Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO DE PEÇAS EM CONCRETO REFORÇADAS COM FIBRAS DE CARBONO - PCRFC E REVESTIDAS COM ARGAMASSA REFRATÁRIA QUANDO SUBMETIDAS A TEMPERATURAS DE ATÉ 230°C

E. MELLO
Engenheira Civil
Universidade Positivo
Paraná; Brasil
elisalmeidamedeiros@hotmail.com

B. DARTORA
Engenheira Civil
Universidade Positivo
Paraná; Brasil
by_dartora@hotmail.com

E. MOSELE
Engenheira Civil
Universidade Positivo
Paraná; Brasil
mosele@outlook.com

L. DE LUCA
Engenheiro Civil
Universidade Positivo
Paraná; Brasil
deluca@idd.com.br

RESUMO

Um importante limitador na utilização de polímero reforçado com fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto é a redução da resistência da estrutura reforçada quando submetida às altas temperaturas, isso acontece devido aos adesivos epoxídicos que são utilizados na colagem da fibra, uma vez que os mesmos são prejudicados quando atingem temperaturas entre 70ºC e 100ºC. Diante disso, se tornou necessária a busca por materiais que preservem a cola epóxi que faz a interface entre a fibra e o concreto, a fim de proteger a mesma às altas temperaturas. O presente trabalho analisou a influência da aplicação da argamassa refratária na resistência à flexão de peças em concreto reforçadas com PRFC quando submetidas às altas temperaturas. Para isso, realizou-se um programa experimental, que consiste na produção de corpos de concreto reforçados com fibra de carbono, na aplicação da argamassa refratária nessas peças em duas diferentes espessuras. Posteriormente, tais elementos são expostos à ação des três temperaturas e, por fim, ensaiados à flexão simples. Foi possível verificar, que a adoção de espessura de 10mm, obteve ganhos médios maiores quando comparados aos valores derivados da adoção da espessura de 5mm, quando comparadas aos valores médios das peças de referência.
Palavra-chave: PRFC, fibra de carbono, argamassa refratária.

ABSTRACT

A major limitation on the use of polymer reinforced with carbon fiber reinforcement of concrete structures is to reduce the strength of the structure when subjected to high temperatures, it happens due to epoxy adhesives are used for bonding of the fiber, since the same they are harmed when they reach temperatures between 70°C and 100°C. Therefore, it became necessary to search for materials which preserve the epoxy adhesive that interfaces between iber and concrete, to protect the same to high temperatures. This study examined the influence of the application of refractory mortar on the flexural strength parts in concrete reinforced with PRFC when subjected to high temperatures. Therefore conducted an experimental program, which is the production of concrete bodies reinforced with carbon fiber, the application of refractory mortar these parts in two different thicknesses. They are subsequently exposed to three different temperatures, and finally tested in bending. It was verified that the thickness of 10 mm had higher average earnings than the thickness of 5 mm, compared to the average values of reference parts.
Keyword: CFRP, carbon fiber, refractory mortar

1. INTRODUÇÃO

O foco principal deste artigo é o estudo da influência que a argamassa refratária exerce na resistência à flexão de peças de concreto reforçadas com fibras de carbono e submetidas às altas temperaturas.
Segundo FORTES (2003) a preocupação na utilização de reforço de estruturas de concreto aplicando materiais compósitos a base de matriz epóxi, é a redução da resistência do material com o aumento de temperatura, já que os adesivos epoxídicos utilizados na colagem da fibra são prejudicados quando atingem temperaturas entre 70ºC e 100ºC.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Por esse motivo, ainda são necessárias investigações quanto ao uso desta técnica em países tropicais, como no Brasil, pois facilmente encontram-se estruturas aparentes atingindo a temperatura limite.
Entre as vantagens no reforço estrutural de concreto por meio da colagem externa de materiais compósitos de fibra de carbono, se destacam o baixo peso, a alta resistência à tração, a alta rigidez, bom comportamento quanto à fadiga, a facilidade de aplicação, a possibilidade da utilização da estrutura 48 horas após a aplicação do reforço e o baixo peso específico. No entanto, o desprendimento do reforço (efeito *pelling off*), a resistência ao fogo e a resistência aos raios ultravioleta são fatores desfavoráveis determinantes para a investigação da viabilidade do reforço (FORTES, 2003).
Na necessidade pela procura de materiais que protejam este tipo de reforço estrutural, a argamassa refratária se destacou por apresentar, no contexto dessa pesquisa, um significativo poder de suportar altas temperaturas de até 400°C. Além disso, contém propriedades que são interessantes como a trabalhabilidade, plasticidade, deformabilidade e capacidade de retenção de água.
Para a aplicação da argamassa refratária não é necessária mão de obra específica, fato atribuído a sua leveza e simplicidade de aplicação. Esse tipo de material surgiu com a metalurgia e hoje, é manufaturado a partir de um variado elenco de matérias primas e composições químicas (FERNANDES, 2012).
Trata-se de uma argamassa para locais que são submetidos às altas temperaturas, por possuir resistência ao calor e à abrasão. A composição da argamassa refratária é de cimentos especiais, agregados minerais e aditivos especiais (FERNANDES, 2012).
Segundo a ABNT NBR 8826 (2014) a argamassa refratária é adequada para assentar, unir ou proteger superfícies, podendo ser acondicionada no estado seco ou úmido. A argamassa pode ser, de pega a quente, adquirindo resistência após o aquecimento; de pega ao ar, que adquire resistência após a secagem, ou de pega cerâmica que desenvolve resistência após o aquecimento com aparecimento de novas fases.

