A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1º CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

ANÁLISE DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DESENVOLVIDAS EM AMBIENTE URBANO NAS FACHADAS DO SALÃO DE ATOS DA UFRGS

Rubin, A. P.[1], Petry, N.S[2], Socoloski, R. F[3], Masuero, A. B.[4]

[1] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mestranda do PPGEC, Arquiteta, e-mail: arianeprubin@hotmail.com
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mestranda do PPGEC, Arquiteta, e-mail: nataliapetry@yahoo.com.br
[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, mestranda do PPGEC,Arquiteta, e-mail: rafaela_socoloski@hotmail.com
[4] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, professora, Doutora, Engenheira Civil, e-mail: angela.masuero@ufrgs.br

RESUMO

O ambiente urbano, ao longo do tempo, exerce grande influência sobre as edificações, principalmente nas fachadas, que são prejudicadas com o desenvolvimento de manifestações patológicas. A fim de analisar estas influências, foi realizado um levantamento das manifestações existentes atualmente nas fachadas do prédio do Salão de Atos da UFRGS. Para tanto, foram utilizadas técnicas como o mapeamento visual-fotográfico das fachadas do edifício, ensaio de termografia e de percussão, onde foi possível diagnosticar os danos exercidos sobre a edificação. Em paralelo, foi feito um levantamento histórico da utilização da edificação desde sua inauguração, onde se buscou registros de modificações e manutenções preventivas do mesmo. Através das informações levantadas, foi possível obter como resultados, informações a respeito da degradação e aparecimento das manifestações patológicas no prédio, sendo que as mais recorrentes foram o descolamento, manchamento por umidade e pichação. Foi proposto ainda um conjunto de soluções corretivas aplicáveis para as falhas detectadas de modo que estas não causassem alterações no estilo arquitetônico e comprometessem o funcionamento da edificação.

Palavras chave: Manifestações patológicas, Patologias; Ambiente Urbano; Fachadas; Salão de Atos.

ABSTRACT

The urban environment, over time, exercises big influence on buildings, especially on facades, which are harmed with pathological manifestations development. To analyze these influences, a survey of a currently manifestations was realized on the facades of the UFRGS's Salão de Atos building. For this purpose, techniques such as visual- photographic mapping of building facades, thermography testing and percussion were used where they were possible to diagnose the damage exerted on the building. While that, it was made a historical survey of the use of the building since its opening, which searched records of modifications and preventive maintenance of the building. Through the information gathered, it was possible to obtain as results, information of the degradation and the appearance of pathological manifestations in the building, where the most recurrent detachments were moisture staining and graffiti. Furthermore, it was proposed a set of corrective solutions applicable to detected failures so that they did not cause changes in architectural style and compromise the functioning of the building.

Keywords: Pathologies; Urban Environment, Facades, Salão de Atos.

1. INTRODUÇÃO

Este artigo é baseado no trabalho de Maran (2013), que foi desenvolvido pela turma da disciplina de Patologia das Edificações, ministrada pela professora Drª Angela Borges Masuero, no Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

As edificações, de maneira geral, estão sujeitas à ação de diversos fatores, que vão desde os ambientais até sua relação com o entorno e com o próprio homem. Quando estes atuam, causam transformações irreversíveis, gerando perda de valor, podem ser caracterizadas como deterioração, ou manifestação patológica (KIEL, 2005).

Intervir em pré-existências e buscar a preservação de bens materiais é permitir que a história destes exemplares com relevância arquitetônica, cultural e social, seja perpetuada e que um número maior de pessoas tenha contato direto com eles.

A partir do reconhecimento do valor da preservação de uma edificação, torna-se essencial, a um futuro processo de intervenção, a correta identificação dos agentes de deterioração atuantes na construção em questão.

Sendo assim, este artigo trata de um estudo técnico realizado para identificar as manifestações patológicas nas fachadas do prédio do Salão de Atos da Universidade Federal de do Rio Grande do Sul, uma edificação cultural e de preservação histórica da instituição, construída no início da década de 1950 e localizada no centro urbano da cidade de Porto Alegre.

O prédio do Salão de Atos colabora na promoção de diversas atividades da sociedade, permitindo que inúmeros eventos sejam realizados em um ambiente apropriado. Diante desta importância, é extremamente relevante mantê-lo íntegro para a continuidade das atividades solenes, artísticas e culturais desenvolvidas no local.

A partir de visitas realizadas in loco, realização de mapeamento visual-fotográfico das fachadas, ensaio de termografia e de percussão, foi possível identificar algumas das manifestações patológicas existentes nas fachadas do edifício e como seus materiais componentes se comportaram no decorrer de 60 anos de construção.

Dentro deste contexto e com auxílio de revisões bibliográficas, foi possível compreender a atual situação e propor um tratamento adequado para sanar tais manifestações, a fim de garantir um melhor desempenho para os próximos anos de vida útil da edificação.

2. CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A obra de construção do prédio do Salão de Atos da UFRGS iniciou-se no ano de 1954 e foi concluída em 1957. Entre os anos de 1986 e 1988 passou por um processo de modernização e

ampliação de sua estrutura. As plantas baixas modificadas da edificação podem ser vistas na Figura 1.



Figura 1- Planta baixa das ampliações realizadas no prédio do Salão de Atos da UFRGS.
Fonte: (MARAN, 2013)

As fachadas modificadas da edificação podem ser visualizadas na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**. Com a ampliação, o salão passou a ter capacidade para 1309 espectadores no salão principal e a contar ainda com outras salas que complementam a estrutura que totaliza uma área de aproximadamente 3.300m² (PADILHA, 2010).

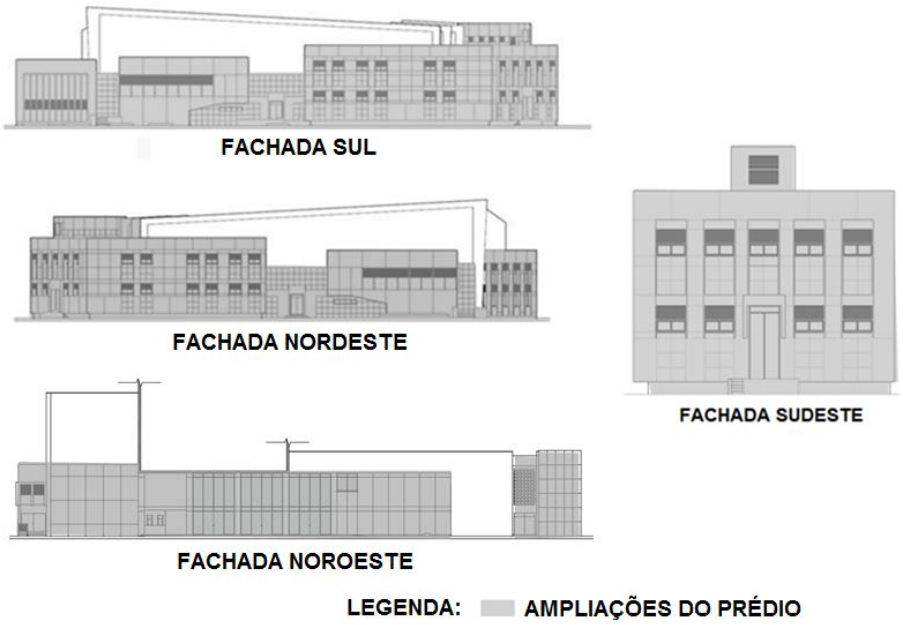

Figura 2 - Fachadas após ampliações realizadas no prédio do Salão de Atos da UFRGS.
Fonte: (MARAN, 2013)

A edificação possui hoje, estrutura de concreto armado com fechamento em alvenaria de tijolos furados, com revestimento de argamassa e pintura na construção original, e nas partes resultantes da ampliação, revestidas com fulget mineral com juntas plásticas. As fundações originais são feitas com sapatas de concreto e na área ampliada são do tipo estacas.

A estrutura do telhado do auditório é metálica e recebe externamente fechamento em telhas de fibrocimento e internamente forro de gesso, as janelas (voltadas diretamente para a rua) são de ferro e as portas em madeira.

3. CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE URBANO

O Salão de Atos está localizado dentro de uma malha urbana já densificada da cidade de Porto Alegre e próximo de vias importantes que permitem não só a passagem de veículos pequenos de passeio, mas também de veículos de grande porte, como ônibus.

Na Figura 3 é possível observar a localização do Salão de Atos, que tem como confrontações a Av. Paulo Gama, a Av. Engenheiro Luís Englert e o Parque Farroupilha.



Figura 3 - Localização do Salão de Atos da UFRGS

O intenso tráfego de veículos no local favorece, principalmente nas fachadas que fazem frente com o passeio público (nordeste, sudeste e sul), a contaminação dos seus materiais constituintes por fuligens provenientes da queima dos combustíveis utilizados nestes veículos.

Além disso, a edificação também faz confrontações com o Parque Farroupilha, que recebe diversos eventos culturais durante o ano, atraindo o fluxo intenso dos pedestres nesta área, deixando a edificação ainda mais suscetível a interferências humanas de pichações e vandalismo.

A presença de árvores de grande porte nos passeios, na orientação solar sul e sudeste do prédio, impede ainda a incidência de luz solar nestas fachadas, contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente mais úmido e propício para o aparecimento da microflora e das pragas urbanas.

4. METODOLOGIA

Para avaliar as condições das fachadas da edificação e as manifestações patológicas que estas possuem, foi imprescindível a determinação de uma sequência de atividades a fim de conhecer o seu estado. Para tanto, o trabalho foi realizado cumprindo as etapas a seguir:

a) Coleta da documentação da edificação em estudo;

b) Vistoria in loco;

c) Levantamento de danos por percussão;

d) Levantamento de danos por análise em câmera termográfica;

e) Mapeamento visual de danos;

4.1 Coleta de documentação

Esta etapa consistiu na busca por informações referentes à edificação, como: dados de projeto (plantas baixas, cortes, fachadas), histórico, fotografias. Salienta-se a dificuldade em obter tais informações por o edifício não possui registro no Setor de Patrimônio Histórico (SPH) da UFRGS. Muitas das informações expostas neste estudo são resultantes de relatos orais de pessoas direta ou indiretamente ligadas à edificação na época de sua construção e reforma.

4.2 Vistoria In Loco

A vistoria é uma etapa fundamental pois é nesta etapa que são levantadas a maioria das manifestações da edificação e as principais hipóteses a serem investigadas. Na vistoria foi possível observar e constatar uma série de fatores, tais como manifestações patológicas, reconhecimento dos materiais utilizados, tipo de estrutura, elementos não originais inseridos nas fachadas e presença de animais habitando as fachadas da edificação (pombos e insetos).

