

APLICAÇÃO DE SIMULAÇÃO HIGROTÉRMICA NA DEGRADAÇÃO DE REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS

**Jennyfer Fernanda de Lima
Gonçalves¹**
jennyferlima52@gmail.com

Erica Rodrigues dos Santos²
ericadossantosrodrigues.oc@gmail.com

Raynara Ribeiro Dias Lucenas³
raynaraLucenas1511@gmail.com

Matheus Leoni Martins Nascimento⁴
leoni.matheus@gmail.com

ÁREA: (INSPEÇÃO TÉCNICA DE EDIFÍCIO - ITE)

Resumo

O sistema de vedação vertical externo de um edifício consiste em um elemento essencial para obtenção de desempenho satisfatório ao longo do tempo. Este durante toda sua vida útil estará exposto à ação de agentes de degradação. Quando não considerados desde a etapa de projeto, a ação destes agentes sobre a edificação poderá originar manifestações patológicas, que se não forem tratadas no devido momento resultarão na perda de desempenho e redução de vida útil. Neste sentido o presente artigo tem como objetivo realizar a correlação de dados obtidos por meio de simulação higrotérmica, com o estudo de caso de uma edificação de 15 pavimentos com fachadas em revestimento argamassado, localizada em Brasília-DF. Será realizada a quantificação dos agentes de degradação: radiação, chuva dirigida e amplitude térmica por meio do *software* de simulação higrotérmica WUFI[®] Pro 6.1 e inspeção predial utilizando-se de balancim nas fachadas do edifício para a identificação de manifestações patológicas no revestimento de suas fachadas. A mensuração de agentes climáticos feita pelo *software* apontou que as fachadas mais propícias à degradação foram Norte e Oeste, respectivamente e a inspeção comprovou estes resultados, pois estas foram as fachadas que mais apresentaram anomalias. Deste modo a ferramenta de simulação se mostrou eficaz como auxílio no desenvolvimento de ações de manutenção, além de fornecer resultados que podem ser utilizados desde a etapa de projeto, visando à escolha de materiais e métodos construtivos que cumpram com as solicitações provindas do meio, garantindo conforto, desempenho e segurança aos usuários.

Palavras-chave: Simulação higrotérmica

Inspeção
Patologia
Brasília

¹ Graduanda em Engenharia Civil; Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

² Tec. Em Segurança do Trabalho; Graduanda em Engenharia Civil, Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

³ Graduanda em Engenharia Civil; Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

⁴ Engenheiro Civil, Msc.; Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.



APLICACIÓN DE LA SIMULACIÓN HIGROTÉRMICA EN LA DEGRADACIÓN DE REVESTIMIENTOS ARGAMASADOS

**Jennyfer Fernanda de Lima
Gonçalves¹**
jennyferlima52@gmail.com

Erica Rodrigues dos Santos²
ericadossantosrodrigues.oc@gmail.com

Raynnara Ribeiro Dias Lucenas³
raynnaralucenas1511@gmail.com

Matheus Leoni Martins Nascimento⁴
leoni.matheus@gmail.com

AREA: (INSPECCIÓN TÉCNICA DE EDIFICIO - ITE)

Resumen

El sistema de sellado vertical externo de un edificio consiste en un elemento esencial para lograr un rendimiento satisfactorio a lo largo del tiempo. Este durante toda su vida útil estará expuesto a la acción de agentes de degradación. Cuando no se consideran desde la etapa de proyecto, la acción de estos agentes sobre la edificación puede originar manifestaciones patológicas, que si no se tratan en el momento oportuno resultará en la pérdida de rendimiento y reducción de vida útil. En este sentido el presente artículo tiene como objetivo realizar la correlación de datos obtenidos por medio de simulación higrotérmica, con el estudio de caso de una edificación de 16 suelos con fachadas en revestimiento morado, ubicada en Brasília-DF. Se realizará la cuantificación de los agentes de degradación: radiación, lluvia dirigida y amplitud térmica por medio del software de simulación higrotérmica WUFI® Pro 6.1 e inspección predial utilizando balancín en las fachadas del edificio para la identificación de manifestaciones patológicas en el revestimiento de sus fachadas. La medición de agentes climáticos hechos por el software apuntó que las fachadas más propicias a la degradación fueron Norte y Oeste, respectivamente y la inspección comprobó estos resultados, pues éstas fueron las fachadas que más presentaron anomalías. De esta manera la herramienta de simulación se mostró eficaz como ayuda en el desarrollo de acciones de mantenimiento, además de proporcionar resultados que pueden ser utilizados desde la etapa de proyecto, buscando la elección de materiales y métodos constructivos que cumplan con las solicitudes provenientes del medio, garantizando comodidad, rendimiento y seguridad a los usuarios.

