Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

CCET

PPGCEM

AVALIAÇÃO DE CONCRETOS REFORÇADOS POR CONFINAMENTO COM MANTA DE FIBRA DE VIDRO ESTRUTURAL E PRÉ-IMPREGNADA

FÁBIO SÉRGIO DA COSTA PEREIRA

NATAL-RN

Novembro/2009

Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

AVALIAÇÃO DE CONCRETOS REFORÇADOS POR CONFINAMENTO COM MANTA DE FIBRA DE VIDRO ESTRUTURAL E PRÉ- IMPREGNADA

FÁBIO SÉRGIO DA COSTA PEREIRA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Compósitos

ORIENTADOR: Prof. Antonio Eduardo Martinelli

CO-ORIENTADOR: Prof. Rubens Maribondo do Nascimento

Natal-RN

Novembro/2009

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Dedico este trabalho a Deus por permitir o término de mais uma etapa de minha vida acadêmica e à minha esposa Janaína Pereira pelo incentivo, compreensão e carinho sempre presentes.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me ajudado a conciliar a vida profissional com a vida acadêmica durante o período do Doutorado.

Ao meu Pai, José Pereira da Silva pelo exemplo de profissional na área de cálculo estrutural e de professor nos ensinamentos diários transmitidos desde o início de minha atividade profissional.

A minha Mãe, Dorielma Pereira e meu irmão Flávio Pereira pelo incentivo para o término de mais esta etapa de minha vida acadêmica.

A equipe técnica da Engecal, pela realização do dimensionamento e execução do reforço com compósitos nos corpos-de-prova, bem como, a disponibilização das fotos de aplicações de reforço estrutural com compósitos.

Aos Professores Antonio Eduardo Martinelli e Rubens Maribondo do Nascimento pelos ensinamentos transmitidos e as horas direcionadas para orientação do trabalho.

Ao Técnico Francisco Braz responsável pelo Laboratório de Eng. Civil da UFRN pela ajuda na preparação das amostras e execução dos ensaios de resistência à compressão.

Ao técnico Bruno do laboratório de cimentos da UFRN pela ajuda nos ensaios de resistência à compressão realizados no laboratório de cimentos da UFRN.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 ï INTRODUÇÃO 14
CAPÍTULO 2 ï REFORÇOS DE ESTRUTURAS COM COMPÓSITOS 18
2.1 ï Fibras de vidro 18
2.1.1 ï Processos de fabricação da fibra de vidro 19
2.1.2 ï Tipos de fibra de vidro de reforço 21
2.2 ï Resinas utilizadas nos sistemas compósitos 22
2.2.1 ï Imprimadores primários 23
2.2.2 ï Regularizadores de superfície 24
2.2.3 ï Resinas epóxi 24
2.2.4 ï Adesivos 25
2.2.5 ï Sequência de aplicação do reforço estrutural com compósitos 26
2.3 ï Manta de fibra de vidro pré-impregnada 27
2.4 ï Reforço estrutural com compósitos por confinamento 30
2.5 ï Teorias de adesão de compósitos 36
2.6 ï Desempenho de reforço estrutural com compósitos 37
CAPÍTULO 3 - ESTADO DA ARTE DE AVALIÇÃO DA ADERÊNCIA CONCRETO ï COMPÓSITO 44
CAPÍTULO 4 ï PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL 52
4.1 ï Caracterização dos materiais 52
4.2 ï Definição do traço 53
4.3 ï Definições dos tipos de corpos-de-prova e planejamento dos Ensaios 54
4.4 ï Moldagens, adebsamento e cura dos corpos-de-prova de concreto 55
4.5 ï Reforço estrutural utilizado 56
4.6 ï Caracterização dos ensaios 60
4.6.1 ï Sondagem acústica 60
4.6.2 ï Resistência à compressão (tração por compressão diamentral)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

62
4.7 ï Análise da fratura 63
4.8 ï Teor de cloretos 63
4.9 ï Carbonização 63
4.10 ï Medição do ph do concreto 64
4.11 ï Arrancamento (Pull-off) 64
4.12 ï Ultra-Som 64
CAPÍTULO 5 ï RESULTADOS E DISCUSSÃO 67
CAPÍTULO 6- CONCLUSÕES 84
PERSPECTIVAS PARA FUTUROS TRABALHOS 87
CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA PARA INDÚSTRIA DACONSTRUÇÃO CIVIL 88
REFERÊNCIAS 89

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 ï Fabricação da fibra de vidro 15
FIGURA 2 ï Aplicação do primer epoxídico em reforço estrutural 20
FIGURA 3 ï Apicação do regularizador de superfície em reforço Estrutural 21
FIGURA 4 ï Aplicação de epóxi estruturante em reforço estrutural 23
FIGURA 5 - Aplicação de revestimento protetor em reforço Estrutural 24
FIGURA 6 - Aplicação de sistema compósito em reforço estrutural 25
FIGURA 7 ï Reforço estrutural concluído com utilização de sistema Compósito 26
FIGURA 8 ï Vista da prévia impregnação com água da manta de Fibra antes da aplicação na estrutura à ser reforçada 27
FIGURA 9 ï Vista da aplicação de reforço estrutural em fundo de Viga de concreto armado com manta de fibra pré-impregnada 27
FIGURA 10 ï Vista do reforço estrutural por cintamento de pilar de Concreto armado de viaduto concluído com utilização de manta de Fibra de vidro pré-impregnada 29
FIGURA 11 ï Vista do reforço estrutural de uma ponte de concreto Armado concluído com utilização de manta de fibra de vidro pré-Impregnada 29
FIGURA 12 ï Diagrama tensão/deformação para concreto em Vários graus de confinamento 30
FIGURA 13 ï Diagrama tensão/deformação para diversas seções Transversais de colunas 32
FIGURA 14 ï Comportamento esquemático da relação tensão x Deformação do concreto confinado 35
FIGURA 15 ï Características de resistência à tração dos sistemas

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

..... 35
FIGURA 16 ï Micrografia da fibra de vidro apresentando crateras
Devido a não formação de uma camada contínua e nivelada _____ 36
FIGURA 17 ï Micrografia da fibra de vidro apresentando poros
Superficiais com aparência de ñburacosò de alfinete _..... 41
FIGURA 18 ï Micrografia da fibra de vidro apresentando
Delaminações causadas pela má aderência __..... 41
FIGURA 19 ï Micrografia da fibra de vidro apresentando trincas __ 42
FIGURA 20 ï Micrografia da fibra de vidro apresentando bolhas de
Aguas após contato prolongado com a água _..... 42
FIGURA 21 ï Micrografia da fibra de vidro apresentando bolhas de
Ar devido a falhas na aplicação da fibra de vidro ____..... 43
FIGURA 22 ï Distribuição das tensões interfaciais normais e de
Cisalhamento ao longo do comprimento colado do sistema
Compósito 43
FIGURA 23 ï Esquema do plano das tensões do sistema
Compósito 44
FIGURA 24 ï Ensaio de arrancamento _..... 45
FIGURA 25 ï Ensaio de arrancamento concluído com ruptura
Ocorrendo no substrato de concreto ___..... 48
FIGURA 26 ï Esquema de ensaio de sondagem acústica
(a martelo) 49
FIGURA 27 ï Corpos-de-prova após a cura antes dos ensaios de
Sondagem acústica e resistência à compressão ainda sem reforço
Estrutural 50
FIGURA 28 ï Detalhe da mantra de fibra de vidro tradicional 54
FIGURA 29 ï Detalhe da manta de fibra de vidro pré-impregnada _ 56
FIGURA 30 ï Corpo-de-prova após aplicação de primer epoxídico
Para aderência da manta de fibra de vidro tradicional (detalhe brilho
Do epóxi) 58
FIGURA 31 ï Corpo-de-prova após aplicação de água para aderência
Da manta de fibra de vidro pré-impregnada ___..... 58
FIGURA 32 ï Corpos-de-prova com reforço de manta de fibra de
Vidro tradicional 58

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

om reforço de manta de fibra de
Vidro pré-impregnada 59
FIGURA 34 ï Detalhe do transpasse de 10 cm utilizado em ambos
Corpos-de-prova 59
FIGURA 35 ï Corpos-de-prova sem reforço expostos à névoa
Salina 60
FIGURA 36 ï Corpos-de-prova com reforço de manta de fibra
de vidro pré-impregnada durante ensaio de sondagem acústi ca 60
FIGURA 37 ï Vista do corpo-de-prova com reforço de manta de
fibra de vidro tradicional durante ensaio de sondagem acústi ca 61
FIGURA 38 ï Corpo-de-prova de 20 MPa, utilizado sem reforço
Durante ensaio de resistência à compressão 62
FIGURA 39 ï Corpo-de-prova reforçado com manta de fibra de
vidro pré-impregnada durante o ensaio de resistência à
compressão 63
FIGURA 40 ï Vista do hidrojateamento de areia durante a recuperação
Estrutural dos pilares da residência 66
FIGURA 41 ï Vista do reforço estrutural à flexo-compressão
Realizado nos pilares da residência 66
FIGURA 42 - Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional
Durante ensaio de resistência à compressão 69
FIGURA 43 ï Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional
Durante ensaio de resistência à compressão (rompimento do
Transpasse) 69
FIGURA 44 ï Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional
Após ensaio de resistência à compressão(rompimento do
Transpasse e descolamento da interface manta/concreto) 69
FIGURA 45 ï Corpo-de-prova com reforço da manta
Pré-impregnada durante ensaio de resistência à compressão (não
Rompimento do transpasse) 71
FIGURA 46 ï Corpo-de-prova com reforço da manta
Pré-impregnada durante ensaio de resistência à compressão 71
FIGURA 47 ï Vista da região do transpasse unida da manta de
Fibra de vidro pré-impregnada caracterizando uma maior aderência

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

..... 72
FIGURA 48 ï Vista da região do transpasse unida da manta de fibra de vidro pré-impregnada caracterizando uma maior aderência da interface manta/concreto(área fraturada menor 73
FIGURA 49 ï Vista da superfície de fratura da manta de fibra de Vidro tradicional com ruptura e deslocamento da interface manta/ Concreto 73
FIGURA 50 ï Vista da superfície de fratura da manta de fibra de Vidro pré-impregnada e da união da interface manta/concreto 75
FIGURA 51 ï Detalhe da união manta/concreto da manta de vidro Pré-impregnada 76
FIGURA 52 ï Vista da interface manta/concreto da manta de fibra De vidro tradicional após ensaio de pull-off 78
FIGURA 53 ï Vista da interface manta/concreto da manta de fibra De vidro pré-impregnada após ensaio de pull-off 78
FIGURA 54 ï Vista do corpo-de-prova após a aspersão de nitrato De prata 79
FIGURA 55 ï Vista do corpo-de-prova após a aspersão da Fenolftaleína 79
FIGURA 56 ï Vista do corpo-de-prova após aplicação do lápis de Ph e comparação com a escala de cores 80
FIGURA 57 ï Vista do corpo-de-prova durante o ensaio de Ultra-som 80

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

STA DE TABELAS

TABELA 1 ï Propriedades da manta de fibra de vidro 22
TABELA 2 ï Propriedades da manta de fibra de vidro Pré-impregnada 28
TABELA 3 ï Resultados dos ensaios realizados com o cimento Utilizado 52
TABELA 4 ï Ensaios realizados no cascalhinho utilizado 53
TABELA 5 ï Ensaios realizados na areia utilizada 53
TABELA 6 ï Resultados de tensões máximas obtidas da manta de Fibra de vidro tradicional 68
TABELA 7 ï Resultados de tensões máximas obtidas da manta de Fibra de vidro pré-impregnada 70

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACI - Instituto Americano de Concreto

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

RESUMO

Em virtude da ocorrência de patologias na utilização de reforços estruturais com compósitos, com apresentação de descolamento da manta do concreto, foi identificada a necessidade de se avaliar o desempenho dos concretos reforçados com a fibra de vidro. Sendo o objetivo principal deste trabalho, avaliar estes concretos, através de metodologias de ensaios, utilizando concretos com resistências baixas com reforço estrutural por confinamento por fibra de vidro pré-impregnada e por manta de fibra de vidro tradicional. A primeira etapa do trabalho consistiu na elaboração das metodologias de análise, optando-se por quatro tipos, a sondagem acústica, resistência à compressão,o pull-off e o ultra-som. Em seguida, foram realizados os ensaios utilizando as quatro metodologias escolhidas em 30 corpos-de-prova de 5x10 cm, sendo 15 reforçados com a manta de fibra de vidro tradicional, com 5 corpos-de-prova expostos a um ambiente marinho da orla marítima de Natal-RN e sendo 15 reforçados com a manta de fibra de vidro pré-impregnada, também com 5 corpos-de-prova expostos a um ambiente marinho da orla marítima de Natal-RN. Após a realização dos ensaios de sondagem acústica, verificou-se a inexistência de delaminações e bolhas de ar nas amostras analisadas, comprovando a inexistência de falhas grosseiras na aplicação dos reforços tanto na manta de fibra de vidro tradicional, como na da manta de fibra de vidro pré-impregnada. Depois de executadas as metodologias de ensaios de resistência à compressão e pull-off, observou-se que os corpos-de-prova reforçados com a manta de vidro pré-impregnada apresentaram tensões máximas superiores às obtidas com a manta de fibra de vidro tradicional, consequentemente uma aderência maior, com a formação de uma menor área de fratura, ao contrário da manta de vidro tradicional, que apresentou tensões máximas inferiores, com uma maior área de fratura. Verificou-se ainda que a manta de fibra de vidro tradicional apresentou descolamento da interface manta/concreto, ao contrário da manta de fibra de vidro pré-impregnada, que apresentou uma maior aderência na interface manta/concreto. No ensaio de ultra-som não se observou presença de fissuras na interface manta/concreto, obtendo-se para ambas as mantas, boas compacidades do concreto. Ao final do trabalho foram elaboradas e propostas duas metodologias de ensaios para avaliação das estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos, para normalização, a sondagem acústica e o pull-off.

PALAVRAS-CHAVE: Aderência; Compósitos; Concreto; Fibra de vidro.

ABSTRACT

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.

Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

eases in the use of structural reinforcements in composites, with presentation of concrete blanket detachment, has been identified the need to evaluate the performance of concrete reinforced with glass fiber. This study aims to evaluate these concretes by means of testing methodologies, using concrete with low resistance with structural reinforcement for confinement by pre-impregnated glass fiber and traditional fiberglass blanket. The first stage of work was the development of methodologies for analysis, opting for four types, such as the acoustic survey, strength to compressive, the pull-off and ultrasound. Next, tests were carried out using the four selected methodologies in 30 of proof-of-specimens by 5x10 cm, 15 were reinforced with the traditional fiberglass blanket with 5-specimens exposed to test a marine environment of marine coastline of Natal-RN and 15 were reinforced with a pre-impregnated glass fiber blanket, as well as 5-specimens exposed to a test environment of the marine coastline of Natal-RN. After conducting the acoustic survey, it has been verified a lack of delaminating and air bubbles in the samples, confirming the absence of gross shortcomings in the implementation of the ribs both the traditional fiberglass blanket and in the pre-impregnated fiber glass blanket. After carrying out methods of pull-off and compressive strengthening test it was observed that the reinforced proof-bodies with pre-impregnated glass blanket showed maximum stresses higher than the traditional fiberglass blanket; consequently a greater grip with the formation of a smaller area of fracture, unlike traditional glass mat, which showed lower maximum stresses, with a greater area of fracture. It was also found that the traditional fiberglass blanket presented detachment of blanket-concrete interface, unlike the pre-impregnated fiberglass blanket, which showed a better grip on the blanket-concrete interface. In the trial of ultrasound there was no presence of cracks in the blanket-concrete interface, yielding to both blankets good compactness of the concrete. At the end of this work, they were developed and proposed two methods of testing for evaluation of reinforced concrete structures with composites, for standardization, the acoustic survey and pull-off.

KEY-WORDS: Adhesion; Composites ; Concrete; Fiberglass.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo Beber, Santarosa e Campos(2006) e Toutanji(1999), a crescente necessidade de reabilitação das edificações, tem conduzido a um número cada vez maior de investigações nesta área de conhecimento. A utilização de materiais e componentes de baixa qualidade, especificações de projeto fora dos padrões estabelecidos por normas, exposição a ambientes agressivos, sobrecarga nas estruturas e danos devidos a desastres naturais podem causar sérias deteriorações na infra-estrutura.

A escolha da técnica de reforço deve levar em consideração as particularidades de cada método.

Alargamento da estrutura com adição de nova camada de concreto e armadura solidarizada ou não à estrutura existente são métodos adotados em pilares, vigas, lajes, paredes, através de concreto projetado (grandes áreas) e grout (pequenas áreas).

Pós-tensionado é a técnica de introduzir um elemento que, após tensionado, absorve parte das cargas atuando sobre a estrutura. Este elemento pode ser introduzido no interior da estrutura existente ou utilizado externamente.

Alívio de tensões é o método que reduz as tensões na estrutura ou em parte da mesma. Um dos métodos mais utilizados é do alívio de tensões com a criação de novas juntas, alívio de cargas.

Reforço passivo é a técnica em que o reforço não atua até que as cargas adicionais (passivas ou ativas) sejam aplicadas e / ou que a deformação adicional aconteça.

Reforço ativo é a técnica que permite que o reforço imediatamente atue no suporte das cargas (ativas ou passivas). Transferência de carga é a técnica de transferir a carga para outra parte da estrutura. Exemplo: piso industrial.

O desenvolvimento de materiais poliméricos avançados possibilitou sua utilização em diversas aplicações industriais. Por vários anos esses materiais têm sido empregados nas indústrias aeroespacial e de defesa, nas construções

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

até mesmo na de equipamentos esportivos. rodução desses materiais, aliado à falta de informações técnicas adequadas limitaram ou inibiram por longo tempo a utilização dos materiais poliméricos avançados na indústria da construção civil. Contudo, a constante redução de custos das matérias-primas e dos processos industriais de manufatura acabou tornando esses materiais cada vez mais competitivos em relação aos tradicionalmente utilizados para a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado e/ou protendido. Essa viabilidade econômica, por sua vez, permitiu a realização de projetos de pesquisa dirigidos especificamente para o uso dos materiais poliméricos avançados na indústria da construção civil.

Materiais compósitos, consistindo de polímeros reforçados com fibras, começaram a ser produzidos industrialmente a partir de 1952. O maior impulso dado a utilização de compósitos no reforço de estruturas de concreto armado foi dado pelo governo japonês, em virtude da ocorrência de frequentes terremotos, executando centenas de aplicações de reforço em suas estruturas com as fibras de carbono, (RAY PUBLISSHING PUBLICATION) (2002).

A primeira aplicação de um sistema compósito na América Latina data de 1998, com o reforço estrutural do Viaduto de Santa Teresa. Existem atualmente mais de 300 obras de reforço somente no Brasil com a utilização de compósitos. A mais frequente patologia existente no reforço com compósito está no descolamento da manta de reforço do concreto. Isto ocorre principalmente pela má aplicação do reforço com falha na distribuição contínua do primer epoxídico, componente responsável pela ligação entre o concreto e o compósito, dentre outros fatores, conforme ilustrado na Figura 1.

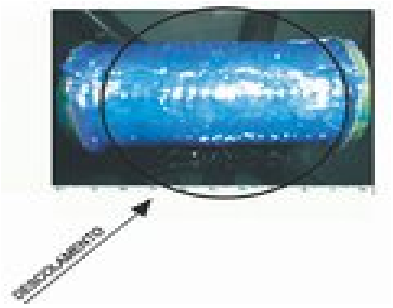


Figura 1 ï Falha na distribuição contínua do primer epóxi ocorrendo descolamento da manta/concreto

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o de obras reforçadas que apresentam esta ervou a necessidade de se avaliar a aderência concreto/compósito em diferentes tipos de concreto e de reforços utilizados.

No Brasil, as pesquisas sobre aderência de compósitos a concretos ainda são incipientes. A maior parte dos estudos encontrados na literatura técnica tratam das ligações dos concretos com a fibra de carbono, segundo Cabral e Melo (2004). No início da década de 2000, foram iniciados os trabalhos experimentais e teóricos relativos à aderência entre os compósitos e o concreto. Dentre eles podem-se citar os trabalhos de Cabral e Melo (2004) e Sanchez e Meneguel(2002), pioneiros na investigação da interpretação do fenômeno da aderência compósito-concreto. Vale salientar que ambos os trabalhos utilizaram o compósito fibra de carbono para análise.

Atualmente, é utilizada uma metodologia de ensaio de aderência normatizada pelo ACI (American Concrete Institute). Ela consiste em avaliar a qualidade da aplicação do reforço, conforme Machado (2002), o pull/off.

O pull-off é o teste de arrancamento de fibras. Ele consiste em colar uma chapa de aço quadrada sobre o sistema compósito aplicado e através de um dispositivo adequado promover o arrancamento desta chapa, medindo-se a força na fibra necessária para se produzir o arranque. A sondagem acústica, é uma técnica qualitativa, não normatizada, que consiste em se avaliar a aderência manta/concreto, através de um martelo de aço. Ao longo da peça de concreto reforçado realizam-se pancadas com o martelo de aço para de acordo com o som obtido se detectar as deformações e bolhas de ar existentes na interface manta/concreto. A produção de um som grave, salienta a aderência manta/concreto, e um som oco da pancada martelo/concreto salienta a a falta de aderência manta/concreto. Esta técnica permite a descoberta de grandes defeitos(bolhas de ar,delaminações), sendo um ensaio prático e rápido, para uma avaliação e descoberta de grandes defeitos na aplicação do reforço.

Neste trabalho foram adotadas quatro metodologias para avaliação dos concretos reforçados com a fibra de vidro tradicional e pré-impregnada, a sondagem acústica, o ensaio de compressão,o pull-off e o ultra-som. Foi também analisada a influência da orla marítima na aderência manta/concreto, expondo parte dos corpos-de-prova à praia de Ponta Negra-Natal-RN, por 60 dias.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ação da aderência in-loco foi realizado um ncia em Ponta Negra-Natal-RN, com as duas mantas de fibra de vidro estudadas (tradicional e pré-impregnada), por flexo-compressão, onde se realizaram o pull-off nos dois tipos de manta e a sondagem acústica, fazendo ao final do trabalho uma tabela correlativa entre todos os ensaios realizados na pesquisa, relacionando os resultados quantiativos (obtidos em laboratório) e os qualitativos(obtidos in-loco). A escolha da resistência dos corpos-de-prova de 20 MPa, deu-se em primeiro lugar , porque quanto menor a resistência do concreto, maior a deformação e maior a expansão lateral, evidenciando, assim, uma visão mais ampla dos efeitos ao confinamento e da aderência. Em segundo lugar, pelo fato que a maioria dos casos onde se executa o reforço estrutural por confinamento em pilares de concreto armado,são por resistência à compressão inferior à de projeto, com resistências chegando ao máximo à 25 MPa.

A escolha por pilares circulares, também se deve ao fato de que os reforços por encamisamento por compósitos só funcionam totalmente em pilares circulares, em pilares retangulares e quadrados normalmente se faz um encamisamento de grout com adição de novas armaduras. Além das quatro metodologias citadas foram realizadas análises das fraturas dos corpos-de-prova, para avaliar a localização, o formato e a área das superfícies, fazendo-se um comparativo das fraturas com reforço com manta de fibra de vidro tradicional e manta de fibra de vidro pré-impregnada. Nestas análises foram ainda realizados os seguintes ensaios no concreto utilizado: teor de cloretos, carbonatação e ph. A escolha deste novo tipo de manta de fibra de vidro (pré-impregnada) foi feita principalmente em virtude da possibilidade de se obter com a sua aplicação uma maior aderência e tensões máximas obtidas quando comparada com manta de fibra de vidro tradicional, além de outras vantagens proporcionadas pela sua aplicação como a não necessidade de aplicação de epóxis. Portanto o objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho dos concretos reforçados com as mantas de fibra de vidro tradicional e pré-impregnada, através de ensaios qualitativos e quantitativos in-loco e em laboratório, utilizando concretos com reforço estrutural por confinamento por fibra de vidro.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

CAPÍTULO 2

REFORÇOS DE ESTRUTURAS COM COMPÓSITOS

2.1- Fibras de vidro

Segundo Machado (2002), a fibra de vidro foi por muito tempo predominante para muitas aplicações na engenharia civil devido ao balanço econômico entre o seu custo e as características de resistência específica. As fibras de vidro são disponíveis comercialmente segundo a formulação denominada E-Glass. O material conhecido como E-Glass é produzido a partir de uma família de vidros obtidos de silicatos de cálcio e alumina, podendo ser moldados de várias maneiras e com aplicações virtualmente ilimitadas. A fibra de vidro se constitui basicamente da união de óxido de silício e vários outros óxidos (alumina, alcalinos e alcalinotérreos) sendo na prática mais utilizadas aquelas à base de silício e que possuem pelo menos dois silicatos, um alcalino (silicato de sódio) e outro alcalinotérreo (silicato de cálcio). As suas principais propriedades são o baixo coeficiente de dilatação térmica, boas propriedades mecânicas, facilidade de processamento, isotropia, durabilidade. As fibras de E-Glass são responsáveis por cerca de 80 a 90 % da produção comercial de fibras de vidro.

Como todo compósito estruturado com fibras, o sistema E-Glass é anisotrópico relativamente ao seu comprimento (direção das fibras). Contudo, existem técnicas de configuração das fibras e os procedimentos têxteis específicos que eventualmente podem arranjar as fibras de forma a que o produto final adquira um grau significativamente alto de quase isotropia em seu desempenho. As fibras de vidro são incomparavelmente mais resistentes relativamente às demais formulações de vidros, tais como os utilizados em vidraças ou garrafas.

A resistência das fibras de vidro é fortemente influenciada pelo grau de proteção contra agressões ambientais, abrasões e mesmo contaminação por

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Admite-se, teoricamente, que a superfície dos vidros possui vazios submicroscópicos que agem como concentradores de tensões. Além disso, a exposição a um ambiente com ph elevado pode produzir degradações ou rupturas que variam de intensidade em função do tempo de exposição. Esses problemas potenciais foram descobertos já nos primeiros anos de fabricação das fibras de vidro e propiciaram um desenvolvimento continuado de tratamentos protetores. Atualmente esses tratamentos são universalmente aplicados ainda no estágio de fabricação das fibras. Dependendo da matriz resinosa aplicada, esses pré-tratamentos permitem limitar as perdas de resistências por fluência entre 5% e 10%, após testes com água fervente com duração de quatro horas.

2.1.1- Processos de fabricação da fibra de vidro

Segundo Antequera; Jimenez e Miravete (1991), existem vários processos de fabricação de fibra de vidro(fusão direta, fusão de bolas). Porém, para todos eles pode-se dividir o processo de fabricação em cinco etapas, conforme (figura 2):

- Mistura e fusão: após análise, moagem e dosagem dos óxidos eles são misturados de modo homogêneo e levados a um forno de fusão utilizando-se temperaturas entre 1.550°C (fornos caros devido à utilização de refratários como óxido de zircônio e cromo);

- Fibramento: o material fundido no forno é distribuído por canais de furos entre 2 e 8 mm (fieiras,1.250 °C). Na saída o vidro resfria primeiro por radiação e depois por pulverização de água;

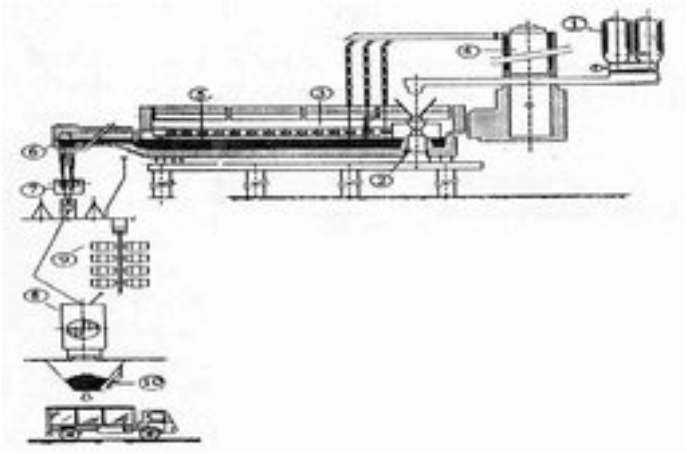
- Encimagem: as fibras de vidro são revestidas de uma película fina de diversos compostos químicos. Sem este processo as fibras são inutilizáveis, pois não possuem coesão entre os filamentos, não resistem à abrasão, são sensíveis à água, formam cargas eletrostáticas e, principalmente, não possuem aderência química com a matriz. Já as fibras de vidro com

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

tes que mantém as mechas coesas, protegem a eletricidade eletrostática, melhoram a rigidez da fibra e, principalmente, favorecem a aderência com a matriz;

- Enrolamento: após a encimagem, as fibras são agrupadas, obtendo-se os produtos finais;

- Secagem: os produtos já enrolados passam por diferentes tipos de secagem para eliminar o excesso de água e as sobr as da encimagem.