1.1 Problema da pesquisa

Qual a influência do emprego de diferentes espessuras de revestimento com argamassa refratária, na medida em que exercem um papel fundamental na resistência de peças em concreto reforçadas com PRFC e submetidas à flexão após expostas ao efeito de temperaturas entre 70°C e 230°C?

1.2 Objetivos

Neste item serão apresentados os objetivos que incitaram essa pesquisa.

1.2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da espessura do revestimento com argamassa refratária na resistência à flexão de peças em concreto reforçadas com PRFC quando submetidas às temperaturas elevadas, entre 70°C e 230°C.

1.2.2 Objetivo Específico

Comparar os dados resultantes do emprego das duas espessuras de argamassa refratária, visualizando qual delas representa a menor perda de resistência à flexão das peças de concreto reforçadas com PRFC quando submetidas às altas temperaturas.

1.3 Justificativas

Neste item serão abordadas as justificativas que incentivaram esse trabalho.

1.3.1 Técnologicas

O uso de PRFC em estruturas de concreto aponta inúmeras vantagens, desde o baixo peso da estrutura até a alta resistência à tração. Porém, segundo FORTES (2003) a interface entre concreto e fibra de carbono é feita com uma cola epóxi que em temperaturas próximas de 70ºC perde sua eficiência. Visto que a temperatura em um incêndio, em estruturas de concreto pode chegar a 1000ºC, no interior da edificação, o adesivo se torna o maior empecilho na utilização desse reforço. Sendo assim, se faz necessário o estudo sobre as formas de proteger o adesivo epóxi das altas temperaturas, como por exemplo, com a argamassa refratária, material que irá nortear este trabalho, sendo testada em diversas espessuras.
Diante disso, as justificativas correspondentes ao uso da argamassa refratária em estruturas de concreto reforçadas com fibra de carbono são:

i. Utilização da argamassa refratária com a intenção de retardar o calor que chega até o adesivo epóxi, ligante da PRFC com o concreto da estrutura, para que esta não perca a sua eficiência.
ii. Garantia de que a argamassa refratária possibilite a mesma eficiência da PRFC reforçando estruturas de concreto, em temperatura ambiente ou em altas temperaturas.
iii. Definição do grau de influência que a argamassa refratária, com sua baixa capacidade de transferência de calor para a estrutura, tem na resistência a flexão dessas peças.

1.3.2 Econômicas

Segundo BEBER (2003) os problemas estruturais possuem várias soluções e, diante disso, se faz necessária a avaliação dos custos e análise do contexto , considerando a vida útil da estrutura, custos de manutenções e de perda de produção. A economia no caso do reforço com fibra de carbono, vem a longo prazo.
O custo direto do reforço estrutural com fibras de carbono é alto, mas a economia se mostra na redução do tempo de interdição da obra, do baixo custo de instalação da fibra e a mínima interrupção do tráfego normal da estrutura (BEBER, 2003). O reforço estrutural com PRFC não necessita de manutenção periódica, o que diminui consideravelmente o valor da aplicação. Porém, em países tropicais que possuem altas temperaturas predominantes durante todo o ano, ou quando sofrem grande exposição aos raios ultravioletas se faz necessária a proteção periódica da cola epóxi (BEBER, 2003 *apud* DE LUCA, 2006).
O reforço estrutural com PRFC em incêndios compromete a estrutura pelo já que ocorre o desprendimento do adesivo epóxi, ligante do PRFC com o concreto, necessitando de algum material para protegê-lo. A argamassa refratária pode ser uma boa opção, já que seu custo não é consideravelmente alto na estimativa final do orçamento, e tem a capacidade de retardar o calor que afetaria a resistência da estrutura.

1.3.3 Sociais

Os reforços com PRFC são muito utilizados em reforços de estruturas antigas, para maior segurança da sociedade. Segundo dados do DNIT (2011), o Brasil possui, aproximadamente, 5 mil pontes e viadutos sob gestão pública e federal, com quase 300 mil metros de extensão, sendo que 10% desses possuem problemas graves e necessitam de manutenção imediata. Diante desse fato, o reforço dessas estruturas com PRFC pode ser considerado uma ótima alternativa para garantir a capacidade de resistência dessas obras (PERELLES, 2013).
Além disso, como o adesivo epóxi que faz a ligação dos materiais perde suas propriedades quando é submetida às altas temperaturas, se faz necessária a utilização da argamassa refratária, pois esta suporta temperaturas de até 400°C, minimizando as perdas de resistência da estrutura, e trazendo segurança a sociedade (FERNANDES, 2012).

1.3.4 Ecológicas

Apesar de muito utilizado na Engenharia Civil em reforços estruturais para aumentar a seção transversal dos elementos, o cimento gera grande impacto ambiental e à saúde humana quando produzido. Este impacto vai da extração da matéria-prima, causando contaminação dos corpos hídricos e do solo, até a emissão de gases tóxicos. Além disso, o cimento é responsável por praticamente 5% das emissões de CO_2 e 3% das emissões de gases do efeito estufa produzidos no mundo inteiro (MAURY e BLUMENSCHEIN, 2012).
Diante desses fatos, tornou-se necessária a busca pelo uso de outros materiais que diminuam a utilização do cimento. A aplicação das fibras de carbono em reforços estruturais minimizaria os impactos ambientais, pois reduzem o uso deste material (NÉIA, GARCIA e HÜTNER JR; 2011).
Como a resina epóxi não suporta altas temperaturas, é necessária a aplicação da argamassa refratária para proteger o adesivo epóxi que faz a interface entre PRFC e a estrutura de concreto, já que esta trata-se de um materail que possui baixa transferência de calor, mantendo as propriedades e resistência dessa estrutura. Sendo assim, protege estruturas que talvez fossem demolidas após enfrentarem um evento de incêndio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente item apresenta a fundamentação teórica sobre reforços em estruturas com fibras de carbono e o comportamento dessas estruturas quando sujeitas às altas temperaturas.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.1 Reforços em estruturas com fibras de carbono