Palabras clave: Simulación Higrotérmica

Inspección

Patología

Brasília

¹ Graduanda em Engenharia Civil; Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

² Tec. Em Segurança do Trabalho; Graduanda em Engenharia Civil, Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

³ Graduanda em Engenharia Civil; Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

⁴ Engenheiro Civil, Msc.; Centro Universitário Euro Americano, Brasília-DF.

Introdução

As fachadas são elementos integrantes do envólucro exterior de um edifício, e devido à exposição de agentes climáticos, demandam uma especial atenção no desenvolvimento dos projetos durante todo o processo de planejamento e execução (1). Portanto se faz necessário compreender o comportamento destes sistemas e conhecer suas características e vulnerabilidades, sendo a fachada um dos elementos mais sensíveis à degradação, pois é a primeira e principal barreira de proteção contra as mais variadas intempéries (2).

Dentre os agentes que envolvem as fachadas pode-se dizer que os mais relevantes são os provenientes do clima, que influenciam diretamente no comportamento higrotérmico, provocando nas edificações diversas anomalias, dentre elas as mais recorrentes em fachadas de revestimento argamassado as eflorescências, fissuras deslocamentos de revestimento e manchamentos (3).

Com a finalidade de prevenir essas ocorrências, os edifícios necessitam de ações de manutenção ou intervenção, com objetivo de aumentar ou recuperar o desempenho e vida útil requerida. Em resposta a necessidade de avaliação e elaboração de projetos e planos de manutenção eficientes, programas computacionais foram desenvolvidos para analisar materiais e sistemas utilizados, bem como entender problemas relacionados à temperatura e umidade, que caracterizam as respostas da simulação higrotérmica (3). Assim, estes modelos aliados a ensaios e estudos de campo fornecem dados relevantes e eficazes para atender as especificações de durabilidade e prevenir possíveis anomalias (4).

Relacionado a este contexto, o presente artigo tem como objetivo de correlacionar o comportamento higrotérmico das fachadas de revestimento argamassado com os resultados obtidos na inspeção predial para a cidade de Brasília-DF. Para isto, foi utilizado o *software* WUFI Pro 6.1 desenvolvido pelo Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP) na Alemanha, que é capaz de quantificar os agentes climáticos que incidem sobre a envoltória do edifício (5).

Metodologia

A pesquisa foi realizada em duas etapas, inicialmente realizou-se a simulação higrotérmica para a cidade de Brasília, a fim de analisar o comportamento dos agentes climáticos a partir dos fatores de radiação, temperatura e chuva dirigida. Os resultados encontrados foram então relacionados à análise obtida por meio de inspeção visual de um edifício do qual apresentava suas fachadas degradadas, afim de comparar os resultados e comprovar a eficiência do *software* no auxílio da aplicação de metodologias para elaboração e planejamento de projetos e planos de manutenção (3).

Para a simulação computacional foi necessária a caracterização dos materiais e inserção da localização geográfica em estudo. A simulação foi realizada para um edifício em questão, considerando um período estimado de 3 anos no qual analisou-se apenas os resultados equivalentes ao último ano, pois segundo os estudos desenvolvidos por Nascimento, (3) a estabilização da umidade inicial ocorre a partir do terceiro ano. De acordo com ABNT NBR 15575: 2013 O coeficiente de absorvância de 0,3 representa as cores claras já os coeficientes de transferência à superfície foram determinados conforme a ABNT NBR 15220: 2003 a qual especifica o valor de 0,04 (m²K)/W para a resistência térmica externa (6).