1. Silos de matérias primas.
2. Enformadoras
3. Forno
4. Disositivos de recuperação
5. Vidro fundido
6. Fileira de fibras
7. Sistema de aplicação de encimagem
8. Bobinadora
9. Rolos
10. Desperdicios

Figura 2 - Fabricação da fibra de vidro (Adaptada de Antequera,Jimenez e Miravete(1991)).

Segundo Tsai e Miravete (1988), as formas de fibras de vidro disponíveis no mercado são a fibra de vidro roving (fios contínuos e paralelos), os tecidos roving (unidirecional e bidirecional), a manta (fios contínuos e cortados), as fibras moídas, e os complexos tecido e manta (aplicações restritas a peças de forma plana ou com grandes raios de curvatura, segundo (figura 3):

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 3 ï Formas de fibra de vidro

2.1.2- Tipos de fibra de vidro de reforço

Os principais tipos de fibra de vidro existentes são:

- Fibra de vidro E: tipo mais utilizado entre os materiais compósitos (90% das aplicações), pois é o mais barato, e possui boas propriedades elétricas, de rigidez e desgaste. Sua composição é 53-54% SiO_2, 14-15,5% alumina, 20-24% cal e magnésio, 6,5-9% óxido de boro,0-0,7% flúor e <=1% de óxido de sódio, potássio e titânio;

- Fibra de vidro A: possui boa resistência química (alcalino), baixo módulo e baixa resistência elétrica. Sua composição é 70-12% de sílica, 0-2,5% alumina, 5-9% cal e 4-1% oxido de magnésio,0-0,5% óxido de boro, e 12-15% de óxido de sódio e 1% de óxido de potássio ;

- Fibra de vidro C: excelente resistência a corrosão química, baixa resistência mecânica, sendo mais caro que o vidro E. Sua composição é de 60-65% silica, 2-6% alumina, 14% cal e 1-3% oxido de magnésio,2-7% óxido de boro, e 8-10%;

- Fibra de vidro R:possui elevadas características mecânicas, alta resistência à fadiga, temperatura e umidade. Sua composição é 60% silica, 25% de alumina, 6% cal e 9% oxido de magnésio;

- Fibra de vidro D: possui boas propriedades dielétricas, sendo usada para a construção de materiais eletrônicos. Sua composição é de 73-74,0,5-0,6% cal e magnésio, 22-23% óxido de boro, e 1,3% óxido sódio e 1,5% óxido de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Fibra de vidro E: possui alta resistência mecânica servindo para proteção da radiação (chumbo).

As características principais da fibra de vidro, segundo a Basf estão descritas na tabela 1:

Tabela 1- Propriedades da manta de fibra de vidro

- Módulo de elasticidade	72 GPa
- Módulo de Tração Longitudinal	45 GPa
- Módulo de Tração Transversal	12GPa
- Deformação específica de ruptura	2,7%
- Resistência última de tração	1,3GPa
- Espessura da lâmina por camada	0,353mm
- Densidade	2,1g/cm³
- Coeficiente de Poisson	0,19
- Alongamento percentual na direção longitudinal	2,3
- Alongamento percentual na direção transversal	0,4

2.2- Resinas utilizadas nos sistemas compósitos

Segundo Machado (2002), uma grande variedade de resinas é utilizada nos sistemas compósitos, incluindo os imprimadores primários, os regularizadores de superfície, os saturantes e os adesivos. São correntemente empregadas resinas à base de epoxídios, ésteres de vinil e poliésteres. As resinas atualmente disponíveis foram formuladas de tal maneira a terem o seu comportamento estrutural otimizado para uma larga variedade de condições ambientais. As resinas também foram desenvolvidas para serem facilmente manuseadas e aplicadas.

Dentre as características e qualidades principais necessárias às

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Compatibilidade com o substrato de concreto e resistência elevada de colagem;

- Resistência adequada aos agentes ambientais, que incluem elevadas temperaturas, água salgada, pressão de vapor e outros agentes químicos normalmente associados ao concreto exposto;
- Capacidade de preenchimento de vazios;
- Compatibilidade e aderência com a fibra utilizada no reforço
- Desenvolvimento de propriedades mecânicas apropriadas ao compósito
- Compatibilidade e aderência ao sistema compósito estruturado com fibras.

2.2.1- Imprimadores primários

Os imprimadores primários são utilizados com o objetivo de penetrar no substrato de concreto para permitir, através de seu adesivo específico, a construção de uma ponte de aderência para a resina de saturação ou para outros adesivos a serem aplicados posteriormente, conforme (figura 4). A proporção da mistura dos dois componentes epóxis (um catalisador) A e B varia de acordo com o fabricante.

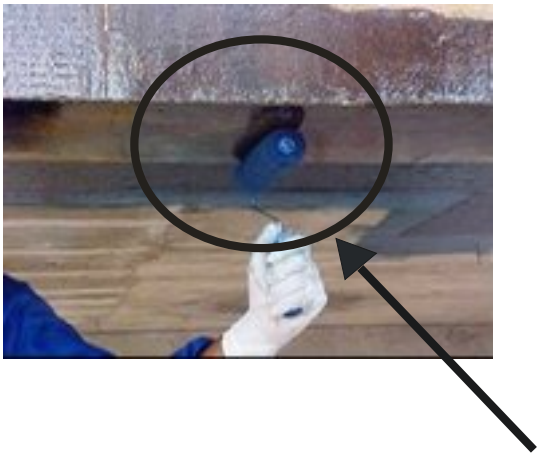
Aplicação do Primer Epoxidico

Figura 4 - Aplicação do primer epoxídico em reforço estrutural (Fonte:ENGECAL).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

rfície

Os regularizadores de superfície são utilizados para o preenchimento de vazios e correção de imperfeições superficiais visando propiciar uma superfície lisa e desempenada sobre a qual o sistema compósito será colado, conforme (figura 5). Esse produto pode ter uma espessura máxima recomendada de 3 mm e a sua proporção de mistura depende do fabricante.



Aplicação do regularizador

Figura 5 - Aplicação do regularizador de superfície em reforço estrutural (Fonte:ENGECAL).

2.2.3- Resinas epóxi

As resinas de saturação são utilizadas para a impregnação das fibras que constituem o reforço estrutural dos compósitos, fixando-as no local e garantindo um meio efetivo para a transferência das tensões de cisalhamento entre elas (figura 6). Uma recomendação fundamental é de que se deve utilizar estritamente a quantidade de resina necessária à impregnação ou à colagem, para que não ocorram alterações sensíveis nas características do compósito. O excesso de resina acarreta uma menor resistência final e um maior peso.

As características fundamentais das resinas são:

- Deformação de ruptura compatível com as deformações das

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

- Manutenção da estabilidade diante da atuação de agentes químicos;
- Suficiente capacidade de aderência às fibras do sistema;
- Módulo de elasticidade da ordem de 2000 MPa

A relação da mistura varia de acordo com o fabricante.

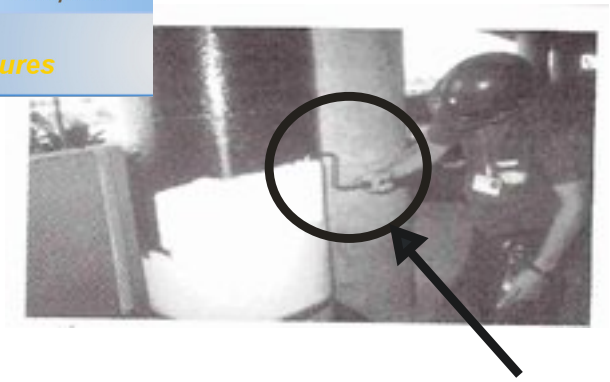
Aplicação do epóxi estruturante

Figura 6 - Aplicação de epóxi estruturante em reforço estrutural (Fonte: ENGECAL).

2.2.4- Adesivos

Os adesivos são utilizados para a colagem de sistemas compósitos pré-impregnados ao substrato de concreto. Esses adesivos estabelecem um meio de transferência das tensões de cisalhamento entre o substrato de concreto e o laminado, ou mesmo entre diversas camadas de compósitos laminados. Os revestimentos protetores são utilizados para proteger a superfície colada dos sistemas compósitos de potenciais efeitos danosos produzidos pelo meio ambiente em que está inserido. Esses revestimentos protetores são aplicados na face exterior do sistema curado dos compósitos, conforme ilustrado na figura 7.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Aplicação de revestimento protetor

Figura 7 - Aplicação de revestimento protetor em reforço estrutural (Adaptada de carbono de Machado (2002)).

2.2.5- Sequência de aplicação do reforço estrutural com compósitos

A Sequência de aplicação do reforço estrutural com compósitos segundo Mbrace (2002); Concrete Societty Committe (2000) e Biryukovich (1965), é a seguinte:

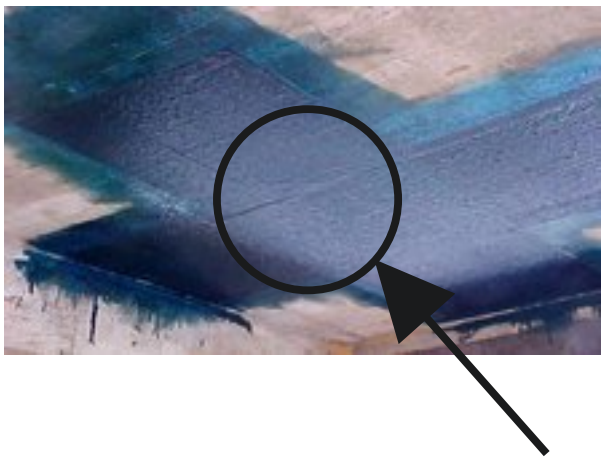
Recuperação do substrato de concreto armado para que o sistema possa ser aderido com segurança, imprimação da superfície sobre a qual será aplicado o sistema para se estabelecer uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o sistema compósito, utilizando um imprimador epoxídico com elevado teor de sólidos que ao penetrar nos poros do concreto e ao estabelecer uma película sobre a superfície do concreto cria uma interface altamente eficiente para a transmissão de esforços entre o compósito e a peça de concreto (figura 4), regularização e correção das imperfeições superficiais do substrato de concreto, de modo a estabelecer um plano adequadamente nivelado, utilizando uma pasta epoxídica contendo alto teor de sólidos para calafetar eventuais imperfeições superficiais e criar um plano desempenado para a aplicação do sistema compósito (figura 5), aplicação da primeira camada de resina saturante com alto teor de sólidos que servirá para impregnar (saturar) a lâmina da fibra e aderi-la à superfície do concreto (figura 6), aplicação opcional de película de acabamento com elevado teor de sólidos, alto brilho e resistente à corrosão, com o objetivo de proteção e/ou acabamento estético para o sistema (figura 7), aplicação da lâmina da fibra (manta) que vai reforçar o sistema compósito (figura 8) e aplicação da segunda camada de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

etar a impregnação da lâmina da fibra, que envelopa o sistema (figura 9).

Aplicação da lâmina da fibra

Figura 8 - Aplicação de sistema compósito em reforço estrutural. (Fonte: ENGECAL).



Reforço com compósito aplicado

Figura 9 - Reforço estrutural concluído com utilização de sistema compósito. (Fonte: ENGECAL).

2.3- Manta de fibra de vidro pré-impregnada

A manta de fibra de vidro estrutural pré-impregnada possui fibras bidirecionais, especificamente à base de filamentos de vidro estrutural com altíssima resistência mecânica e resistente aos álcalis. Esta manta de fibra de vidro foi lançada recentemente no exterior, apresentando algumas vantagens

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o sua pré-impregnação com resina especial ua maior característica que é a utilização de água (forma de spray) como catalizador da resina pré-impregnada usada para curar o sistema de reforço estrutural.

As principais propriedades desta manta de fibra de vidro pré impregnada, conforme tabela 2, são:

Tabela 2 - Propriedades da manta de fibra de vidro pré-impregnada

Densidade	2.600 kg/m³
Módulo de Elasticidade	64 ï 75 kN/mm²
Peso do Tecido	813 g/m²
Espessura Nominal	0,81mm
Resistência à Tração	339MPa
Módulo de Tração	65kN/mm²
Resistência à Flexão	228MPa
Resistência ao Cisalhamento	20MPa
Escoamento na ruptura	1,49%
Dureza Shore	85

Abaixo seguem algumas aplicações do sistema com manta pré-impregnada nas figuras 10, 11 e 12:

Na figura 10, ilustra-se a facilidade de aplicação da manta pré-impregnada com a água diferentemente da tradicional, não necessitando de misturas de epóxi, nem de várias camadas de aplicação de epóxi, diminuindo o tempo gasto para aplicação do sistema e o custo final de sua aplicação.

Na figura 11, ilustra-se uma aplicação de reforço em uma viga, evidenciando a facilidade e rapidez executiva do sistema pré-impregnado, reforçando-se a viga com a manta de fibra de vidro pré-impregnada à flexão, para absorver os esforços de tração devido aos momentos fletores positivos e

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

mensionamento estrutural da viga.

Figura 10 - Vista da prévia impregnação com água da manta de fibra de vidro antes da aplicação na estrutura à ser reforçada (Revista Recuperar Número 70).

Figura 11- Vista da aplicação de reforço estrutural em fundo de viga de concreto armado com manta de fibra de vidro pré-impregnada (Revista Recuperar Número 70).

Na figura 12, ilustra-se um reforço em um pilar circular com manta de fibra de vidro pré-impregnada, aplicado por confinamento com uma camada de reforço estrutural com transpasse de 20 cm, visando o aumento da resistência à compressão do pilar, em virtude da resistência à compressão ser inferior à especificação em projeto.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 12 - Vista do reforço estrutural por cintamento de pilar circular de concreto armado de viaduto concluído com utilização de manta de fibra de vidro pré-impregnada (Revista Recuperar Número 70).

2.4- Reforço estrutural com compósitos por confinamento

Quando um elemento de concreto é comprimido axialmente, por efeito Poisson, são induzidas deformações transversais que resultam na expansão radial do elemento. Sob baixos níveis de carregamento, as deformações transversais são proporcionais às deformações longitudinais, e relacionadas entre si através do coeficiente de Poissson que varia no concreto de 0,15 a 0,25 de acordo a NBR 6118. Depois de alcançada uma determinada tensão crítica (60 a 80 % da resistência característica do concreto), a taxa de crescimento das deformações transversais aumenta rapidamente, resultado da formação de micro-fissuras na massa do concreto, entre os agregados, o que conduz a grandes incrementos de deformação transversal com relativamente pequenos incrementos de deformação longitudinal. Estas pequenas fissuras vão se agrupando, tornando-se macro-fissuras e o elemento falha com trincas características, paralelas à direção do carregamento. As principais técnicas de reforço estrutural de elementos comprimidos estão relacionadas com o aumento da seção transversal, proporcionando uma redistribuição da carga e consequente redução nas solicitações impostas à seção original.

Este aumento de seção é freqüentemente executado com a utilização de materiais cimentícios, como a argamassa e o concreto, aliado à incorporação de armadura adicional, ou ainda, através de chapas de aço ou perfis metálicos fixados externamente. O princípio destes reforços é, portanto,

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

resistente à compressão nos pilares e ainda tração nas peças flexo-comprimidas. Um problema frequente no concreto é a necessidade de confinamento lateral e melhoria da capacidade de absorção de energia. Muitas pesquisas têm demonstrado que o confinamento lateral em colunas aumenta a resistência à compressão, ductilidade e capacidade de deformação do concreto (Toutanjih,1999).

Os primeiros testes relativos ao confinamento de peças comprimidas de concreto, realizados no início do século, utilizavam-se de espirais de aço ou até mesmo estribos muito próximos, internos na massa do concreto. Desde então, os estudos têm se aprofundado, passando por análises de confinamento através de pressão hidrostática e tubos de aço. O uso de materiais compósitos, tornou-se mais uma opção com os mesmos benefícios dos outros, podendo ser aplicado em estruturas já existentes, como alternativa de reforço estrutural. Mantas de fibra de carbono já foram utilizadas com sucesso na área de reforço de colunas de concreto segundo (Saadatmanesh e Ehsani, 1990).

Para seções circulares, a eficiência do reforço estrutural com compósitos por confinamento é facilitado pela geometria das peças (pilares). Já para as seções quadradas e retangulares e de maiores dimensões a eficiência do reforço estrutural diminui consideravelmente à medida que se aumenta a seção da peça (pilares). Uma forma para se melhorar um pouco sua aplicação e eficiência é fazer nas peças (pilares) um preenchimento com argamassa cimento/areia (1:3) simulando uma curvatura e diminuindo as medidas da seção reta. Mesmo com este artifício, jamais se consegue uma resistência à compressão por confinamento em seções quadradas e retangulares em pilares, igual à resistência à compressão por confinamento obtida em seções circulares (sempre inferior = 50% menos eficiente), já observado em diversos trabalhos técnicos com manta de fibra de carbono, como Beber, Santarosa e Campos (2006) ilustrado na figura 13 mostrada a seguir:

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

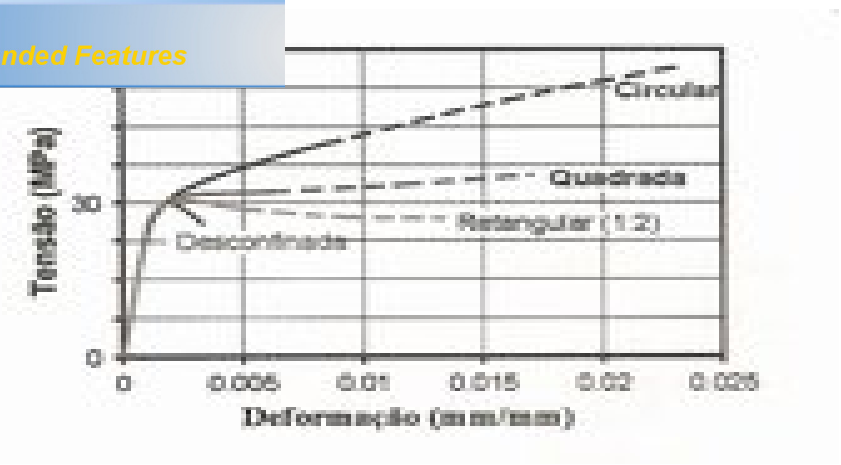


Figura 13 - Diagrama tensão/deformação para diversas seções transversais de colunas (Machado (2002).

Seções retangulares com relação entre os lados (b/h) excedendo 1,50 ou dimensões dos lados b ou h, excedendo 900 mm não devem ser confinadas até que testes demonstrem sua efetividade segundo, Machado, (2002).

De acordo com Machado(2002), os reforços geraram um aumento significativo na carga de ruptura, sendo mais percebido quanto menor a resistência do concreto não confinado, os reforços propiciaram um aumento da ductilidade dos corpos-de-prova, com o aumento da capacidade de absorção de energia. Nas seções com forma circular a ruptura foi brusca com ruídos, desde a fissuração do núcleo até a ruptura do material confinante. Em seções retangulares ou quadradas, mesmo realizando um arredondamento com um raio mínimo de 1 cm, a ruptura se deu nas arestas arredondadas, enfatizando a falta de aderência concreto/compósito nas curvaturas e pequena resistência à compressão nas arestas. A contribuição de tensão de confinamento da fibra e dos estribos existentes na seção de uma coluna pode ser assim avaliada, segundo a Basf (2003):

Fl=2x n x tf x ffe/h devido à fibra nas seções circulares (1)

Fl=ka x pf x ffe/2 devido à fibra nas seções retangulares (2)

Fl= 2 x aestr x fs estr/s x di devido aos estribos nas seções circulares (3)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

+b)/ s x b x h devido aos estribos nas seções retangulares

(4)

Em função dos valores de Fl calcula-se o aumento da resistência de compressão da coluna decorrente do confinamento através da expressão:

$$f_{cc} = f_c \left[2{,}25 \times \sqrt{1 + \frac{7{,}9 f_l}{f_c}} - 2 \times \frac{f_l}{f_c} - 1{,}25 \right]$$

(5)

Em que:

Fl = pressão lateral de confinamento

n = numero de camadas de fibras

tf = espessura de uma camada de fibra

he = tensão de tração na fibra

aestr = área da seção transversal da manta

s = espaçamento dos estribos

fcc = aumento da resistência à compressão do concreto decorrente do confinamento

fc = resistência característica à compressão do concreto

ka = coeficiente de redução da eficiência da fibra

ka = 1 (circular)

di = diâmetro correspondente ao baricentro do estribo

Quando do dimensionamento por confinamento de pilares de concreto armado, algumas verificações complementares devem ser consideradas. É de crucial importância esclarecer como e para quanto o aumento de resistência devido ao confinamento pode ser agregado a uma coluna quando problemas de estabilidade tenham que ser levados em consideração. Estudos realizados concluem que o reforço de colunas através de confinamento com sistemas compostos somente será efetivo para valores baixos ou moderados do

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Para coeficientes de flambagem acima de 40, a carga de flambagem é inferior à resistência à compressão do concreto sem confinamento (Lorenzis, 2004).

No caso da necessidade de reforço de peças de concreto armado para atuação concomitante de esforços de flexão e aumento da resistência à compressão axial, os reforços necessários à flexão devem ser aplicados em primeiro lugar vindo o reforço por confinamento sobre aquele. Esta sequência se torna necessária tendo em vista que, para flexão, necessita-se de colagem íntima e, para a compressão, necessita-se de contato íntimo, o que leva o reforço ao confinamento ser aplicado sobre o reforço à flexão.

O acréscimo do comportamento do concreto pode ser quantificado da observação de que o concreto confinado pela fibra apresenta uma resposta tensão/deformação bilinear conforme figura 14 apresentada à seguir. Inicialmente o comportamento da tensão/deformação não se modifica em relação ao concreto sem confinamento. Contudo, nas proximidades da tensão máxima para o concreto sem confinamento, o nível de tensões no concreto confinado continua a aumentar concomitantemente com o acréscimo das deformações. A relação do aumento é fortemente proporcional à rijeza da jaqueta de confinamento. Uma vez que o confinamento age no sentido de evitar seções danificadas no concreto, o nível máximo de deformação transversal do concreto é limitado tão somente pela deformação última admitida na jaqueta de confinamento.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

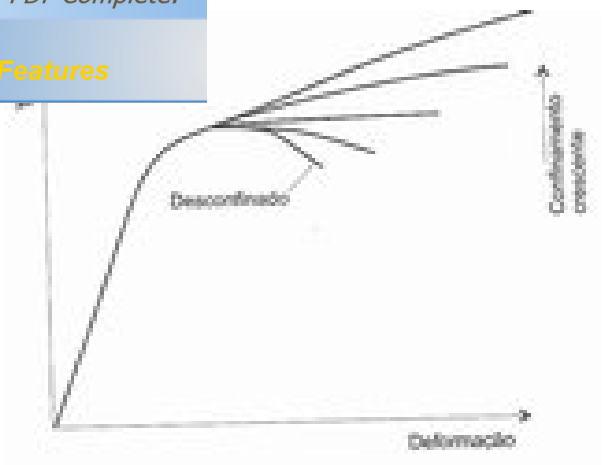


Figura 14 - Diagrama tensão/deformação para concreto em vários graus de confinamento (Machado, (2002).

O segmento AO representado na figura 15, corresponde ao primeiro trecho em ambas as direções, axial e transversal, resultante no modulo de elasticidade E1. O segmento AB denota o segundo trecho, com um aspecto linear para ambas as direções, indicado pelo módulo de elasticidade E2. Neste trecho, tanto a tensão de compressão no concreto confinado OC quanto a pressão de confinamento lateral O1 alcançaram respectivamente seus máximos valores Fcc e Fi na ocorrência da ruptura do sistema, conforme ilustrado na figura 15.

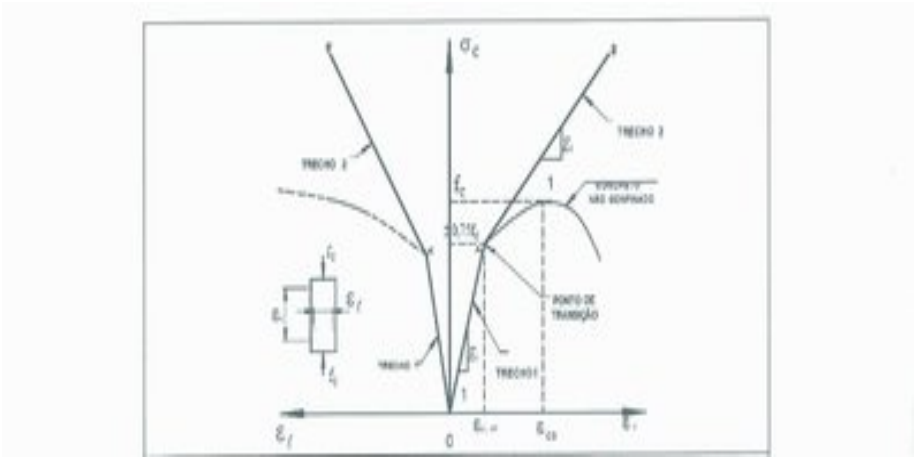


Figura 15 - Comportamento esquemático da relação tensão x deformação do concreto confinado. (Machado,(2002))

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

16 algumas características de resistência a

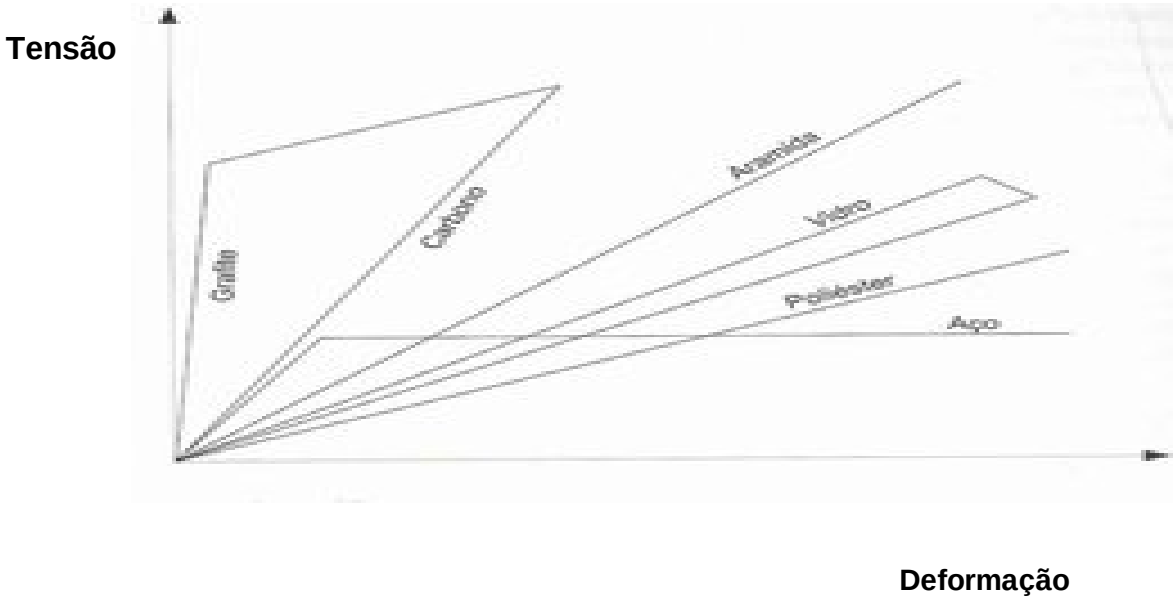


Figura 16 - Características de resistência à tração dos sistemas compósitos (Machado, (2002)).

