base de cimento e atuação de sobrecargas. (Thomaz, 2000). De acordo com Henriques (2001), a umidade em fachadas é uma das ações mais perigosas e mais frequentes a que as edificações são acometidas. Ela pode contribuir com a acelerada deterioração do material e com o aparecimento de várias outras manifestações patológicas, como por exemplo, a biodeterioração e as fissuras. A biodeterioração é uma manifestação patológica, caracterizada pelas manchas escuras e desagregação da superfície é causada pela atividade vital de microrganismos. (Hueck, 2001). O material de construção é submetido a fatores naturais como a radiação solar, a temperatura e a umidade, além das ações de agentes microbiológicos que colaboram com o desenvolvimento desses microrganismos que conseguem sobreviver por longos períodos em diversas condições. (Pereira, 2012).

É de grande importância detectar as manifestações patológicas antes que elas possam causar maiores danos, ou comprometer a estrutura. Sendo assim, acredita-se que a termografia infravermelha possa contribuir como método de inspeção e para auxiliar na detecção prévia (antes do início da manifestação). Essa análise visa à intervenção precoce de forma preventiva, ou seja, quando o problema ainda está em fase inicial de desenvolvimento.

2. Metodologia

A metodologia da pesquisa iniciou com a definição da área de estudo e, posterior, levantamento de dados e experimentos de campo. A etapa experimental de campo consistiu em inspeções visuais, determinação da emissividade da superfície e aquisição dos termogramas.

A edificação escolhida para a realização do trabalho foi o prédio onde se localiza a biblioteca da Universidade do Vale do Rio dos Sinos, na cidade de São Leopoldo, Rio Grande do Sul. A fachada escolhida para realização dos termogramas foi a sudoeste de acordo com a ilustração da Figura 1. Na Figura 1, os quadros na cor vermelha, mostram as áreas onde foram encontradas as manifestações patológicas e adquiridos os termogramas das fissuras, biodeterioração e umidade.

Na etapa de aquisição dos termogramas, foram levadas em consideração as variáveis climáticas, as especificações técnicas do fabricante do equipamento e a emissividade da superfície da fachada. Os dados das variáveis climáticas foram baseados nas informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, CPTEC, para a cidade de Porto Alegre. O

sensor utilizado para a medição da radiação térmica foi a câmera termográfica, *Visual IR Thermometer 02* do fabricante *FLUKE*. O sensor capta duas imagens instantaneamente, uma no comprimento de onda do infravermelho termal e a outra no visível. A emissividade da superfície a ser estudada foi determinada pelo método empírico, conhecido como método da fita isolante preta para determinação da emissividade segundo Barreira, (2004).

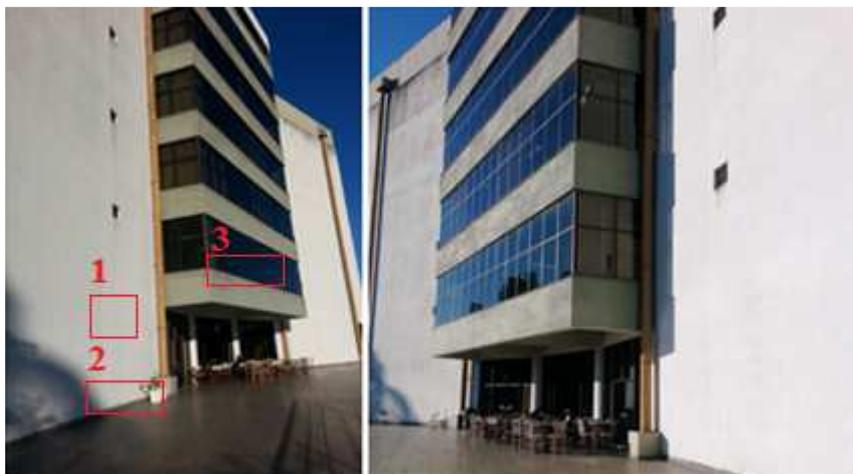


Figura 1. Fotografias da fachada estudada.

Para cada manifestação patológica visualmente identificada nas fachadas (biodeterioração, umidade e fissuras), foram realizados três termogramas (manhã, tarde e noite), ao todo foram gerados nove termogramas. Os termogramas não foram realizados em dias em que a presença da água da chuva estivesse presente nas superfícies da fachada. Os termogramas foram realizados no dia nove de setembro de 2014.