Segundo as características observadas na edificação definiu-se um modelo esquemático para posterior análise do comportamento higrotérmico, que utilizou materiais do banco de dados do *software*. De acordo com a Figura 1 o modelo abaixo é composto pela camada (A) como argamassa de revestimento externo com espessura de 3 cm, a camada (B) como bloco cerâmico

de 9 cm e a camada (C) como argamassa de revestimento interno com espessura de 3cm. Conforme mostra a Figura 1, foi adotado uma posição de verificação de temperatura e umidade no sistema, onde o ponto de controle se encontra na superfície da camada de revestimento exterior (câmara de número 1). Com o mesmo é possível fazer o monitoramento dos dados de temperatura e umidade a cada hora durante todo o período de simulação (5).

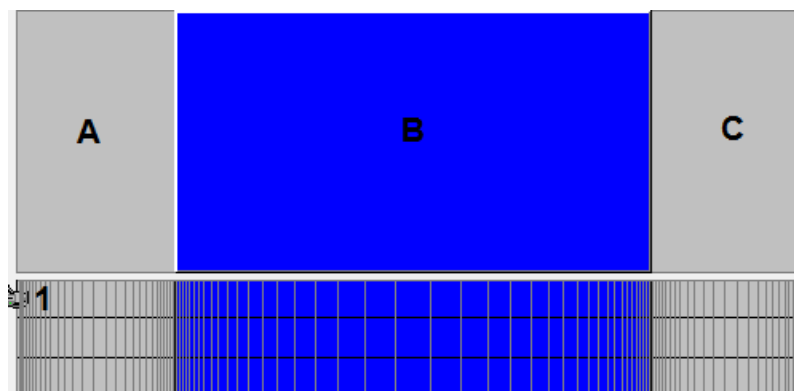


Figura 1: Modelo esquemático adotado no software de simulação; (adaptado de WUFI, 2017).

O edifício adotado para estudo, destina-se a um condomínio residencial composto por três torres localizado na região administrativa do Gama - Distrito Federal – DF, concluído em 2012. **Figura** O objeto de estudo foi a Torre 1, que está em destaque na Figura 2, e que apresentou maior degradação dentre suas fachadas. A edificação possui torre com 15 pavimentos, e um sistema de vedação em revestimento argamassado com pintura texturizada e pequenas partes revestidas com revestimento cerâmico.

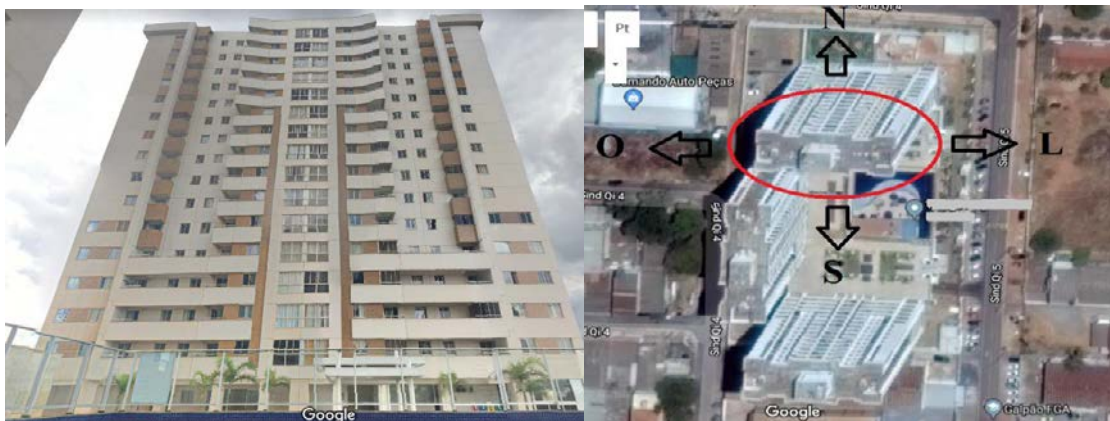


Figura 2: Condomínio Residencial Brasília-DF (Fonte: *Google Maps*)

O estudo teve por base a inspeção visual da construção, a partir do mapeamento dos danos visíveis, por meio da utilização do balancim. Durante as inspeções, foi verificada a integridade do sistema de revestimento por meio do ensaio de “bate choco” e observação visual.