2.5 ï Teorias de adesão de compósitos

Segundo Antequera,Jimenez e Miravete(1991), dentre as teorias de adesão existentes para os sistemas compósitos, estão inseridos cinco mecanismos principais de adesão que podem ocorrer isoladamente ou em combinações.

A primeira teoria de adesão é a umidificação, ou seja, impregnação da fibra pela resina, ocorrendo contato de uma superfície líquida com uma sólida (união física). A tensão superficial de uma substância é uma medida da força que deve ser aplicada para aumentar sua área superficial, sendo numericamente igual ao trabalho realizado para aumentar a superfície de contato (por unidade de área). O vidro tem boa impregnação, com energia superficial de 560 mj/m². Na prática não se consegue este forte enlace físico devido a contaminação da superfície da fibra alterando as tensões superficiais, a presença de ar e outros gases na superfície sólida e o surgimento de grandes

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

sso de curado, ocasionando deslocamento da

A segunda teoria de adesão é a interdifusão, ela consiste da difusão de moléculas do polímero de uma das superfícies da rede molecular da outra, promovida por agentes plastificantes ou dissolventes.

A terceira teoria de adesão é a atração eletrostática, onde as forças de atração se originam entre duas superfícies quando as mesmas apresentam cargas positivas e negativas.

A quarta teoria de adesão é o enlace químico (processo de encimagem) sendo promovido por agentes adesivos na superfície da fibra, quimicamente compatíveis com a matriz. A energia de ligação depende do número e tipo de enlaces. Por fim a quinta teoria é a adesão mecânica.

2.6 - Desempenho de reforço estrutural com compósitos

Existe uma grande variedade de estruturas em que os sistemas compósitos estruturados com fibras de vidro podem ser utilizados. Segundo, Ferrari, Padaratz e Lorrigio (2002) a eficiência da técnica de reforço com compósitos em estruturas de concreto armado, apesar de ainda ser considerada como um recurso recente, tem sido comprovada através de diversos estudos experimentais. Entretanto, na grande maioria destes estudos, tem-se observado a ocorrência de falha prematura do reforço caracterizada pelo seu desprendimento do substrato de concreto. Este tipo de falha é extremamente indesejável, pois ocorre sem aviso e antecipa o colapso da estrutura reforçada. Esse tipo de falha tem chamado a atenção da grande maioria dos pesquisadores, e em paralelo, tem sido a razão de receio na especificação deste tipo de reforço por parte de projetistas mais conservadores. Grande parte das atuais publicações sobre este tipo de reforço tem dado especial atenção à zona de ligação dos materiais concreto-adesivo-compósito, para melhor conhecer o que se passa a nível de comportamento geral nesta região de forma que se possa criar critérios de prevenção e eliminação de falha prematuras.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ção de um reforço do substrato de concreto, opagação acentuada de fissuras na interface concreto-adesivo-reforço devido a imperfeições na aplicação do adesivo, à existência de fissuras de flexão no concreto no ato da colagem e ao destacamento parcial do reforço quando a face tracionada do concreto não estiver perfeitamente plana. Os modos de falha prematuros de estruturas reforçadas se caracterizam pelo descolamento do reforço na interface compósito/concreto ou pelo desprendimento do conjunto (reforço mais cobrimento de concreto aderido). Em geral, têm-se observado nos diversos trabalhos experimentais, que o descolamento do reforço, ocorre a um baixo nível de incremento na capacidade de carga da estrutura reforçada devido a deficiências na fase de aplicação do reforço, tais como, ancoragem inadequada ou propriedades ineficientes das resinas. Já em relação ao desprendimento do conjunto, tem ocorrido em estruturas com baixa resistência à tração e/ou recobrimento de armadura inferior a NB1-ABNT(2003), após considerável incremento na capacidade de carga da estrutura reforçada.

Os modos de falha prematuros em estruturas reforçadas com compósitos devem ser evitados, pois, antecipam a ruína da estrutura reforçada através do desprendimento do reforço. Porém, como evitá-los, com segurança, ainda é um problema que deve ser resolvido com intensa pesquisa na área, segundo Metha(1994) e Neville(1997).

Segundo, Meneguetti, Garcez, Cauduro, Filho (2005), o desempenho do método de reforço e/ou recuperação de elementos de concreto através da colagem de compósitos poliméricos estruturados com fibras é governado pela ligação entre o concreto e o sistema de reforço. O entendimento do mecanismo de transferência de tensões na interface e conseqüentemente, a caracterização dos mecanismos de ruptura em elementos de concretos reforçados, fornecem informações úteis para a seleção de adesivo e sistemas de reforço adequados. Segundo Ye (2001), uma ligação rígida na interface, mesmo que necessária para a transferência de tensões, geralmente induz à falha repentina e precoce, limitando a capacidade de absorção de energia. Por outro lado, uma ligação fraca na interface permite que ocorra o mecanismo de endurecimento, com ruptura longitudinal na camada de adesivo. Os modos de ruptura preconizados

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ntes:

Ruptura na zona comprimida do concreto antes do escoamento do aço, ocorrendo de maneira frágil e sem aviso prévio, em elementos com altas taxas de armadura ou com altas taxas de reforço, necessárias para garantir a capacidade resistente esperada, no caso de vigas sub-armadas. Esta situação, segundo Thomsen (2004), indica que o reforço, neste tipo de elemento não é uma solução viável.

Escoamento do aço, seguido pela ruptura do reforço polimérico, ocorrendo com taxas de armadura e de reforço relativamente baixas sendo necessário o reforço estar adequadamente ancorado.

Escoamento do aço, seguido pela fissuração do concreto na zona comprimida, ocorrendo quando a capacidade resistente à flexão da viga é alcançada com o escoamento do aço na região tracionada, seguido por esmagamento do concreto na zona comprimida. Neste caso, o reforço polimérico permanece intacto, ocorrendo este tipo de falha quando a viga original e a ser reforçada estão subdimensionadas.

Os modos de ruptura citados acima ocorrem quando os elementos de concreto reforçados atuam de forma conjunta com o compósito de reforço até o momento da falha, podendo-se acrescentar a eles a ruptura por cisalhamento que ocorre quando a viga alcança sua capacidade limite ao cisalhamento antes que aconteça a falha por flexão, devido ao aumento proporcionado pelo compósito no momento resistente da viga e o escoamento do aço em seções não reforçadas que acontece quando o reforço na viga é executado parcialmente, o que pode ocasionar a formação de uma região plástica no final do reforço, ruptura na camada de cobrimento de concreto, gerada por tensões de cisalhamento e tração, ruptura na interface concreto-compósito.

Estes dois últimos modos de ruptura citados, estão relacionados com a perda de ação do compósito no momento da falha. Já Teng, (2003), baseado em estudos existentes, apresenta uma nova classificação com sete possíveis modos de falha:

- Ruptura por flexão no reforço polimérico;
- Esmagamento do concreto na zona comprimida;
- Ruptura por cisalhamento;

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

de cobrimento;

l no extremo do reforço;

- Descolamento interfacial induzido por fissuras de flexão intermediárias;
- Descolamento interfacial induzido por fissuras de cisalhamento-flexão intermediárias.

O mecanismo de descolamento do reforço que ocorre em regiões onde existem altas tensões normais e de cisalhamento é um dos principais, mais tradicionais e indesejáveis modos de falha. Um fator fundamental neste tipo de ruptura é a eficiência da ligação adesiva concreto-reforço. A criação de uma adequada interface de adesivo é vital para garantir a efetividade da técnica de reforço por colagem externa de elementos poliméricos, pois proporciona o meio para transferência de esforços entre o substrato de concreto e o reforço. Vários fatores que levam à falha da área de ligação podem provocar a ruptura brusca do elemento reforçado, não permitindo que o reforço alcance o desempenho esperado.

Segundo Xiao (2004), as falhas na adesão entre o compósito e o substrato de concreto são geralmente devido à má distribuição ou ausência de adesivo, a existência de fissuras de flexão e de cisalhamento de largura considerável no concreto, a presença de agregado na superfície e à fadiga. Mesmo que a rigidez, a ductilidade e a capacidade resistente do elemento sejam consideravelmente melhoradas pelo reforço com compósitos, a aplicação em larga escala desta técnica pode ser restringida se não for contornado o problema das falhas prematuras na interface. Além disto, para dimensionar eventuais sistemas de ancoragem é fundamental entender o comportamento e avaliar a resistência da ligação concreto-compósito.

Alguns pesquisadores como (Chajes (1996); Toutanjii e Ortiz (2001) e Xiao (2004), buscaram através de testes de cisalhamento simples, quantificar a força e o mecanismo de transferência de esforços. No entanto vários autores envolvidos sugerem que a investigação do mecanismo de transferência de esforços na ligação concreto-compósito necessita de mais estudos, a fim de confirmar os resultados obtidos e obter subsídios para melhoria da técnica de reforço. A seguir serão apresentados alguns defeitos de aplicação da manta de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

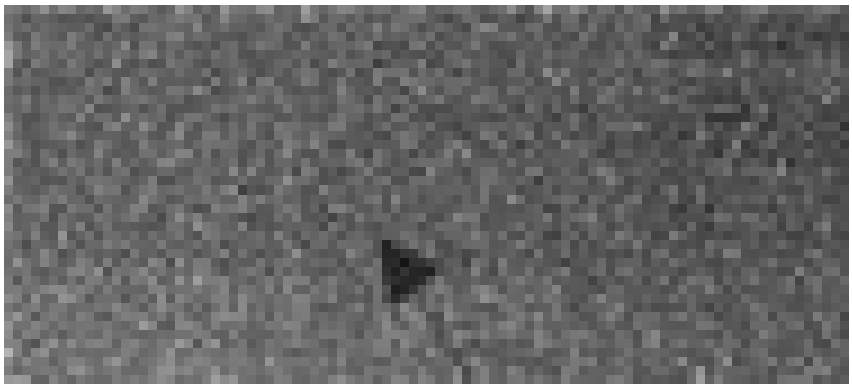
microscopias eletrônicas de varredura (MEV), 1, 22, comprovando as citações descritas anteriormente.

Na figura 17, devido a falhas durante a aplicação do reforço, como a não formação de uma camada continua e nivelada, nem o uso do rolo tira bolha, apresenta-se várias porosidades ao longo do reforço, diminuindo consideravelmente as propriedades da manta de fibra de vidro, necessitando da retirada das áreas com deformações para execução de novo reforço.

Porosidade

Figura 17 ï Microscopia da fibra de vidro apresentando crateras devido a não formação de uma camada contínua e nivelada (Matheus (2002)).

Na figura 18, apresenta-se a mesma situação da figura 17, só com poros de menor intensidade ao longo do reforço.



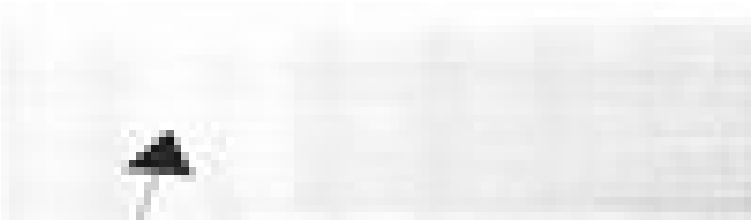
Poros Superficiais

Figura 18 - Microscopia da fibra de vidro apresentando poros superficiais com aparência de ñburacosò de alfinete (Matheus (2002)).

Na figura 19, apresenta-se várias trincas ao longo do reforço representando ineficiência da fibra de vidro utilizada, pois a mesma não esta

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

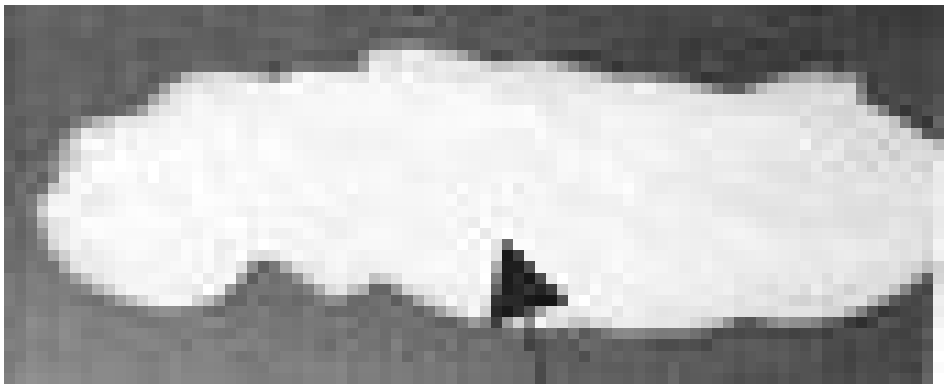
evista no dimensionamento estrutural.



Trincas

Figura 19 ï Microscopia da fibra de vidro apresentando trincas (Matheus (2002)).

Na figura 20, apresenta-se uma delaminação ao longo do reforço, causada pela errada mistura dos epóxis na aplicação do reforço, causando um endurecimento e enrrugamento prematuro da manta de fibra de vidro.

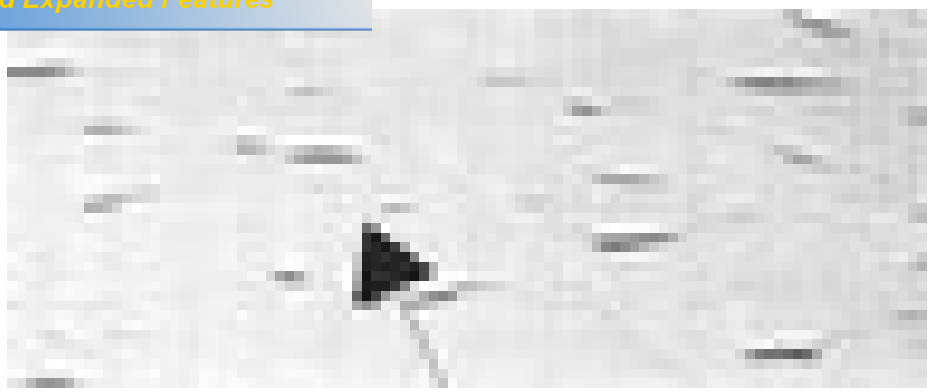


Delaminação

Figura 20 - Microscopia da fibra de vidro apresentando delaminações causadas pela má aderência (Marco Antônio Matheus (2002)).

Na figura 21, apresenta-se bolhas de água ao longo do reforço, caracterizando a prévia impregnação de água na superfície do concreto antes do reforço, ou seja, antes da aplicação do reforço não foi feita uma limpeza na superfície do concreto para retirada da água. Na figura 22, apresenta-se bolhas de ar ao longo do reforço, caracterizando a não utilização do rolo tira-bolha em sua aplicação.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Bolhas de água

Figura 21 ï Microscopia da fibra de vidro apresentando bolhas de água após contato prolongado com a água (Matheus (2002)).

Bolhas de ar

Figura 22- Microscopia da fibra de vidro apresentando bolhas de ar devido a falhas na aplicação da fibra de vidro (Matheus (2002)).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

CAPÍTULO 3

ESTADO DA ARTE: AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA COMPÓSITO-CONCRETO

Segundo Machado (2002), devido à existência de mecanismos de transferência das tensões de cisalhamento e de regiões locais submetidas a tensões normais na interface entre o concreto e o compósito, surge a possibilidade de que ocorra o fenômeno da delaminação do compósito antes que seja alcançada a resistência de ruptura do concreto. As causas desse fenômeno são complexas, sendo que a distribuição das tensões devidas à colagem do compósito é dificultada pelo fissuramento do concreto. A ligação mais fraca da interface concreto-compósito ocorre no concreto.

A distribuição das tensões tangenciais de cisalhamento e das tensões normais de tração desenvolvidas ao longo da interface concreto/sistema compósito estão demonstradas na figura 23.

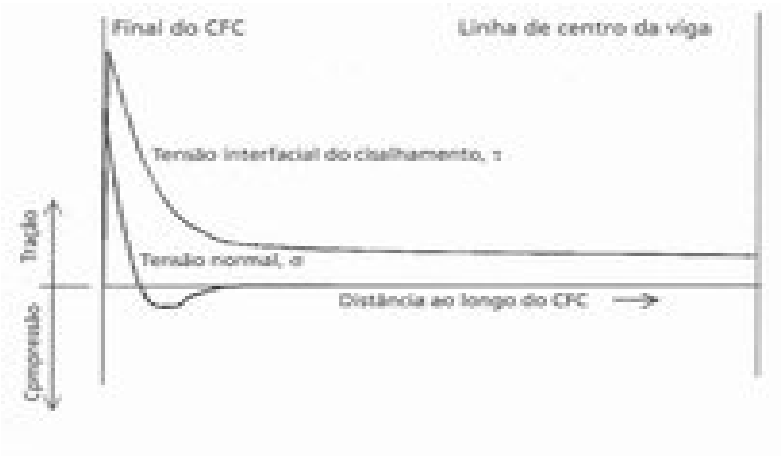


Figura 23 - Distribuição das tensões interfaciais normais e de cisalhamento ao longo do comprimento colado do sistema compósito (Machado,(2002)).

Observa-se que na figura 24 a tensão normal está situada em um plano perpendicular ao plano do sistema compósito.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

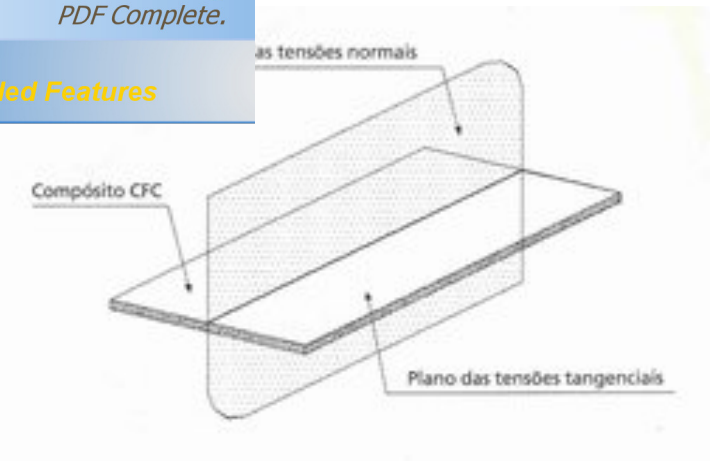


Figura 24 - Esquema do plano das tensões do sistema compósito (Machado, (2002)).

As ocorrências mais importantes de delaminação são:

- Cisalhamento da viga;
- Cisalhamento interfacial;
- Irregularidades superficiais.

Cumpre observar que as delaminações se produzem de modo geral para cargas significativamente superiores às cargas de serviço. O descolamento do compósito ocorre devido a uma deficiência da área de colagem do reforço de compósito. O concreto não consegue absorver as tensões normais e de cisalhamento interfaciais e o compósito descola do substrato, mantendo aderida tão somente uma camada relativamente fina de concreto. A área necessária para colagem do compósito deve ser calculada baseada no cisalhamento horizontal e na resistência à tração do substrato.

Podem ser utilizadas ancoragens mecânicas adequadamente dimensionadas para aumentar a eficiência na transferência de tensões. Esses mecanismos devem, entretanto, ter a sua confiabilidade confirmada através de ensaios.

Atualmente os trabalhos realizados sobre a aderência concreto/compósito, como os de Ferrari, Padaratz e Lorrigio, (2002) dentre outros, concluem que o desempenho do reforço estrutural com compósitos tem tido excelente desempenho, verificado através de aumentos significativos na capacidade última de carga, no incremento de rigidez e na ductibilidade nos reforços de vigas à flexão. As vigas reforçadas sem adição de incremento de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

modos de falha caracterizados pelo o substrato de concreto iniciando-se de uma das extremidades do corpo-de-prova (viga) de forma rápida, sendo precedido de pequenos estal os. As vigas com incremento de ancoragem têm apresentado modos de falha caracterizados pela ruptura da manta de fibra. Segundo Souza e Ripper (1998), na prática de execução de reforços com compósitos, para garantir a eficiência da aderência compósito-concreto, passou-se em alguns casos a utilizar uma amarração através de dispositivos mecânicos envolvendo a totalidade da seção tracionada das peças, permitindo o aumento da capacidade resistente ao esforço transversal e no caso de existência de lajes, garantindo a eficiência da contribuição do banzo através da interposição de elementos metálicos com cantoneiras fixadas por buchas ao concreto na ligação laje-viga.

Segundo Tsai e Miravete, (1988), existem vários ensaios mecânicos para medida da resistência na interface compósito/concreto, para avaliação de lâminas, laminados ou tecidos. Dentre eles, sete ensaios se destacam apresentando vantagens e desvantagens ent re si.

O primeiro é o teste de cisalhamento em vigas curtas (flexão em três pontos) da norma ASTM D2344. Nele se utilizam como amostras lâminas ou laminados com as seguintes características: fratura ocorre no plano médio (superfície neutra) da amostra, a tensão máxima é conhecida como ILSS , é notado que na ausência de qualquer resistência de aderência na interface fibra /matriz, o compósito apresenta uma ILSS de valor mais baixo (força de união), a qual se deve somente a uma contribuição da resistência ao cisalhamento da matriz, pela sua simplicidade é um dos ensaios mais utilizados para compósitos poliméricos e metálicos, sua desvantagem é não permitir a utilização de amostras muito finas (lâminas).

O segundo ensaio é o Iosipescu(ASTM D 5379 ï 93). Nele utiliza-se material isotrópico devido a presença de entalhes nas amostras pois o material ortotrópico apresenta uma concentração de tensão na ponta do entalhe. Neste ensaio ocorre cisalhamento puro na seção, apresentando resultados mais confiáveis devido à distribuição uniforme das tensões quando comparado ao ILSS. Ele mede com precisão tanto a resistência ao cisalhamento quanto o módulo tangencial, paralelo ou perpendicular às fibras.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

é o da tração transversal (ASTM D 303976). ção de compósitos unidirecionais perpendicular à direção à fibra, tendo quase sempre como resultado uma resistência menor que a resistência da matriz (efeito negativo da fibra como reforço). Para uma boa aderência na interface a resistência transversal aumenta devido à contração da matriz entre as fibras. Como a resistência transversal depende de muitos fatores como os constituintes, a aderência (força de união) e presença de vazios, o teste acaba se tornando qualitativo e os resultados podem ser duvidosos servindo apenas como estudo comparativo. Os ensaios de ILSS e tração transversal dependem do volume de fibras do compósito e cuidados devem ser tomados na comparação dos resultados.

Os outros quatro ensaios existentes são os ensaios de fibra única e incluem compressão, fragmentação, recorte dentado e arranque de fibras. O ensaio de compressão é muito utilizado para compósitos poliméricos (segunda metodologia a ser utilizada neste trabalho), sendo a transparência da resina fundamental para o desenvolvimento do teste (NBR 5739-ABNT).

Em faces paralelas, ele mede o cisalhamento nas pontas das fibras (diferença nas propriedades elásticas), sendo a desaderência percebida pela região esbranquiçada na ponta da fibra. Em faces curvas, ele mede as tensões de trativas, a perda de desaderência ocorre devido aos efeitos do coeficiente de Poisson, resultando em maior expansão da matriz. No ensaio de fragmentação (NBR-14698), com o aumento da carga a fibra inicia o processo de ruptura com a carga se transferindo entre a matriz e a fibra quebrada, aumentando a sua intensidade de forma a originar sua fragmentação. A fibra atinge um comprimento mínimo não podendo mais ser rompida. Este comprimento mínimo permite calcular a resistência ao cisalhamento aparente da aderência na interface.

No ensaio de recorte dentado ((EN989: 1995), utiliza-se a microdureza com diversas formas de perfuradores ou marcadores. A fibra é empurrada para dentro do bloco das matrizes com a compressão aplicada até a ocorrência da primeira desaderência, sendo a força medida juntamente com o deslocamento da fibra. Este ensaio é usado para compósitos de matriz polimérica, apresentando dificuldade na aplicação em matrizes cerâmicas devido à colocação da fibra se verificando um desalinhamento da fibra. Deve-se tomar

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

eficiente de Poisson, pois este influencia na mascar ar os resultados.

O ensaio mais utilizado para compósitos de matriz polimérica sendo recomendado pelas normas do ACI para verificação da aderência compósito/concreto, é o teste de arrancamento mecânico de fibras (terceiro ensaio utilizado). Ele consiste em colar uma chapa de aço quadrada com lado igual a 5 cm sobre o sistema compósito aplicado e, através de um dispositivo adequado, promover o arrancamento desta chapa, medindo-se a força na fibra necessária para que se produza o arranque da fibra, conforme figura 25. O ensaio depende muito do comprimento da fibra embebida na resina e dos diâmetros da fibra para não haver dispersão dos resultados, sendo dentre todos os ensaios descritos o de maior número de modelos teóricos. A desvantagem do ensaio é de avaliar a aderência localizadamente, não se estendendo a toda área do reforço aplicado

Figura 25 - Ensaio de arrancamento (Machado, A. P(2002)).

De acordo com o modo de ruptura ocorrido, avalia-se a eficiência da aplicação (aderência), conforme figura 26.

Podem ocorrer três modalidades distintas de ruptura:

A ruptura ocorre no pino de ligação da placa com o dispositivo de arrancamento, indicando que tanto o sistema compósito quanto o substrato de concreto estão adequados . A ruptura ocorre no substrato de concreto, indicando que o sistema está perfeitamente aderido(mais comum).O sistema compósito descola do substrato de concreto, indicando que a aplicação não foi

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

A figura 26 mostra uma ruptura do reforço ocorrendo no substrato do concreto, vendo-se a superfície do concreto e o reforço aplicado

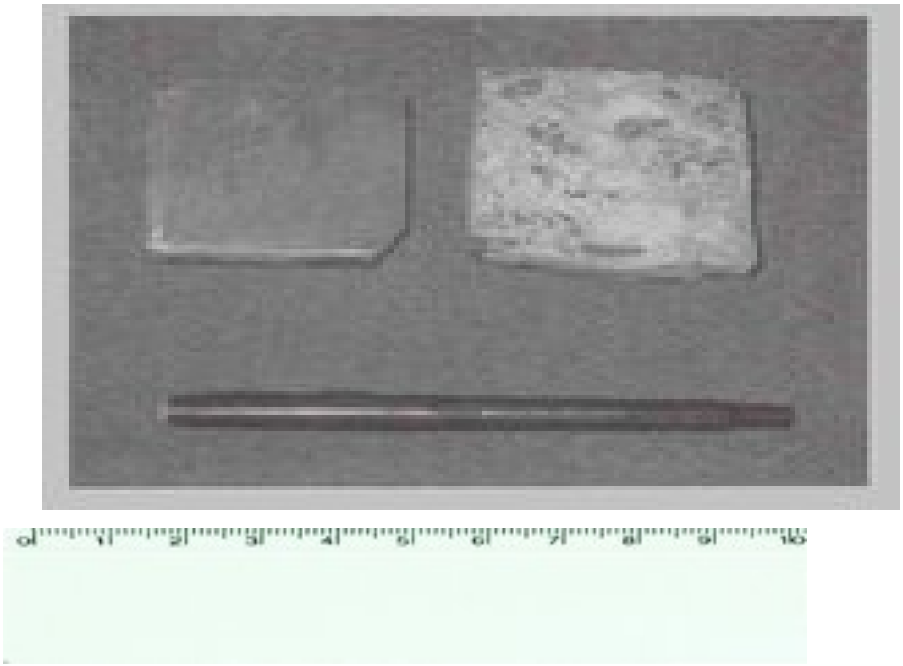


Figura 26 - Ensaio de arrancamento concluído com ruptura ocorrendo no substrato de concreto(Machado, (2002)).