3. Resultados e Discussão

Com a inspeção visual foi possível identificar a presença de fissuras, biodeterioração e umidade como principais manifestações patológicas que estão presentes na fachada. A biodeterioração foi observada principalmente nas partes mais altas e nas bases, contornando a edificação, além de parapeitos e marquises. Já a presença de umidade foi localizada em uma área onde existe a possibilidade do acúmulo de água proveniente da chuva. As fissuras foram encontradas em diferentes locais, porém com maior incidência no meio da parede da fachada.

A partir do ensaio de determinação da emissividade, foi obtido um valor de 0,80 para a superfície da fachada estudada.

A Tabela 1 apresenta os dados referentes ao horário e o período do dia em que ocorreu a aquisição dos termogramas, assim como os dados de incidência solar, temperatura ambiente, velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura.

Tabela 1. Organização de dados, variáveis climáticas e horário da realização dos termogramas.

Identificação da Figura	Manifestação patológica	Incidência do sol	Período do dia			T (°C)	Velocidade do vento (km/h)	Umidade relativa do ar (%)
			M	T	N			
Figura 2	Fissura	Não	x			19	82	20,0
Figura 2	Fissura	Sim		x		33	43	33,4
Figura 2	Fissura	Não			x	32	40	29,8
Figura 3	Biodeterioração	Não	x			19	82	20,0
Figura 3	Biodeterioração	Sim		x		33	43	33,4
Figura 3	Biodeterioração	Não			x	32	40	29,8
Figura 4	Umidade	Não	x			19	82	20,0
Figura 4	Umidade	Sim		x		33	43	33,4
Figura 4	Umidade	Não			x	32	40	29,8

Na Figura 2 são apresentados os termogramas referentes à área com fissuras. Os termogramas são apresentados em ordem de captação (manhã, tarde e noite).

No termograma realizado no período da manhã, na área mais central das fissuras foi possível constatar temperatura maior, cor laranja em relação aos outros pontos. Isso pode ser explicado pela dificuldade que existe do fluxo de calor ser absorvido durante o aquecimento da superfície originando um aumento na temperatura do local com a presença da manifestação patológica. Essa dificuldade existe por causa das lâminas de ar entre o revestimento e a fachada que as fissuras acarretam, criando barreiras térmicas. (Barreira,2004).

O termograma realizado no período da tarde e no período da noite mostra a área com fissuração em temperatura menor, representada pela cor azul na Figura 2. Nesses locais, a transferência do calor ocorre da superfície para o interior da parede. A transferência de calor acontece com a ajuda das fissuras, que conduzem a entrada de calor mais facilmente. (Barreira, 2004). Pode-se observar no termograma da tarde que existem áreas com a mesma faixa de temperatura obtida no local das fissuras, cor azul. Porém nesses locais, não foi possível identificar visivelmente a presença de fissuras.

Na Figura 3, estão os termogramas da área com biodeterioração. As áreas com menores temperaturas, representadas pela cor azul, coincidem com os locais onde não existe a manifestação patológica. Neste caso, os três termogramas registrados nos diferentes períodos do dia apresentaram uma maior temperatura. Essa temperatura maior ocorreu, nos locais da superfície onde existe a biodeterioração, estas indicadas pela cor laranja. Isso pode ser explicado pelo fato de que os microrganismos geram calor em seu metabolismo. O calor que os microrganismos geram aquece a superfície fazendo com que exista uma diferença de calor nos locais onde existe e não existe a presença da biodeterioração. (Souza et. al, [2014?]). A grande diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura na superfície ocorreu em função de que a área termografada estava próxima ao piso da edificação. Nesse estudo o piso possuía cor escura e, por isso, absorveu mais radiação interferindo na temperatura da biodeterioração. (BARREIRA, 2004).

A Figura 4 apresenta os termogramas realizados na área com umidade identificada visualmente.

O termograma realizado no período da manhã apresentou uma temperatura menor na parte superior da imagem onde existe a presença de umidade, representada pela cor azul.