4.3 Levantamento de danos por percussão

O método utilizado para identificação dos pontos de descolamentos foi o ensaio de percussão. Este ensaio mostra-se bastante eficaz para determinação de áreas de descolamento de revestimento em fachadas. Para este ensaio, utilizou-se um martelo de madeira com ponta de borracha para, através das batidas sutis (sem danificar o revestimento), gerar ondas sonoras no revestimento. A presença de descolamento é caracterizada pelo som cavo emitido pelas batidas, devido à presença de bolsões de ar entre o revestimento e a base.

A identificação das áreas de ocorrência de descolamento do revestimento é fundamental para que a edificação cumpra com seus requisitos de desempenho, visto que influencia diretamente

em fatores estéticos, de segurança (ao se desprenderem da fachada, podem atingir o que estiver abaixo), permeabilidade, etc.

Neste trabalho, o ensaio limitou-se às áreas onde os operadores conseguiam alcançar, chegando a uma altura média de 2,30 metros.

4.4 Levantamento de danos por análise em câmera termográfica

Para a termografia foi utilizado uma câmera termográfica FLIR T400 que capta, por meio de lentes intercambiáveis, a radiação infravermelha que é emitida pela estrutura analisada e decodifica em tons que variam dos mais escuros para os mais claros.

4.5 Mapeamento de danos

O mapeamento de danos teve como objetivo sintetizar, em uma mesma planta, todas as manifestações patológicas existentes nas fachadas da edificação estudada. Para sua realização, utilizou-se os dados resultantes do ensaio de percussão, do ensaio com a câmara termográfica e da inspeção visual. O resultado deste trabalho conjunto foi representado graficamente, afim de visualizar todas manifestações patológicas recorrentes em uma mesma fachada.

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Após a aplicação da metodologia mencionada, obteve-se como resultados o levantamento do estado atual da edificação. A partir disso foi possível a realização da proposta de tratamento das fachadas, para sanar tais manifestações.

5.1 Levantamento do estado atual da edificação

Conforme Barreira (2004), a medição termográfica pode ser alterada por uma fonte de calor externa, como por exemplo, o sol. O calor irradiado atinge a fachada alterando o fluxo normal de calor do interior para o exterior.

Conforme testes realizados por Mário (2011), a umidade presente na superfície das paredes, por exemplo, as causadas pela chuva, altera a temperatura superficial do revestimento, mudando a medição da câmera. As imagens geradas neste trabalho sobre o Salão de Atos foram obtidas após um longo período de chuva, portanto seria aconselhável repetir este ensaio em um período mais quente do ano, para obter imagens mais significantes. Outro fator que interfere é a presença de vegetação junto às fachadas da edificação.

No momento de interpretar as imagens, decorrente da palheta de cor escolhida, identifica como as zonas mais claras, próximas ao amarelo, aquelas com temperaturas mais altas. Estas

áreas, segundo Corvacho[1] (1998) apud Mário (2011), indicam possibilidade de descolamento ou áreas de condensação de água, que favorecem o aparecimento de bolores e sujeira.

Através das imagens verifica-se a existência de zonas escuras, onde supostamente seriam áreas íntegras, entretanto, no ensaio de percussão, foram detectados sons cavos, indicando áreas descoladas. A explicação para tal fato é que a vegetação (coincidente com as áreas escuras) mascara a real situação da fachada. Nas figuras 4 a13 podem ser comparadas as imagens com uma câmera comum, a câmera termográfica e o mapeamento de danos.

A termografia da fachada nordeste e a inspeção visual, junto ao ensaio de percussão, podem ser vistos na Figura 4 e Figura 5, respectivamente. Percebe-se que os danos mais presentes são as pichações, áreas do revestimento descoladas e manchamento devido à sujeira.

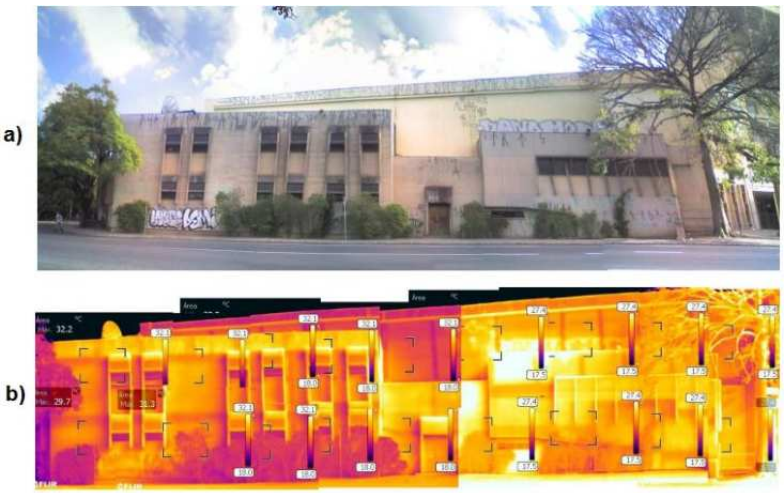

Figura 4 - a) Levantamento visual da fachada Nordeste. b) Levantamento termográfico da fachada Nordeste.
Fonte: (MARAN, 2013)



Figura 5 - Mapa das manifestações patológicas encontradas na fachada Nordeste.
Fonte: (MARAN, 2013)

[1] CORVACHO, M.H. Pontes térmicas: Importância da existência de um catálogo. In: Jornadas de Construção Civil, 6.,1998, Porto. Anais...Porto: FEUP, 1998.

Os levantamentos visual e termográfico da fachada Sudeste estão expostos na Figura 6 e o mapeamento geral na Figura 7Figura **5**. Através das imagens percebe-se que a vegetação não permite uma imagem limpa para a interpretação das imagens realizadas pela câmera termográfica.

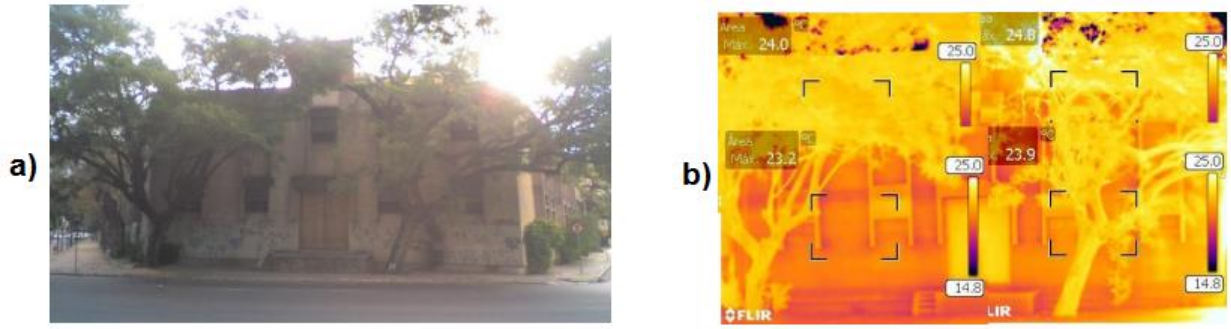

Figura 6 - a) Levantamento visual da fachada Sudeste. b) Levantamento termográfico da fachada Sudeste.
Fonte: (MARAN, 2013)

As manifestações patológicas mais recorrentes nessa fachada são o manchamento, o descolamento e a pichação.



Figura 7 - Mapa das manifestações patológicas encontradas na fachada Sudeste.
Fonte: (MARAN, 2013)

A imagem com a câmera termográfica e o mapeamento obtido pela inspeção visual, junto ao ensaio de percussão da fachada sul podem ser vistos na Figura 8 e Figura 9 respectivamente. Nesta fachada as manifestações mais recorrentes são o manchamento e as pichações. Esta fachada recebe bastante incidência solar, o que favorece na diminuição da umidade.

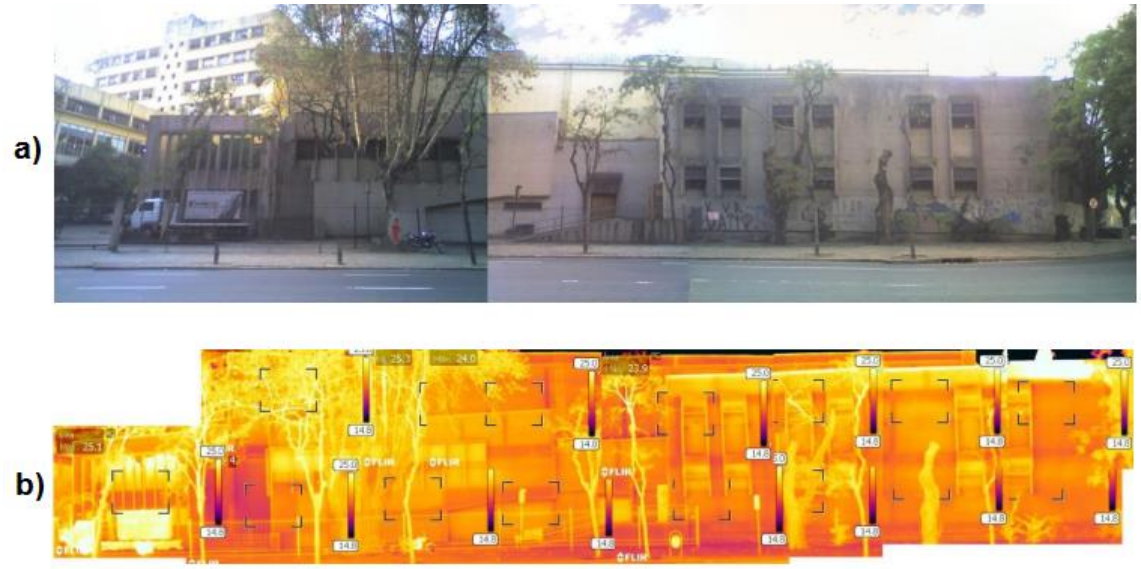

Figura 8 - Levantamento visual da fachada sul. b) Levantamento termográfico da fachada sul.
Fonte: (MARAN, 2013)



Figura 9 - Mapa das manifestações patológicas encontradas na fachada Sul.
Fonte: (MARAN, 2013)

A imagem obtida pela câmera termográfica da fachada noroeste encontra-se na Figura 10 e o levantamento visual e de percussão na Figura **11**Figura **5**. Percebe-se que a manifestação mais encontrada foi o descolamento.