A frequência (quantidade) de testes deve ser especificada nos resultados da análise. A resistência de tração da aderência deve exceder 1,4 MPa e exibir a fratura do substrato de concreto. Resistências menores que a especificada ou ruptura entre o sistema compósito e o concreto ou entre camadas devem ser comunicadas ao projetista do reforço e ao engenheiro responsável pela aplicação para avaliação e aceitação.

O sistema compósito deve também ser avaliado em relação às delaminações existentes, pois estas interferem amplamente na aderência compósito/concreto. Os métodos de inspeção devem ser capazes de detectar delaminações de no mínimo 1.300 mm². Métodos como a sondagem acústica conforme figura 27 (primeiro ensaio realizado), ultra-sônica e termografia podem ser utilizados para detectar as delaminações. Na figura 27, vê-se o ensaio de sondagem acústica, onde é avaliada qualitativamente a aderência manta/concreto através do som produzido ao longo da peça reforçada, marcando as regiões com delaminações ou bolhas-de-ar.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 27 - Esquema de ensaio de sondagem acústica (a martelo) (Machado, (2002))

As delaminações com área de menor que 1.300 mm² são admissíveis, desde que o total da área delaminada seja inferior a 5 % da área total do sistema aplicado e não ocorram mais do que dez manifestações por m². As delaminações, maiores que 1.600 mm², podem afetar o desempenho do sistema instalado e devem ser reparadas por um processo seletivo de corte e retirada do trecho de fibra afetado e aplicação de um remendo equivalente às camadas afetadas acrescido dos necessários transpasses, com avaliação e aceitação do projetista do reforço e do engenheiro responsável pela aplicação do sistema. Após os reparos, as áreas reparadas devem ser novamente inspecionadas para verificar se os reparos foram adequadamente realizados. A resistência do substrato de concreto é um parâmetro importantíssimo para aplicações condicionadas à colagem crítica, uma vez que a tensão de tração no substrato deverá ser no mínimo igual à 1,4 MPa para garantir a perfeita

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

sistema composto e o substr ato.

é recomendável a aplicação de sistemas compostos aderidos externamente, se o concreto não possuir uma resistência mínima à compressão de 14 MPa.

As duas grandes desvantagens da aplicação dos sistemas compostos em reforços de estruturas de concreto armado, segundo Isaia (2005-2007), são em primeiro lugar, a apresentação de ruptura frágil, sem patamar de escoamento definido ou alguma indicação de ruptura iminente. Isso decorre do fato de que a resposta dos sistemas compostos é diferente da do aço utilizado nas peças de concreto armado, que escoa após a sua deformação linear elástica para valores relativamente pequenos de deformação. Essa discrepância significa na prática, que as armaduras de aço entram em escoamento muito antes do sistema composto contribuir com qualquer capacidade adicional de reforço, o que em última análise, significa que se torna muito difícil se conseguir um aumento significativo na carga de escoamento ou na rigidez do elemento reforçado. Em segundo lugar, o reforço à flexão com elementos compostos aderidos externamente está limitado pela capacidade de ligação entre o sistema e a superfície de concreto, ocorrendo, em muitos casos, o descolamento em níveis de tensão que são apenas uma pequena fração da capacidade resistente efetiva do composto. O recente desenvolvimento de novas famílias de sistemas compostos visa contornar ou pelo menos minimizar parte das desvantagens dos atuais sistemas. Os novos sistemas compostos apresentam componentes estruturais híbridos construídos com diferentes tipos de fibras de carbono e vidro associadas no mesmo produto.

O uso de sistemas híbridos, ainda que apenas em aplicações experimentais, conduzirá a nova vertente teórica de projeto de reforços, permitindo maior controle, em relação aos sistemas correntes, das deformações antes da ruptura e da durabilidade das peças.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

4.1-Caracterização dos Materiais

O cimento utilizado foi o cimento Portland composto CP II Z-32 RS, de um mesmo lote de fabricação, adquirido em um dos estabelecimento comerciais, mais utilizados da região de Natal. Este tipo de cimento de acordo com os ensaios realizados apresentou os seguintes resultados:

Tabela 3 ï Resultados dos ensaios realizados com o cimento utilizado(Fonte:Cimento Nassau)

Perda ao fogo	4,25%	NBR 5743/89
Óxido de magnesio	2,22%	NBR 9203/85
Anidrido sulfúrico	3,26%	NBR 5745/89
Resíduo insoluvel	7,43%	NBR 8347/92
Equivalente alcalino	0,97%	
Óxido de calcio livre	1,03%	NBR 7227/90
Área especifica	341 cm^2/g	NBR 7224/96
Massa especifica	3,02 g/cm^3	NBR 6474/84
Densidade aparente	1,20 g/cm^3	
Finura-resíduo na pereira	0,04mm = 15,2%	NBR 11579/91
Água de pasta de consistência normal	27,3%	NBR 11582/91
Início da pega	Duas horas e vinte e cinco minutos	NBR 11581/91
Fim da pega	Três horas e trinta minutos	NBR 11581/91
Expansibilidade	0,5 mm	NBR 11582/91

A resistência à compressão mínima obtida aos 28 dias foi de 38,1 MPa e a máxima foi de 39,8 MPa .

A areia quatzosa utilizada é de origem natural, comumente empregada em concretos da região de Natal. O cascalhinho utilizado foi proveniente do mesmo lote e de uma única pedreira. A água utilizada foi da rede pública de abastecimento local.

Foram realizados os ensaios de determinação da composição granulométrica da areia e do cascalhinho, além de medidas da densidade aparente e real, diâmetro máximo e módulo de finura no laboratório de Eng.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

s normas NBR-7217,ABNT,1987 e NBR-
os apresentaram os seguintes resultados, conforme tabela 6 e tabela 7:

.

Tabela 4 - Ensaios realizados no cascalhinho utilizado.

Retido na peneira 9,5mm	6,66%
Retido na peneira 4,8mm	55,2%
Retido na peneira 2,4mm	27,66%
Retido na peneira 1,2mm	10,47%
Diâmetro máximo	9,5 mm
Densidade aparente	1,50 g/cm³
Densidade real	2,783 g/cm³

Tabela 5 ï Ensaios realizados na areia utilizada.

Retido na peneira 4,8mm	0%
Retido na peneira 2,4mm	0,2%
Retido na peneira 1,2mm	0,4%
Retido na peneira 0,6mm	0,9%
Retido na peneira 0,3mm	8,2%
Retido na peneira 0,15mm	75,4%
Retido na peneira Ò0,15mm	14,9%
Diâmetro máximo	0,6 mm
Densidade aparente	1,370 g/cm³
Densidade real	2,630 g/cm³

4.2- Definições do traço

Foi utilizado o traço 1:2:4 com relação a/c=0,7 na confecção dos corpos-de-prova por representar um concreto convencional, que necessitava de reforço estrutural em pilares por confinamento.

A resistência à compressão obtida foi de 20 MPa aos vinte e oito dias. As proporções dos materiais utilizadas foram as seguintes: 0,6 kg de cimento, 1,2 kg de areia, 2,4 kg de casca lhinho e 458 ml de água totalizando 4,65 kg.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

orpos-de-prova e Planejamento dos

Foram confeccionados 36(trinta e seis corpos-de-prova)(5x10 cm) divididos em 5(cinco) tipos. Foram realizados os seguintes ensaios em cada:

-6 cp sem reforço com 20 MPa à res.compressão

-10 cp com reforço pré-impregnado com 20 MPa à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e ultra-som.

-10 cp com reforço tradicional com 20 MPa à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e ultra-som.

-5 cp com reforço tradicional com 20 MPa exposto em ambiente marinho na orla marítima de Natal à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e utra-som.

-5 cp com reforço pré-impregnado com 20 MPa exposto em ambiente marinho na orla marítima de Natal à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e ultra-som.

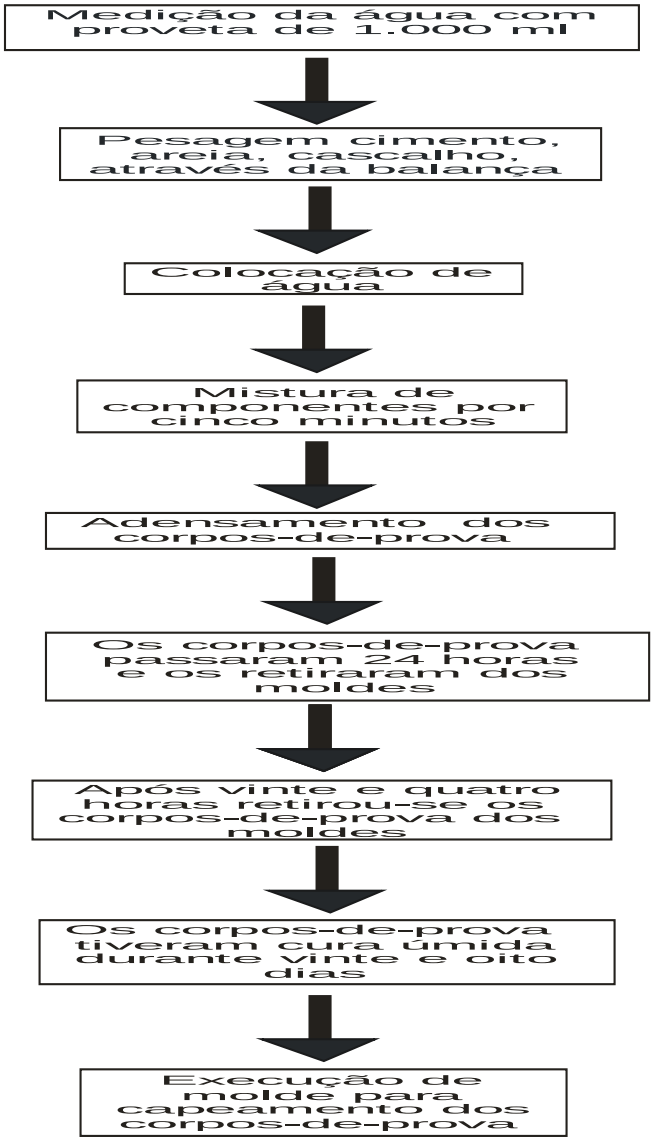
-Do total de corpos-de-prova, dez (10) deles foram expostos em ambiente marinho na orla marítima de Natal-RN - praia de Ponta Negra durante dois meses conforme ilustrado na figura 28:

Figura 28 ï Corpos-de-prova sem reforço expostos à névoa salina por 60 dias (Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

e cura dos corpos-de-prova de concreto

As amostras, foram confeccionadas e moldadas de acordo com a NBR 5738, (ABNT,2003), permitindo fazer uma análise no estado endurecido, quanto à resistência à compressão, a aderência manta/concreto e a durabilidade (exposição à névoa salina). Obedeceu-se a seguinte sequência, conforme fluxograma abaixo:



Na figura 29, vê-se, os corpos-de-prova após execução do capeamento antes de serem submetidos ao reforço e aos ensaios.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 29 - Corpos-de-prova após a cura antes dos ensaios de sondagem acústica e resistência à compressão ainda sem reforço estrutural(Fonte:Autor)

4.5-Reforço Estrutural Utilizado

O tipo de reforço estrutural escolhido para aplicação foi o cintamento dos corpos-de-prova cilíndricos com fibra de vidro. Este reforço é bastante utilizado em estruturas, para melhorar o desempenho de peças axialmente solicitadas através de um envolvimento contínuo da peça comprimida de concreto por uma jaqueta de compósito com transpasse de 10 cm, combatendo-se a expansão lateral do concreto. O efeito da pressão de confinamento é o de induzir um estado triaxial de tensões no concreto, tendo-se um comportamento bastante superior tanto na resistência quanto na ductibilidade relativamente a um outro concreto submetido tão somente à compressão uniaxial. O confinamento traz como resultado um incremento da resistência e da deformação máxima da compressão no concreto. Ele é conseguido pela orientação das fibras transversalmente ao eixo longitudinal do elemento. As fibras confinantes se comportam similarmente a estribos em espiral ou mesmo a estribos convencionais. Nenhuma contribuição de fibras alinhadas longitudinalmente deve ser considerada para efeito de confinamento. O confinamento de seções circulares exige uma ligação íntima entre o elemento de concreto e a fibra confinante, para que se tenha êxito na execução do reforço estrutural.

Vale salientar que a aplicação e o dimensionamento do reforço estrutural nos corpos-de-prova foram acompanhados pelo fabricante do compósito e por empresa especializada em reforço (Engecal-Engenharia e Cálculos Ltda) e

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

os-de-prova foram reforçados com manta de anta de fibra de vidro pré-impregnada.

-A sequência de aplicação do reforço estrutural nos corpos-de-prova com a manta de fibra de vidro tradicional figuras 30, 31 e 32, conforme já exposto anteriormente foi a seguinte:

-Lixamento manual dos corpos-de-prova através de lixa número 100, aplicação do primer epoxídico bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação do epóxi estruturante bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação da manta de fibra de vidro por confinamento, aplicação do rolo tira-bolha nos corpos-de-prova, aplicação do epóxi estruturante bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação do rolo tira bolha nos corpos-de-prova.

-A sequência de aplicação do reforço estrutural nos corpos-de-prova com a manta de fibra de vidro pré-impregnada figuras 33, 34 e 35, conforme já exposto anteriormente foi a seguinte:

-Lixamento manual dos corpos-de-prova com de lixa número 100, aspersão de água na superfície dos corpos-de-prova, aplicação da manta de fibra de vidro pré-impregnada por confinamento, aplicação do rolo tira bolha nos corpos-de-prova, aplicação de epóxi estruturante bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação do rolo tira-bolha nos corpos-de-prova.

Vale salientar que nas duas situações não foi necessário a aplicação de argamassa epoxídica de regularização antes da aplicação do reforço, já que os corpos-de-prova não apresentavam imperfeições nas suas superfícies.

A figura 30 ilustra a manta de fibra de vidro tradicional, antes da aplicação do primer epoxídico, responsável pela aderência manta/concreto.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

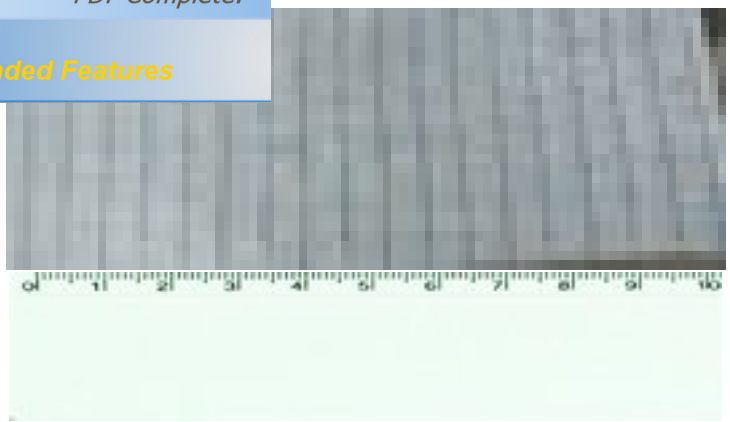


Figura 30 - Detalhe da manta de fibra de vidro tradicional(Fonte:Autor)

A figura 31 ilustra a manta de fibra de vidro pré-impregnada, antes da aplicação do reforço, já com o epóxi pré-impregnado na super fície da manta.

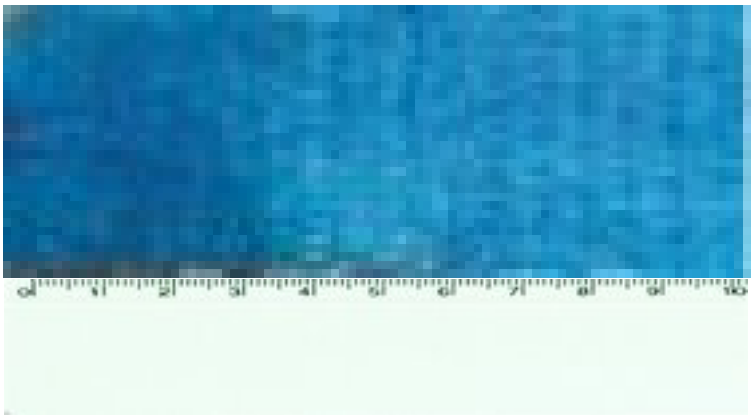


Figura 31 - Detalhe da manta de fibra de vidro pré-impregnada(Fonte:Autor)

A figura 32 ilustra o corpo-de-prova após aplicação do primer epoxídico, antes da aplicação da manta de fibr a de vidro de vidro tradicional.

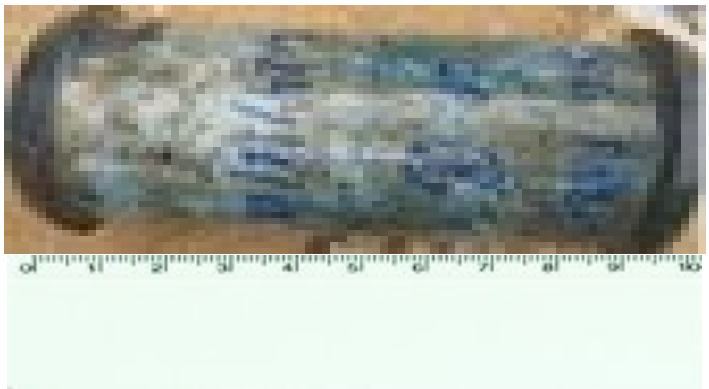


Figura 32 - Corpo-de-prova após aplicação de primer epoxídico para aderência da manta de fibra de vidro tradicional (detalhe brilho do epóxi)(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

-de-prova após aplicação de água tradicional, br a de vidro pré-impregnada.

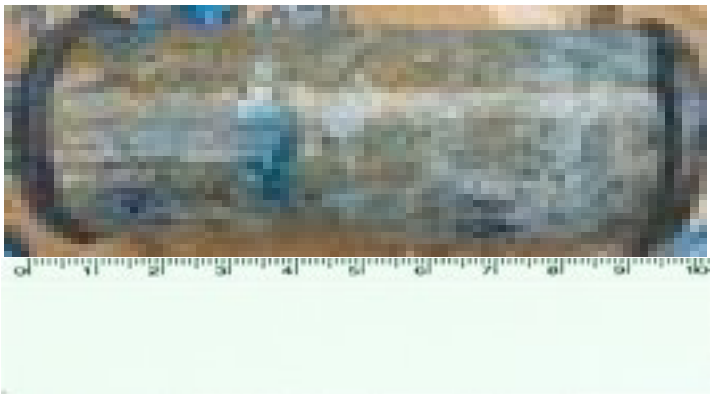


Figura 33 - Corpo-de-prova após aplicação de água para aderência da manta de fibra de vidro pré-impregnada(Fonte:Autor).

A figura 34 ilustra os corpos-de-prova após receberem o reforço estrutural por confinamento, utilizado a manta de fibra de vidro tradicional.

Figura 34 - Corpos-de-prova com reforço de manta de fibra de vidro tradicional(Fonte:Autor).

A figura 35 ilustra os corpos-de-prova após receberem o reforço estrutural por cofinamento, utilizando a manta de fibra de vidro pré-impregnada.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 35 - Corpos de prova com reforço de manta de fibra de vidro pré-impregnada(Fonte:Autor)

A figura 36 ilustra o local exato do transpasse utilizado em ambos tipos de manta de fibra de vidro,ou seja, região mais propícia para o descolamento da manta do concr eto durante o ensaio de resistência à compressão.

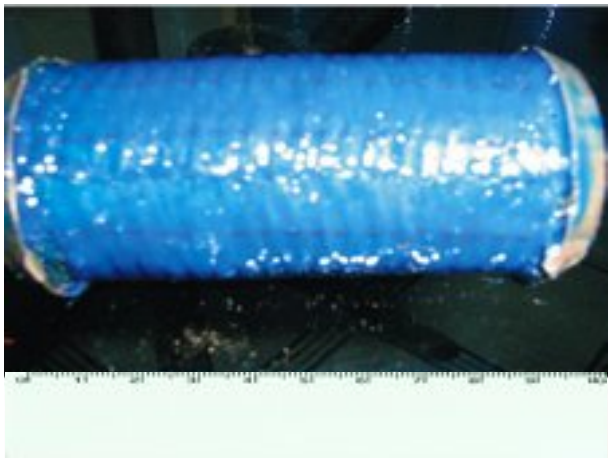


Figura 36 - Detalhe do transpasse de 10 cm utilizado nos corpos-de-prova com manta tradicional e pré-impregnada.(Fonte:Autor)

4.6 ï Caracterização dos ensaios

4.6.1 - Sondagem acústica

A primeira metodologia avaliativa que foi utilizada baseia-se no teste de sonoridade. Ele consiste em bater com um martelo de aço em toda a extensão

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

fibra de vidro pré-impregnado e tradicional) e ificar possíveis pontos em que a colagem não esteja adequada. As amostras foram avaliadas de acordo com a resposta sonora obtida e possíveis áreas de delaminações existentes.

Como o ensaio preconiza uma área mínima de delaminação inferior a 5 % da área total do sistema aplicado ou menor que 1.300 mm², e por causa da inexistência de sequência de normatização e metodologia do ensaio, foi proposta a seguinte sequência de aplicação para o ensaio por Pereira(2002), evidenciado na figuras 37 e 38:

-Avaliação com pancada do martelo de aço de 2 kg pelo avaliador em toda a extensão dos corpos-de-prova de 3 em 3 cm (ponta do martelo de aço) para verificação da existência de delaminações.

-Se não existir delaminações em toda a extensão dos corpos-de-prova o ensaio está terminado com a aceitação do reforço aplicado(NOTA 3).

- Se existirem delaminações, fazer medida da área da delaminação e comparar com a área total do reforço, se a área de delaminação for inferior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for menor que 1300 mm2, as delaminações são admissíveis, sendo a aplicação do reforço aceita(NOTA 2).

- Se a área de delaminação for superior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for maior que 1300mm², as delaminações não são admissíveis, sendo necessário refazer o reforço nas áreas com delaminações, sendo a aplicação do reforço rejeitada (NOTA 1).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

rço de manta de fibra de vidro pré-impregnada durante
dagem acústica.(Fonte:Autor)

Figura 38-Vista do corpo-de-prova com reforço de manta de fibra de vidro tradicional durante ensaio de sondagem acústica (Fonte:Autor)

Vale salientar que este ensaio foi realizado em laboratório(corpos-de-prova) e in-loco(pilares de residência).

4.6.2- Resistência à Compressão(Tração por Compressão Diametral)

A segunda metodologia avaliativa utilizada foi o ensaio de compressão. Ele consiste em aplicar uma carga em uma prensa hidráulica no corpo-de-prova reforçado, até a ruptura do mesmo. Os ensaios de resistência à compressão centrada seguiram a norma NBR-5739/1994 utilizando-se uma prensa hidráulica Shimadzu AG-I e uma prensa hidráulica Amsler. As amostras foram avaliadas de acordo com as tensões máximas obtidas,segundo Pereira(2005) e figura 39.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

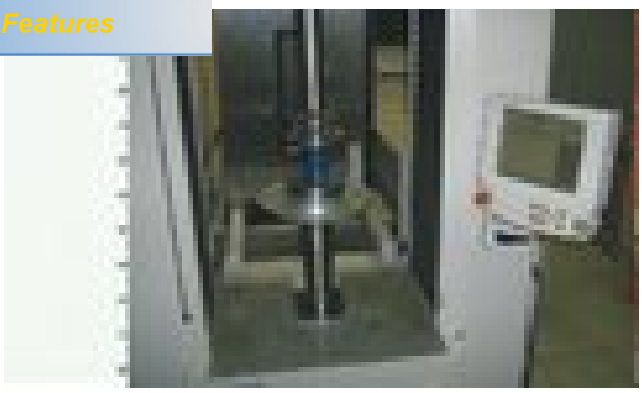


Figura 39 ï Corpo-de-prova reforçado com manta de fibra de vidro pré-impregnada durante o ensaio de resistência à compressão.(Fonte:Autor)

4.7-Análise da Fratura

Foram analisadas visualmente as superfícies fraturadas dos diversos tipos de corpos-de-prova utilizados, verificando-se sua área e forma. Pela análise ótica realizada após os ensaios de resistência à compressão, obteve-se evidências claras do rompimento ou união da manta/concreto e aderência ou falta de aderência da interface, conforme será demonstrado à seguir.

4.8-Teor de Cloretos

Foi analisada ainda a presença de cloretos nos corpos-de-prova através do ensaio de indicador de aspersão de nitrato de prata.

4.9-Carbonatação

Foi analisada ainda a penetração do gás carbônico nos corpos-de-prova através do ensaio de indicador de aspersão de fenolftaleína.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o

Foi analisado ainda o valor do ph do concreto, através do ensaio do lápis medidor de ph(escala de cores).

4.11-Arrancamento(Pull-off)

Outra metodologia avaliativa utilizada foi o pull-off, onde se faz a colagem de uma chapa de aço no reforço aplicado e posteriormente aplica-se uma carga para promover o arrancamento da chapa.

Este ensaio foi realizado in-loco em uma residência em Ponta Negra-NatalRN, com mais de trinta anos de construída, com fck=18 MPa, que apresentou corrosão das armaduras de seus pilares com perda de seção das armaduras principais (4 ferros de 12.5 mm) e de seus estribos (5.0 a cada 20 cm), causada pela ação dos cloretos e gás carbônico , pois a residência está localizada à beira-mar, em uma zona altamente agressiva conforme a nova norma de Projeto de estruturas (NB-1,ABNT,2003). Após a realização dos serviços de recuperação estrutural com remoção do concreto deteriorado,limpeza das armaduras com hidrojateamento de areia(figura 40), pintura das armaduras com primer rico em zinco, grauteamento das seções danificadas e acabamento das seções danificadas, foram realizados os reforços com as duas mantas de fibra de vidro(tradicional (4 pilares) e pré-impregnada (4 pilares)) à flexo-compressão(figura 41), com o objetivo de substituir as armaduras com perda de seção. Após a realização dos reforços foram executados os ensaios de pull-off e sondagem acústica nos oito pilares reforçados.

4.12-Ultra-Som

Outra metodologia avaliativa utilizada foi o ensaio de ultra-som, que é baseado na medida da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

uperfície (NBR-8802,ABNT,2000). O campo de servindo principalmente para a verificação da uniformidade do concreto nos di stintos componentes estr uturais, delimitando as zonas de concreto de alta e baixa qualidade, permitindo comparar qualidades em termos de resistências à compressão ou módulos de elasticidade dos concretos e determinar a existência, a localização e à profundidade de fissuras. As ondas longitudinais são as mais rápidas e mais úteis para os propósitos do ensaio. De um modo simplificado, onda é uma pertubação que se propaga de um ponto para outro, através de um meio, transmitindo energia sem transporte de matéria. Partindo do princípio que o concreto tem uma constituição suficientemente homogênea para as ondas elásticas de alta freqüência, na faixa acima do nível audível, e que por outra parte é necessário operar com comprimentos de onda relativamente pequenos para poder obter trajetórias definidas, adota-se uma solução de compromisso operando entre 40 e 50 Khz que está dentro da faixa dos ultra-sons. O teste de determinação da velocidade de propagação da onda ulta-sônica tem sobre a esclerometria a vantagem de não se limitar a uma determinação superficial das características do concreto, estendendo-se a toda a sua massa. A medida que a velocidade de propagação aumenta a compacidade do concreto aumenta e a medida que a velocidade de propagação diminui a compacidade do concreto diminui. O ensaio se inicia quando um pulso de freqüência ultra-sônica é gerado e transmitido para um transdutor eletro-acústico em contato com a superfície do concreto à ser analisado. Após passar através do concreto, as vibrações são recebidas e convertidas em sinal elétrico pelo segundo transdutor eletro-acústico, com amplificação adequada, ao circuito gerador-receptador. O tempo decorrido entre a emissão da onda e sua recepção(t) é portanto medido com exata precisão. Vale ressaltar que a aplicação da energia elástica gerada na sonda não se transmite à superfície do concreto diretamente, mas através de um acoplante geralmente utiliza-se vaselina,silicone ou graxa como material localizado entre as faces dos transdutores e a superfície à ser ensaiada, a fim de permitir um contato contínuo entre as superfícies. Pode-se fazer na análise uma transmissão direta,indireta ou superficial dependendo das disposições geométricas dos transdutores utilizadas (emissor e receptor). Este método está enquadrado entre os métodos de ensaios não-destrutivos(END), característica

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ção das estruturas de concreto armado e ório (corpos-de-prova). Segue a classificação da qualidade do concreto em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica:

v>4500 m/s = excelente compacidade/qualidade

3500<v<4500 m/s= ótima compacidade/qualidade

3000<v<3500 m/s=boa compacidade/qualidade

2000<v<3000 m/s= regular compacidade/qualidade

V<2000 m/s= ruim compacidade/qualidade

Figura 40-Vista do hirojateamento de areia durante a recuperação estrutural dos pilares da residência(Fonte:Autor)

Figura 41-Vista do reforço estrutural à flexo-compressão realizado nos pilares da residência(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios de sondagem acústica realizados nos corpos-de-prova, após a colagem da manta de fibra de vidro pré-impregnada, verificou-se a inexistência de delaminações e bolhas de ar na superfície do concreto, comprovando a inexistência de grandes erros de aplicação. A manta de fibra de vidro tradicional no ensaio de sondagem acústica também não apresentou delaminações e bolhas de ar na superfície do concreto, indicando também a inexistência de grandes erros de aplicação. Tanto os corpos-de-prova da manta de fibra de vidro tradicional como da pré-impregnada expostos ou não ao ambiente marinho da orla marítima de Natal, não apresentaram delaminações e bolhas de ar no ensaio de sondagem acústica. Vale salientar conforme já foi descrito que o papel do aplicador do sistema de reforço é importantíssimo, influenciando diretamente na aderência manta/concreto, principalmente no sistema com manta de fibra de vidro tradicional, pois exige um maior cuidado na aplicação, já que o aplicador lida com misturas de componentes com proporções exatas de epóxi, exigindo grande atenção e experiência para sua realização.