A orientação das fachadas estão representadas da seguinte forma (3):

- Fachada 1: Vista frontal, orientada à Sul
- Fachada 2: Vista lateral direita, orientada à Leste
- Fachada 3: Vista posterior, orientada à Norte
- Fachada 4: Vista lateral esquerda, orientada à Oeste

Resultados

Simulação higrotérmica

Segundo a simulação feita por meio do programa WUFI[®], foram obtidos os valores da radiação global incidente sobre cada orientação da fachada, sendo esta composta pelas parcelas direta, difusa e refletida. Os resultados estão apresentados na forma de irradiância, que consiste na quantidade de radiação incidente no corpo, por unidade de área da superfície (W/m^2). De acordo com o somatório anual, a fachada que recebe mais irradiância é a Norte (29,14%), seguida da Leste (26,34%), Oeste (26,16%) e Sul (18,36%), respectivamente, sendo que estes mesmos resultados foram encontrados nas simulações realizadas por Nascimento (3).

Os resultados de temperatura superficial foram analisados de acordo com o fenômeno de amplitude térmica, que consiste no gradiente de temperatura formado pela diferença entre o maior e o menor valor de temperatura verificado ao longo do dia. Sendo assim, foram obtidos os valores de ΔT (amplitude térmica diária, em $^{\circ}C$) para o terceiro ano simulado. O edifício analisado possui revestimento de cor clara, sendo considerado o valor de absorvância 0,3 conforme a ABNT NBR 15575 (6). A figura 3 mostra a amplitude térmica ocorrida sobre cada orientação de fachada, sendo o gráfico feito a partir da média anual dos valores de amplitude térmica.

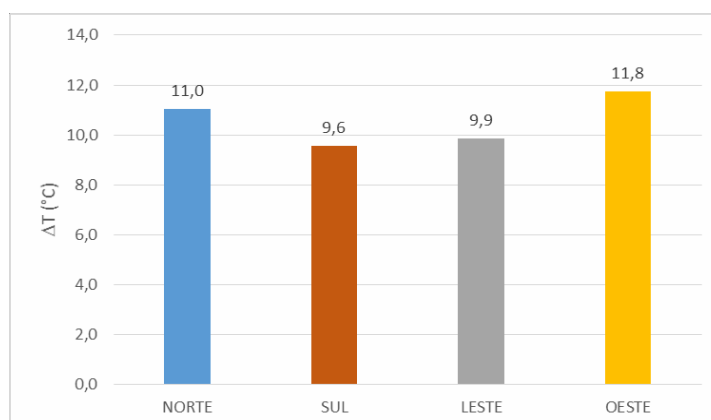


Figura 3: Gráfico de ΔT – Absortância 0,3; (adaptado de WUFI[®], 2017 e LUCENAS et al., 2017)

Através do gráfico acima, observa-se que as fachadas mais influenciadas pela variação do gradiente de temperatura são a Oeste ($11,8^{\circ}C$) e a Norte ($11,0^{\circ}C$) que conseqüentemente se tornam as mais vulneráveis ao surgimento de anomalias, uma vez que as variações térmicas propiciam condições favoráveis para a ocorrência dos fenômenos de retração e expansão que podem causar danos irreparáveis ao sistema construtivo.