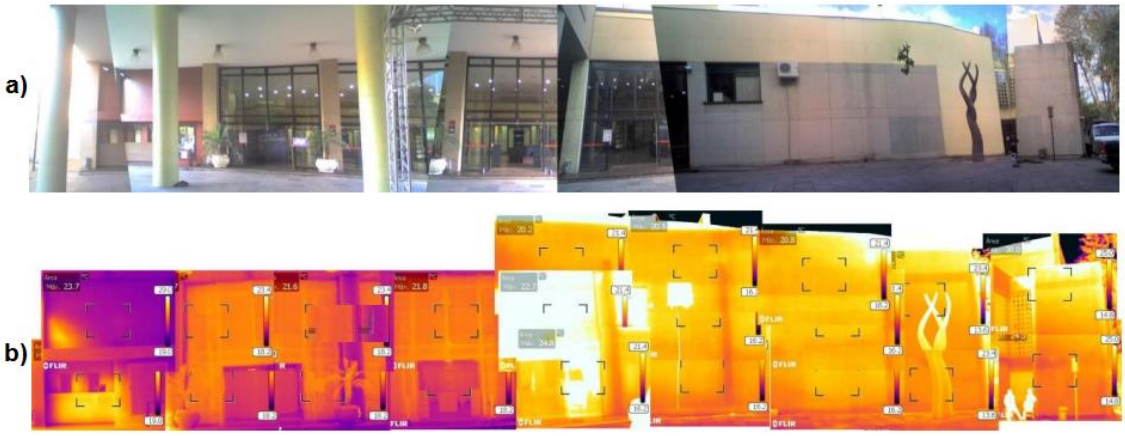

Figura 10 -- a) Levantamento visual da fachada noroeste. b) Levantamento termográfico da fachada noroeste.
Fonte: (MARAN, 2013)



Figura 11- Mapa das manifestações patológicas encontradas na fachada Noroeste.
Fonte: (MARAN, 2013)

5.2 As Manifestações Patológicas Encontradas e Tratamentos Propostos

As manifestações patológicas encontradas a partir do levantamento foram: descolamento, fissuras, manchamento, biodeterioração, corrosão, intervenção da fauna e inserção de elementos não originais.

5.2.1 Descolamento

Os descolamentos tanto do fulget quanto do revestimento pétreo foram relacionados à perda de aderência, causada, possivelmente, por surgimento de tensões que ultrapassam a capacidade das ligações. Tais tensões podem ter sido originadas pela dilatação térmica, vibrações (causadas pelo alto fluxo de veículos do entorno), movimentações da estrutura, má execução do revestimento e/ou uso de materiais não conformes, entre outros. A umidade,

presente principalmente nas fachadas sul e sudeste, devido a grande presença de árvores do entorno, colabora para o descolamento, pois tanto o revestimento em fulget quanto as juntas com argamassa cimentícia do revestimento pétreo com o tempo tornam-se permeáveis à água.

Para este caso, o tratamento proposto é a fixação do revestimento em fulget através de pinamento com resina, e a aplicação de selante nas juntas de movimentação/construtivas, para evitar a entrada de água. Nos locais onde há revestimento pétreo, propõe-se a fixação do revestimento descolado com pinos de aço inoxidável, recolocação do revestimento com argamassa, além da substituição do rejunte cimentício por rejunte elastomérico, este mais flexível e menor permeabilidade, necessitando de menos manutenção.

5.2.2 Fissuras

A movimentação dos elementos construtivos pode ser causada por sobrecargas, variações de temperatura, retração, expansão por umidade, deformações elásticas, deformação lenta, recalques de fundação, recalques diferenciais, vibrações, ação do vento, ação do fogo, choques, explosões, terremotos, e outros, provocando assim, a fissuração (BRICK INDUSTRY ASSOCIATION, 1991; DUARTE, 1998; ELDRIDGE, 1982; THOMAZ, 1989).

Segundo Vieira (2006), "os agentes climáticos ou ambientais são fatores externos de deterioração (extrínsecos) que atuam sobre a edificação ao longo do tempo. O meio ambiente de um determinado local é o resultado de vários processos físicos agindo em diferentes escalas".

Foram encontradas fissuras de movimentação térmica, por recalque de fundação (supostamente) visto que a edificação apresenta fundações distintas, e fissuras devido à expansão e corrosão da armadura. Para as fissuras por dilatação térmica propõe-se o preenchimento e a execução da junta de dilatação e o preenchimento com selante à base de poliuretano. Para as fissuras por recalque de fundação, seria necessária uma análise estrutural para ter certeza de sua ocorrência. Já as fissuras causadas por expansão e corrosão da armadura, o revestimento deve ser removido, a armadura tratada e o elemento reconstruído.

5.2.3 Manchamento

O manchamento é uma das manifestações patológicas mais recorrentes nas fachadas da edificação analisada, onde foram detectados manchamentos derivados da poluição atmosférica, fuligens da queima dos combustíveis dos veículos e por umidade. Segundo Poyastro (2011), o manchamento de fachadas pode estar associado ao clima (fatores

extrínsecos), que são inerentes à fachada ou devido às características da própria fachada, como sua geometria os materiais que a compõem (fatores intrínsecos).

A recomendação para limpeza dos manchamentos na fachada do prédio do Salão de Atos derivados de poluição atmosférica, deve ser, primeiramente, com lavagem sob pressão ou vapor de água, preferencialmente com água quente para obter maior eficiência, adicionado ao uso de detergente neutro. Nos casos em que a sujidade permaneça aderida após tal intervenção, sugere-se o uso tópico de limpeza com solução química.

No caso de fuligens, a limpeza química mais comum é o uso de solução de ácido clorídrico (diluição de10%,), desde que se faça a saturação da superfície antes da aplicação da solução e, após, lavagem total da superfície, devendo-se verificar o pH da superfície.

Para os revestimentos de argamassa, recomenda-se o mesmo procedimento do fulget. No entanto, no caso de alguns pontos ainda permanecerem com sujidade, recomenda-se o uso de limpeza abrasiva através de escovação mecânica (escova, preferencialmente de cerdas de nylon), como auxílio aos métodos de limpezas anteriormente recomendados.

Quanto aos manchamentos por umidade, a fonte de umidade deve ser estancada, principalmente nos casos de umidade acidental, decorrente, principalmente dos elementos não originais da fachada (tubulação de ar condicionado, torneira, entre outros), ou, ainda, que esses elementos sejam levados até um sistema de drenagem, evitando, assim, os respingos e escorrimentos de água pela fachada. A limpeza da fachada também servirá para eliminar as abundantes pichações, manifestações patológicas causadas de forma direta pelo ser humano.

Para remoção de pinturas como pichações, Resende e Medeiros (2004) indicam uma limpeza química com solventes orgânicos. Ainda de acordo com os mesmos autores, esta limpeza consiste no emprego de produtos químicos para dissolver e remover, por meio de reações físico-químicas, as sujidades insolúveis em água.

Desta forma, recomendam-se duas opções: o teste da mesma limpeza química que será realizada para limpeza de poluição atmosférica; ou, o uso de solventes orgânicos, no caso da primeira intervenção não se mostrar suficientemente eficiente.

5.2.4 Biodeterioração

Outra manifestação encontrada na edificação foi a biodeterioração. Este é um processo causado pelas atividades vitais de agentes biológicos que tem como resultado a mudança das propriedades de um material. Os agentes podem ser fungos, bactérias, vegetações, insetos,

roedores, entre outros (HUECK[2] apud ALLSOPP et al., 2010). No caso do salão de atos, além dos agentes citados, ainda foram encontrados ninhos de pombos e formigueiros.

De acordo com Kiel (2005), para determinar o tratamento mais adequado é necessário identificar o agente biológico, tipo de substrato, estado de conservação e custos envolvidos. Conforme a recomendação de Coutinho (2009), também deve-se identificar o fator ambiental que influenciou a biodeterioração para uma futura prevenção.

Desta forma, o tratamento indicado, onde há biodeterioração, deve ser dado através da união de métodos mecânicos, físicos e químicos, iniciando com a identificação do agente biológico através de análise laboratorial e a determinação do biocida mais adequado para ser aplicado em função do agente biológico encontrado. Em seguida, a remoção física do material biológico, a aplicação do biocida no material e finalmente, buscar as causas ambientais que geraram essa manifestação a fim de prevenir sua reincidência.

Para afastar os pombos e evitar a formação de ninhos na edificação, recomenda-se a colocação de obstáculos, a aplicação de gel irritante para evitar o pouso, ou ainda a emissão de sons miméticos de predadores.

5.2.5 Corrosão das janelas e elementos metálicos

Observando a cobertura do prédio do salão de atos, notou-se que boa parte dos rufos das platibandas está em processo de oxidação. Antes que esse processo comece a causar manchamento ferruginoso sobre o revestimento, recomenda-se que esse elemento seja lixado e pintado, e em casos onde a degradação já esteja muito avançada, que seja substituído. Além disso, é necessário que se verifique a inclinação dos rufos e a presença de algum detalhe de descolamento da água da chuva (pingadeira).

Também observou-se a existência de janelas corroídas. Para estas recomenda-se o tratamento com lixamento para retirada das partes oxidadas, aplicação de tinta anticorrosiva (zarcão) e posterior aplicação de tinta esmalte ou óleo pra proteção. No caso de corrosão profunda, com perda de seção dos elementos que fazem parte da esquadria, elas deverão ser substituídas.

5.2.6 Inserção de elementos não originais

Diversos elementos não originais são fatores que resultam em manifestações patológicas nas fachadas de prédios históricos, principalmente quando a intervenção é realizada de forma mal

[2] HUECK, H. J. The Biodeterioration of Materials: an appraisal. In: WALTERS, A. H.; ELPHICK, J. S. (Eds.). Biodeterioration of Materials. London: Elsevier, 1968. p. 6–12.

planejada, como ocorreu no prédio estudado. Alguns elementos que geraram manifestações patológicas neste caso, foram a instalação de tubos de queda, aparelhos de ar-condicionado, tubulações elétricas e CFTV (circuito fechado de televisão).

A sugestão de intervenção, para evitar novas manifestações patológicas, seria o desenvolvimento de projetos auxiliares para a instalação de equipamentos que atendam as novas necessidades do edifício. No caso dos aparelhos de ar-condicionado, as unidades externas do equipamento poderiam estar instaladas sobre o telhado, na platibanda e utilizada calhas coletoras para a dispersão da água resultante dos condensadores do aparelho.

Para a corrosão das gaiolas em aço das câmaras de CFTV, recomenda-se o tratamento com lixamento, aplicação de tinta anticorrosiva (tipo zarcão) e pintura com tinta esmalte. Deve-se ainda, estender as tubulações de queda pluvial até o nível do solo, terminando com joelho de 90° sobre caixa de recolhimento pluvial e retirada da torneira presente na fachada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Salão de Atos da UFRGS é um ponto de referência tanto na comunidade acadêmica, quanto perante a sociedade, por isso, é necessário manter sua aparência íntegra, mantendo as características que o tornaram um elemento histórico ao longo dos anos.