No ano de 2003, a aplicação de materiais compósitos de fibras de carbono como alternativa de substituição às tradicionais chapas de aço tem se tornado cada vez maior (BEBER, 2003). Diferentemente do aço, esses materiais não são afetados pela corrosão eletroquímica e resistem aos efeitos corrosivos de ácidos, álcalis, sais e outros agentes agressivos (HOLLAWAY, 1993).
"O PRFC, por ter como uma de suas principais características uma excelente resistência à tração, é usado para vários tipos de reforço estrutural, atendendo às inúmeras exigências impostas nas obras de reforço estrutural" (CAETANO, 2008). No procedimento em que ocorre a colagem da fita de fibra de carbono com resina epóxi diretamente na peça de concreto a ser reforçada, a estrutura, como um todo, adquire muitas das características da fibra de carbono.
Estruturas importantes mundialmente já tiveram sua estrutura reforçada com fibras de carbono, como a *Tower Bridge* em Londres, ponte que passou por esse processo no ano de 2000, já que não podia ter suas características modificadas, apresentando como melhor alternativa este tipo de reforço (DE LUCA, 2006).
Os sistemas compostos que utilizam as fibras de carbono como elemento resistente, apresentam ótima resistência mecânica, estabilidade térmica reológica, alta resistência a ataques químicos diversos, bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas, e não são afetados pela corrosão por se tratarem de produtos inertes e de extrema leveza. Devido ao baixo peso específico do sistema (cinco vezes menor que o aço estrutural), pode-se desconsiderar o seu peso próprio nos esforços (MACHADO, 2002).
Segundo Beber (1999), a alta relação resistência/peso próprio e a boa resistência à corrosão eletroquímica se tornou um grande atrativo para aplicação desse material.
O coeficiente de dilatação térmica dos compostos unidirecionais de carbono varia de acordo com a direção e depende do tipo e volume da fibra e da resina. As fibras de carbono sofrem contração com o aumento de temperatura e dilatação com a diminuição da mesma (MACHADO, 2002).
Uma das vantagens dessas fibras em relação às chapas de aço coladas com resina epóxi é a simples aplicação. Além disso, esses materiais compósitos apresentam condutividade térmica menor que a do aço, reduzindo o efeito do fogo nas camadas internas de adesivo, onde o material compósito carboniza ao invés de queimar, mantendo o reforço operante por um período de tempo maior do que o reforço com chapa de aço colada (BEBER, 2003).

2.2 Comportamento do composto de fibras de carbono em relação ao fogo

Umas das questões que incentivaram o estudo aprofundado da aplicação das fibras de carbono foi a baixa resistência da resina epóxi em altas temperaturas, desperdiçando a resistência da fibra, já que esta resiste até 1000ºC (BEBER, 2003). Os fabricantes das resinas relataram que no mercado atual, as resinas suportam até 90º, configurando uma desvantagem na aplicação de técnicas que utilizam esse material como ponte de aderência entre o reforço e o substrato de concreto (FORTES,2003).
Em um ensaio realizado por Meier (1997) foi aquecido um forno a 650ºC e colocado vigas reforçadas com fibras de carbono. Notou-se que a fibra começou a queimar ocasionando uma lenta diminuição da seção transversal do reforço conduzindo a perda de rigidez. O desprendimento completo ocorreu após uma hora de exposição.
As resinas epoxídicas são classificadas como termoplásticas e termo estáveis. As termoplásticas podem se fundir repetidas vezes e novamente se solidificar quando são aquecidas e resfriadas. Já as termo estáveis não podem retornar ao estado inicial, elas necessitam de uma reação química (MACHADO, 2002).
Essas resinas passam de um estado frágil para um estágio vitrificado quando submetidas a altas temperaturas. A temperatura em que se inicia essa transição é conhecida como temperatura de transição vítrea TG, que se situa na ordem de 90ºC. Geralmente, a integridade estrutural de um sistema composto de fibras de carbono começa a se degradar em temperaturas superiores a TG, pois a resina não consegue manter inalterada a ponte de aderência das fibras de carbono com o substrato de concreto (MACHADO, 2002).
Os revestimentos comuns contra incêndios, tais como, painéis de gesso, fibras minerais, pinturas intumescentes, e outros, não proporcionam um isolamento térmico suficiente para manter o reforço na temperatura abaixo do TG.

2.3 Argamassa refratária

Segundo Fernandes (2012), um material refratário é aquele que possui a capacidade de suportar altas temperaturas sem perder suas propriedades físico-químicas. Usualmente são encontrados em fornos industriais, de laboratórios de

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

pesquisa e ensino, caldeiras, fornos domésticos e churrasqueiras. As principais características desses materiais são alta refratariedade, estabilidade mecânica, química, dimensional e ao choque térmico, baixa condutividade térmica e baixa permeabilidade.

As argamassas refratárias possuem uma característica peculiar quando são submetidas a altas temperaturas, conferindo maior proteção à peça em que estão aplicadas. Seu aspecto físico é sólido em pó, de cor cinza, e seu odor lembra o do cimento. Esse material trata-se de uma mistura homogênea de agregado(s) finos e superfinos, aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos ou adições, com propriedades de aderência e endurecimento (FERNANDES, 2012).