A chuva dirigida por sua vez, consiste na junção do vento com a precipitação, fazendo desta combinação um dos principais causadores do surgimento de manifestações patológicas em revestimentos argamassados, tais como: eflorescência, manchamentos e clareamentos (9). Para Brasília foi observado um período de estiagem e um período onde há elevação do volume de chuva, sendo definido como período seco (de abril a setembro) e período chuvoso (de outubro a março) (10).

Isto evidencia que anualmente o edifício enfrenta variações sazonais consideráveis, sendo os componentes do sistema de vedação vertical solicitados por meio de variações térmicas. A

tabela 1 representa as fachadas mais influenciadas pela ação da chuva dirigida, sendo elas: Norte, Leste, Oeste e Sul, respectivamente.

Quadro 2: Dados chuva dirigida para Brasília-DF (Os autores).

CHUVA DIRIGIDA				
	NORTE	SUL	LESTE	OESTE
Total anual (L/m²)	143,02	74,79	91,40	89,87
Incidência anual de chuva dirigida (%)	35,84	18,74	22,90	22,52

Inspeção Técnica Visual

Na inspeção técnica visual, utilizou-se balancin e ensaio “bate choco” em alguns pontos da fachada, no qual permitiu a identificação quanto ao comprometimento do reboco e das pastilhas cerâmicas, além de colaborar na verificação de maneira geral, da existência de manifestações patológicas ocorrentes na edificação. Desta forma, para melhor visualização dessas anomalias, segue abaixo croqui esquemático, representado nas figuras 4, 5 e 6:



Figura 4: Croqui esquemático do mapeamento das manifestações patológicas (Fachada 1- Fontral; Orientação: Sul)



Figura 5: Croqui esquemático do mapeamento das manifestações patológicas (Fachada 2 e 4 – Laterais; Orientação: Leste e Oeste)

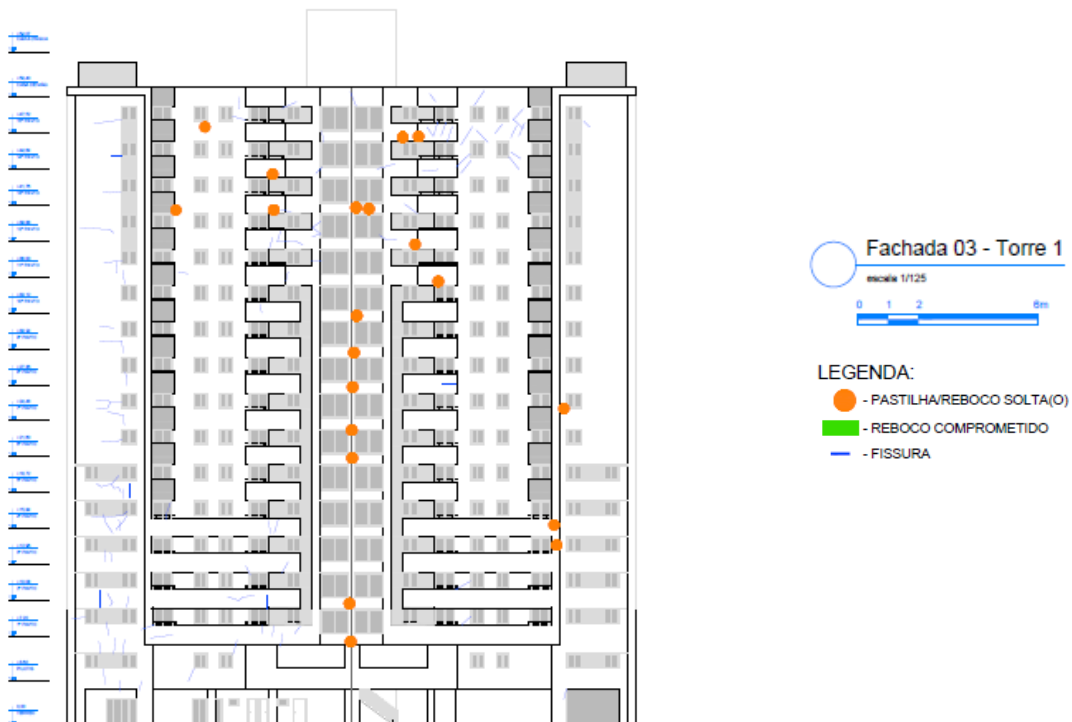


Figura 6: Croqui esquemático do mapeamento das manifestações patológicas (Fachada 3 - Posterior; Orientação: Norte)