Nos ensaios de resistência à compressão realizados nos corpos-de-prova sem reforço estrutural, obteve-se resultados satisfatórios com valores de Tensões máximas iguais a: 21.96 MPa, 22.42 MPa, 21.84 MPa, 22.35 MPa, 21.93 MPa e 22.44 MPa, tendo uma média de 22.15 MPa. Em virtude dos resultados obtidos das tensões máximas nos corpos-de-prova reforçados com manta de fibra de vidro tradicional e pré-impregnada serem similares, não se ensaiou um maior número de corpos-de-prova para verificação da obtenção da resistência inicial de 20 MPa. Também não se realizou ensaios com corpos-de-prova com outras dimensões pelos seguintes motivos: o de já existir diversos trabalhos acadêmicos que realizaram tal procedimento com corpos-de-prova (10 X 20 cm) , pela convicção de que se iria obter os mesmos resultados, e por saber que em uma verificação experimental de resistência à compressão in-loco em obras construídas, baseado na norma (NB-1,ABNT,2003), se analisa os corpos-de-prova extraídos, (5 x 10 cm), fazendo-se como recomenda a norma somente uma correlação dos resultados obtidos.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

marinho das superfícies dos corpos-de-prova e influência na aderência manta/concreto, comparando-se com os não expostos à névoa salina, tanto na manta tradicional como na pré-impregnada, sendo comprovado nos resultados dos ensaios de sondagem acústi ca e resistência à compressão aplicada.

Nos ensaios de resistência à compressão realizados com reforço estrutural com a manta de fibra de vidro tradicional, obteve-se resultados inferiores dos obtidos com a manta de fibra de vidro pré-impregnada com a mesma resistência do concreto, caracterizando menores tensões máximas produzidas, portanto uma aderência inferior à obtida com a manta pré-impregnada, conforme resultados tabela 6 e figuras 42, 43 e 44 à seguir:

Tabela 6 - Resultados de tensões máximas obtidas da manta de fibra de vidro tradicional.

Tensões máximas
T1=40,29 MPa
T2=40,35 MPa
T3=40,51 MPa
T4=40,4 MPa(ambiente marinho)
T5=40,52 MPa
T6=40,74 MPa(ambiente marinho)
T7=40,35 MPa(ambiente marinho)
T8=40,61 MPa
T9=40,39 MPa
T10=40,73 MPa
T11=40,84 MPa
T12=40,15 MPa
T13=40,4 MPa(ambiente marinho)
T14=40,23 MPa
T15=40,74MPa(ambiente marinho)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

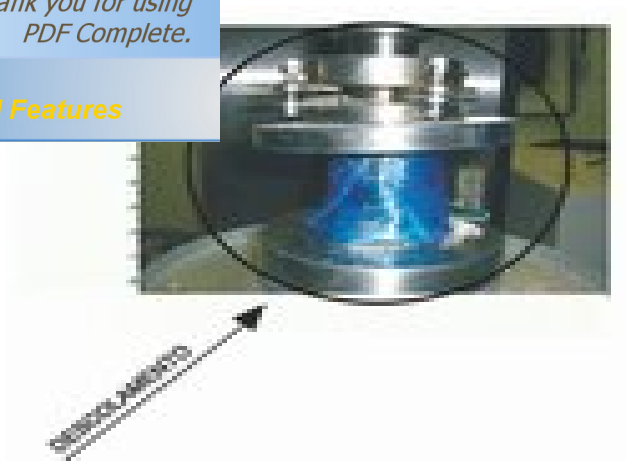


Figura 42- Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional durante ensaio de resistência à compressão (rompimento do transpasse)(Fonte:Autor)

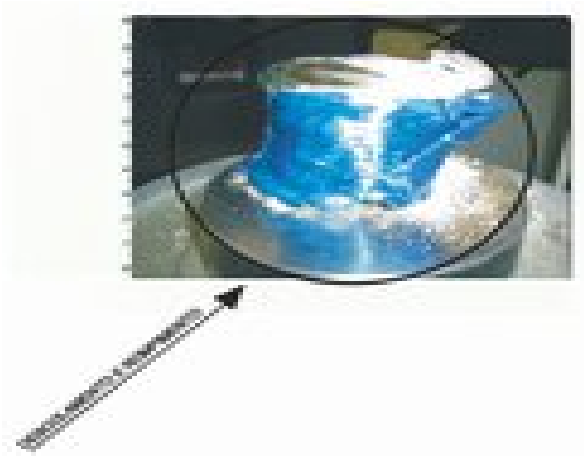
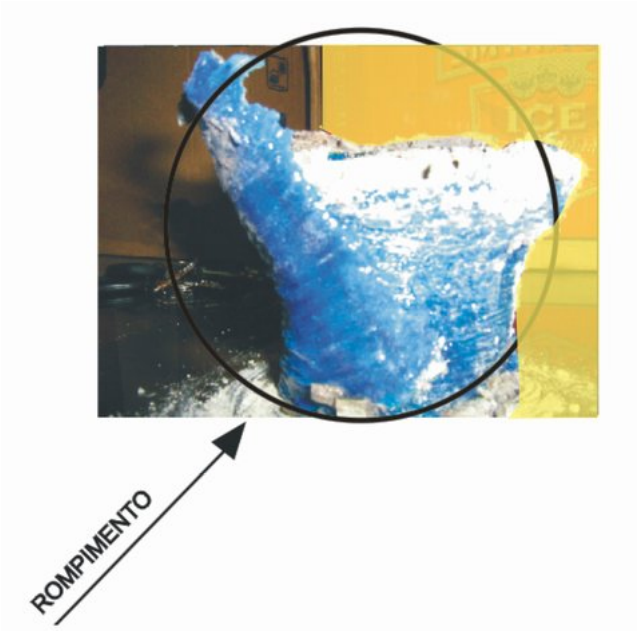


Figura 43 - Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional após ensaio de resistência à compressão (rompimento do transpasse e descolamento da interface manta/concreto) (Fonte: Autor)



Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

passe rompida da manta de fibra de vidro tradicional
a da interface manta /concreto(área fraturada maior)
(Fonte:Autor)

Nos ensaios de resistência à compressão realizados com reforço estrutural com a manta de fibra de vidro pré-impregnada, obteve-se resultados superiores dos obtidos com a manta de fibra tradicional com a mesma resistência do concreto, caracterizando maiores tensões máximas produzidas, portanto uma aderência superior à obtida com a manta tradicional de fibra de vidro, conforme resultados tabela 7 e figuras 45, 46 e 47 à seguir:

Tabela 7 - Resultados de tensões máximas obtidas da manta de fibra de vidro pré-impregnada

Tensões máximas
T1=60,66 MPa
T2=60,14 MPa(ambiente marinho)
T3=60,19 MPa(ambiente marinho)
T4=60,17 MPa
T5=60,8 MPa
T6=60,4 MPa
T7=60,27 MPa
T8=60,70 MPa
T9=60,91 MPa
T10=60,68 MPa(ambiente marinho)
T11=60,17 MPa
T12=60,5 MPa
T13=60,53 MPa(ambiente marinho)
T14=60,78 MPa(ambiente marinho)
T15=60,53 MPa

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

dos obtidos na maioria dos corpos-de-prova, ior nas tensões máximas produzidas, sendo o menor valor de tensão obtido (T1=60.14 MPa), maior do que todos os valores de tensão máxima obtidos na manta de fibra de vidro tradicional,comprovando a maior aderência da manta de fibra de vidro pré-impregnada.

Figura 45 - Corpo-de-prova com reforço da manta pré-impregnada durante ensaio de resistência à compressão (não rompimento do transpasse)(Fonte:Autor)

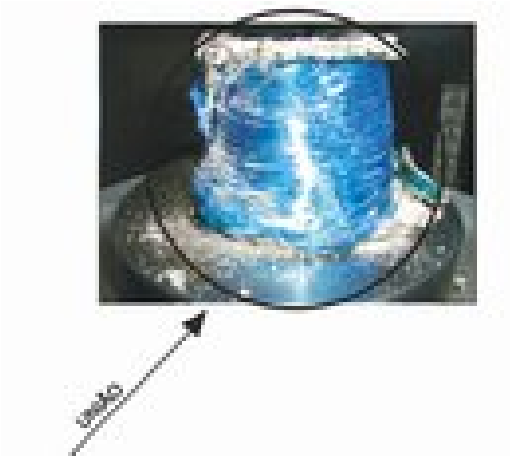


Figura 46 - Corpo-de-prova com reforço da manta pré-impregnada após ensaio de resistência à compressão (aderência da interface manta/concreto)(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

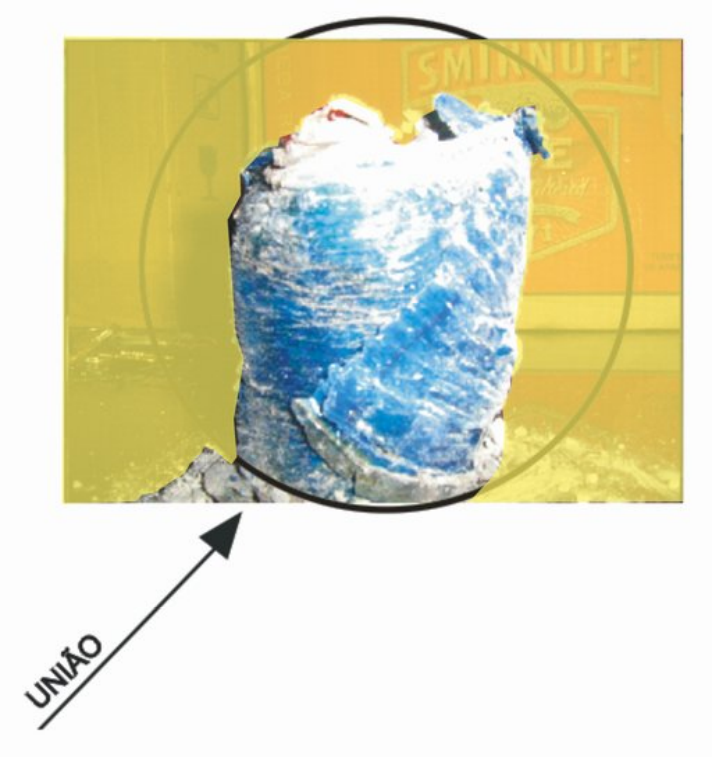


Figura 47 - Vista da região do transpasse unida da manta de fibra de vidro pré-impregnada caracterizando uma maior aderência da interface manta/concreto(área fraturada menor).(Fonte:Autor)

As superfícies fraturadas dos corpos-de-prova com reforço estrutural com a manta de fibra de vidro tradicional apresentaram uma maior área de fratura e um descolamento da interface manta/concreto(rompimento) na tensão máxima, caracterizando uma menor aderência do que a manta de fibra de vidro pré-impregnada conforme figuras 48 e 49. Na ruptura da interface manta/concreto, ocorreu mudanças nas geometrias dos corpos-de-prova com redução da seção útil do concreto, com propagação de fissuras no concreto, até a completa desagregação do concreto.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

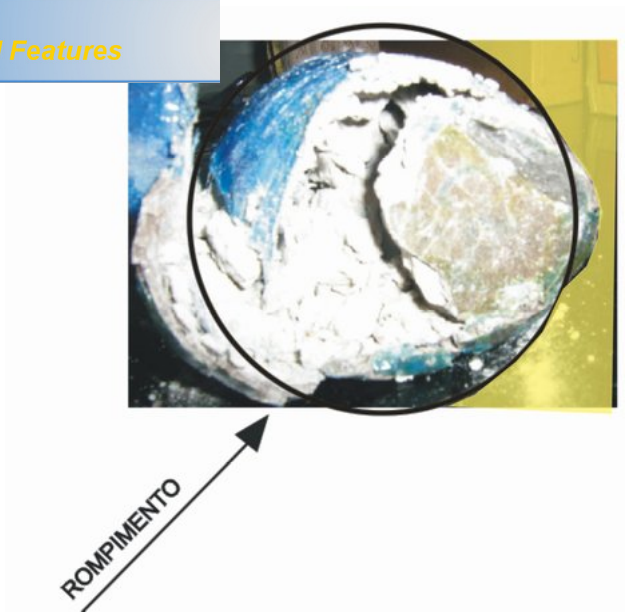


Figura 48 - Vista da superfície de fratura da manta de fibra de vidro tradicional (área maior) e da ruptura da interface manta/concreto(Fonte:Autor)

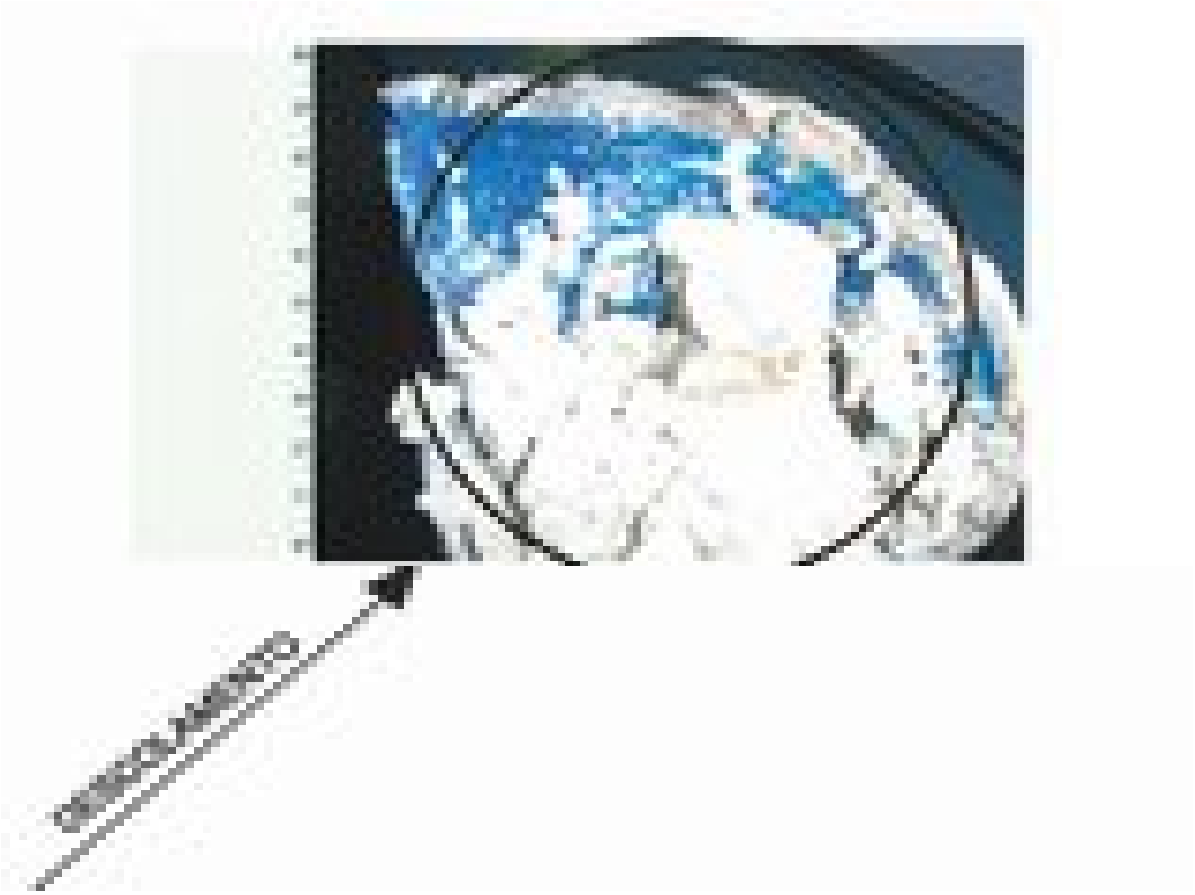


Figura 49 - Vista da superfície de fratura da manta de fibra de vidro tradicional com ruptura e descolamento da interface manta/concreto (Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

dos corpos-de-prova com reforço estrutural ré-impregnada apresentaram uma menor área de fratura e não apresentaram descolamento da interface manta/concreto (rompimento) na tensão máxima, caracterizando uma maior aderência do que a manta de fibra de vidro tradicional conforme figuras 50 e 51. Devido ao favorecimento de alinhamento das fibras e a garantia das quantidades controladas de resina termofixa do tipo epóxi parcialmente curadas, características especiais da manta de fibra de vidro pré-impregnada, não ocorreu ruptura da interface manta/concreto, apenas uma pequena fissuração do concreto, com uma menor redução útil do concreto, evidenciando-se a efetividade da aderência da moldagem por contato dos sistemas pré-impregnados.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

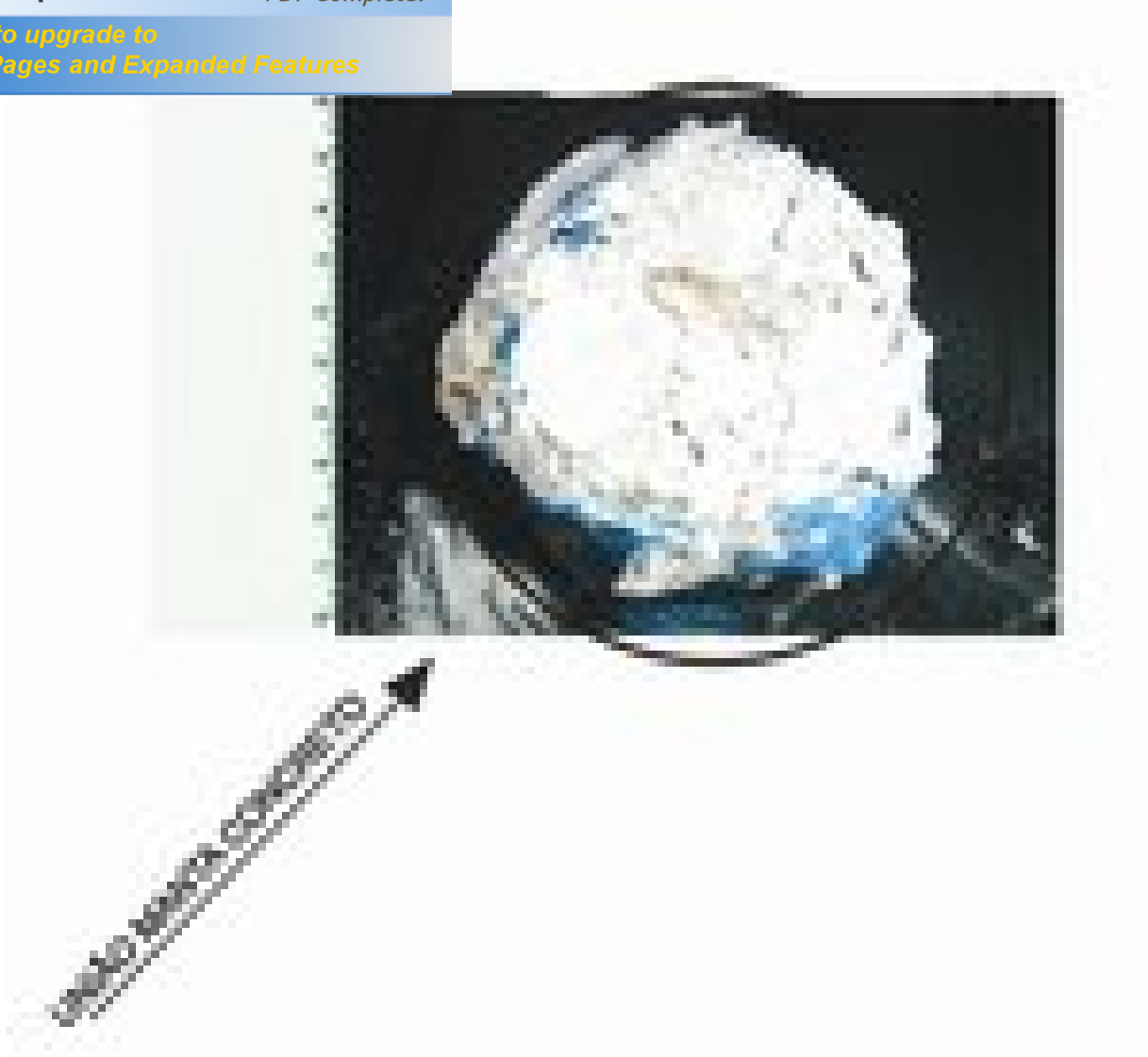


Figura 50 - Vista da superfície de fratura da manta de fibra de vidro pré-impregnada(área menor) e da união da interface manta/concreto(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

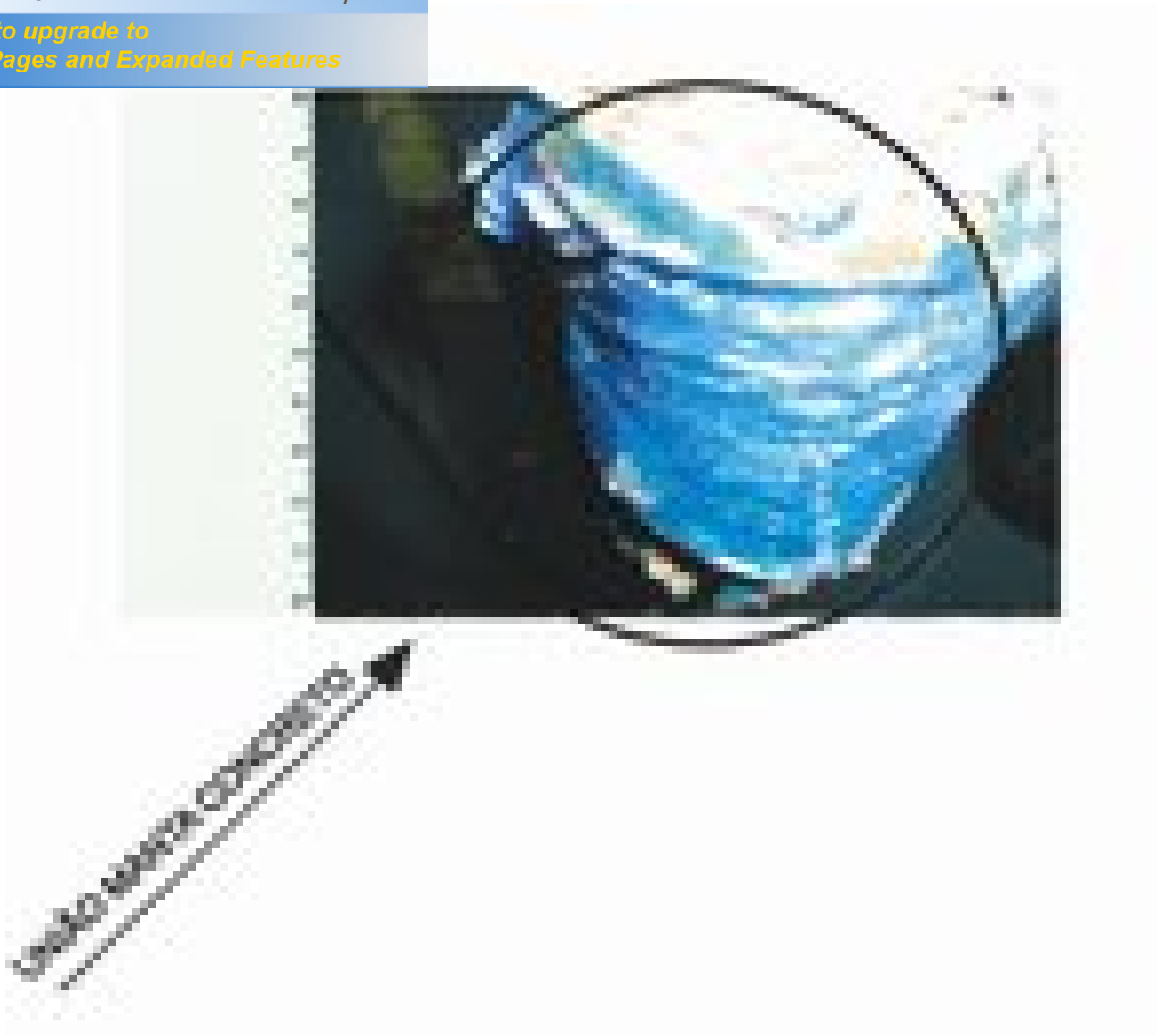


Figura 51 ï Detalhe da união da interface manta/concreto da manta de fibra de vidro pré-impregnada (Fonte:Autor)

Nos corpos-de-prova reforçados com a manta de fibra de vidro tradicional, as tensões máximas obtidas foram inferiores às da manta de fibra de vidro pré-impregnada tendo uma média de tensão máxima de 40.4 MPa (acréscimo de aproximadamente 2,02 vezes) sendo o menor valor obtido de 40.1 MPa e o maior valor obtido de 40.8 MPa ,em virtude da menor aderência apresentada na interface manta/concreto provocando o descolamento e rompimento da manta. Nos corpos-de-prova reforçados com manta de fibra de vidro pré-impregnada, as tensões máximas foram superiores às da manta de fibra de vidro tradicional tendo uma média de tensão máxima de 60.4

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

mente de 3.02 vezes) sendo o menor valor ior ao maior valor obtido com a manta de fibra de vidro tradicional(40.8 MPa) e o maior valor obtido de 60.9 MPa, em virtude da maior aderência apresentada na interface manta/concreto não provocando o descolamento e rompimento da manta, ficando unida a interface manta/concreto. Vale salientar que esta tensão máxima obtida nos ensaios não é a tensão de aderência (onde ocorre o descolamento da manta do concreto), não podendo se determinar tal tensão pelo ensaio de resistência à compressão, só através do ensaio de resistência ao cisalhamento através de equipamento de difícil aquisição e alto custo(máquina triaxial). Mesmo com a utilização deste equipamento seria difícil a execução de tal procedimento, pelas várias variáveis constantes na utilização de tal equipamento. Portanto com os resultados obtidos os reforços com ambas as mantas foram aprovados para o reforço de pilares circulares de concreto armado por confinamento, com uma apresentando uma maior aderência e consequentemente uma maior resistência final(tensão máxima) (pré-impregnada), cabendo ao calculista do reforço, a escolha de qual sistema irá utilizar pela necessidade de aumento de resistência pretendida na obra em questão. Vale salientar que o reforço estrutural utilizado em ambas as mantas foi com apenas uma camada de reforço estrutural, podendo ser aumentado ainda a resistência final de ambas as mantas com a adição de novas camadas de reforço estrutural.