A definição da argamassa refratária segundo a NBR 8826 (2014) é como produto refratário não conformado constituído de grãos finamente moídos, podendo ser misturado com água e/ou aditivos ligantes. Pode ser acondicionado no estado seco ou úmido. As argamassas podem ser: de pega a quente, que adquire resistência após aquecimento; de pega ao ar, que adquire resistência após secagem, sem aquecimento ou de pega cerâmica que desenvolve resistência após aquecimento com aparecimento de novas fases.

Os principais agentes ligantes usados para a produção de argamassa refratária são: Os silicatos de sódio neutro ou alcalino com relação NaO2/SiO2 entre 1:1 (silicato), 1:2 (bissilicato) ou 1:3 (trissilicato), que existem tanto na forma de pó ou de xarope (solução). Os fosfatos de alumínio, tipo aluphos (monofosfato de alumínio hidratado) ou o próprio ácido fosfórico. Ainda existem outros de menor relevância em volume, são eles o sulfato de alumínio, sulfato de magnésio além das resinas fenólicas e epoxídicas mais comuns nos refratários antiácidos. Já em relação à carga mineral utilizada esta pode ser aluminosa, silicoaluminosa, básica, cromítica, quartzosa, a base de zircônia ou uma mistura delas, mas a incorporação de argila a esta carga mineral, normalmente na proporção entre 10 a 20%, é imprescindível. As argamassas mais utilizadas no meio refratário são as argamassas úmidas ligadas à bissilicato de sódio e ligantes fosfáticos (FERNANDES, 2012).

No caso de necessidade de abaixar o teor de argila é utilizado bentonito sódico, que é uma argila modificada de elevados índices de plasticidade e poder de inchamento, em proporções que normalmente variam entre 0,5% e 2,0%. As argamassas básicas, à base de sínter de MgO, são produzidas geralmente no estado seco devido à hidratação do MgO e formação de Mg(OH)2 durante a estocagem. Quando a necessidade é uma argamassa básica pronta para uso, mesmo que não sejam comuns, utiliza-se resinas líquidas (FERNANDES, 2012).

Ainda segundo Fernandes, 2012 a única limitação de uso da argamassa refratária é a aplicação em superfícies pintadas, superfícies metálicas e em madeiras.

2.4 Comportamento das argamassas de proteção térmica em relação ao fogo

O desempenho de uma argamassa de proteção térmica não é apenas no isolamento da temperatura, mas também na capacidade que ela possui de preservar o máximo possível a resistência inicial do concreto e diminuir os riscos de lascamentos explosivos (CUOGHI E FIGUEIREDO, 2007).

Argamassas com agregados leves são consideradas de bom desempenho quando submetidas a altas temperaturas devido a sua reduzida densidade e a sua baixa condutividade térmica (MAI, 2002 *apud* CUOGUI E FIGUEIREDO, 2007). Com baixa densidade, essas argamassas possuem baixa resistência mecânica e não oferecem bom desempenho estrutural, mas, argamassas de proteção térmica, como a argamassa refratária, objetivam conduzir pouco calor para o interior da estrutura e resistência mecânica suficiente somente para garantir aderência no substrato. (CUOGHI E FIGUEIREDO, 2007).

A Tabela 1 apresenta alguns agregados utilizados em argamassas de proteção térmica, onde a resistência mecânica dessas argamassas, a não ser a vermiculita e a perlita, está acima de 5 MPa, ou seja, a resistência mecânica dessas argamassas está próxima da resistência de argamassas comuns de revestimentos (CUOGHI E FIGUEIREDO, 2007).

Quadro 48 - Agregados naturais e artificiais utilizados em argamassas de proteção térmica

Tipo de Agregado	Densidade Concreto (kg/m^3)	Resistência Compressão (MPa)	Condutividade Térmica (W/mK)
Vermiculita	480	0,9	0,1 - 0,3
Perlita	520	3,0	0,1 - 0,2
Leca ®	1.300	14,0	0,3 - 0,6
Aglite ®	1.550	26,0	0,6
Lytag ®	1.600	37,5	0,5
Escória	2.000	27,5	0,9

FONTE: MAI (2002) *apud* CUOGUI E FIGUEIREDO (2007)

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

2.5 Ensaio de flexão

O ensaio de flexão foi realizado conforme a NBR 12142, a qual estabelece o método como deve ser feito o ensaio da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos de concreto. Esse ensaio consiste em apoiar o corpo de prova em dois pontos com uma distância L entre si e aplicar lentamente uma carga P crescente que gerará a flexão no centro do mesmo. O corpo de prova pode ter uma seção qualquer, porém as mais utilizadas são as circulares e retangulares (DO VALLE, 2013).
Este ensaio possui o objetivo de determinar a força máxima de ruptura, a tensão e a flecha (DO VALLE, 2013). É medido o valor da carga e feito uma relação carga x deformação máxima (RUCHERT, 2006).
O ensaio de flexão de três pontos é muito utilizado e de fácil execução. Nele é utilizada uma barra bi apoiada e aplicada a carga no centro da distância entre os apoios, já que naquele ponto ocorrerá a flexão máxima. A flexão será medida com o suporte de percurso da cruzeta da máquina de ensaios quando a conformação da máquina for compensada. Nas máquinas de ensaio de flexão, os apoios geralmente são roliços com possibilidade de giro o que ajuda a minimizar o atrito do corpo de prova com os suportes (RUCHERT, 2006).

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo, encontra-se apresentado o programa experimental desenvolvido para atingir os resultados do trabalho. Envolve as etapas que foram realizadas, os materiais e os equipamentos utilizados.

3.1 Sistematização do programa experimental

O programa experimental foi dividido em quatro etapas, conforme descritas a seguir.