Segundo as informações apresentadas no croqui, identificou-se que as manifestações patológicas mais ocorrentes na edificação, foram às seguintes:

1) Fissuras na Argamassa:

Foram detectadas fissuras na argamassa, localizadas principalmente nas regiões centrais e laterais das paredes. Suas aberturas podem contribuir para a entrada de umidade, evoluindo-se para a ocorrência de outras manifestações patológicas caso não sejam tomados os devidos cuidados de recuperação (9).

2) Fissuras causadas por ausência de vergas e contravergas:

Encontradas nos cantos superior, inferior e nas laterais das janelas, região onde existe um acúmulo de tensões de compressão, ocasionando fissuramento nessas regiões. Sendo combatidos esses acúmulos de tensões através da construção de vergas e contravergas. Essas fissuras nos contornos dos vãos podem assumir diversas configurações devido a fatores como magnitude das tensões, dimensões das aberturas e dimensão do painel de alvenaria (7).

3) Deslocamento de pastilhas e Reboco Solto:

Identificaram-se pontos aleatórios onde as pastilhas cerâmicas se apresentaram soltas. A falta de aderência entre a camada de argamassa colante e o reboco ao longo do tempo provoca a segregação/deslocamento do revestimento, esse fenômeno auxilia no comprometimento da via útil da edificação e representa riscos à segurança do usuário. Já para o reboco observou-se a ocorrência do comprometimento do mesmo, sendo este a camada posterior ao emboço e final do revestimento da argamassa, que tem como função: cobrir imperfeições, impermeabilização, e estética. E exatamente nestas características foram detectadas anomalias, comprometendo a vida útil da edificação (8).

Os resultados obtidos por meio da inspeção técnica comprovaram a veracidade dos dados da simulação realizada. Em termos de irradiância, observou-se que as fachadas com maior incidência foram Norte, Oeste, Leste e Sul, respectivamente, podendo estas desenvolver o quadro de fissuração por conta desta solicitação climática. Tais fachadas apresentaram acentuado quadro de fissuração, conforme mostram as figuras 4, 5 e 6.

A simulação apontou a fachada Norte como a mais propícia ao surgimento de anomalias, porém observou-se que todas as orientações da fachada do edifício em estudo apresentaram um acentuado grau de deterioração. As fachadas Leste e Oeste apresentaram um nível de degradação semelhante, conforme a figura 5. Os dados obtidos pela simulação para estas fachadas, em relação a irradiância e chuva dirigida, também apresentaram valores próximos, resultando em um comportamento semelhante diante da exposição a estes agentes de degradação.

A fachada Sul apresentou um nível de deterioração considerável mesmo com os dados da simulação apontando o contrário. Isto não coloca em vulnerabilidade os resultados obtidos, porém, vale ressaltar que a deterioração e surgimento de manifestações patológicas de uma edificação têm sua origem não apenas no clima, mas também nas falhas de projeto e detalhamento arquitetônico, na execução e materiais empregados.

Portanto a inspeção visual realizada no edifício aliado a simulação higrotérmica, permitiu uma análise geral dos comportamentos mecânicos e climáticos impostos a edificação. Na inspeção visual foi possível analisar as manifestações patológicas encontradas e identificar os agentes causadores, em contrapartida à simulação higrotérmica foi uma ferramenta fundamental para compreensão de como esses agentes podem interferir nas reações advindas do meio e como elas podem afetar os materiais constituintes do sistema construtivo.

Conclusão

A análise visual das manifestações patológicas da construção é importante para o conhecimento de quais manifestações patológicas são encontrados no residencial em estudo. Mediante a avaliação

das manifestações patológicas levantadas, torna-se possível definir suas intervenções, conhecer os mecanismos de como os fenômenos surgem e o modo como eles se propagam. E através da simulação higrotérmica foi possível quantificar previamente o comportamento da edificação diante da ação dos agentes climáticos.