Os resultados dos ensaios realizados in-loco na residência demonstraram conforme o ensaio de resistência à compressão em laboratório, que a tensão de aderência da manta de fibra de vidro tradicional é inferior a da manta de fibra de vidro pré-impregnada. No ensaio do pull-off foram obtidos valores de tensões inferiores a 1,6 MPa para ambas as mantas, sendo que as tensões da manta pré-impregnada tiveram valores um pouco superiores ao da manta de fibra de vidro tradicional.

Manta de fibra de vidro tradicional: 1,53 MPa, 1,52 MPa, 1,53 MPa e 1,55 MPa Manta de fibra de vidro Pré-Impregnada: 1,55 MPa, 1,57 MPa,1,58 MPa e 1,57 MPa

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ruptura ocorreu no substrato de concreto, perfeitamente aderido, conforme figuras 52 e 53.

Figura 52 - Vista da interface manta/concreto da manta de fibra de vidro tradicional após ensaio de pull-off(Fonte:Autor)

Figura 53 - Vista da interface manta/concreto da manta de fibra de vidro pré-impregnada após ensaio de pull-off(Fonte:Autor)

-Nos ensaios de sondagem acústica nos pilares in-loco,não foram observadas delaminações,bolhas de ar, tanto na manta de fibra de vidro tradicional como na pré-impregnada.

-Os ensaios realizados nos pilares da residência in-loco, ampliaram ainda mais a pesquisa de avaliação das estruturas reforçadas, pois avaliaram pilares de seção quadrada, visto que em laboratório os corpos-de-prova tinham seção circular, obtendo os mesmos resultados para ambas as situações.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

oretos nos corpos-de-prova, após a aspersão r do concreto ficou a mesma, indicando a não existência de cloretos nos corpos-de-prova ilustrado na figura 54.

Figura 54-Vista do corpo-de-prova após a aspersão de nitrato de prata(Fonte:Autor)

-No ensaio de carbonatação nos corpos-de-prova, após a aspersão do indicador fenolftaleína, a cor do concreto também continou a mesma, indicando a penetração de gás carbônico nos corpos-de-prova ilustrado na figura 55.

Figura 55-Vista do corpo-de-prova após a aspersão da fenolftaleína (Fonte:Autor)

-No ensaio do valor de ph nos corpos-de-prova, após o risco pelo lápis de ph e comparação com a escala de cores, observou-se uma cor verde na superfície do concreto, indicando o valor de ph=8, mostrando a despassivação do concreto, ou seja, este concreto não estaria mais protegendo a armadura pela redução de sua alcalinidade ilustrado na figura 56.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 56-Vista do corpo-de-prova após aplicação do lápis medidor de ph e comparação com a escala de cores (Fonte:Autor)

-No ensaio de ultra-som realizado após corte dos corpos-de-prova fraturados, obteve-se como resultados a inexistência de fissuras na interface manta/concreto, a inexistência de vazios no concreto e velocidades de onda ultra-sônicas entre 3000 e 3500 m/s, indicando uma boa qualidade do concreto e boa compacidade do concreto analisado, segundo a norma específica e ilustrado na figura 57.

Figura 57-Vista do corpo-de-prova durante o ensaio de ultra-som (Fonte:Autor)

Seguem abaixo os resultados obtidos nos ensaios de ultra-som:

Manta de Fibra de vidro tradicional:

3234 m/s, 3376 m/s , 3212 m/s , 3489 m/s, 3311 m/s , 3213 m/s, 3433 m/s, 3215 m/s, 3266 m/s, 3431 m/s, 3277 m/s, 3366 m/s, 3328 m/s, 3247 m/s e 3376 m/s.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

é-impregnada:

3211 m/s, 3343 m/s, 3367 m/s, 3498 m/s, 3467 m/s, 3389 m/s, 3346 m/s, 3274 m/s, 3291 m/s, 3273 m/s, 3267 m/s, 3385 m/s, 3245 m/s, 3167 m/s e 3385 m/s.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ÇÃO DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE RETO ARMADO REFORÇADAS COM COMPÓSITOS

Ensaio de Sondagem acústica:

O avaliador deve analisar a estrutura reforçada através de martelo de aço de 2 kg, através de pancadas uniformes de 3 em 3 cm, não variando muito a força aplicada na superfície. Após o ensaio da estrutura analisada:

1- Se não existir delaminações em toda a extensão do reforço aplicado o ensaio está terminado com a aceitação do reforço aplicado **(NOTA 3)**

2- Se existirem delaminações, fazer medida da área da delaminação e comparar com a área total do reforço, se a área de delaminação for inferior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for menor que 1300 mm2, as delaminações são admissíveis, sendo a aplicação do reforço aceita **(NOTA 2)**

3- Se a área de delaminação for superior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for maior que 1300mm², as delaminações não são admissíveis, sendo necessário refazer o reforço nas áreas com delaminações, sendo a aplicação do reforço rejeitada **(NOTA 1)**.

Ensaio de arrancamento ou Pull-off:

O avaliador deve utilizar o equipamento de arrancamento, no mínimo em 5(cinco) áreas de reforço aplicado, para se fazer uma média dos resultados obtidos, em virtude do ensaio ser localizado. O avaliador deve colar uma chapa de aço quadrada ou circular no reforço aplicado através de epóxi, e após a cura do sistema proceder ao arancamento da chapa. Após o ensaio da estrutura analisada:

1- Se a ruptura ocorrer no pino de ligação da placa com o dispositivo de arrancamento, indicando que tanto o sistema compósito quanto o substrato de concreto estão adequados e a média dos ensaios tiver uma Tensão de aderência acima de 1,5 MPa, o sistema está aprovado **(NOTA 3)**

2- Se a ruptura ocorrer no substrato de concreto, indicando que o sistema está perfeitamente aderido e a média dos ensaios tiver uma Tensão de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

sistema está aprovado **(NOTA 2)**

- Se o sistema composito descola do substrato de concreto, indicando que a aplicação não foi correta e a média dos ensaios tiver uma Tensão de aderência abaixo de 1,5 MPa, o sistema está reprovado **(NOTA 1)**

Com a elaboração desta correlação entre os ensaios, fica mais fácil a obtenção de um critério (padronização) na avaliação dos reforços utilizando compósitos em estruturas de concreto armado, devendo-se formalizar sua normalização. De acordo com este critério de avaliação em média tanto a manta de fibra de vidro tradicional quanto a manta de fibra de vidro pré-impregnada, obtiveram notas satisfatórias de desempenho (3,2).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

LO 6: CONCLUSÕES

-Comprovou-se nos ensaios de sondagem acústica que a exposição ao ambiente marinho não influenciou nos resultados dos ensaios realizados, tanto da manta tradicional quanto da pré-impregnada na resistência estudada de 20 MPa.

- Comprovou-se nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova sem reforço estrutural, as resistências esperadas.

-O papel do aplicador do sistema de reforço é importantíssimo para se evitar o aparecimento de futuras patologias,principalmente no sistema tradicional.

-Comprovou-se também nos ensaios de resistência à compressão e pull-off que a exposição ao ambiente marinho não influenciou nos resultados dos ensaios realizados, tanto da manta tradicional quanto da pré-impregnada. Explicado pelo tratamento prévio da superfície do concreto realizado antes da aplicação do reforço estrutural com compósitos.

-Nos ensaios de resistência à compressão e pull-off, comprovou-se com os resultados obtidos com a manta de fibra de vidro tradicional, que eles produziram menores tensões máximas, gerando uma aderência inferior à obtida com a manta pré-impregnada, enquanto que a manta de fibra de vidro pré-impregnada produziu maiores tensões máximas, gerando uma aderência superior à obtida com a manta de fibra de vidro tradicional.

-Nas superfícies fraturadas nos corpos-de-prova analisados observou-se que os com manta de fibra de vidro tradicional, apresentaram uma maior área de fratura, com descolamento da interface manta/concreto(rompimento) na tensão máxima, caracterizando uma menor aderência do que a manta de fibra de vidro pré-impregnada e os com manta de fibra de vidro pré-impregnada, apresentaram uma menor área de fratura, com uma união da interface manta/concreto na tensão máxima, caracterizando uma maior aderência do que a manta de fibra de vidro tradicional.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

-Nos corpos-de-prova reforçados com a manta de fibra de vidro tradicional, os acréscimos de tensões máximas foram inferiores aos da manta de fibra de vidro pré-impregnada tendo uma média de tensão de 40.4 MPa(acréscimo de aproximadamente 2 vezes).

-Nos corpos-de-prova reforçados com manta de fibra de vidro pré-impregnada, os acréscimos de tensões máximas foram superiores aos da manta de fibra de vidro tradicional tendo uma média de tensão de 60.4 MPa(acréscimo de aproximadamente 3 vezes).

- Os resultados dos ensaios de arrancamento realizados in-loco na residência, demonstraram conforme os outros ensaios efetuados que a aderência da manta de fibra de vidro tradicional é inferior a da manta de fibra de vidro pré-impregnada. No ensaio do pull-off foram obtidos valores de tensões inferiores a 1,6 MPa para ambas as mantas, sendo que as tensões da manta pré-impregnada tiveram valores um pouco acima aos da manta de fibra de vidro tradicional.

-Nos ensaios de teor de cloretos realizados nos corpos-de-prova, após a aspersão do indicador nitrato de prata a cor do concreto ficou a mesma, indicando a não existência de cloretos nos corpos-de-prova.

-Nos ensaios de carbonatação realizados nos corpos-de-prova, após a aspersão do indicador fenolftaleína, a cor do concreto também continou a mesma, indicando a penetração de gás carbônico nos corpos-de-prova.

-Nos ensaios do valor de ph realizados nos corpos-de-prova, após o risco pelo lápis de ph e comparação com a escala de cores, observou-se uma cor verde na superfície do concreto, indicando o valor de ph=8, mostrando a despassivação do concreto, ou seja, que este concreto não estaria mais protegendo a armadura pela redução de sua alcalinidade.

-Nos ensaios de ultra-som realizados após corte dos corpos-de-prova fraturados, obteve-se como resultados a inexistência de fissuras na interface manta/concreto, a inexistência de vazios no concreto e velocidades de onda ultra-sônicas entre 3000 e 3500 m/s, indicando uma boa qualidade do concreto e uma boa compacidade do concreto analisado, segundo a norma específica.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

avaliação foi elaborada uma proposta de ndagem acústica e de arrancamento (pull-off) com atribuição de notas de desempenho. Com a elaboração desta normalização a avaliação dos reforços ficou mais fácil, pois existe à partir de agora uma correlação entre os ensaios,obtendo-se um critério(padronização), na avaliação dos reforços utilizando compósitos em estruturas de concreto armado.

- De acordo com este critério de avaliação em média tanto a manta de fibra de vidro tradicional quanto a manta de fibra de vidro pré-impregnada, obtiveram notas satisfatórias de desempenho(3,2).

- Portanto com os resultados obtidos os reforços com ambas as mantas foram aprovados para o reforço de pilares circulares de concreto armado por confinamento, com uma apresentando uma maior aderência e consequentemente uma maior tensão máxima (pré-impregnada), cabendo ao calculista do reforço, a escolha de qual sistema irá utilizar pela necessidade de aumento de resistência pretendida na obra em questão. Deve-se com os resultados obtidos neste trabalho, disseminar a utilização por parte das empresas aplicadoras dos sistemas de reforço com compósitos da manta de fibra de vidro pré-impregnada, em virtude das suas vantagens técnicas.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

PARA TRABALHOS FUTUROS

-Realização de ensaios avaliativos (sondagem acústica, resistência à compressão e pull-off) com as mantas de fibra de carbono e kevlar pré-impregnadas, para confirmação do aumento de aderência concreto/fibra e comparação com os resultados obtidos com a fibra de vidro

- Realização de ensaios avaliativos (sondagem acústica, resistência à compressão e pull-off) com as mantas de fibra de carbono,vidro e kevlar pré-impregnadas e não impregnadas, com incremento de armaduras nos corpos-de-prova

-Realização de ensaios de microscopia eletrônica de varredura,com amostras das mantas de fibra de carbono,aramida e vidro pré-impregnadas e tradicionais para análise da interface manta/concreto

-Realização de ensaios de ultra-som com amostras das mantas de fibra de vidro,carbono e aramida pré-impregnadas e tradicionais para análise da interface manta/concreto

-Formulação de epóxis para substituição dos epóxis utilizados nas mantas pré-impregnadas

- Avaliação da influência das dimensões do corpo-de-prova na eficiência dos resultados dos ensaios avaliativos utilizados

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

-Utilização por parte das empresas aplicadoras dos sistemas de reforço com compósitos, da manta de fibra de vidro pré-impregnada em nossa região, em virtude das vantagens técnicas

-Utilização por parte das empresas aplicadoras dos sistemas de reforço com compósitos, das mantas de fibra de carbono e kevlar pré-impregnadas em nossa região, visando a completa disseminação no meio técnico e científico do sistema com a manta pré-impregnada

-Melhoria da aderência manta/concreto com a utilização dos compósitos pré-impregnados e diminuição ou eliminação das patologias oriundas das aplicações com o sistema tradicional

-Elaboração de uma metodologia para o ensaio de sondagem acústica e para o ensaio de arrancamento para análise de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos

-Elaboração de um tabela de correlação entre dois ensaios (sondagem acústica e arrancamento), para análise de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos

-Encaminhamento à ABNT de proposta de normalização das metodologias dos ensaios de sondagem acústica e arrancamento, para análise de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR (NB ï 1), Projeto de estruturas de concreto, RJ, 2003

ABNT-NBR 5739, Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilindricos- Método de ensaio, RJ,1994

AITICIN,P.C; Concreto de Alto desempenho,Pini,São Paulo,2000

ANTEQUERA,P;JIMENEZ,L;MIRAVETE,A, Los Compuestos de Fibra de Vidro, Universidad de Zaragoza,1991

American Concrete Institute, AC/Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-95) and Comentary(ACI 318 R-95 e ACI 503R)

American Concrete Institute, ACI Committe 440. Guide for the design and construction of externally bonder FRP systems for strengthening concrete structures,2000

ASTM D 2344, Ensaio de flexão em três pontos, método de ensaio, Philadelfia

ASTM D 5379 ï 93, Ensaio losipescu, método de ensaio, Philadelfia

ASTM D 303976, Ensaio de tração transversal, método de ensaio, Philadelfia

BASF, Software ñReforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbonoò,2003

BEBER,A;SANTAROSA,D;CAMPOS,A, Confinamento de concreto com compósitos, Ibracon,2006

BIRYUKOVICH,K.L, Glass Fibre Reinforced Cement, Cera, 1965

CEN 1542; Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Pull-off test. Bruxelas. Comitê Europeu de Normalização, 1995.

CHAJES, J.M; Bond and Force transfer of composite material plates bonded to concrete. ACI Structural Journal, Detroit, 1996.

Concrete Society Committe, Design Guidance for Strengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials,2000

DIN EN 989:1995, FIBER PUSH OUT TEST

FERRARI,V.J;PADARATZ,I.J;LORRIGIO,D.D, Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem, Ibracon, São Paulo, 2002.

FREYSSINET; Cahier des clauses tecniques- Reinforcement du beton par collage de tisu de fibres de carbone procede TFC. Paris,1997.

ISIS, Canadian Network of centers of excellence on intelligent sensing for innovative structures- Standard test methods 1998.

ISAIA,G.C; Materiais de Construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo,Ibracon,2007, vol.1.

ISAIA,G.C; Materiais de Construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo,Ibracon,2007, vol.2.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o, Pesquisa e Realizações, São

ISAIA,G.C; Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, São Paulo,Ibracon,2005, vol.2.

LORENZIS,L, Stability of CFRP Confined Columns,Universitá degli Studi di Lecce,2004

MACHADO, A . P , Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono, São Paulo. Pini,2002.

MBRACE- Composite Strengthening System- Engineering Design Guidelines, USA,2002.

METHA,K.P; Concreto:Estrutura,Propriedades e Materiais,Pini,São Paulo,1994

MENEGUEL, J.M; SÁNCHEZ, E, Estudo da aderência compósito de fibra de carbono-concreto em vigas reforçadas à flexão, Ibracon, São Paulo,2002.

MENEGHETTI,L.C; GARCEZ,M.R; CAUDURO,L.B; FILHO,L.C.P.S, Caracterização da resistência à tração de polímeros estruturados com fibras de carbono,vidro e aramida, Ibracon, São Paulo,2005.

MENECHETTI, L.C, Comportamento de ruptura de elementos de concreto armado com materiais compósitos, tese de doutorado, UFRS, Porto Alegre, 2007

MELO, G.S; CABRAL, S.C.M, Aderência e descolamento de compósitos de fibra de carbono em estruturas de concreto reforçadas, Ibracon, São Paulo,2004.

MIRMIRAN,A;SHAHAWY,M, Behavior of concrete columns confined by fiber composites, Journal of structural engineering, New York,1997

NEVILLE,A.M; Propriedades do Concreto,Pini,São Paulo,1997

PEREIRA,F.S.C; Effect of stell casing surface conditions on the adherence of oilwell cements,18 TH International Congress of Mechanical Engineering,Ouro Preto-Minas Gerais, 2005.

PEREIRA,F.S.C, Utilização de Manta de Fibra de Carbono no reforço de estruturas de Concreto Armado, Ibracon,São Paulo,2002.

PEREIRA,F.S.C; Avaliação de Aderência de Interfaces cimento/revestimento metálico em Poços de Petróleo,Dissertação de Mestrado,PPGEM-UFRN,2005

RAY PUBLISSHING PUBLICATION, Composites for Infrastructure- A Guide for Civil Engineers

SAADATMANESH,H;EHSANI,M, Fiber composite plates can strengthen beams, Concrete Internacional, Detroit,1990

SEVERINO,A.J Metodologia do Trabalho Científico, Editora Cortez,São Paulo,2003

SOUZA,V.C.M; RIPPER,T, Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, Pini, São Paulo,1998.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Verificação experimental da aderência de um e carbono colado à superfície do concreto, Revisa do concreto,Ibracon, São Paulo,2005.

SOUZA,R.H.F; APPLETON,J.ªS; RIPPER,T.C; Avaliação do desempenho de compósitos armados com tecido de fibras de carbono como elemento de reforço de vigas de betão armado, Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa,1998.

SPRAGG, C.J;DRAZAIL,L.T, Fiber, Matrix, and Interface Proprieties, ASTM STP 1890,1996

SCHWARTZ,M.M, Composite materials handbook, New York:McGraw-Hill,1984

SIKA 2000, Guias de Diseno e Instalacion Tejidos Sikawrap, Reforzamiento com Sistemas de Fibras de Carbono(CFRP) y Fibras de Vidrio(GFRP) para Estructuras de Concreto y Madera,SantaFé de Bogotá,Colombia,jan

TENG,J.G; YAO,J; CHEN,J.F, Intermediate crack-induced in RC beams and slabs. Construction na Building Materials, 2003

TOUTANJI,H; ORTIZ,G, The effect of surface preparation on the bond interface between FRP sheets and concrete members. Composite Structures, 2001

TOUTANJI,H, Stress-Strain characteristics of concrete columns externally confined with advanced fiber composite, ACI Materials Journal, Detroit,1999

TSAI,S.W; MIRAVETE,A, Diseño y Analisis de Materiales Compuestos, Editora Reverte S/A, Barcelona,1988

XIAO,J; LI,J;ZHA,Q, Experimental study on bond behavior between FRP and concrete. Construction and Buiding Materials, 2004

YE,J.Q, Interfacial shear transfer of RC beams strengthened by bonded composite plates. Cement & Concrete Composites, 2001

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo Beber, Santarosa e Campos(2006) e Toutanji(1999), a crescente necessidade de reabilitação das edificações, tem conduzido a um número cada vez maior de investigações nesta área de conhecimento. A utilização de materiais e componentes de baixa qualidade, especificações de projeto fora dos padrões estabelecidos por normas, exposição a ambientes agressivos, sobrecarga nas estruturas e danos devidos a desastres naturais podem causar sérias deteriorações na infra-estrutura.

A escolha da técnica de reforço deve levar em consideração as particularidades de cada método.

Alargamento da estrutura com adição de nova camada de concreto e armadura solidarizada ou não à estrutura existente são métodos adotados em pilares, vigas, lajes, paredes, através de concreto projetado (grandes áreas) e grout (pequenas áreas).

Pós-tensionado é a técnica de introduzir um elemento que, após tensionado, absorve parte das cargas atuando sobre a estrutura. Este elemento pode ser introduzido no interior da estrutura existente ou utilizado externamente.

Alívio de tensões é o método que reduz as tensões na estrutura ou em parte da mesma. Um dos métodos mais utilizados é do alívio de tensões com a criação de novas juntas, alívio de cargas.

Reforço passivo é a técnica em que o reforço não atua até que as cargas adicionais (passivas ou ativas) sejam aplicadas e / ou que a deformação adicional aconteça.

Reforço ativo é a técnica que permite que o reforço imediatamente atue no suporte das cargas (ativas ou passivas). Transferência de carga é a técnica de transferir a carga para outra parte da estrutura. Exemplo: piso industrial.

O desenvolvimento de materiais poliméricos avançados possibilitou sua utilização em diversas aplicações industriais. Por vários anos esses materiais têm sido empregados nas indústrias aeroespacial e de defesa, nas construções

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

até mesmo na de equipamentos esportivos. rodução desses materiais, aliado à falta de informações técnicas adequadas limitaram ou inibiram por longo tempo a utilização dos materiais poliméricos avançados na indústria da construção civil. Contudo, a constante redução de custos das matérias-primas e dos processos industriais de manufatura acabou tornando esses materiais cada vez mais competitivos em relação aos tradicionalmente utilizados para a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado e/ou protendido. Essa viabilidade econômica, por sua vez, permitiu a realização de projetos de pesquisa dirigidos especificamente para o uso dos materiais poliméricos avançados na indústria da construção civil.

Materiais compósitos, consistindo de polímeros reforçados com fibras, começaram a ser produzidos industrialmente a partir de 1952. O maior impulso dado a utilização de compósitos no reforço de estruturas de concreto armado foi dado pelo governo japonês, em virtude da ocorrência de frequentes terremotos, executando centenas de aplicações de reforço em suas estruturas com as fibras de carbono, (RAY PUBLISSHING PUBLICATION) (2002).

A primeira aplicação de um sistema compósito na América Latina data de 1998, com o reforço estrutural do Viaduto de Santa Teresa. Existem atualmente mais de 300 obras de reforço somente no Brasil com a utilização de compósitos. A mais frequente patologia existente no reforço com compósito está no descolamento da manta de reforço do concreto. Isto ocorre principalmente pela má aplicação do reforço com falha na distribuição contínua do primer epoxídico, componente responsável pela ligação entre o concreto e o compósito, dentre outros fatores, conforme ilustrado na Figura 1.

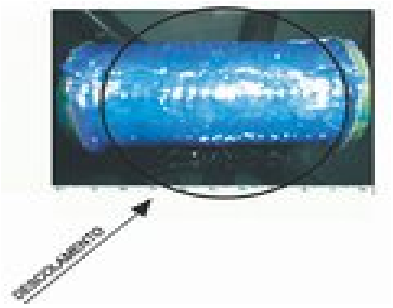


Figura 1 ï Falha na distribuição contínua do primer epóxi ocorrendo descolamento da manta/concreto

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o de obras reforçadas que apresentam esta ervou a necessidade de se avaliar a aderência concreto/compósito em diferentes tipos de concreto e de reforços utilizados.

No Brasil, as pesquisas sobre aderência de compósitos a concretos ainda são incipientes. A maior parte dos estudos encontrados na literatura técnica tratam das ligações dos concretos com a fibra de carbono, segundo Cabral e Melo (2004). No início da década de 2000, foram iniciados os trabalhos experimentais e teóricos relativos à aderência entre os compósitos e o concreto. Dentre eles podem-se citar os trabalhos de Cabral e Melo (2004) e Sanchez e Meneguel(2002), pioneiros na investigação da interpretação do fenômeno da aderência compósito-concreto. Vale salientar que ambos os trabalhos utilizaram o compósito fibra de carbono para análise.

Atualmente, é utilizada uma metodologia de ensaio de aderência normatizada pelo ACI (American Concrete Institute). Ela consiste em avaliar a qualidade da aplicação do reforço, conforme Machado (2002), o pull/off.

O pull-off é o teste de arrancamento de fibras. Ele consiste em colar uma chapa de aço quadrada sobre o sistema compósito aplicado e através de um dispositivo adequado promover o arrancamento desta chapa, medindo-se a força na fibra necessária para se produzir o arranque. A sondagem acústica, é uma técnica qualitativa, não normatizada, que consiste em se avaliar a aderência manta/concreto, através de um martelo de aço. Ao longo da peça de concreto reforçado realizam-se pancadas com o martelo de aço para de acordo com o som obtido se detectar as deformações e bolhas de ar existentes na interface manta/concreto. A produção de um som grave, salienta a aderência manta/concreto, e um som oco da pancada martelo/concreto salienta a a falta de aderência manta/concreto. Esta técnica permite a descoberta de grandes defeitos(bolhas de ar,delaminações), sendo um ensaio prático e rápido, para uma avaliação e descoberta de grandes defeitos na aplicação do reforço.

Neste trabalho foram adotadas quatro metodologias para avaliação dos concretos reforçados com a fibra de vidro tradicional e pré-impregnada, a sondagem acústica, o ensaio de compressão,o pull-off e o ultra-som. Foi também analisada a influência da orla marítima na aderência manta/concreto, expondo parte dos corpos-de-prova à praia de Ponta Negra-Natal-RN, por 60 dias.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ação da aderência in-loco foi realizado um ncia em Ponta Negra-Natal-RN, com as duas mantas de fibra de vidro estudadas (tradicional e pré-impregnada), por flexo-compressão, onde se realizaram o pull-off nos dois tipos de manta e a sondagem acústica, fazendo ao final do trabalho uma tabela correlativa entre todos os ensaios realizados na pesquisa, relacionando os resultados quantiativos (obtidos em laboratório) e os qualitativos(obtidos in-loco). A escolha da resistência dos corpos-de-prova de 20 MPa, deu-se em primeiro lugar , porque quanto menor a resistência do concreto, maior a deformação e maior a expansão lateral, evidenciando, assim, uma visão mais ampla dos efeitos ao confinamento e da aderência. Em segundo lugar, pelo fato que a maioria dos casos onde se executa o reforço estrutural por confinamento em pilares de concreto armado,são por resistência à compressão inferior à de projeto, com resistências chegando ao máximo à 25 MPa.

A escolha por pilares circulares, também se deve ao fato de que os reforços por encamisamento por compósitos só funcionam totalmente em pilares circulares, em pilares retangulares e quadrados normalmente se faz um encamisamento de grout com adição de novas armaduras. Além das quatro metodologias citadas foram realizadas análises das fraturas dos corpos-de-prova, para avaliar a localização, o formato e a área das superfícies, fazendo-se um comparativo das fraturas com reforço com manta de fibra de vidro tradicional e manta de fibra de vidro pré-impregnada. Nestas análises foram ainda realizados os seguintes ensaios no concreto utilizado: teor de cloretos, carbonatação e ph. A escolha deste novo tipo de manta de fibra de vidro (pré-impregnada) foi feita principalmente em virtude da possibilidade de se obter com a sua aplicação uma maior aderência e tensões máximas obtidas quando comparada com manta de fibra de vidro tradicional, além de outras vantagens proporcionadas pela sua aplicação como a não necessidade de aplicação de epóxis. Portanto o objetivo principal deste trabalho é avaliar o desempenho dos concretos reforçados com as mantas de fibra de vidro tradicional e pré-impregnada, através de ensaios qualitativos e quantitativos in-loco e em laboratório, utilizando concretos com reforço estrutural por confinamento por fibra de vidro.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

CAPÍTULO 2

REFORÇOS DE ESTRUTURAS COM COMPÓSITOS

2.1- Fibras de vidro

Segundo Machado (2002), a fibra de vidro foi por muito tempo predominante para muitas aplicações na engenharia civil devido ao balanço econômico entre o seu custo e as características de resistência específica. As fibras de vidro são disponíveis comercialmente segundo a formulação denominada E-Glass. O material conhecido como E-Glass é produzido a partir de uma família de vidros obtidos de silicatos de cálcio e alumina, podendo ser moldados de várias maneiras e com aplicações virtualmente ilimitadas. A fibra de vidro se constitui basicamente da união de óxido de silício e vários outros óxidos (alumina, alcalinos e alcalinotérreos) sendo na prática mais utilizadas aquelas à base de silício e que possuem pelo menos dois silicatos, um alcalino (silicato de sódio) e outro alcalinotérreo (silicato de cálcio). As suas principais propriedades são o baixo coeficiente de dilatação térmica, boas propriedades mecânicas, facilidade de processamento, isotropia, durabilidade. As fibras de E-Glass são responsáveis por cerca de 80 a 90 % da produção comercial de fibras de vidro.