3.1.1 Primeira etapa

Fase composta pela construção dos prismas de concreto necessários para a realização do ensaio.
Para a validação do programa experimental, foram definidas 3 séries de ensaio, representadas na Tabela 1. As séries foram divididas de acordo com sua temperatura, então, cada temperatura pré-determinada representa uma série de ensaio realizada.

Tabela 1 - Quantidade de peças prismáticas de concreto

Temperatura	Referência	Espessura de 5mm de argamassa	Espessura de 10 mm de argamassa
70°C	10	10	10
150°C	10	10	10
230°C	10	10	10

3.1.2 Segunda etapa

Trata-se da aplicação do reforço de PRFC e do meio de aderência, areia de granulometria média, ao redor de todo o prisma.

3.1.3 Terceira etapa

Trata-se da moldagem da argamassa refratária com o auxílio das formas de madeira e pregos para marcar as espessuras de 5mm e 10mm.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3.1.4 Quarta etapa

Por fim foram realizadas as séries de ensaios. Nessa etapa as peças de concreto foram colocadas na estufa durante 24 horas e logo após a retirada da estufa, foi realizado o ensaio a flexão nas peças, para determinar a máxima resistência de ruptura. O ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Positivo.

3.2 Materiais, equipamentos e execução

O programa experimental realizado será apresentado assim como os materiais e equipamentos utilizados

3.2.1 Primeira etapa

Os procedimentos para a confecção das peças de concreto foram executados em uma central de concreto pronto. As peças prismáticas de concreto foram moldadas com dimensões de 160mm x 40mm x 40mm e fabricadas em formas de aço inox que são utilizadas para ensaios de tração na flexão, compressão, retração e expansibilidade em argamassas.

3.2.2 Segunda etapa

Para realização do reforço estrutural com fibras de carbono foi utilizado como apoio, o Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (MACHADO, 2002) e a ficha técnica do produto Viapoxi Adesivo Gel.
O Viapol® Carbon que é um sistema de reforço estrutural à base de resinas e fibra de carbono. Esse sistema foi fornecido pela Viapol, empresa que patrocinou este trabalho.
O sistema é composto por:

i. Viapol® Carbon CFW 300 – manta de fibra de carbono
ii. Viapoxi adesivo gel – adeviso a base de resina epoxi

Passos de aplicação:

1° passo – Preparo da superficie da peça de concreto

O preparo da superfície das peças de concreto é apenas uma limpeza das superfícies dos primas

2º PASSO – Corte das fibras de carbono
A fibras de carbono foram cortadas nas dimensões adequadas para a aplicação nas peças, e para este corte foi utilizada uma tesoura comum.

3º PASSO – Aplicação da resina adesiva gel, da manta de fibra de carbono e da ponte de aderência (areia).
Nesse passo, foi aplicada a resina Viapoxi Adesivo Gel para que depois fosse possível colar as fibras de carbono no local. Este produto é bi componente, logo foi necessário misturar 2 partes do componente A para 1 parte do componente B, e aplicado aproximadamente o consumo de 0,75 kg/m². A manta de fibras de carbono é aplicada em cima da resina.
Após a aplicação da segunda camada de resina, foi colocada areia de granulometria média para melhorar a aderência da argamassa na resina e em torno de todo o prisma de concreto.

3.2.3 Terceira etapa
Para a aplicação da argamassa refratária foram utilizadas como apoio as recomendações do fabricante Siláqua.
Passos de aplicação:
1º PASSO – Fabricação das formas de madeira.
Para a facilidade de aplicação da argamassa refratária e eficiência em atingir as espessuras desejadas, foram construídas formas de MDF e para marcar exatamente as espessuras foram colocados pregos nas faces das formas

2º PASSO – Preparo da argamassa refratária e aplicação da mesma.
Misturou-se então a argamassa no traço orientado pelo fabricante, de maneira manual, em um recipiente limpo e protegido de sol, vento e chuva. Logo após o preparo da argamassa e da aplicação do desmoldante na forma, foi inserido com cuidado a argamassa dentro da mesma e compactado. Foi colocada a peça em concreto com as fibras de carbono voltadas para o fundo da forma, para que, no momento do rompimento, fosse possível identificar a localização da fibra de carbono.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

Para que não ocorressem fissuras na argamassa e que houvesse uma cura adequada, depois da moldagem foi empregada uma proteção com filme plástico nos prismas após 24 horas os prismas foram levados a câmara úmida onde permaneceram durante 24 horas.

3.2.4 Quarta etapa

Nesta etapa os corpos foram colocados em uma estufa para o aquecimento das peças de concreto.
A estufa utilizada é da marca DeLeo Equipamentos Laboratoriais, do tipo A8SE e possui potência de 4400W. As peças de concreto foram colocadas na estufa por um período de 24 horas e submetidas a temperaturas de 70ºC, 150ºC e 230ºC.
Para realização do rompimento a prensa utilizada na realização dos ensaios de resistência a flexão com a finalidade de determinar a máxima força de ruptura das peças reforçadas com PRFC é hidráulica de acionamento elétrico e módulo eletrônico de leitura, modelo PC200C da marca EMIC cuja capacidade máxima de carga é de 2.000 kN. O ensaio foi realizado no laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Positivo.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste item serão apresentados os resultados coletados em laboratório da Universidade Positivo, conforme executado no programa experimental, e a análise dos resultados.