Desta maneira, este estudo teve como objetivo fornecer uma comparação de resultados entre a inspeção técnica realizada e a simulação higrotérmica. Com base nestes resultados, observa-se que através da aplicação da simulação higrotérmica realizada para Brasília-DF, a fachada Oeste seguida da fachada Norte, apresentam maior exposição a agentes agressivos, fato que as torna propícias a maior ocorrência de manifestações patológicas, tanto para irradiância, amplitude térmica e chuva dirigida. Já para inspeção, os resultados se apresentaram similares ao da simulação higrotérmica, onde a fachada Oeste apresentou o maior índice de degradação.

Sendo assim, é possível prever o comportamento das fachadas de um edifício frente aos agentes de degradação provenientes do clima, possibilitando assim à elaboração de efetivos planos de manutenção e otimização de novos projetos que satisfaçam de forma eficaz as solicitações providas do meio circundante, garantindo assim maior vida útil à edificação e segurança aos usuários.

Este trabalho abre novos horizontes para o desenvolvimento de futuros trabalhos científicos, entre os quais:

- Aplicação da metodologia apresentada para outros sistemas de revestimento;
- Aplicação da metodologia apresentada para outras cidades brasileiras;
- Estudo da influência da umidade em revestimentos argamassados;
- Empregar um processo de padronização de inspeções técnicas, criando um arquivo histórico das edificações, facilitando o gerenciamento de manutenção, programação de reparos, avaliação histórico das degradações e seu ciclo de vida.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário Euro Americano pelo apoio à pesquisa e ao Engenheiro Leandro Ornelas Lins, que disponibilizou os dados das inspeções.

Bibliografia

- (1) LIMA, G. E. S. L.; SOUZA, K. D.; TIBIRIÇÁ, A. C. G. (2014). **Investigação de Patologias Relacionadas às Fachadas de uma Edificação**. XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Marceió – AL. Brasil. Novembro de 2014.
- (2) SOUZA, J. S. (2016). **Evolução da degradação de fachadas - efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação 07A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 114p.
- (3) NASCIMENTO, M. L. M. (2016). **Aplicação da Simulação Higrotérmica na Investigação da Degradação de Fachadas de Edifícios**. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-018A/16, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 173p.
- (4) JORNE, F.J.F. **Análise do comportamento higrotérmico de soluções construtivas de paredes em regime variável**. Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2010, 154p.



- (5) SOUSA, J.; LUCENAS, R.; NASCIMENTO, M. (2017). **Avaliação da Influência do Clima em Revestimentos Argamassados**. XIII Congresso Internacional sobre Patologia e Reabilitação de Estruturas. Ceara. Brasil. Setembro de 2017.
- (6) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT.NBR 15575-1: **Edificações Habitacionais – Desempenho. Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2013.
- (7) BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Volume 2. 5ª ed. SÃO PAULO: LTC, 1999.
- (8) BAUER, E.; CASTRO, E.K.; ANTUNES, G. R. **Patologias mais correntes nas fachadas de edifícios em Brasília**. 3º. Congresso Português de Argamassas de Construção, APFAC, Lisboa, 2010.
- (9) BAUER, E. **Resistência a Penetração da Chuva em Fachadas de Alvenaria de Materiais Cerâmicos – Uma Análise de Desempenho**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1987, 168p.
- (10) ZANONI, V.A.G. (2015). **Influência dos agentes climáticos de degradação no comportamento higrotérmico de fachadas em Brasília**. Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 293 p.
- (11) LUCENAS, R. R. D.; SOUSA J. N.; NASCIMENTO, M. L. M.; FERREIRA, S. G.; DIAS, S. C. **Influência da oscilação de temperatura sobre revestimentos argamassados**. VII Semana de Produção Científica do IFB – Conecta IF, Brasília, Brasil, 2017.