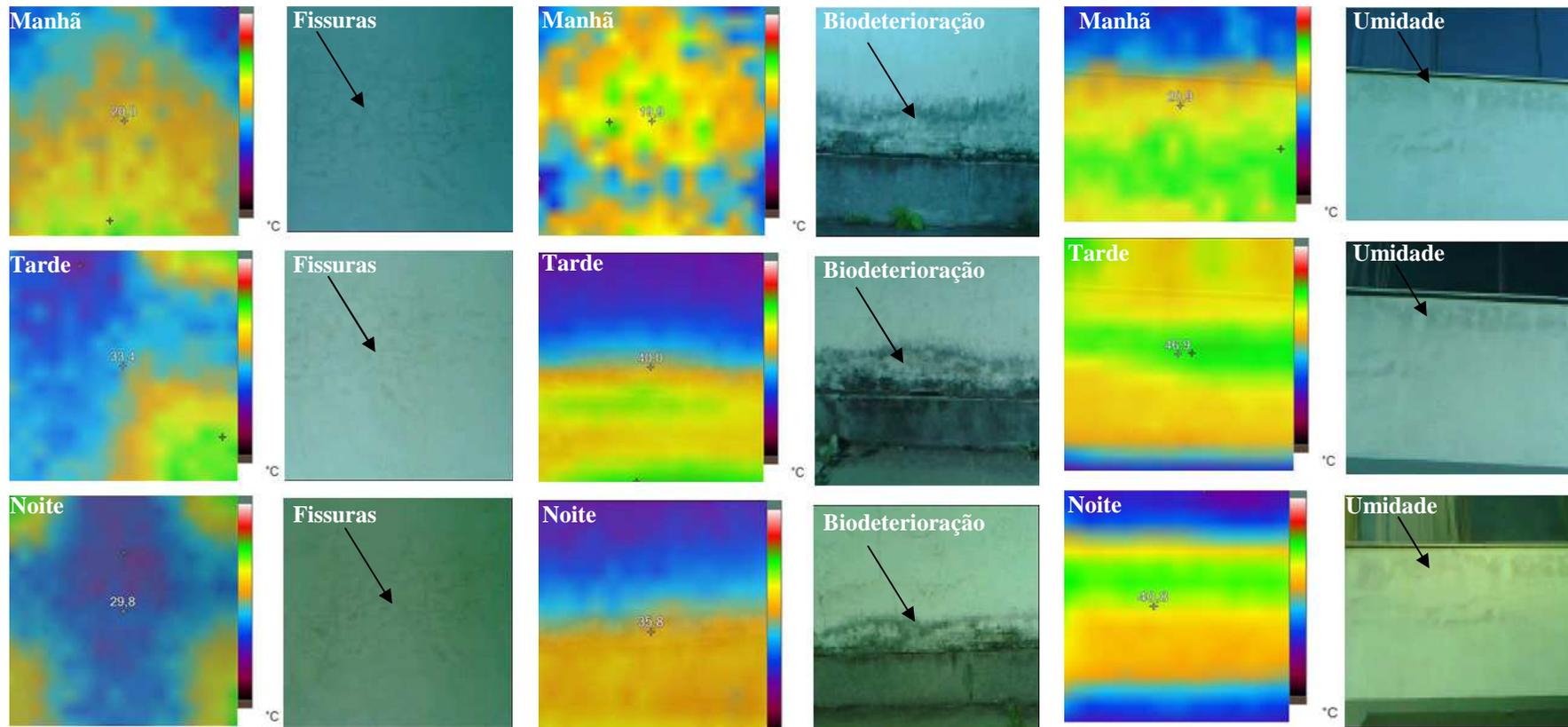


Figura 2. Termogramas realizados na área com fissuras.

Figura 3. Termogramas realizados na área com biodeterioração.

Figura 4. Termogramas realizados na área com presença de umidade.

Em algumas áreas, onde visivelmente não existe a presença de umidade, foi possível identificar temperaturas menores, cor azul. Essas áreas estão localizadas principalmente na parte inferior do termograma. Isso pode ser um indício de que nesses locais existe a presença de umidade, porém a manifestação patológica ainda está oculta.

O termograma realizado no período da tarde apresentou menor temperatura nos pontos periféricos da imagem, cor laranja e no ponto central apresentou a maior temperatura, cor verde. Esse fato corrobora com a evidência de que existem pontos com a presença de umidade e não estão visíveis a olho nu na parte inferior da imagem. Porém pode-se perceber que a área com a presença de umidade obteve uma maior temperatura, cor verde, com o passar do dia. A maior temperatura está abrangendo maiores áreas, tomando conta da área com a presença de umidade.

O termograma realizado no período da noite continuou com a mesma característica do termograma da tarde. Porém, nesse período, a área com maior temperatura, cor verde, está totalmente na parte superior coincidindo com a área com a presença de umidade. O aquecimento da superfície por convecção resultou no maior aquecimento da parte superior da área.

4. Conclusões

O objetivo deste trabalho foi analisar a possibilidade da utilização da termografia infravermelha para a detecção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado. O estudo buscou avaliar a eficiência da termografia infravermelha para a identificação de biodeterioração, fissuras e presença de umidade de modo a complementar a metodologia usual para a inspeção de fachadas revestidas com argamassa.

A melhor metodologia apresentada, segundo os resultados obtidos nesse estudo, foi a realização dos termogramas no período da manhã. O que pode ser justificado em função da incidência solar, que está no início. Esse fato corrobora com o aquecimento ou a falta de aquecimento nos locais onde possuem manifestações patológicas. Porém, para grandes áreas, a melhor alternativa é realizar os termogramas no período da noite ou com sensores de maior resolução.