4.1 Resultados dos ensaios de rompimento das peças de concreto

Para uma melhor apresentação e avaliação dos resultados foram coletados dados de peças sem o revestimento de argamassa refratária e com o revestimento da argamassa com 5 e 10 mm de espessura.
No ensaio à flexão, as peças de concreto foram rompidas e os valores das forças máximas de ruptura sofreram variabilidade devido à temperatura sujeita nas peças. A força máxima de ruptura das peças de concreto diminui com o aumento da temperatura, pelo fato da resina epóxi, segundo Fortes (2003), apresentar uma perda na sua capacidade resistente ao atingir uma temperatura aos 70ºC.
Neste item, buscou-se analisar a influência da aplicação da argamassa refratária na resistência à flexão de peças de concreto quando submetidas a temperaturas de 70ºC, 150ºC e 230ºC.

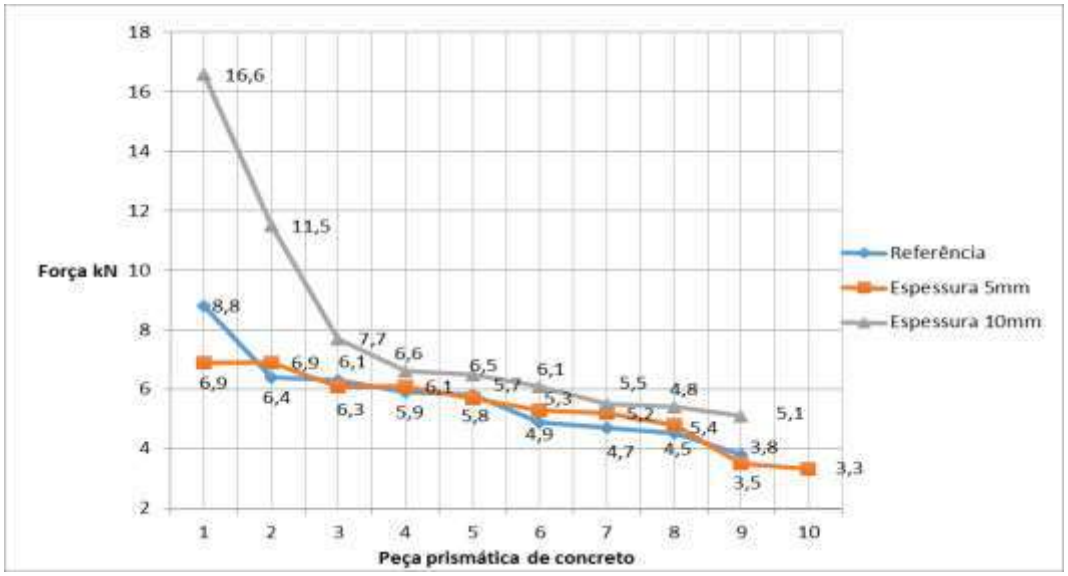
4.1.1 Temperatura de 70°C

Após as peças serem submetidas a uma temperatura de 70ºC por um período de 24 horas na estufa, foram para a prensa hidráulica para o ensaio à flexão. A Figura 1 representa a peça após ser submetida à estufa, iniciando o ensaio à flexão.



O Grafico 1 apresenta a variação entre as forças máximas de ruptura para as peças de referência, espessura de 5mm e espessura de 10mm.
Devido à variabilidade de alguns resultados, foi adotada a metodologia de Chauvenet, que expurga valores exorbitantes a partir do cálculo de um componente *y* que é rejeitado se o módulo do desvio padrão do valor em questão for maior que o desvio calculado, neste caso foi expurgado o primeiro rompimento das peças de referência e das peças de espessura 10mm.

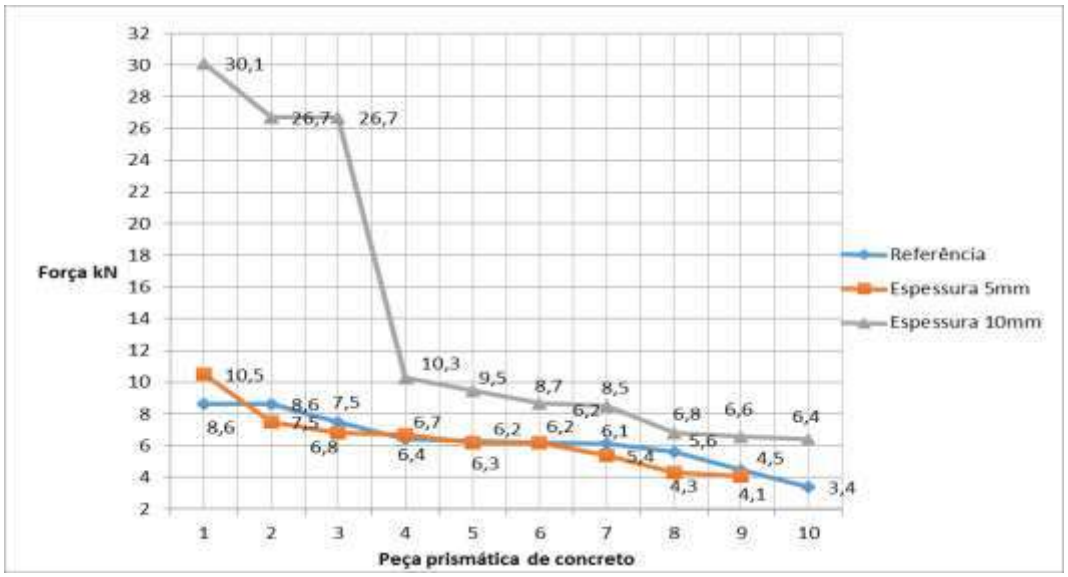
Abril de 2016
ISSN 2448-1459



No Grafico 1 pode-se observar que a espessura de 10mm contribuiu com a maior proteção do reforço, em 100% das peças, possibilitando a elas um ganho da resistência de 34,5% em relação a média de ruptura das peças de referência. Já a espessura de 5mm sofreu um decréscimo de resistência de 7,6% em relação a média de ruptura das peças de referência.