Quando construído, as condições ambientais do entorno da edificação eram mais brandas, atualmente, a edificação está inserida em um local de elevado tráfego de veículos e de elevada poluição. Outrossim, a baixa incidência solar de algumas fachadas (parte em função da orientação da edificação, parte em função da presença de uma envoltória de árvores de grande porte), o ambiente é agressivo, interferindo na integridade do revestimento externo da edificação. Além disso, por ser um prédio e visado pela sociedade, é alvo de vandalismo, que se utiliza de sua fachada para manifestações, alterando o aspecto original da edificação.

Devido às diversas alterações sofridas, intervenções são necessárias para que sua fachada volte a apresentar o aspecto original. Para isso, avaliaram-se as manifestações patológicas presentes, assim como alterações causadas por ação do homem e de animais, com posteriores sugestões de intervenção. Para não comprometer o revestimento da fachada, os ensaios realizados foram do tipo não destrutivo.

7. CONCLUSÕES

As manifestações encontradas na edificação estudada, de uma forma geral, são pontuais e de fácil solução, sendo que a fachada de maior incidência de manifestações patológicas relacionadas, principalmente, pela presença excessiva de umidade, é a orientada para sul, já que é a orientação de menos incidência solar e de incidência de chuva dirigida. A fachada

noroeste está parcialmente protegida das intempéries através dos pilotis do prédio da Reitoria, sendo que nesses pontos apresentam poucas manifestações. Na porção mais ao sul desta fachada há sombreamento em algumas horas do dia, proveniente mesmo prédio que é mais alto. Devido a isso, somado às intempéries, essa porção da fachada apresenta mais manifestações patológicas decorrentes de umidade.

As fachadas nordeste e sudeste são as que apresentam a maior quantidade de pichações, já que estão junto ao alinhamento do lote, ou seja, possuem contato com o passeio público. Ainda sobre a fachada sudeste, possui grande quantidade de árvores de grande porte junto ao revestimento, estas, junto com a incidência de chuva dirigida e a elevada poluição atmosférica, causaram inúmeros manchamentos oriundos da presença de umidade constante.

A proposta de intervenção para a recuperação das fachadas se restringem a fazer uma manutenção geral, de limpeza e remoção de sujidades com reparos em pequenos pontos. Devido à dificuldade de mão de obra para a técnica construtiva denominada fulget, foram sugeridas intervenções que não necessitam de substituição total dos pontos fragilizados. Aconselha-se, portanto, que tais intervenções sejam realizadas num tempo de curto a médio prazo, a fim de que o revestimento não sofra degradações severas até o momento da manutenção, o que, possivelmente culminaria na solução de substituição total do atual revestimento, correndo o risco de necessitar de outra técnica construtiva, descaracterizando o aspecto arquitetônico original.

8. REFERÊNCIAS

ALLSOPP, D.; SEAL, K. J.; GAYLARDE, C. **Introduction to biodeterioration**. Second edition. New York: Cambridge University Press, 2010. 237p.

BRICK INDUSTRY ASSOCIATION. **Volume changes ans effects os movement.** Reston: BIA, 1991. (Technical notes, 18).

CORTIZO, E. C. **Avaliação da técnica de termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações:** ênfase em edificações do patrimônio histórico. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

COUTINHO, Daniela S.S. F. **Revestimentos biológicos em pedras graníticas do patrimônio construído: ocorrência, limpeza e prevenção**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Área de Especialização Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção. Universidade do Minho. Braga, Portugal: 2009;

DUARTE, R.B. **Fissuras em alvenarias:** causas principais, medidas preventivas e técnicas de recuperação. Porto Alegre: CIENTEC, 1988. (Boletim técnico, 25).

ELDRIDGE, H.J. **Construcción, defectos comunes.** Barcelona: Gustavo Gili, 1982.

KIEL, Greicy. **Diversidade bacteriana em biofilmes de superfícies externas de prédios históricos na cidade de Porto Alegre**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Microbiologia Agrícola e do Ambiente. Porto Alegre, RS, Brasil: 2005.

MARAN, Ana P. et al. **Diagnóstico das manifestações patológicas identificadas nas fachadas do Salão de Atos - UFRGS.** Relatório Técnico. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

MAURO, Mário. **Uso da termografia como ferramenta não destrutiva para avaliação de manifestações patológicas ocultas.** 2011. 70f. (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

PADILHA, Guilherme R. **Análise de cargas térmicas e dimensionamento de sistema de ar condicionado para o Salão de Atos da UFRGS.** 2010. 28f. (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

POYASTRO, P. C. **Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida.** 2011. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RESENDE, M. M. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios**: limpeza de revestimentos cerâmicos. 2004. 215 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ROMIOTTO. **Como determinar a emissividade dos objetos**. 2011. Disponível em: <http://www.romiotto.com.br>. Acesso em: 9 de junho de 2013.

SALES, R.B.C. **Estudo de compostos de cimento Portland utilizando o ensaio de freqüência ressonante forçada e termografia**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

THOMAZ, E. **Trincas em edifícios:** causas, prevenção e recuperação. São Paulo: Pini, 1989.

VIEIRA, A. D. **Influência dos detalhes arquitetônicos no estado de conservação das fachadas de edificações do patrimônio cultural do centro de Porto Alegre**: estudo de caso. 2005. 162 f. Trabalho de Conclusão. Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

A SEGURANÇA DAS OBRAS NO BRASIL DISCUTIDA SOB DIFERENTES PONTOS DE VISTA. TRAGA O SEU.
1° CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES
21 a 23 de maio de 2014 - Foz do Iguaçu - PR

ANÁLISE DE LAJES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS COM PRFC E PRFV PROTENDIDOS

GARCEZ, M. R.[1], SILVA FILHO, L. C. P.[2]

[1] Universidade federal de Pelotas, Professora Adjunta, Dra., mrgarcez@hotmail.com
[2] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Professor Adjunto, PhD., lcarlos66@gmail.com

RESUMO

Diferentes técnicas de reforço com PRF têm sido desenvolvidas e aplicadas em estruturas existentes para incrementar sua capacidade resistente. Recentemente, a utilização de laminados de PRF (Polímeros Reforçados com Fibras) protendidos começou a ser investigada e aplicada como forma de melhor utilizar a resistência à tração das fibras de carbono. Entretanto, os sistemas protendidos utilizados normalmente consistem de fibras de carbono embebidas em uma matriz epóxi (PRFC). Este artigo pretende discutir a utilização de laminados de fibra de carbono (CFRP) e vidro (PRFV) protendidos e não protendidos, por meio de análises numéricas e resultados de experimentos realizados em lajes de concreto armado reforçadas à flexão. Ensaios à flexão em faixas de laje de dimensões 6500mm x 1000mm x 220mm foram executados nas dependências do EMPA (Dübendorf – Suíça) e mostraram que a protensão dos laminados de PRFC é efetiva tanto em serviço quanto no estado limite último. As análises numéricas e os resultados do programa experimental desenvolvido no EMPA-Suíça mostraram algumas questões importantes sobre a utilização de laminados de PRFV protendidos, que são mostradas e discutidas neste artigo.

Palavras chave: Protensão, PRFC, PRFV, lajes, concreto armado.

ABSTRACT

Different FRP post-strengthening techniques have been developed and applied in existing structures aiming to increase their load capacity. Recently, prestressed FRP strips started to be investigated to better use the tensile strength of the carbon fiber strips used as post-strengthening material. However, most of the prestressed FRP systems used nowadays consist of carbon fibers embedded in epoxy matrices (CFRP). This paper aims to compare the use of prestressed and non-prestressed CFRP and GFRP (glass fiber reinforced polymers) strips, by means of numerical and experimental analysis of reinforced concrete slabs post-strengthened in flexure. Flexural tests on post-strengthened reinforced concrete slabs (6500mm long, 1000mm wide, and 220mm deep) were carried out at EMPA (Dübendorf –Switzerland) and showed that prestressed CFRP strips are very effective both in ultimate limit state and serviceability limit state. The numerical analysis and the results of an experimental program performed at EMPA-Switzerland showed some concerns about the use of prestressed GFRP, that are discussed in this paper.

Keywords: Prestressing, CFRP, GFRP, slabs, reinforced concrete.

1. INTRODUÇÃO

Diversas técnicas de reforço estrutural foram desenvolvidas nas últimas décadas procurando aumentar a capacidade de carga de estruturas de concreto armado. Estas técnicas consistem basicamente na adição de elementos estruturais à face externa dos elementos estruturais.

De acordo com Täljsten (1994), a técnica de reforçar estruturas através da colagem de elementos externos foi primeiramente aplicada na França, nos anos 60, quando L'Hermite (1967) e Bresson (1971) testaram vigas reforçadas com chapas de aço coladas. Esta técnica de reforço também foi aplicada por Dussek (1974) na África do Sul e nos dois casos as estruturas reforçadas tiveram sua capacidade de carga aumentada. Estes primeiros trabalhos na França e África do Sul estimularam futuras pesquisas na Suíça (1974), Alemanha (1980), Reino Unido (1980), Japão (1981) e Bélgica (1982). Desde então a técnica de reforçar estruturas com chapas de aço se tornou viável e se consolidou com o desenvolvimento de adesivos a base de resinas epóxi, que são adequadas para garantir a adesão do elemento de concreto armado com a chapa de aço, proporcionando resistência química a muitos agentes agressivos.

Visando prevenir a deterioração por corrosão e promover a construção de novas e duráveis estruturas, materiais não corrosivos, de alta resistência e baixo peso começaram a ser desenvolvidos e aplicados na engenharia civil nas últimas décadas. Estes materiais, denominados Polímeros Estruturados com Fibras (PEF) começaram a ser discutidos e utilizados na década de 80 no EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research) na Suíça. Naquela época, a fibra de carbono foi eleita como a mais adequada para aplicações em reforço estrutural, graças a sua não susceptibilidade à corrosão, seu baixo peso, sua alta resistência à tração e módulo de elasticidade. Desde então, numerosas aplicações foram feitas no Japão, Europa, Canadá e Estados Unidos e hoje em dia o este número vem crescendo em todo o mundo.

Ainda hoje, a grande maioria dos PRF (Polímeros Reforçados com Fibras) aplicados na construção civil é fabricada com fibras de carbono, que apresentam elevados valores de módulo de elasticidade e resistência à tração. Pode-se admitir que um dos principais impedimentos para uma utilização em grande escala dos sistemas PRFC (Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono) diz respeito, justamente, ao custo das fibras de carbono, em comparação com outros tipos de fibras. Por outro lado, posteriormente, a protensão de laminados de PRFC surgiu como uma para alternativa possibilitar uma melhor utilização da capacidade de resistência à tração dos sistemas PRFC empregados no reforço à flexão de estruturas de concreto armado, que em sistemas não protendidos se restringe a somente 10-15%.

Neste sentido, este artigo discutir a utilização de laminados de PRFV (Polímeros Reforçados com Fibras de Vidro) e PRFC no reforço à flexão de lajes de concreto armado, por meio de análises numéricas e experimentais.