Como todo compósito estruturado com fibras, o sistema E-Glass é anisotrópico relativamente ao seu comprimento (direção das fibras). Contudo, existem técnicas de configuração das fibras e os procedimentos têxteis específicos que eventualmente podem arranjar as fibras de forma a que o produto final adquira um grau significativamente alto de quase isotropia em seu desempenho. As fibras de vidro são incomparavelmente mais resistentes relativamente às demais formulações de vidros, tais como os utilizados em vidraças ou garrafas.

A resistência das fibras de vidro é fortemente influenciada pelo grau de proteção contra agressões ambientais, abrasões e mesmo contaminação por

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Admite-se, teoricamente, que a superfície dos vidros possui vazios submicroscópicos que agem como concentradores de tensões. Além disso, a exposição a um ambiente com ph elevado pode produzir degradações ou rupturas que variam de intensidade em função do tempo de exposição. Esses problemas potenciais foram descobertos já nos primeiros anos de fabricação das fibras de vidro e propiciaram um desenvolvimento continuado de tratamentos protetores. Atualmente esses tratamentos são universalmente aplicados ainda no estágio de fabricação das fibras. Dependendo da matriz resinosa aplicada, esses pré-tratamentos permitem limitar as perdas de resistências por fluência entre 5% e 10%, após testes com água fervente com duração de quatro horas.

2.1.1- Processos de fabricação da fibra de vidro

Segundo Antequera; Jimenez e Miravete (1991), existem vários processos de fabricação de fibra de vidro(fusão direta, fusão de bolas). Porém, para todos eles pode-se dividir o processo de fabricação em cinco etapas, conforme (figura 2):

- Mistura e fusão: após análise, moagem e dosagem dos óxidos eles são misturados de modo homogêneo e levados a um forno de fusão utilizando-se temperaturas entre 1.550°C (fornos caros devido à utilização de refratários como óxido de zircônio e cromo);

- Fibramento: o material fundido no forno é distribuído por canais de furos entre 2 e 8 mm (fieiras,1.250 °C). Na saída o vidro resfria primeiro por radiação e depois por pulverização de água;

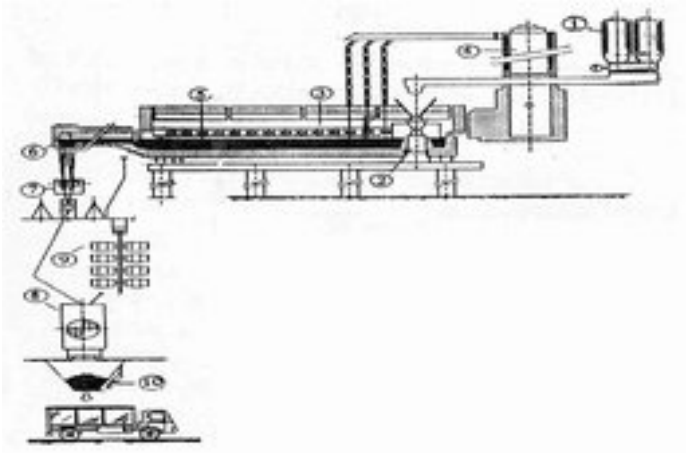
- Encimagem: as fibras de vidro são revestidas de uma película fina de diversos compostos químicos. Sem este processo as fibras são inutilizáveis, pois não possuem coesão entre os filamentos, não resistem à abrasão, são sensíveis à água, formam cargas eletrostáticas e, principalmente, não possuem aderência química com a matriz. Já as fibras de vidro com

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

tes que mantém as mechas coesas, protegem a eletricidade eletrostática, melhoram a rigidez da fibra e, principalmente, favorecem a aderência com a matriz;

- Enrolamento: após a encimagem, as fibras são agrupadas, obtendo-se os produtos finais;

- Secagem: os produtos já enrolados passam por diferentes tipos de secagem para eliminar o excesso de água e as sobr as da encimagem.



1. Silos de matérias primas.
2. Enformadoras
3. Forno
4. Disositivos de recuperação
5. Vidro fundido
6. Fileira de fibras
7. Sistema de aplicação de encimagem
8. Bobinadora
9. Rolos
10. Desperdicios

Figura 2 - Fabricação da fibra de vidro (Adaptada de Antequera,Jimenez e Miravete(1991)).

Segundo Tsai e Miravete (1988), as formas de fibras de vidro disponíveis no mercado são a fibra de vidro roving (fios contínuos e paralelos), os tecidos roving (unidirecional e bidirecional), a manta (fios contínuos e cortados), as fibras moídas, e os complexos tecido e manta (aplicações restritas a peças de forma plana ou com grandes raios de curvatura, segundo (figura 3):

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 3 ï Formas de fibra de vidro

2.1.2- Tipos de fibra de vidro de reforço

Os principais tipos de fibra de vidro existentes são:

- Fibra de vidro E: tipo mais utilizado entre os materiais compósitos (90% das aplicações), pois é o mais barato, e possui boas propriedades elétricas, de rigidez e desgaste. Sua composição é 53-54% SiO_2, 14-15,5% alumina, 20-24% cal e magnésio, 6,5-9% óxido de boro,0-0,7% flúor e <=1% de óxido de sódio, potássio e titânio;

- Fibra de vidro A: possui boa resistência química (alcalino), baixo módulo e baixa resistência elétrica. Sua composição é 70-12% de sílica, 0-2,5% alumina, 5-9% cal e 4-1% oxido de magnésio,0-0,5% óxido de boro, e 12-15% de óxido de sódio e 1% de óxido de potássio ;

- Fibra de vidro C: excelente resistência a corrosão química, baixa resistência mecânica, sendo mais caro que o vidro E. Sua composição é de 60-65% silica, 2-6% alumina, 14% cal e 1-3% oxido de magnésio,2-7% óxido de boro, e 8-10%;

- Fibra de vidro R:possui elevadas características mecânicas, alta resistência à fadiga, temperatura e umidade. Sua composição é 60% silica, 25% de alumina, 6% cal e 9% oxido de magnésio;

- Fibra de vidro D: possui boas propriedades dielétricas, sendo usada para a construção de materiais eletrônicos. Sua composição é de 73-74,0,5-0,6% cal e magnésio, 22-23% óxido de boro, e 1,3% óxido sódio e 1,5% óxido de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Fibra de vidro E: possui alta resistência mecânica servindo para proteção da radiação (chumbo).

As características principais da fibra de vidro, segundo a Basf estão descritas na tabela 1:

Tabela 1- Propriedades da manta de fibra de vidro

- Módulo de elasticidade	72 GPa
- Módulo de Tração Longitudinal	45 GPa
- Módulo de Tração Transversal	12GPa
- Deformação específica de ruptura	2,7%
- Resistência última de tração	1,3GPa
- Espessura da lâmina por camada	0,353mm
- Densidade	2,1g/cm³
- Coeficiente de Poisson	0,19
- Alongamento percentual na direção longitudinal	2,3
- Alongamento percentual na direção transversal	0,4

2.2- Resinas utilizadas nos sistemas compósitos

Segundo Machado (2002), uma grande variedade de resinas é utilizada nos sistemas compósitos, incluindo os imprimadores primários, os regularizadores de superfície, os saturantes e os adesivos. São correntemente empregadas resinas à base de epoxídios, ésteres de vinil e poliésteres. As resinas atualmente disponíveis foram formuladas de tal maneira a terem o seu comportamento estrutural otimizado para uma larga variedade de condições ambientais. As resinas também foram desenvolvidas para serem facilmente manuseadas e aplicadas.

Dentre as características e qualidades principais necessárias às

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Compatibilidade com o substrato de concreto e resistência elevada de colagem;

- Resistência adequada aos agentes ambientais, que incluem elevadas temperaturas, água salgada, pressão de vapor e outros agentes químicos normalmente associados ao concreto exposto;
- Capacidade de preenchimento de vazios;
- Compatibilidade e aderência com a fibra utilizada no reforço
- Desenvolvimento de propriedades mecânicas apropriadas ao compósito
- Compatibilidade e aderência ao sistema compósito estruturado com fibras.

2.2.1- Imprimadores primários

Os imprimadores primários são utilizados com o objetivo de penetrar no substrato de concreto para permitir, através de seu adesivo específico, a construção de uma ponte de aderência para a resina de saturação ou para outros adesivos a serem aplicados posteriormente, conforme (figura 4). A proporção da mistura dos dois componentes epóxis (um catalisador) A e B varia de acordo com o fabricante.

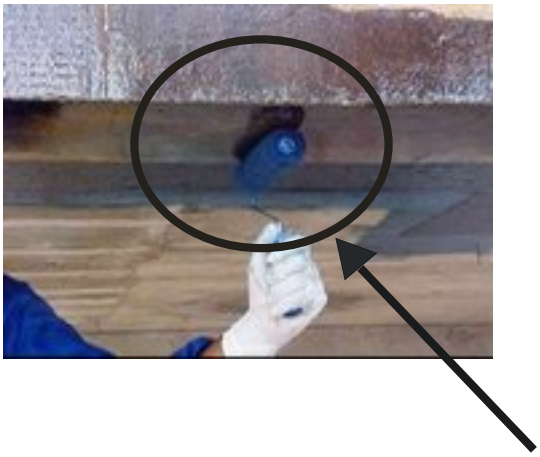
Aplicação do Primer Epoxidico

Figura 4 - Aplicação do primer epoxídico em reforço estrutural (Fonte:ENGECAL).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

rfície

Os regularizadores de superfície são utilizados para o preenchimento de vazios e correção de imperfeições superficiais visando propiciar uma superfície lisa e desempenada sobre a qual o sistema compósito será colado, conforme (figura 5). Esse produto pode ter uma espessura máxima recomendada de 3 mm e a sua proporção de mistura depende do fabricante.



Aplicação do regularizador

Figura 5 - Aplicação do regularizador de superfície em reforço estrutural (Fonte:ENGECAL).

2.2.3- Resinas epóxi

As resinas de saturação são utilizadas para a impregnação das fibras que constituem o reforço estrutural dos compósitos, fixando-as no local e garantindo um meio efetivo para a transferência das tensões de cisalhamento entre elas (figura 6). Uma recomendação fundamental é de que se deve utilizar estritamente a quantidade de resina necessária à impregnação ou à colagem, para que não ocorram alterações sensíveis nas características do compósito. O excesso de resina acarreta uma menor resistência final e um maior peso.

As características fundamentais das resinas são:

- Deformação de ruptura compatível com as deformações das

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

- Manutenção da estabilidade diante da atuação de agentes químicos;
- Suficiente capacidade de aderência às fibras do sistema;
- Módulo de elasticidade da ordem de 2000 MPa

A relação da mistura varia de acordo com o fabricante.

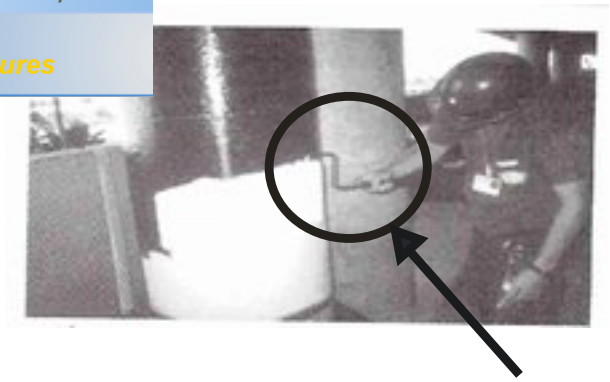
Aplicação do epóxi estruturante

Figura 6 - Aplicação de epóxi estruturante em reforço estrutural (Fonte: ENGECAL).

2.2.4- Adesivos

Os adesivos são utilizados para a colagem de sistemas compósitos pré-impregnados ao substrato de concreto. Esses adesivos estabelecem um meio de transferência das tensões de cisalhamento entre o substrato de concreto e o laminado, ou mesmo entre diversas camadas de compósitos laminados. Os revestimentos protetores são utilizados para proteger a superfície colada dos sistemas compósitos de potenciais efeitos danosos produzidos pelo meio ambiente em que está inserido. Esses revestimentos protetores são aplicados na face exterior do sistema curado dos compósitos, conforme ilustrado na figura 7.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Aplicação de revestimento protetor

Figura 7 - Aplicação de revestimento protetor em reforço estrutural (Adaptada de carbono de Machado (2002)).

2.2.5- Sequência de aplicação do reforço estrutural com compósitos

A Sequência de aplicação do reforço estrutural com compósitos segundo Mbrace (2002); Concrete Societty Committe (2000) e Biryukovich (1965), é a seguinte:

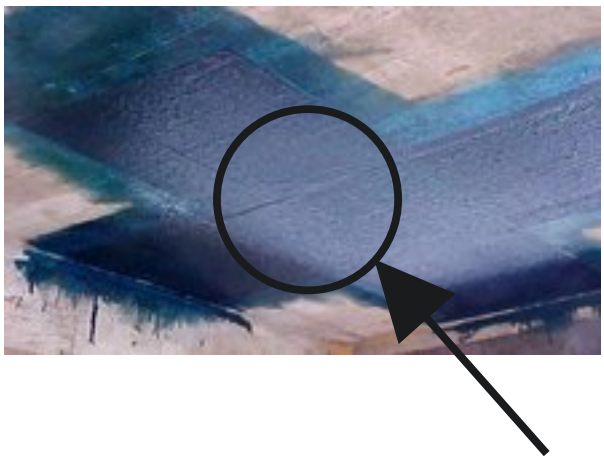
Recuperação do substrato de concreto armado para que o sistema possa ser aderido com segurança, imprimação da superfície sobre a qual será aplicado o sistema para se estabelecer uma ponte de aderência entre o substrato de concreto e o sistema compósito, utilizando um imprimador epoxídico com elevado teor de sólidos que ao penetrar nos poros do concreto e ao estabelecer uma película sobre a superfície do concreto cria uma interface altamente eficiente para a transmissão de esforços entre o compósito e a peça de concreto (figura 4), regularização e correção das imperfeições superficiais do substrato de concreto, de modo a estabelecer um plano adequadamente nivelado, utilizando uma pasta epoxídica contendo alto teor de sólidos para calafetar eventuais imperfeições superficiais e criar um plano desempenado para a aplicação do sistema compósito (figura 5), aplicação da primeira camada de resina saturante com alto teor de sólidos que servirá para impregnar (saturar) a lâmina da fibra e aderi-la à superfície do concreto (figura 6), aplicação opcional de película de acabamento com elevado teor de sólidos, alto brilho e resistente à corrosão, com o objetivo de proteção e/ou acabamento estético para o sistema (figura 7), aplicação da lâmina da fibra (manta) que vai reforçar o sistema compósito (figura 8) e aplicação da segunda camada de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

etar a impregnação da lâmina da fibra, que envelopa o sistema (figura 9).

Aplicação da lâmina da fibra

Figura 8 - Aplicação de sistema compósito em reforço estrutural. (Fonte: ENGECAL).



Reforço com compósito aplicado

Figura 9 - Reforço estrutural concluído com utilização de sistema compósito. (Fonte: ENGECAL).

2.3- Manta de fibra de vidro pré-impregnada

A manta de fibra de vidro estrutural pré-impregnada possui fibras bidirecionais, especificamente à base de filamentos de vidro estrutural com altíssima resistência mecânica e resistente aos álcalis. Esta manta de fibra de vidro foi lançada recentemente no exterior, apresentando algumas vantagens

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o sua pré-impregnação com resina especial ua maior característica que é a utilização de água (forma de spray) como catalizador da resina pré-impregnada usada para curar o sistema de reforço estrutural.

As principais propriedades desta manta de fibra de vidro pré impregnada, conforme tabela 2, são:

Tabela 2 - Propriedades da manta de fibra de vidro pré-impregnada

Densidade	2.600 kg/m³
Módulo de Elasticidade	64 ï 75 kN/mm²
Peso do Tecido	813 g/m²
Espessura Nominal	0,81mm
Resistência à Tração	339MPa
Módulo de Tração	65kN/mm²
Resistência à Flexão	228MPa
Resistência ao Cisalhamento	20MPa
Escoamento na ruptura	1,49%
Dureza Shore	85

Abaixo seguem algumas aplicações do sistema com manta pré-impregnada nas figuras 10, 11 e 12:

Na figura 10, ilustra-se a facilidade de aplicação da manta pré-impregnada com a água diferentemente da tradicional, não necessitando de misturas de epóxi, nem de várias camadas de aplicação de epóxi, diminuindo o tempo gasto para aplicação do sistema e o custo final de sua aplicação.

Na figura 11, ilustra-se uma aplicação de reforço em uma viga, evidenciando a facilidade e rapidez executiva do sistema pré-impregnado, reforçando-se a viga com a manta de fibra de vidro pré-impregnada à flexão, para absorver os esforços de tração devido aos momentos fletores positivos e

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

mensionamento estrutural da viga.

Figura 10 - Vista da prévia impregnação com água da manta de fibra de vidro antes da aplicação na estrutura à ser reforçada (Revista Recuperar Número 70).

Figura 11- Vista da aplicação de reforço estrutural em fundo de viga de concreto armado com manta de fibra de vidro pré-impregnada (Revista Recuperar Número 70).

Na figura 12, ilustra-se um reforço em um pilar circular com manta de fibra de vidro pré-impregnada, aplicado por confinamento com uma camada de reforço estrutural com transpasse de 20 cm, visando o aumento da resistência à compressão do pilar, em virtude da resistência à compressão ser inferior à especificação em projeto.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 12 - Vista do reforço estrutural por cintamento de pilar circular de concreto armado de viaduto concluído com utilização de manta de fibra de vidro pré-impregnada (Revista Recuperar Número 70).

2.4- Reforço estrutural com compósitos por confinamento

Quando um elemento de concreto é comprimido axialmente, por efeito Poisson, são induzidas deformações transversais que resultam na expansão radial do elemento. Sob baixos níveis de carregamento, as deformações transversais são proporcionais às deformações longitudinais, e relacionadas entre si através do coeficiente de Poissson que varia no concreto de 0,15 a 0,25 de acordo a NBR 6118. Depois de alcançada uma determinada tensão crítica (60 a 80 % da resistência característica do concreto), a taxa de crescimento das deformações transversais aumenta rapidamente, resultado da formação de micro-fissuras na massa do concreto, entre os agregados, o que conduz a grandes incrementos de deformação transversal com relativamente pequenos incrementos de deformação longitudinal. Estas pequenas fissuras vão se agrupando, tornando-se macro-fissuras e o elemento falha com trincas características, paralelas à direção do carregamento. As principais técnicas de reforço estrutural de elementos comprimidos estão relacionadas com o aumento da seção transversal, proporcionando uma redistribuição da carga e consequente redução nas solicitações impostas à seção original.

Este aumento de seção é freqüentemente executado com a utilização de materiais cimentícios, como a argamassa e o concreto, aliado à incorporação de armadura adicional, ou ainda, através de chapas de aço ou perfis metálicos fixados externamente. O princípio destes reforços é, portanto,

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

resistente à compressão nos pilares e ainda tração nas peças flexo-comprimidas. Um problema frequente no concreto é a necessidade de confinamento lateral e melhoria da capacidade de absorção de energia. Muitas pesquisas têm demonstrado que o confinamento lateral em colunas aumenta a resistência à compressão, ductilidade e capacidade de deformação do concreto (Toutanjih,1999).

Os primeiros testes relativos ao confinamento de peças comprimidas de concreto, realizados no início do século, utilizavam-se de espirais de aço ou até mesmo estribos muito próximos, internos na massa do concreto. Desde então, os estudos têm se aprofundado, passando por análises de confinamento através de pressão hidrostática e tubos de aço. O uso de materiais compósitos, tornou-se mais uma opção com os mesmos benefícios dos outros, podendo ser aplicado em estruturas já existentes, como alternativa de reforço estrutural. Mantas de fibra de carbono já foram utilizadas com sucesso na área de reforço de colunas de concreto segundo (Saadatmanesh e Ehsani, 1990).

Para seções circulares, a eficiência do reforço estrutural com compósitos por confinamento é facilitado pela geometria das peças (pilares). Já para as seções quadradas e retangulares e de maiores dimensões a eficiência do reforço estrutural diminui consideravelmente à medida que se aumenta a seção da peça (pilares). Uma forma para se melhorar um pouco sua aplicação e eficiência é fazer nas peças (pilares) um preenchimento com argamassa cimento/areia (1:3) simulando uma curvatura e diminuindo as medidas da seção reta. Mesmo com este artifício, jamais se consegue uma resistência à compressão por confinamento em seções quadradas e retangulares em pilares, igual à resistência à compressão por confinamento obtida em seções circulares (sempre inferior = 50% menos eficiente), já observado em diversos trabalhos técnicos com manta de fibra de carbono, como Beber, Santarosa e Campos (2006) ilustrado na figura 13 mostrada a seguir:

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

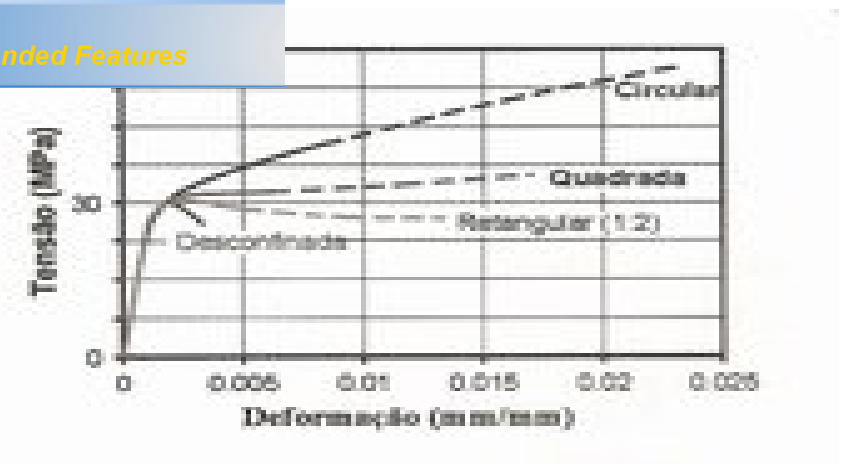


Figura 13 - Diagrama tensão/deformação para diversas seções transversais de colunas (Machado (2002).

Seções retangulares com relação entre os lados (b/h) excedendo 1,50 ou dimensões dos lados b ou h, excedendo 900 mm não devem ser confinadas até que testes demonstrem sua efetividade segundo, Machado, (2002).

De acordo com Machado(2002), os reforços geraram um aumento significativo na carga de ruptura, sendo mais percebido quanto menor a resistência do concreto não confinado, os reforços propiciaram um aumento da ductilidade dos corpos-de-prova, com o aumento da capacidade de absorção de energia. Nas seções com forma circular a ruptura foi brusca com ruídos, desde a fissuração do núcleo até a ruptura do material confinante. Em seções retangulares ou quadradas, mesmo realizando um arredondamento com um raio mínimo de 1 cm, a ruptura se deu nas arestas arredondadas, enfatizando a falta de aderência concreto/compósito nas curvaturas e pequena resistência à compressão nas arestas. A contribuição de tensão de confinamento da fibra e dos estribos existentes na seção de uma coluna pode ser assim avaliada, segundo a Basf (2003):

Fl=2x n x tf x ffe/h devido à fibra nas seções circulares (1)

Fl=ka x pf x ffe/2 devido à fibra nas seções retangulares (2)

Fl= 2 x aestr x fs estr/s x di devido aos estribos nas seções circulares (3)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

+b)/ s x b x h devido aos estribos nas seções retangulares

(4)

Em função dos valores de Fl calcula-se o aumento da resistência de compressão da coluna decorrente do confinamento através da expressão:

$$f_{cc} = f_c \left[2{,}25 \times \sqrt{1 + \frac{7{,}9 f_l}{f_c}} - 2 \times \frac{f_l}{f_c} - 1{,}25 \right]$$

(5)

Em que:

Fl = pressão lateral de confinamento

n = numero de camadas de fibras

tf = espessura de uma camada de fibra

he = tensão de tração na fibra

aestr = área da seção transversal da manta

s = espaçamento dos estribos

fcc = aumento da resistência à compressão do concreto decorrente do confinamento

fc = resistência característica à compressão do concreto

ka = coeficiente de redução da eficiência da fibra

ka = 1 (circular)

di = diâmetro correspondente ao baricentro do estribo

Quando do dimensionamento por confinamento de pilares de concreto armado, algumas verificações complementares devem ser consideradas. É de crucial importância esclarecer como e para quanto o aumento de resistência devido ao confinamento pode ser agregado a uma coluna quando problemas de estabilidade tenham que ser levados em consideração. Estudos realizados concluem que o reforço de colunas através de confinamento com sistemas compostos somente será efetivo para valores baixos ou moderados do

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Para coeficientes de flambagem acima de 40, a carga de flambagem é inferior à resistência à compressão do concreto sem confinamento (Lorenzis, 2004).

No caso da necessidade de reforço de peças de concreto armado para atuação concomitante de esforços de flexão e aumento da resistência à compressão axial, os reforços necessários à flexão devem ser aplicados em primeiro lugar vindo o reforço por confinamento sobre aquele. Esta sequência se torna necessária tendo em vista que, para flexão, necessita-se de colagem íntima e, para a compressão, necessita-se de contato íntimo, o que leva o reforço ao confinamento ser aplicado sobre o reforço à flexão.

O acréscimo do comportamento do concreto pode ser quantificado da observação de que o concreto confinado pela fibra apresenta uma resposta tensão/deformação bilinear conforme figura 14 apresentada à seguir. Inicialmente o comportamento da tensão/deformação não se modifica em relação ao concreto sem confinamento. Contudo, nas proximidades da tensão máxima para o concreto sem confinamento, o nível de tensões no concreto confinado continua a aumentar concomitantemente com o acréscimo das deformações. A relação do aumento é fortemente proporcional à rijeza da jaqueta de confinamento. Uma vez que o confinamento age no sentido de evitar seções danificadas no concreto, o nível máximo de deformação transversal do concreto é limitado tão somente pela deformação última admitida na jaqueta de confinamento.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

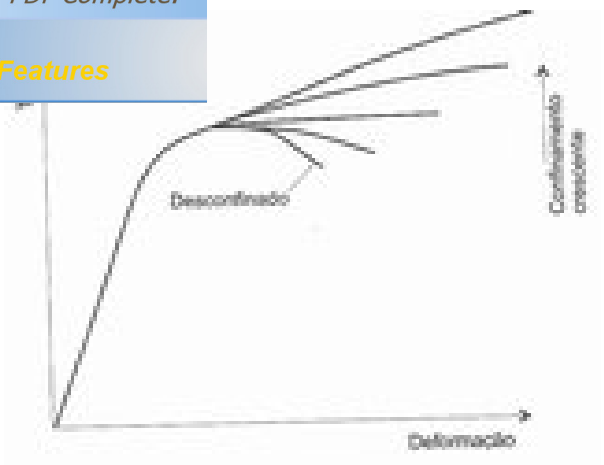


Figura 14 - Diagrama tensão/deformação para concreto em vários graus de confinamento (Machado, (2002).