4.1.2 Temperatura de 150°C

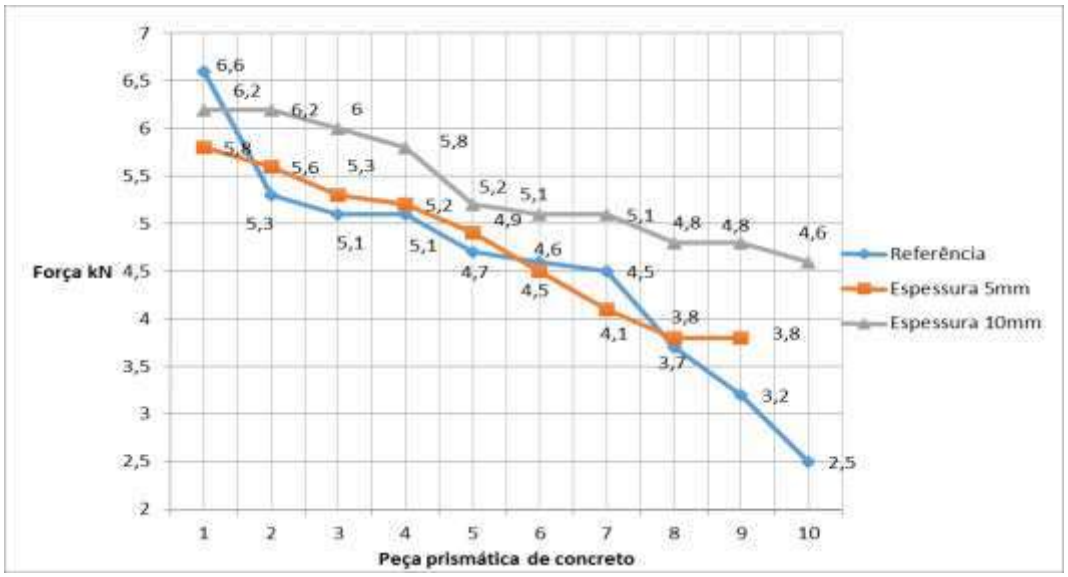
Após as peças serem submetidas a uma temperatura de 150ºC por um período de 24 horas na estufa, foram para a prensa hidráulica para o ensaio à flexão. O Grafico 2 apresenta a variação entre as forças máximas de ruptura para as peças de referência, espessura de 5mm e espessura de 10mm.



No Gráfico 2 pode-se observar que a espessura de 10mm contribuiu com uma maior proteção do reforço em todas as peças, possibilitando um ganho da resistência de 106,4% em relação às peças de referência. Já a espessura de 5mm contribuiu com um ganho de resistência de 5,4% em relação às peças de referência.

4.1.3 Temperatura de 230°C

As peças foram submetidas a uma temperatura de 230ºC por um período de 3 horas, e devido à essa alta temperatura, as peças começaram a entrar em chamas dentro da estufa da Universidade. Diante do o risco de incendiar a estufa, foi necessário levá-las imediatamente para a prensa hidráulica fazendo o ensaio à flexão.
Devido ao método de Chauvenet, tornou-se necessário expurgar alguns rompimentos, reduzindo a quantidade de peças analisadas. O Grafico 3 apresenta a variação entre as forças máximas de ruptura para as peças de referência, as de espessura de 5mm e as de espessura de 10mm.



No Gráfico 3 pode-se observar que a espessura de 10mm contribuiu com a maior proteção do reforço, possibilitando um ganho na resistência de 24,1% em relação a média das peças de referência, com 90% dos corpos possuindo ganho. Já a espessura de 5mm contribuiu com um ganho da resistência de 1,6% em relação a média das peças de referência.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise dos resultados obtidos no programa experimental, pode-se observar que os objetivos estabelecidos no começo deste trabalho foram atingidos, visto que foi analisada a influência na resistência à flexão da aplicação de diferentes espessuras de argamassa refratária em peças de concreto reforçadas com PRFC, quando as mesmas são submetidas à altas temperaturas. Comparando os ensaios realizados, pôde-se observar:

a) Quanto ao ensaio:

   I. Devido às três diferentes temperaturas e alta quantidade de peças a serem ensaiadas, não foi possível a colocação de todas as peças na estufa em um mesmo dia.

   II. Logo após 3 horas de aquecimento das peças na temperatura de 230°C o técnico responsável pelo laboratório da Universidade Positivo aconselhou o desligamento da estufa pelo super aquecimento da mesma, então todas as 30 peças foram mantidas na estufa durante o período de 3 horas, diferente do tempo nas demais temperaturas.

b) Quanto aos resultados dos ensaios realizados com peças reforçadas com PRFC revestidas com argamassa refratária submetidas à temperatura de 70ºC:

   I. As peças de concreto revestidas com argamassa refratária na espessura de **5 mm não obtiveram ganho** médio na resistência, possuindo um decréscimo médio de 7,6%.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

II. As peças de concreto revestidas com argamassa refratária na espessura de **10 mm** obtiveram um **ganho** médio na resistência de **34,5%** em relação a média das peças sem o revestimento de argamassa refratária.

III. O revestimento de argamassa refratária na espessura de 5mm não foi eficiente quando comparado com o revestimento de espessura 10mm, como já esperado, que contribuiu com um ganho na resistência maior que a espessura de 5mm.

IV. **100%** das peças com espessura de **10 mm** obtiveram **ganho** de resistência quando comparadas com as peças de referência.