2. EXPERIMENTOS CONDUZIDOS EM LAJES REFORÇADAS COM PRFC PROTENDIDOS E NÃO PROTENDIDOS

Este item descreve ensaios à flexão realizados em quatro lajes de concreto armado reforçadas com PRFC: uma sem reforço (testemunho), uma reforçada com laminados de PRFC não-protendidos e duas reforçadas com laminados de PRFC protendidos, conforme Tabela 1. Uma das duas reforçadas com laminados de PRFC protendidos foi reforçada com dois laminados protendidos de seção transversal 50mmx1,2mm, enquanto a outra foi reforçada com quatro laminados protendidos de seção transversal 50mmx0,6mm. Desta forma, foram reforçadas lajes com a mesma área de reforço, porém, com diferentes distribuições.

Tabela 1 – Lajes reforçadas ensaiadas à flexão.

Lajes	Tipo de reforço	Nível de protensão
T1	Sem reforço	-
T2	2 laminados de PRFC não protendidos (50mm x 1,2mm)	-
T3	2 laminados de PRFC protendidos (50mm x 1,2mm)	35% da ε_{fu} $\varepsilon_{fp} = 5.92 \times 10^{-3}$ $\sigma_{fp} = 976.8$ MPa
T4	4 laminados de PRFC protendidos (50mm x 0,6mm)	43% da ε_{fu} $\varepsilon_{fp} = 6.50 \times 10^{-3}$ $\sigma_{fp} = 968.5$ MPa

As lajes ensaiadas apresentavam seção transversal de 1000mmx220mm e comprimento de 6500mm. Foram utilizadas, como armadura longitudinal, 7 barras de ϕ12mm, que correspondem a uma taxa de armadura longitudinal ρ=0,0041. Como armadura transversal foram utilizados estribos de ϕ8mm a cada 90mm, que corresponde a uma taxa de armadura transversal de 11,17cm²/m. A Figura 1 mostra o detalhamento das lajes.

Para a produção do concreto utilizado nas lajes de concreto armado, foram utilizados agregados disponíveis no EMPA e cimento do tipo CEM I 42,5. Para caracterizar as propriedades do concreto, foram moldados dois corpos-de-prova cúbicos de 200mm de lado, de acordo com as especificações da EN 206-1 (2000). Os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão, fornecendo valor médio de resistência à compressão de 44MPa.

Para caracterizar o comportamento à tração da armadura longitudinal, foram ensaiadas duas amostras com 500mm de comprimento para cada diâmetro de barra utilizado, de acordo com as recomendações da EN 10002-1 (2001). Os valores médios da tensão de escoamento, deformação no escoamento, tensão de ruptura e módulo de elasticidade foram, para as barras de diâmetro 8mm, 554MPa, 2,51‰, 662MPa e 220GPa.Para as barras de 12mm estes valores foram 436MPa, 1,98‰, 688MPa e 215GPa.

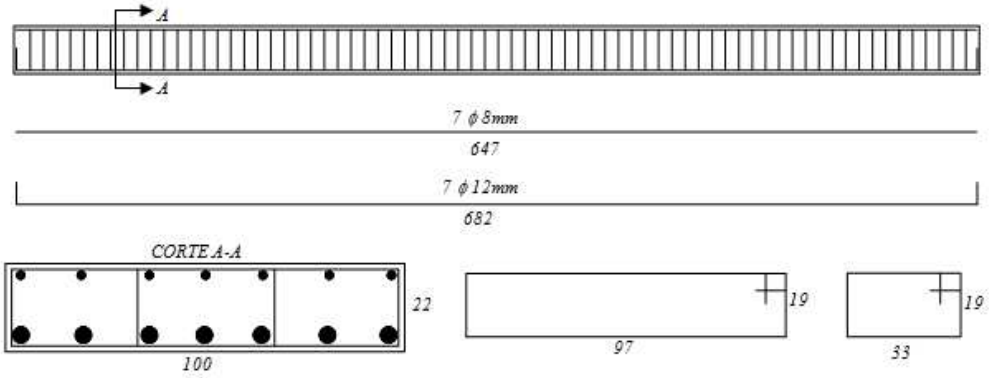

Figura 1 – Detalhamento das lajes ensaiadas.

O sistema de reforço utilizado foi o sistema Sika®Carbodur e uma modificação deste sistema, com metade da espessura original do laminado. As características do sistema Sika® Carbodur, assim como as características do laminado Carbodur S512 modificado e do adesivo Sikadur®-30LP, encontram-se na Tabela 2. A caracterização dos laminados de espessura 0,6mm foi efetuada com base nas recomendações da ISO/FDIS 527-5. Os laminados protendidos foram colados com o adesivo Sikadur®-30LP, que apresenta um *pot life* mais longo que a formulação original do sistema Carbodur.

Tabela 2 – Características dos sistemas de reforço utilizados.

	Laminado Carbodur S 512	**Laminado Carbodur S512 modificado**
Espessura (mm)	1,2	0,60
Largura (mm)	50	50
Resistência à tração (Mpa)	2.800	2.235
Deformação última (‰)	17	15
Módulo de elasticidade (MPa)	165.000	149.000
	Resina Sikadur®-30	**Resina Sikadur®-30LP**
Componentes	3ParteA:1Parte B	2ParteA:1Parte B
Pot life a 25°C (min)	-	60
Pot life a 35°C (min)	40	-
Pot life a 55°C (min)	-	30
Tg (°C)	62	107
Módulo de elasticidade (MPa)	12.800	10.000

Para a realização dos ensaios, foi aplicado carregamento em quatro pontos, como pode ser observado na Figura 2. Foram monitorados os deslocamentos no centro do vão, a deformação na fibra de carbono e evolução das fissuras.

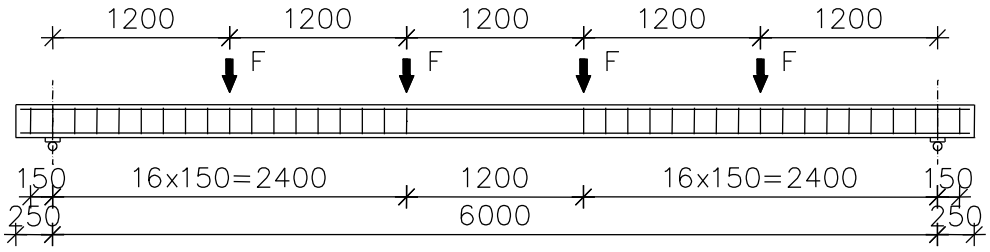

Figura 2 – Esquema de realização dos ensaios de flexão.

Os resultados obtidos com a realização dos experimentos estão sumarizados na Tabela 3 e na Figura 3, a seguir.

Tabela 3 – Resultados dos experimentos realizados nas lajes reforçadas.

Laje	Reforço	Carga última $4F_u$ kN	$\frac{4F_u}{4F_{u0}}$ %	Deformação media no laminado $\varepsilon_{fp} \times 10^{-3}$	Deformação media no laminado na ruptura, $\varepsilon_{f,test} \times 10^{-3}$	Deformação última do laminado $\varepsilon_{fu} \times 10^{-3}$	$\frac{\varepsilon_f}{\varepsilon_{fu,}}$ %	Modo de falha
T1	-	99.24	00	-	-	-	-	Escoamento do aço
T2	Passivo 50×1.2mm	126.75	28	-	5.56	17.0	33	Descolamento do reforço
T3	Protendido 50×1.2mm	161.91	63	5.92 35 % ε_{fu}	8.22	17.0	83	Descolamento do reforço
T4	Protendido 50×0.6mm	164.91	65	6.50 43 % ε_{fu}	9.17	15.0	100	Esgotamento da capacidade resistente do PRFC

$4F_{u0}$ – carga última da viga não reforçada
ε_f - deformação total no laminado

Percebe-se que as lajes que receberam aos laminados de fibra de carbono protendidos apresentaram um incremento de rigidez muitas vezes superior ao do testemunho. As cargas de ruptura foram 161,91kN para a viga reforçada com 2 laminados e 164,91kN para a viga reforçada com 4 laminados. O mesmo não se pode dizer em relação à viga reforçada com o laminado não protendido, ou passivo, que obteve um singelo incremento de rigidez e rompeu prematuramente aos 99,24kN.
Os resultados apresentados na Figura 3 confirmam que dependendo da configuração do reforço aplicado, diferentes modos de falha podem ocorrer. A viga reforçada com 4 laminados de fibra de carbono apresentou ruptura dos laminados. Isto significa que esta configuração obteve o resultado esperado de um reforço com compósitos estruturado com fibras. Também

observa-se na Figura 3 que o sistema se comportou de forma mais dúctil, que é atribuída à maior área de colagem.

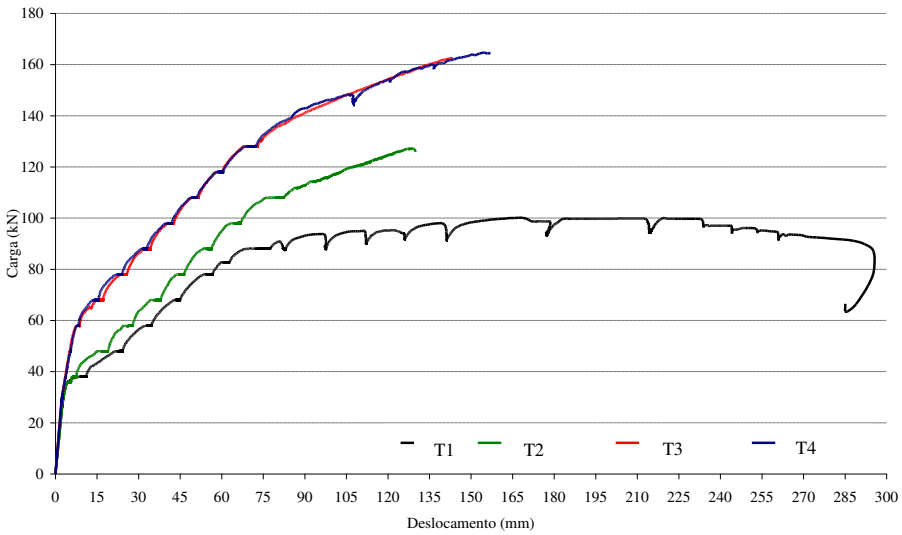

Figura 3 – Carga x deslocamento vertical no centro do vão para as lajes ensaiadas.

Embora a viga reforçada com quatro laminados protendidos tenha apresentado o resultado esperado para uma viga reforçada com materiais compósitos, esta configuração de reforço não é a ideal, na medida em que com dois laminados os resultados foram muito próximos. Isto ocorre porque o custo da técnica utilizada para protender os laminados é muito alto e, além disso, a viga reforçada com quatro laminados utiliza o dobro de resina que a viga reforçada com dois laminados. Desta forma, seria interessante encontrar uma forma de obter melhores resultados com dois laminados ou partir para a opção de reforçar a viga com três laminados. Outra hipótese é também modificar o gradiente de protensão, para que a solução com dois laminados seja melhor utilizada.