Contudo, esta técnica pode contribuir como método de inspeção para auxiliar na detecção de manifestações patológicas ainda pouco aparentes e no acompanhamento da evolução da manifestação patológica. Ela também pode ser aplicada no mapeamento dos locais onde possam ser colocados os equipamentos para ensaios mais aprofundados.

As imagens mostraram que existe uma aproximação entre as áreas onde existe a presença de manifestações patológicas identificadas pela diferença de emissão de radiação pela termografia infravermelha e as áreas onde há efetivamente a presença da manifestação patológica, identificadas visivelmente.

A termografia infravermelha pode ter um grande potencial na detecção de manifestações patológicas que ainda não atingiram a parte mais externa da superfície. Além de detectar deformidades que podem causar outras manifestações patológicas.

A partir da análise dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização da termografia infravermelha possui grande potencial na detecção de algumas manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado.

Referências Bibliográficas

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA, D.F. **Termografia Infravermelha Aplicada a Inspeção de Edificações**. Revista Acta Tecnologia. v. 7, n. 1, pp. 55-59. 2012.

ANTUNES, G. R. Estudo de Manifestações Patológicas em Revestimento de Fachadas em Brasília-Sistematização da Incidência de Casos. 2010. 199f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Engenharia da Universidade de Brasília, Brasília.

Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/8932/1/2010_GiselleReisAntunes.pdf> Acesso em 25 de jun. 2014

AVDELIDIS, N.P.; MOROPOULOU, A. Emissivity considerations in building thermography. *Energy and Buildings*, v.35 (2003) p.663-667. Disponível em : <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778802002104>> Acesso em 18 de agosto de 2014.

BARREIRA, E. B. M. Aplicação da Termografia ao Estudo do Comportamento Higrotérmico dos Edifícios. 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado em Construção de Edifícios)- Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade de Porto, Porto. Disponível em:<<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11563>> Acesso em 5 de abr. 2014.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

HENRIQUES. F. M. A, **Humidade em Paredes**. 3ªed. Lisboa: Sector de Edições e Artes Gráficas do CDIT, 2001.

HUECK, H. J. The biodeterioration of materials-an appraisal. *Internatonal Biodeterioration& Biodegradation*, [S. l.], v. 48, n. 1-4, p. 5-11, 2001. Disponível em:<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830501000610>>. Acessoem: 30 mai. 2014

MARIO, Mauro. **Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas**. 2011.

MENDONÇA. L. V. A termografia por infravermelhos como ferramenta para auxílio à inspeção e manutenção dos edifícios. *Jornadas de Engenharia de Manutenção*. Lisboa. 2012. Disponível em: <<http://www.spybuilding.com/index.php?id1=5&id2=2>>. Acesso em 4 de mai. 2014.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4ª Ed. São Paulo: E. Blucher. 2010.

PEREIRA. L. M. Avaliação das patologias e da biodeterioração na biblioteca central da UFSM. 2012. 126f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 2ª Ed. Uberlândia: EDUFU. 1992.

SILVA. A. F. **Manifestações patológicas em fachadas com revestimento argamassado: Estudo de caso em edifícios em Florianópolis**. 2007. 190f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo)- Departamento de Arquitetura e urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SOUZA, G. T. de. *Construção, conforto ambiental e uso racional de energia*. 2010. 27 f. Projeto (Engenharia Civil) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010. Disponível em: <<http://www.labeee.ufsc.br/node/481>>. Acesso em: 14 de abr. 2014

SOUZA, L. F. R. **Aplicação da Termografia no Estudo do Isolamento Térmico em Edifícios**. 2010. 128f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro.

SOUZA, P. M.; SILVA, J. V. H.; BORGES, A. K. P.; MORAIS, P. B.; PELUZIO, J. M. **Monitoramento microbiológico do processo de compostagem e produção de composto orgânico com utilização das macrófitas aquáticas *Salvinia auriculata* e *Eichhornia crassipes* das praias dos municípios de Palmas e Porto Nacional, Tocantins**. [2014?]. 5f.

THOMAS, E. **Trincas em Edifícios: causas, prevenção e recuperação**. 1ª Ed. São Paulo: PINI, 2000.

UEMOTO, K.; AGOPYAM, V.; BRAZOLIM, S. **Degradação de pinturas e elementos de fachada por organismos biológicos**. São Paulo: EPUSP, 1999.

VERÇOSA, E. J. **Patologia das Edificações**. 1ª Ed. Porto Alegre: Sagra, 1991.