V. **60%** das peças com espessura de **5 mm** obtiveram **ganho** de resistência quando comparadas com as peças de referência.

c) Quanto aos resultados dos ensaios realizados com peças reforçadas com PRFC revestidas com argamassa refratária submetidas à temperatura de 150ºC:

I. As peças de concreto revestidas com argamassa refratária na espessura de 5mm obtiveram um ganho médio na resistência de 5,4% em relação a média das peças sem o revestimento de argamassa refratária.

II. As peças de concreto revestidas com argamassa refratária na espessura de **10 mm** obtiveram um **ganho** médio na resistência de **106,4%** em relação a média das peças sem o revestimento de argamassa refratária.

III. O revestimento de argamassa refratária na espessura de 5 mm não foi eficiente quando comparado com o revestimento de espessura 10 mm que obteve um ganho de resistência maior que a espessura de 5 mm.

IV. **100%** das peças com espessura de **10 mm** obtiveram um **ganho** de resistência quando comparadas com as peças de referência.

V. **20%** das peças com espessura de **5 mm** obtiveram um **ganho** de resistência quando comparadas com as peças de referência.

d) Quanto aos resultados dos ensaios realizados com peças reforçadas com PRFC revestidas com argamassa refratária submetidas à temperatura de 230ºC:

I. As peças de concreto revestidas com argamassa refratária na espessura de 5 mm obtiveram um ganho médio na resistência de 1,6% em relação a média das peças sem o revestimento de argamassa refratária.

II. As peças de concreto revestidas com argamassa refratária na espessura de **10 mm** obtiveram um **ganho** médio na resistência de **24,1%** em relação a média das peças sem o revestimento de argamassa refratária.

III. **90%** das peças com espessura de **10 mm** obtiveram um **ganho** de resistência quando comparadas com as peças de referência.

IV. **60%** das peças com espessura de **5 mm** obtiveram um **ganho** de resistência quando comparadas com as peças de referência.

e) Quanto a comparação entre os resultados obtidos das três temperaturas:

I. A espessura de 10 mm apresentou maior ganho de resistência comparado com a espessura de 5 mm em todas as temperaturas analisadas, como já era esperado.

II. A temperatura de 150°C na espessura de 10 mm apresentou eficiência significativa quando comparado com as temperaturas de 70°C e 230°C.

Enfim, diante das considerações que foram tecidas a partir do que foi observado durante o programa experimental, é possível afirmar que a argamassa refratária mostrou-se favorável na proteção térmica do adesivo epóxi, tendo a ação mais satisfatória com espessura aproximada de 10 mm. Porém, ainda não é possível determinar até qual temperatura ela é capaz de proteger a peça reforçada com PCRFC, tornando necessários mais testes com temperaturas entre 150ºC e 230ºC.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro **NBR 8826/2014 -** Materiais Refratários Terminologia.

BEBER, A.J. **Avaliação do desempenho de vigas de concreto armado reforçadas com lâminas de fibras de carbono.** Porto Alegre, 1999. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BEBER, A.J. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. Porto Alegre, 2003. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

CAETANO, T.A. **Reforço de vigas de concreto com fibra de carbono.** São Paulo, 2008. TCC (Graduação), Universidade Anhembi Morumbi.

CUOGHI, Ricardo de Scarabello; FIGUEIREDO, Antonio Somingues de. **Aspectos de análise de risco das estruturas de concreto em situação de incêndio.** 2007. 31 f. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

DE LUCA, L.C.S. **Cisalhamento em vigas de concreto armado reforçadas com compostos de fibras de carbono: Avaliação de critérios de projeto**. Florianópolis, 2006. Tese (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina.

DNIT- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Estrutura de Transportes**. Disponível em http://www1.dnit.gov.br. Acesso em: 20 de Março de 2015 às 13 horas.

DO VALLE, R.M. **Estudo da influência da forma da partícula de borracha de pneu no módulo de elasticidade de argamassas de revestimentos.** Juiz de Fora, 2013. TCC (Graduação), Universidade Federal de Juiz de Fora.

FERNANDES, Manoel Robério Ferreira. **Estudo das propriedades das argamassas refratárias úmidas com o tempo de estocagem.** 2012. 231 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Metalúrgica, Materiais e de Minas, Universidade de Minas Gerais, Minas Gerais, 2012.

FORTES, A.S.; PADARATZ, I.J.; BARROS, A.O.; FREIRE, I.F. **Eficiência do reforço de CFRP em estruturas de concreto sob efeito térmico**. V simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto, 2003.

HOLLAWAY, L. C. **Polymer Composites for civil and structural engineering.** Glasgow, Blackie Academic and Professional, 1993.

HOLLAWAY, L.C, LEEMING, M. **Strengthening of reinforced concrete structures: Using externally-bonded FRP composites in structural and civil engineering**, 1999.

MACHADO, A.P. **Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. Belo Horizonte, 2002.

MAURY, M.B.; BLUMENSCHEIN, R.N. **Produção de cimento: Impactos à saúde e ao meio ambiente**. Sustentabilidade em debate. Brasília, 2012.

NÉIA, J.A.; GARCIA, L.C.D.; HÜTNER JR., O.L. **Reforço com fibra de carbono em alvenaria estrutural de blocos cerâmicos antigos**. Curitiba, 2011. TCC (Pós-Graduação), Instituto IDD.

PERELLES, D.H. **Estudo Analítico do comportamento de uma viga biapoiada de concreto armado reforçada com um compósito de fibra de carbono.** Curitiba, 2013.

RUCHERT, C.O.F.T. **Ensaios Mecânicos do Materiais- Flexão, Fluência e Fadiga**. São Paulo, 2006.