3. RESULTADOS NUMÉRICOS PARA AS LAJES REFORÇADAS COM PRFC PROTENDIDOS E NÃO PROTENDIDOS

Um modelo analítico não linear baseado no princípio do equilíbrio de forças, compatibilidade de deformações e no comportamento tensão x deformação dos materiais foi desenvolvido por Kotynia (2005) para prever o comportamento à flexão dos elementos estruturais reforçados. O modelo considera o comportamento não linear do concreto, conforme mostra a Figura 4.
A Figura 5 mostra o comportamento tensão x deformação para o aço e os laminados de PRFC. Desta forma, a análise numérica das lajes foi realizada através de um modelo baseado na análise de seções planas para avaliar as forças seccionais correspondentes a uma determinada distribuição de deformações em uma seção específica. As cargas e deslocamentos no meio do vão foram determinados por integração a partir das curvas momento x curvatura.
Para as lajes reforçadas, o reforço, posicionado na sua face inferior, é considerado como uma camada de armadura adicional, com comportamento tensão x deformação linear até a falha.

As Figuras 6 e 7 mostram o equilíbrio de forças considerado para as seções reforçadas com laminados protendidos e não protendidos.

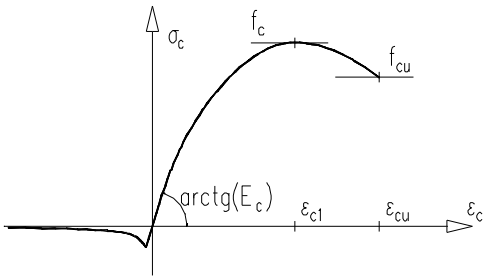

Figura 4 – Comportamento tensão x deformação não linear para o concreto.

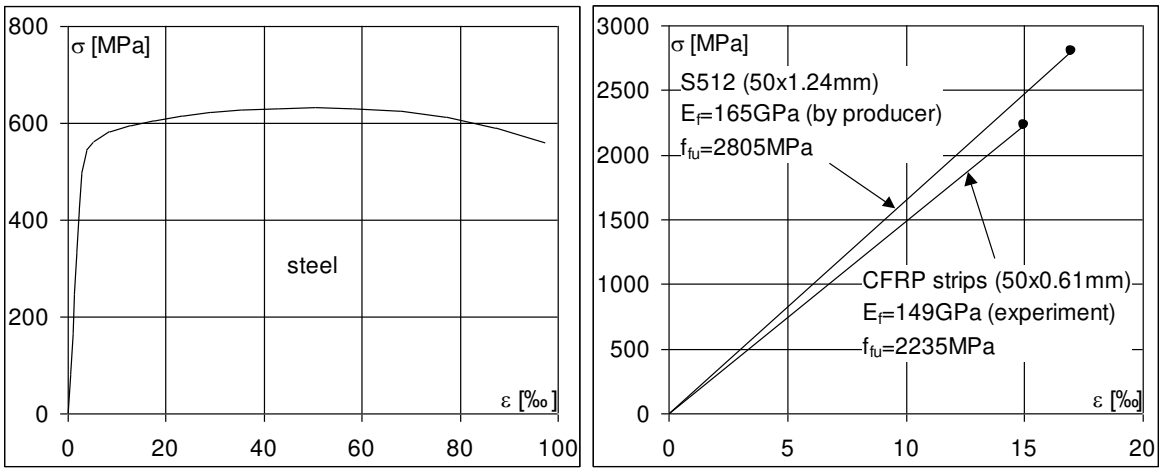

Figura 5 – Comportamento tensão x deformação considerado para o aço e o PRFC.

O carregamento para o qual o limite de deformação de algum dos materiais é atingido foi considerado como a capacidade de carga do elemento reforçado.

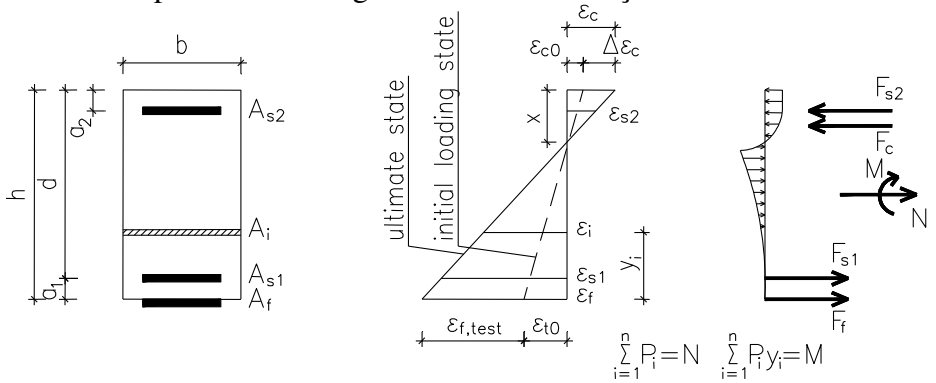

Figura 6 – Modelo de cálculo para as seções reforçadas com laminados não protendidos.

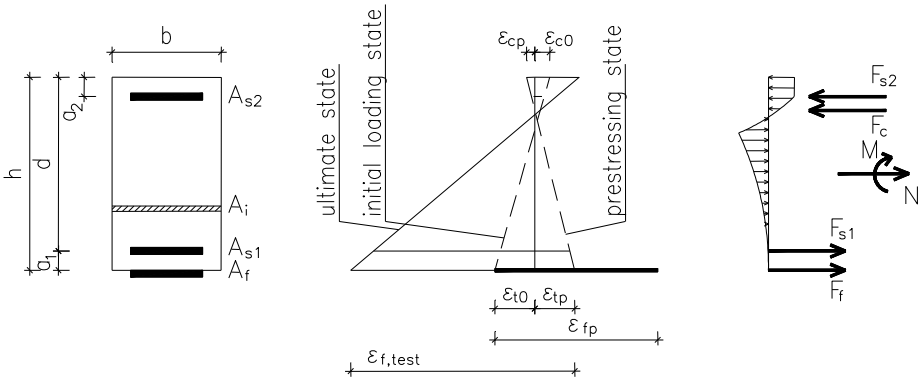

Figura 7 – Modelo de cálculo para as seções reforçadas com laminados protendidos.

As Figuras 8 e 9 mostram uma comparação entre os resultados numéricos, obtidos com a utilização do modelo analítico, e experimentais, das lajes T1, T2, T3 e T4. As duas curvas mostradas indicam os resultados dos dois *strain-gauges* localizados cada um em um dos laminados utilizados no reforço.

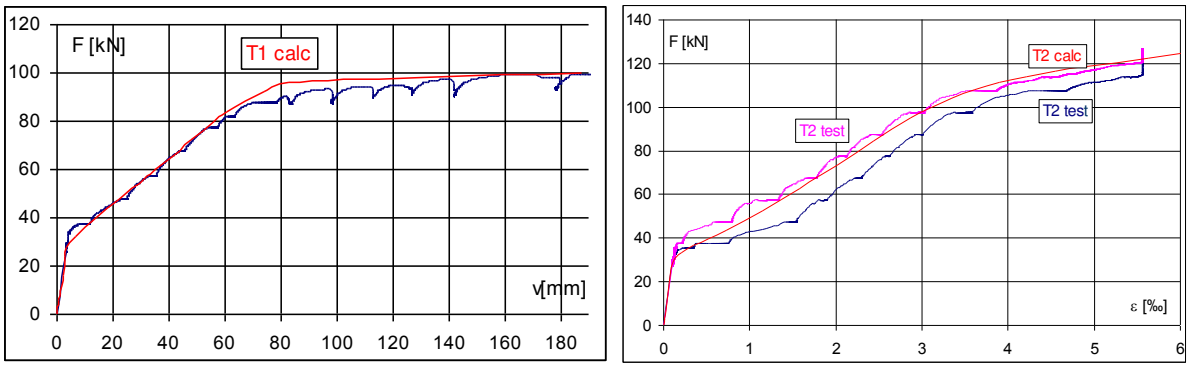

Figura 8 – Resultados numéricos e experimentais para as lajes T1 e T2.

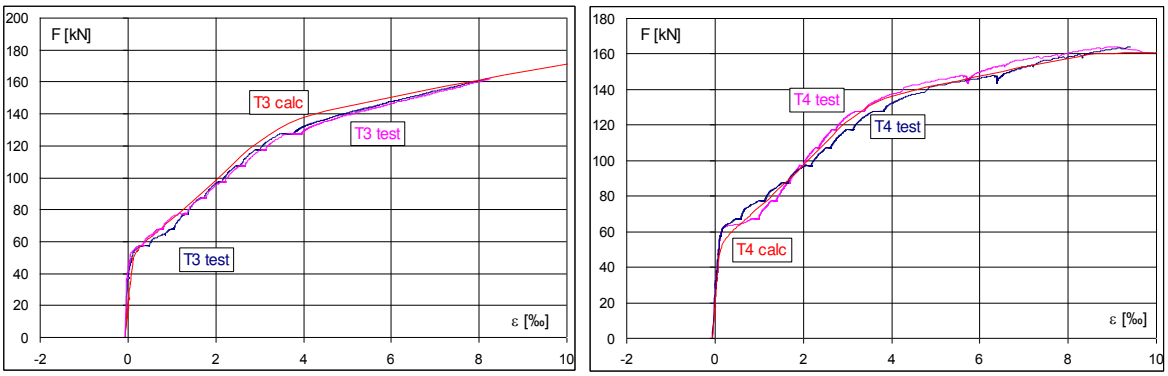

Figura 9 – Resultados numéricos e experimentais para as lajes T3 e T4.

Como as Figuras 8 e 9 indicaram a compatibilidade entre os resultados numéricos e experimentais, este modelo foi utilizado para as demais simulações de lajes reforçadas com laminados de PRF.

4. VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE LAJES REFORÇADAS COM LAMINADOS DE PRFV PROTENDIDOS

Baseado nos resultados experimentais de ensaios à tração em laminados de PRFV foram assumidos os seguintes parâmetros para a análise numérica do reforço executado com fibras de vidro: Ef = 47,45 GPa; ffu = 1820MPa, lâminas de seção transversal 50x1.2mm^2. A Figura 10 mostra os níveis de tensão nos laminados de PRFV utilizados nas simulações do reforço protendido: 25%, 35% e 50% da tensão última. Foram consideradas duas deformações últimas para os laminados de PRFV: 6 ‰ ou 8.5‰.

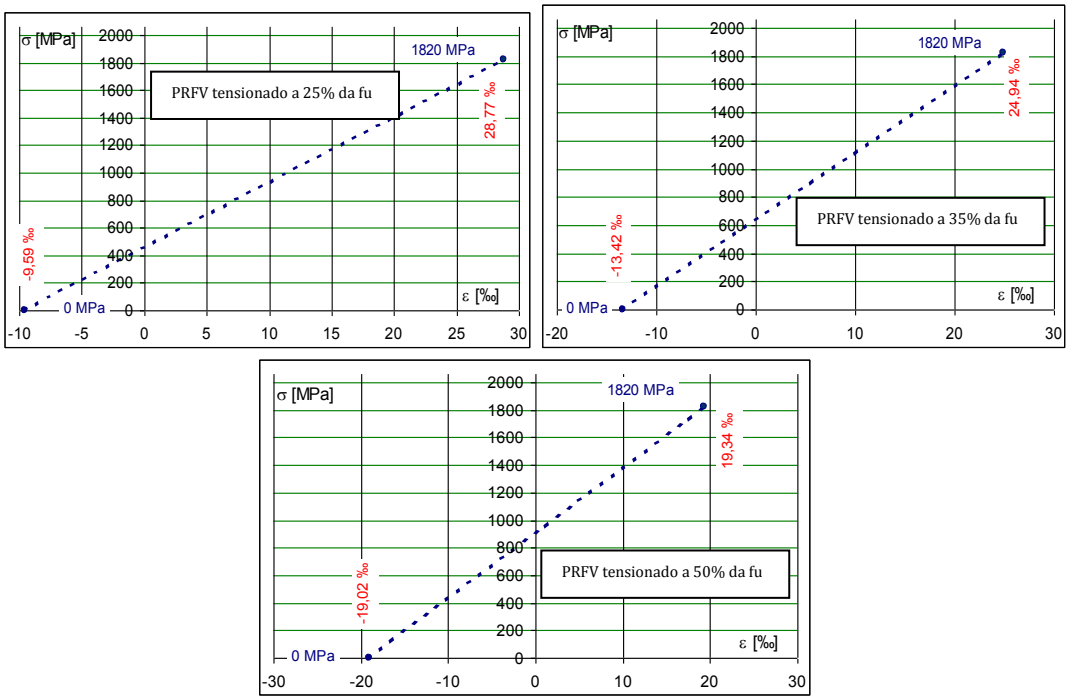

Figura 10 – Níveis de tensão nos laminados de PRFV.

A Tabela 4 mostra a denominação das lajes reforçadas com PRFV, cujos comportamentos carga x deformação foram simulados numericamente.

Tabela 4 – Lajes reforçadas ensaiadas à flexão.

Lajes	Tipo de reforço	Nível de protensão
MG-T1	Sem reforço	-
MG-T2	2 laminados de PRFV não protendidos (50mm x 1,2mm)	-
MG-T3	2 laminados de PRFC protendidos (50mm x 1,2mm)	25% da ε_{fu}
MG-T4	2 laminados de PRFC protendidos (50mm x 1,2mm)	35% da ε_{fu}
MG-T5	2 laminados de PRFC protendidos (50mm x 1,2)	50% da ε_{fu}

Os resultados de todas as simulações realizadas com os PRFV são mostrados na Figura 11, bem como uma comparação com as curvas cargas x deformação das lajes reforçadas com PRFC.

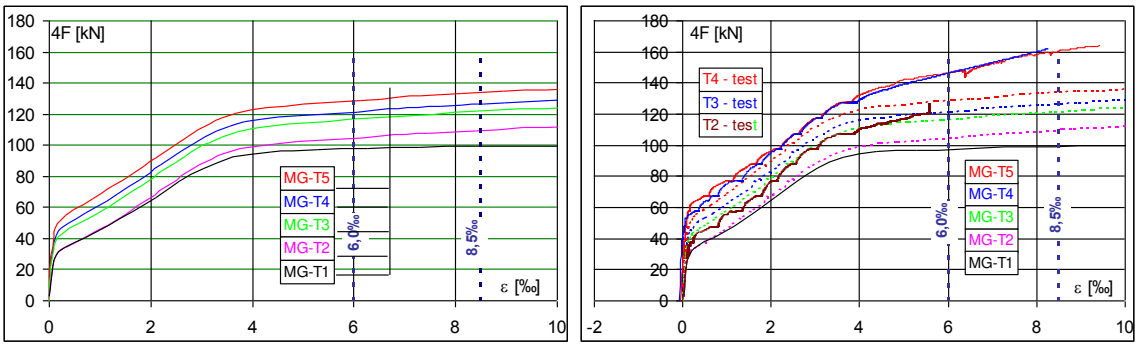

Figura 11 – Resultados das simulações com PRFV.

Primeiramente, na Figura 11, observa-se que existe pouca diferença no comportamento carga x deformação para as lajes simuladas sem reforço ou simuladas com duas lâminas de PRFV não protendido. Isto ocorre devido ao baixo módulo de elasticidade do material de reforço, o que não proporciona incremento de rigidez no elemento reforçado, diferente do que ocorre nos reforços com PRFC. A aplicação da protensão nos laminados, por outro lado, proporciona maior incremento de rigidez.

Quando a comparação é realizada com os resultados experimentais das lajes reforçadas com laminados de PRFC, observa-se que seria necessário protender as lâminas de fibra de vidro a um nível entre 25% e 35% para obter níveis de deformação similares aos de uma laje reforçada com laminados de PRFC não protendidos.

Por outro lado, os resultados obtidos com laminados de PRFC de seção transversal 50mmx1,2mm, protendidos a um nível de 35% da tensão última, não seriam obtidos mesmo com a aplicação de protensão a uma tensão de 50% da tensão última nos laminados de PRFV.

A Figura 12 mostra os resultados das simulações realizadas com PRFV, sendo o laminado não protendido ou protendido nos três níveis de tensão, 25%, 35% e 50% da tensão última, comparados com curvas que indicam o comportamento simulado nas quatro situações se o reforço fosse considerado com PRFC, cujos níveis de tensão utilizados são mostrados na Figura 13.

Os dados mostrados na Figura 12 mais uma vez indicam o menor incremento de rigidez obtido quando são utilizados PRFV, devido ao seu módulo de elasticidade, inferior ao dos PRFC.

Cabe ressaltar, neste estudo, que no caso particular dos PRFV, os níveis de tensão sob carga constante devem ser severamente observados, devido à susceptibilidade das fibras de vidro à fadiga estática. Neste caso, as fibras, submetidas a carregamentos de tração constantes ao longo do tempo, rompem com níveis de tensão muito inferiores aos observados em testes estáticos. Diversos autores têm investigado os efeitos da fadiga estática em PRFV, com medições do tempo até a ruptura. Alguns resultados experimentais apresentados por Magid et al. (2003), Khennane e Mechers (2003), Lesko et al. (2001) e Bogner e Pretzer (2004), estão plotados na Figura 14 e podem ser comparados com uma curva de referência apresentada por Meier (2002).

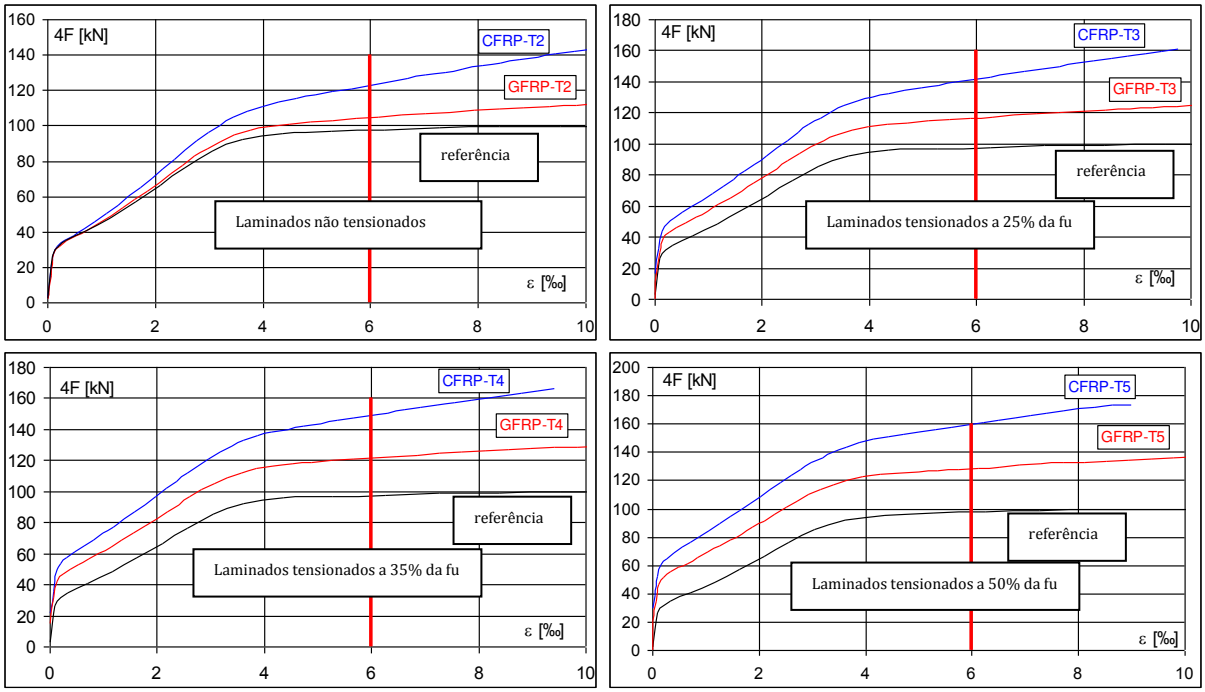

Figura 12 – Simulações para laminados de PRFV e PRFC.

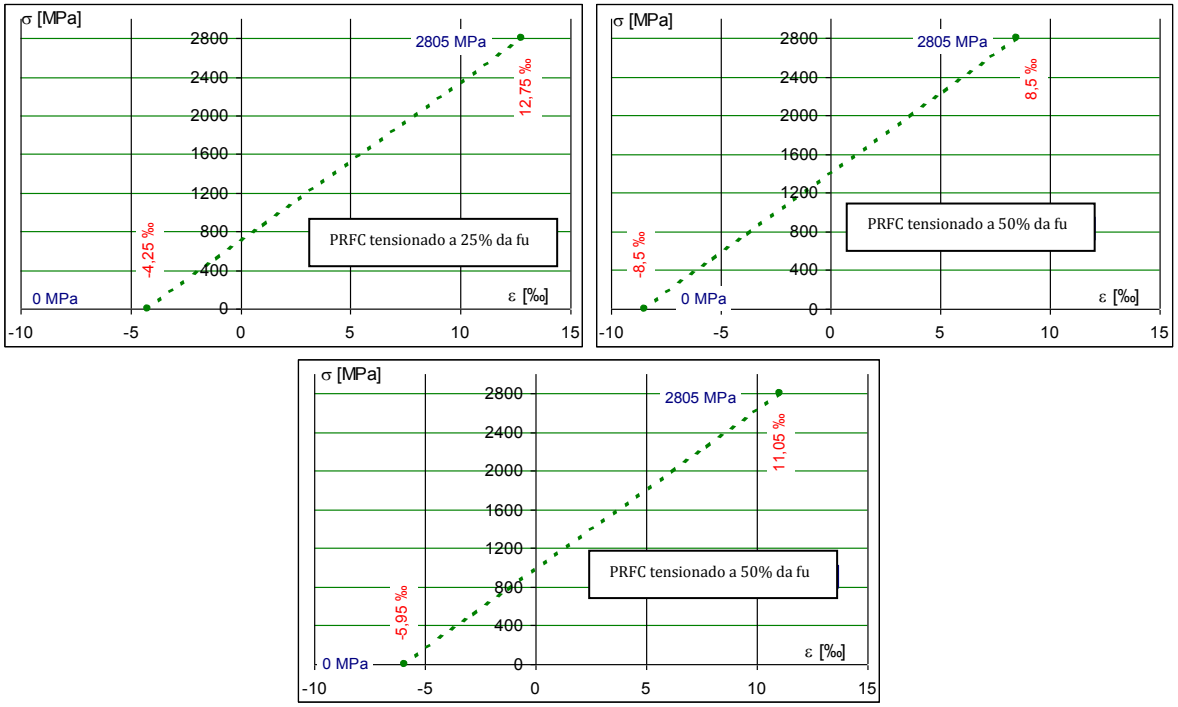

Figura 13 – Níveis de tensão nos laminados de PRFC.

A reta apresentada por Meier (2002), típica de fenômenos de fadiga, presume a existência de uma relação linear bem definida entre a taxa de carregamento aplicado, estabelecida em relação à resistência de tração última de curto-prazo, e o logaritmo do tempo até a ruptura. Desta forma, quando são aplicadas altas taxas de carregamento, que provocam maiores níveis de deformação, os PRFV rompem mais cedo, nas primeiras horas de carregamento. Assim, um PRFV submetido a um carregamento constante de 70% da sua resistência à tração a curto-prazo irá falhar, devido à fadiga estática, em aproximadamente 3,8 anos. A curva de referência mostra que decréscimos de cerca de 5% nos níveis de tensão causam extensões da ordem de dez anos na vida útil à fadiga.

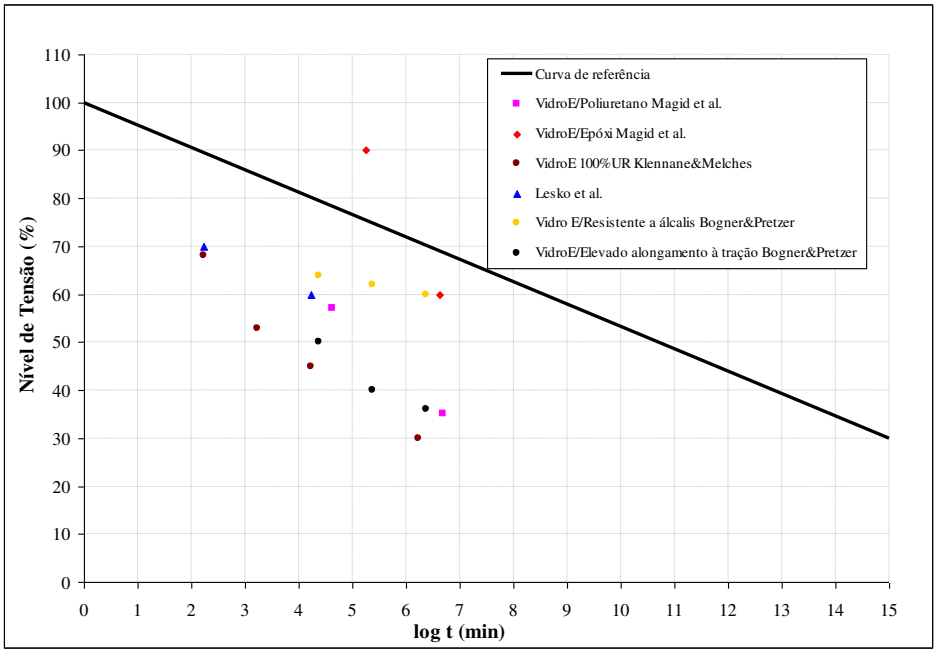

Figura 14 - Tempo até a ruptura de PRFV submetidos a diferentes níveis de tensão.

Na figura 14 pode-se observar que a maioria dos dados experimentais analisados está abaixo da curva de referência, o que significa que os tempos até a ruptura para estas amostras foram ainda menores que os previstos por Meier (2002). Esta análise confirma a susceptibilidade dos PRFV ao fenômeno da fadiga estática e indica que os limites para os níveis de tensão aplicada devem ser rigorosamente respeitados. O documento ACI 440.2R-08, por exemplo, recomenda que PRFV não sejam submetidos a cargas de serviço que superem 20% da sua tensão última.

É importante destacar que os dados experimentais apresentados na figura foram obtidos através de ensaios conduzidos com PRFV fabricados com diferentes matrizes. Alguns dados experimentais foram obtidos por meio de ensaios acelerados, a diferentes temperaturas, e foram transformados para temperatura ambiente (20ºC) pela Equação de Arrhenius, possibilitando, assim, uma comparação. Pela equação de Arrhenius, observa-se que a velocidade de uma reação química aumenta com o aumento da temperatura. De forma geral, pode-se dizer que, para temperaturas que não variam significantemente da temperatura

ambiente, um aumento de 10°C na temperatura praticamente dobra os valores de velocidade de reação [Chemguide, 2006].

5. CONCLUSÕES

Os incrementos de carga das lajes reforçadas com laminados de PRFC protendidos, superiores aos da reforçada com laminados não-protendidos, evidenciam a eficiência da protensão dos laminados no aumento de capacidade de carga dos elementos reforçados. Os resultados experimentais se mostraram muito promissores, indicando que a técnica de protender laminados de PRFC é uma alternativa para se obter o um reforço com fibras de carbono que seja viável técnica e economicamente. Quanto aos modos de ruptura experimentados pelas lajes, pode-se concluir a aplicação do reforço de forma mais distribuída, com laminados de menor espessura, permitiu que as tensões nas extremidades dos laminados fossem mais bem distribuídas para o concreto, o que, aliado com a força de protensão aplicada inicialmente aos laminados, permitiu a plena utilização da sua resistência à tração. Entretanto, seria interessante encontrar uma forma de obter melhores resultados com dois laminados ou partir para a opção de reforçar a laje com três laminados. Outra hipótese é também modificar o gradiente de protensão, para que a solução com dois laminados seja melhor utilizada, já que o custo de aplicar quatro laminados faz com que esta opção não seja viável economicamente, quando comparada com a opção por dois laminados. Todas as lajes reforçadas com PRFC apresentaram deslocamentos verticais no centro do vão inferiores aos da viga testemunho. Entretanto, o comportamento mais rígido apresentado pelas lajes reforçadas foi evidenciado somente após a fissuração do concreto. Devido ao aumento da carga de fissuração do concreto e ao escoamento mais tardio do aço da armadura interna, as lajes reforçadas com laminados protendidos, apresentaram comportamento mais rígido que a viga reforçada com laminados não-protendidos.

Para realizar uma protensão eficiente economicamente são utilizados níveis de protensão em torno de 50% da resistência a tração dos laminados. Entretanto, devido ao fenômeno de corrosão sob tensão, que acorre com as fibras de vidro quando estas são utilizadas a altos níveis de tensão, guias de dimensionamento como o ACI 440R.2R-08 recomendam que as tensões em serviço não ultrapassem 20% da tensão última dos laminados. As discussões apresentadas neste artigo indicam que a utilização das fibras de vidro protendidas com as características mecânicas dos laminados que foram consideradas nas simulações não é viável, uma vez que elevados níveis de protensão seriam necessários para proporcionar resultados que viabilizassem sua utilização. A procura de novos materiais, com custo inferior ao das fibras de carbono, é um desafio para a continuação dos estudos com esta técnica de reforço, que hoje já está consolidada com este tipo de fibra.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq e à Capes pelo auxílio financeiro para a realização da pesquisa. Da mesma forma, agradecem à equipe de pesquisadores do EMPA, em especial ao Professor Urs Meyer e à Professora Renata Kotynia pela disponibilidade e auxílio durante a realização dos ensaios naquele laboratório.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures:** ACI 440.2R-02. Farmington Hills, 2002. 45p.

BOGNER, B. R. & PRETZER, W. R. The influence of polyester resin properties on the stress corrosion resistance of glass fiber reinforced composites. **Polymers & Polymer Composites,** volume 12, número 6, 2004. p. 457-467.

CHEMGUIDE. **Rate constants and the Arrhenius equation.** www.chemguide.co.uk, acessado em setembro de 2006.

EUROPEAN STANDARD. **Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity: EN206-1.** Brussels, 2000.

EUROPEAN STANDARD. **Metallic materials – Tensile testing: EN10002-1**. Brussels, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Plastics - Determination of tensile properties - Part 5: Test conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites: ISO/FDIS 527-5**. Genève, 1997.

KHENNANE, A. & MELCHERS, R. E. Durability of glass polymer composites subject to stress corrosion. **Journal of Composites for Construction,** maio, 2003. p. 109-117.

KOTYNIA, R. (2005). Strengthening of reinforced concrete structures with near surface mounted FRP reinforcement. In: 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE - ANALYTICAL MODELS AND NEW CONCEPTS IN CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES, 2005, Gliwice - Ustroń. **Anais...** 2005. [CD-Rom]

LESKO, J., REIFSNIDER, K., PHIFER, S., BAKIS, C., NANNI, A., HEIL, C. **Gap Analysis for Durability of Fiber Reinforced Polymer Composite in Civil Engineering.** CERF, 2001. Chapter 7 of the Report 40578 - Civil Engineering Research Foundation, 2001. p. 60-78.

MAGID, B. A., LOPEZ-ANIDO, R., SMITH, G., TROFKA, S. Flexure creep properties of E-Glass reinforced polymers. **Composite Structures,** volume 62, 2003. p. 247-253.

MEIER, U. The use of composites in public works. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITES IN ARCHITECTURE AND CIVIL ENGINEERING, 2002, São Paulo. **Anais...** 2002. [CD-Rom]

TÄLJSTEN, B. **Strengthening of existing concrete structures with epoxy bonded plates of steel or fibre reinforced plastics.** Lulea: Lulea University, 1994. 190p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Lulea University, 1994.