O segmento AO representado na figura 15, corresponde ao primeiro trecho em ambas as direções, axial e transversal, resultante no modulo de elasticidade E1. O segmento AB denota o segundo trecho, com um aspecto linear para ambas as direções, indicado pelo módulo de elasticidade E2. Neste trecho, tanto a tensão de compressão no concreto confinado OC quanto a pressão de confinamento lateral O1 alcançaram respectivamente seus máximos valores Fcc e Fi na ocorrência da ruptura do sistema, conforme ilustrado na figura 15.

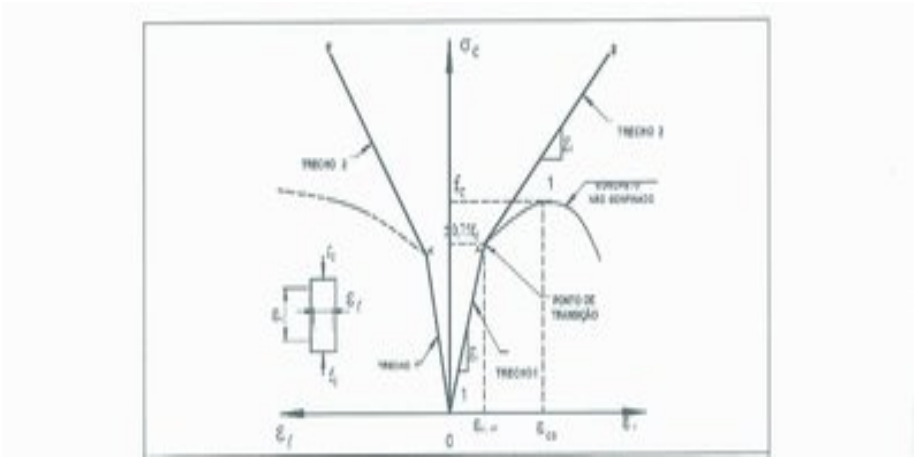


Figura 15 - Comportamento esquemático da relação tensão x deformação do concreto confinado. (Machado,(2002))

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

16 algumas características de resistência a

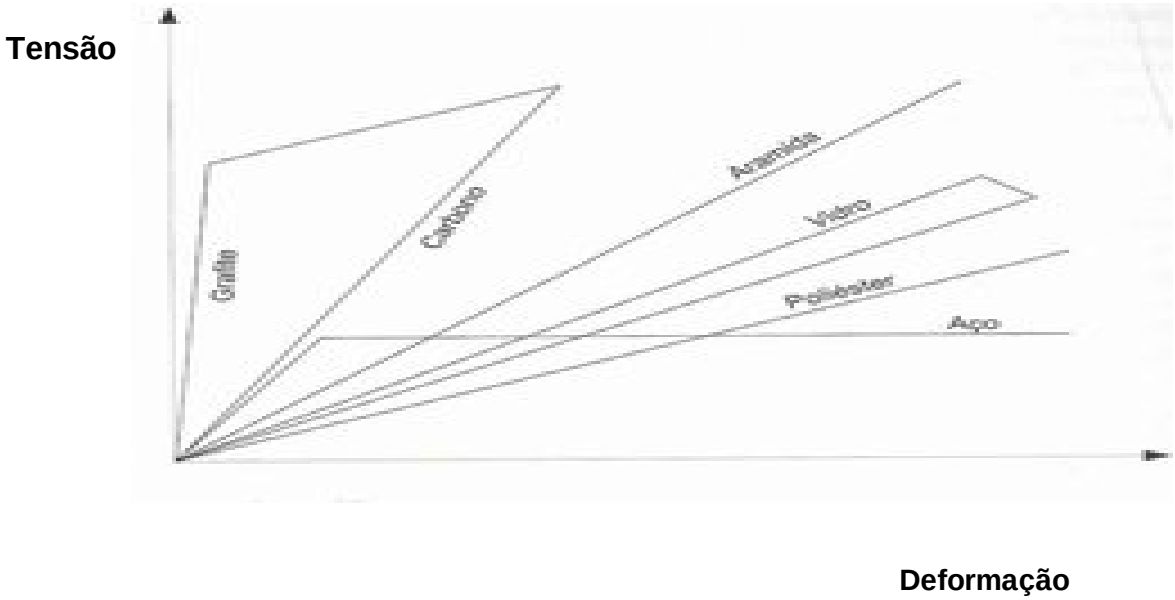


Figura 16 - Características de resistência à tração dos sistemas compósitos (Machado, (2002)).

2.5 ï Teorias de adesão de compósitos

Segundo Antequera,Jimenez e Miravete(1991), dentre as teorias de adesão existentes para os sistemas compósitos, estão inseridos cinco mecanismos principais de adesão que podem ocorrer isoladamente ou em combinações.

A primeira teoria de adesão é a umidificação, ou seja, impregnação da fibra pela resina, ocorrendo contato de uma superfície líquida com uma sólida (união física). A tensão superficial de uma substância é uma medida da força que deve ser aplicada para aumentar sua área superficial, sendo numericamente igual ao trabalho realizado para aumentar a superfície de contato (por unidade de área). O vidro tem boa impregnação, com energia superficial de 560 mj/m². Na prática não se consegue este forte enlace físico devido a contaminação da superfície da fibra alterando as tensões superficiais, a presença de ar e outros gases na superfície sólida e o surgimento de grandes

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

sso de curado, ocasionando deslocamento da

A segunda teoria de adesão é a interdifusão, ela consiste da difusão de moléculas do polímero de uma das superfícies da rede molecular da outra, promovida por agentes plastificantes ou dissolventes.

A terceira teoria de adesão é a atração eletrostática, onde as forças de atração se originam entre duas superfícies quando as mesmas apresentam cargas positivas e negativas.

A quarta teoria de adesão é o enlace químico (processo de encimagem) sendo promovido por agentes adesivos na superfície da fibra, quimicamente compatíveis com a matriz. A energia de ligação depende do número e tipo de enlaces. Por fim a quinta teoria é a adesão mecânica.

2.6 - Desempenho de reforço estrutural com compósitos

Existe uma grande variedade de estruturas em que os sistemas compósitos estruturados com fibras de vidro podem ser utilizados. Segundo, Ferrari, Padaratz e Lorrigio (2002) a eficiência da técnica de reforço com compósitos em estruturas de concreto armado, apesar de ainda ser considerada como um recurso recente, tem sido comprovada através de diversos estudos experimentais. Entretanto, na grande maioria destes estudos, tem-se observado a ocorrência de falha prematura do reforço caracterizada pelo seu desprendimento do substrato de concreto. Este tipo de falha é extremamente indesejável, pois ocorre sem aviso e antecipa o colapso da estrutura reforçada. Esse tipo de falha tem chamado a atenção da grande maioria dos pesquisadores, e em paralelo, tem sido a razão de receio na especificação deste tipo de reforço por parte de projetistas mais conservadores. Grande parte das atuais publicações sobre este tipo de reforço tem dado especial atenção à zona de ligação dos materiais concreto-adesivo-compósito, para melhor conhecer o que se passa a nível de comportamento geral nesta região de forma que se possa criar critérios de prevenção e eliminação de falha prematuras.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ção de um reforço do substrato de concreto, opagação acentuada de fissuras na interface concreto-adesivo-reforço devido a imperfeições na aplicação do adesivo, à existência de fissuras de flexão no concreto no ato da colagem e ao destacamento parcial do reforço quando a face tracionada do concreto não estiver perfeitamente plana. Os modos de falha prematuros de estruturas reforçadas se caracterizam pelo descolamento do reforço na interface compósito/concreto ou pelo desprendimento do conjunto (reforço mais cobrimento de concreto aderido). Em geral, têm-se observado nos diversos trabalhos experimentais, que o descolamento do reforço, ocorre a um baixo nível de incremento na capacidade de carga da estrutura reforçada devido a deficiências na fase de aplicação do reforço, tais como, ancoragem inadequada ou propriedades ineficientes das resinas. Já em relação ao desprendimento do conjunto, tem ocorrido em estruturas com baixa resistência à tração e/ou recobrimento de armadura inferior a NB1-ABNT(2003), após considerável incremento na capacidade de carga da estrutura reforçada.

Os modos de falha prematuros em estruturas reforçadas com compósitos devem ser evitados, pois, antecipam a ruína da estrutura reforçada através do desprendimento do reforço. Porém, como evitá-los, com segurança, ainda é um problema que deve ser resolvido com intensa pesquisa na área, segundo Metha(1994) e Neville(1997).

Segundo, Meneguetti, Garcez, Cauduro, Filho (2005), o desempenho do método de reforço e/ou recuperação de elementos de concreto através da colagem de compósitos poliméricos estruturados com fibras é governado pela ligação entre o concreto e o sistema de reforço. O entendimento do mecanismo de transferência de tensões na interface e conseqüentemente, a caracterização dos mecanismos de ruptura em elementos de concretos reforçados, fornecem informações úteis para a seleção de adesivo e sistemas de reforço adequados. Segundo Ye (2001), uma ligação rígida na interface, mesmo que necessária para a transferência de tensões, geralmente induz à falha repentina e precoce, limitando a capacidade de absorção de energia. Por outro lado, uma ligação fraca na interface permite que ocorra o mecanismo de endurecimento, com ruptura longitudinal na camada de adesivo. Os modos de ruptura preconizados

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ntes:

Ruptura na zona comprimida do concreto antes do escoamento do aço, ocorrendo de maneira frágil e sem aviso prévio, em elementos com altas taxas de armadura ou com altas taxas de reforço, necessárias para garantir a capacidade resistente esperada, no caso de vigas sub-armadas. Esta situação, segundo Thomsen (2004), indica que o reforço, neste tipo de elemento não é uma solução viável.

Escoamento do aço, seguido pela ruptura do reforço polimérico, ocorrendo com taxas de armadura e de reforço relativamente baixas sendo necessário o reforço estar adequadamente ancorado.

Escoamento do aço, seguido pela fissuração do concreto na zona comprimida, ocorrendo quando a capacidade resistente à flexão da viga é alcançada com o escoamento do aço na região tracionada, seguido por esmagamento do concreto na zona comprimida. Neste caso, o reforço polimérico permanece intacto, ocorrendo este tipo de falha quando a viga original e a ser reforçada estão subdimensionadas.

Os modos de ruptura citados acima ocorrem quando os elementos de concreto reforçados atuam de forma conjunta com o compósito de reforço até o momento da falha, podendo-se acrescentar a eles a ruptura por cisalhamento que ocorre quando a viga alcança sua capacidade limite ao cisalhamento antes que aconteça a falha por flexão, devido ao aumento proporcionado pelo compósito no momento resistente da viga e o escoamento do aço em seções não reforçadas que acontece quando o reforço na viga é executado parcialmente, o que pode ocasionar a formação de uma região plástica no final do reforço, ruptura na camada de cobrimento de concreto, gerada por tensões de cisalhamento e tração, ruptura na interface concreto-compósito.

Estes dois últimos modos de ruptura citados, estão relacionados com a perda de ação do compósito no momento da falha. Já Teng, (2003), baseado em estudos existentes, apresenta uma nova classificação com sete possíveis modos de falha:

- Ruptura por flexão no reforço polimérico;
- Esmagamento do concreto na zona comprimida;
- Ruptura por cisalhamento;

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

de cobrimento;

l no extremo do reforço;

- Descolamento interfacial induzido por fissuras de flexão intermediárias;
- Descolamento interfacial induzido por fissuras de cisalhamento-flexão intermediárias.

O mecanismo de descolamento do reforço que ocorre em regiões onde existem altas tensões normais e de cisalhamento é um dos principais, mais tradicionais e indesejáveis modos de falha. Um fator fundamental neste tipo de ruptura é a eficiência da ligação adesiva concreto-reforço. A criação de uma adequada interface de adesivo é vital para garantir a efetividade da técnica de reforço por colagem externa de elementos poliméricos, pois proporciona o meio para transferência de esforços entre o substrato de concreto e o reforço. Vários fatores que levam à falha da área de ligação podem provocar a ruptura brusca do elemento reforçado, não permitindo que o reforço alcance o desempenho esperado.

Segundo Xiao (2004), as falhas na adesão entre o compósito e o substrato de concreto são geralmente devido à má distribuição ou ausência de adesivo, a existência de fissuras de flexão e de cisalhamento de largura considerável no concreto, a presença de agregado na superfície e à fadiga. Mesmo que a rigidez, a ductilidade e a capacidade resistente do elemento sejam consideravelmente melhoradas pelo reforço com compósitos, a aplicação em larga escala desta técnica pode ser restringida se não for contornado o problema das falhas prematuras na interface. Além disto, para dimensionar eventuais sistemas de ancoragem é fundamental entender o comportamento e avaliar a resistência da ligação concreto-compósito.

Alguns pesquisadores como (Chajes (1996); Toutanjii e Ortiz (2001) e Xiao (2004), buscaram através de testes de cisalhamento simples, quantificar a força e o mecanismo de transferência de esforços. No entanto vários autores envolvidos sugerem que a investigação do mecanismo de transferência de esforços na ligação concreto-compósito necessita de mais estudos, a fim de confirmar os resultados obtidos e obter subsídios para melhoria da técnica de reforço. A seguir serão apresentados alguns defeitos de aplicação da manta de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

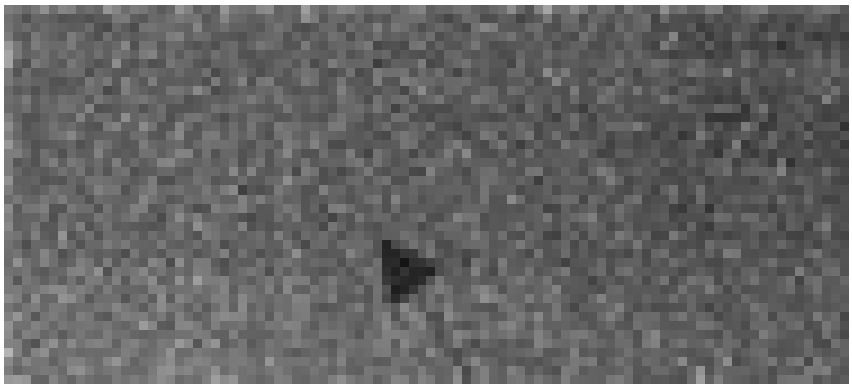
microscopias eletrônicas de varredura (MEV), 1, 22, comprovando as citações descritas anteriormente.

Na figura 17, devido a falhas durante a aplicação do reforço, como a não formação de uma camada continua e nivelada, nem o uso do rolo tira bolha, apresenta-se várias porosidades ao longo do reforço, diminuindo consideravelmente as propriedades da manta de fibra de vidro, necessitando da retirada das áreas com deformações para execução de novo reforço.

Porosidade

Figura 17 ï Microscopia da fibra de vidro apresentando crateras devido a não formação de uma camada contínua e nivelada (Matheus (2002)).

Na figura 18, apresenta-se a mesma situação da figura 17, só com poros de menor intensidade ao longo do reforço.



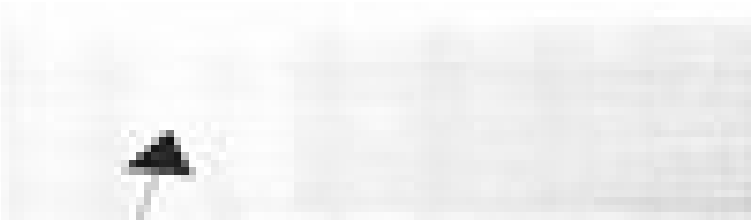
Poros Superficiais

Figura 18 - Microscopia da fibra de vidro apresentando poros superficiais com aparência de ñburacosò de alfinete (Matheus (2002)).

Na figura 19, apresenta-se várias trincas ao longo do reforço representando ineficiência da fibra de vidro utilizada, pois a mesma não esta

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

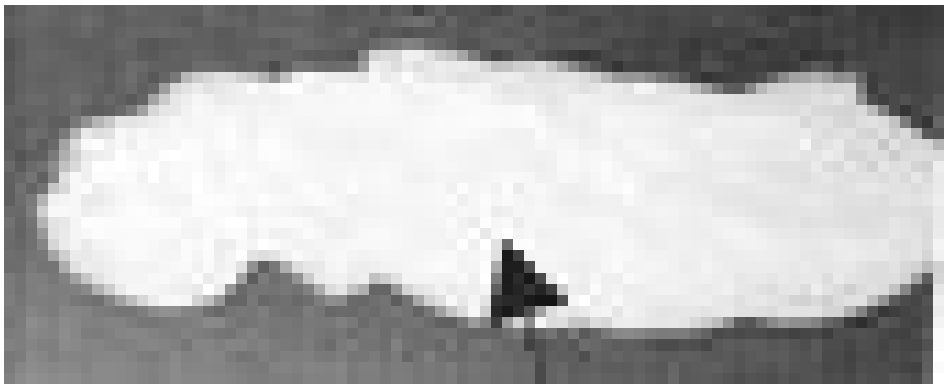
evista no dimensionamento estrutural.



Trincas

Figura 19 ï Microscopia da fibra de vidro apresentando trincas (Matheus (2002)).

Na figura 20, apresenta-se uma delaminação ao longo do reforço, causada pela errada mistura dos epóxis na aplicação do reforço, causando um endurecimento e enrrugamento prematuro da manta de fibra de vidro.

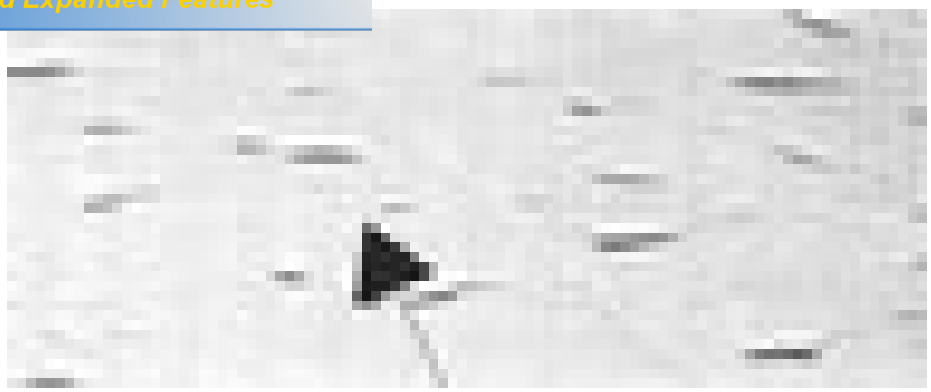


Delaminação

Figura 20 - Microscopia da fibra de vidro apresentando delaminações causadas pela má aderência (Marco Antônio Matheus (2002)).

Na figura 21, apresenta-se bolhas de água ao longo do reforço, caracterizando a prévia impregnação de água na superfície do concreto antes do reforço, ou seja, antes da aplicação do reforço não foi feita uma limpeza na superfície do concreto para retirada da água. Na figura 22, apresenta-se bolhas de ar ao longo do reforço, caracterizando a não utilização do rolo tira-bolha em sua aplicação.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features



Bolhas de água

Figura 21 ï Microscopia da fibra de vidro apresentando bolhas de água após contato prolongado com a água (Matheus (2002)).

Bolhas de ar

Figura 22- Microscopia da fibra de vidro apresentando bolhas de ar devido a falhas na aplicação da fibra de vidro (Matheus (2002)).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

CAPÍTULO 3

ESTADO DA ARTE: AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA COMPÓSITO-CONCRETO

Segundo Machado (2002), devido à existência de mecanismos de transferência das tensões de cisalhamento e de regiões locais submetidas a tensões normais na interface entre o concreto e o compósito, surge a possibilidade de que ocorra o fenômeno da delaminação do compósito antes que seja alcançada a resistência de ruptura do concreto. As causas desse fenômeno são complexas, sendo que a distribuição das tensões devidas à colagem do compósito é dificultada pelo fissuramento do concreto. A ligação mais fraca da interface concreto-compósito ocorre no concreto.

A distribuição das tensões tangenciais de cisalhamento e das tensões normais de tração desenvolvidas ao longo da interface concreto/sistema compósito estão demonstradas na figura 23.

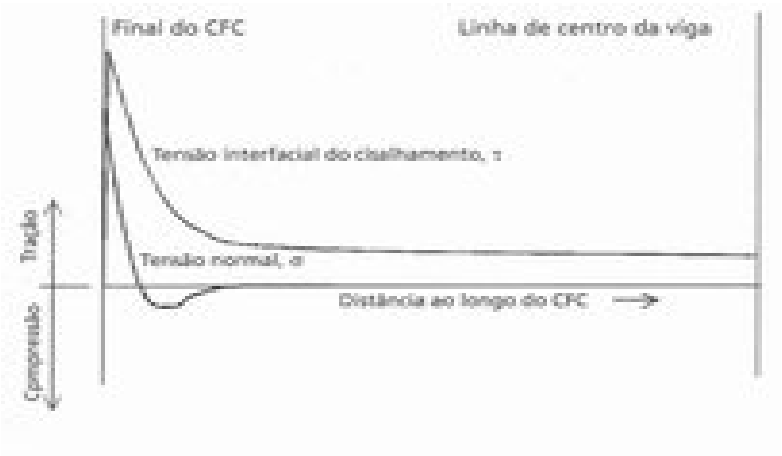


Figura 23 - Distribuição das tensões interfaciais normais e de cisalhamento ao longo do comprimento colado do sistema compósito (Machado,(2002)).

Observa-se que na figura 24 a tensão normal está situada em um plano perpendicular ao plano do sistema compósito.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

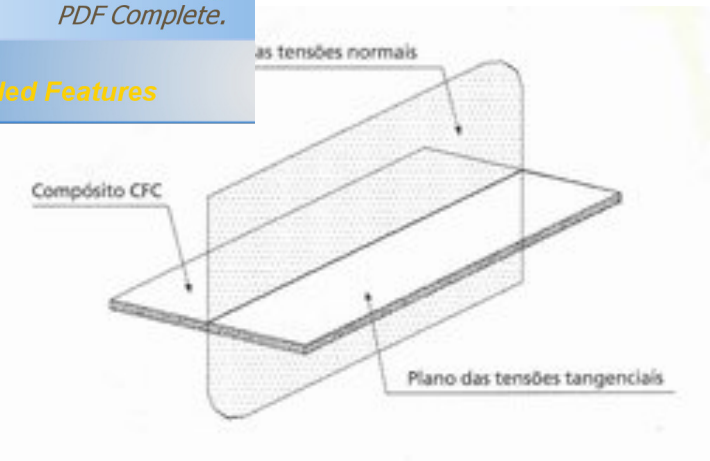


Figura 24 - Esquema do plano das tensões do sistema compósito (Machado, (2002)).

As ocorrências mais importantes de delaminação são:

- Cisalhamento da viga;
- Cisalhamento interfacial;
- Irregularidades superficiais.

Cumpre observar que as delaminações se produzem de modo geral para cargas significativamente superiores às cargas de serviço. O descolamento do compósito ocorre devido a uma deficiência da área de colagem do reforço de compósito. O concreto não consegue absorver as tensões normais e de cisalhamento interfaciais e o compósito descola do substrato, mantendo aderida tão somente uma camada relativamente fina de concreto. A área necessária para colagem do compósito deve ser calculada baseada no cisalhamento horizontal e na resistência à tração do substrato.

Podem ser utilizadas ancoragens mecânicas adequadamente dimensionadas para aumentar a eficiência na transferência de tensões. Esses mecanismos devem, entretanto, ter a sua confiabilidade confirmada através de ensaios.

Atualmente os trabalhos realizados sobre a aderência concreto/compósito, como os de Ferrari, Padaratz e Lorrigio, (2002) dentre outros, concluem que o desempenho do reforço estrutural com compósitos tem tido excelente desempenho, verificado através de aumentos significativos na capacidade última de carga, no incremento de rigidez e na ductibilidade nos reforços de vigas à flexão. As vigas reforçadas sem adição de incremento de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

modos de falha caracterizados pelo o substrato de concreto iniciando-se de uma das extremidades do corpo-de-prova (viga) de forma rápida, sendo precedido de pequenos estal os. As vigas com incremento de ancoragem têm apresentado modos de falha caracterizados pela ruptura da manta de fibra. Segundo Souza e Ripper (1998), na prática de execução de reforços com compósitos, para garantir a eficiência da aderência compósito-concreto, passou-se em alguns casos a utilizar uma amarração através de dispositivos mecânicos envolvendo a totalidade da seção tracionada das peças, permitindo o aumento da capacidade resistente ao esforço transversal e no caso de existência de lajes, garantindo a eficiência da contribuição do banzo através da interposição de elementos metálicos com cantoneiras fixadas por buchas ao concreto na ligação laje-viga.

Segundo Tsai e Miravete, (1988), existem vários ensaios mecânicos para medida da resistência na interface compósito/concreto, para avaliação de lâminas, laminados ou tecidos. Dentre eles, sete ensaios se destacam apresentando vantagens e desvantagens ent re si.

O primeiro é o teste de cisalhamento em vigas curtas (flexão em três pontos) da norma ASTM D2344. Nele se utilizam como amostras lâminas ou laminados com as seguintes características: fratura ocorre no plano médio (superfície neutra) da amostra, a tensão máxima é conhecida como ILSS , é notado que na ausência de qualquer resistência de aderência na interface fibra /matriz, o compósito apresenta uma ILSS de valor mais baixo (força de união), a qual se deve somente a uma contribuição da resistência ao cisalhamento da matriz, pela sua simplicidade é um dos ensaios mais utilizados para compósitos poliméricos e metálicos, sua desvantagem é não permitir a utilização de amostras muito finas (lâminas).

O segundo ensaio é o Iosipescu(ASTM D 5379 ï 93). Nele utiliza-se material isotrópico devido a presença de entalhes nas amostras pois o material ortotrópico apresenta uma concentração de tensão na ponta do entalhe. Neste ensaio ocorre cisalhamento puro na seção, apresentando resultados mais confiáveis devido à distribuição uniforme das tensões quando comparado ao ILSS. Ele mede com precisão tanto a resistência ao cisalhamento quanto o módulo tangencial, paralelo ou perpendicular às fibras.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

é o da tração transversal (ASTM D 303976). ção de compósitos unidirecionais perpendicular à direção à fibra, tendo quase sempre como resultado uma resistência menor que a resistência da matriz (efeito negativo da fibra como reforço). Para uma boa aderência na interface a resistência transversal aumenta devido à contração da matriz entre as fibras. Como a resistência transversal depende de muitos fatores como os constituintes, a aderência (força de união) e presença de vazios, o teste acaba se tornando qualitativo e os resultados podem ser duvidosos servindo apenas como estudo comparativo. Os ensaios de ILSS e tração transversal dependem do volume de fibras do compósito e cuidados devem ser tomados na comparação dos resultados.

Os outros quatro ensaios existentes são os ensaios de fibra única e incluem compressão, fragmentação, recorte dentado e arranque de fibras. O ensaio de compressão é muito utilizado para compósitos poliméricos (segunda metodologia a ser utilizada neste trabalho), sendo a transparência da resina fundamental para o desenvolvimento do teste (NBR 5739-ABNT).

Em faces paralelas, ele mede o cisalhamento nas pontas das fibras (diferença nas propriedades elásticas), sendo a desaderência percebida pela região esbranquiçada na ponta da fibra. Em faces curvas, ele mede as tensões de trativas, a perda de desaderência ocorre devido aos efeitos do coeficiente de Poisson, resultando em maior expansão da matriz. No ensaio de fragmentação (NBR-14698), com o aumento da carga a fibra inicia o processo de ruptura com a carga se transferindo entre a matriz e a fibra quebrada, aumentando a sua intensidade de forma a originar sua fragmentação. A fibra atinge um comprimento mínimo não podendo mais ser rompida. Este comprimento mínimo permite calcular a resistência ao cisalhamento aparente da aderência na interface.

No ensaio de recorte dentado ((EN989: 1995), utiliza-se a microdureza com diversas formas de perfuradores ou marcadores. A fibra é empurrada para dentro do bloco das matrizes com a compressão aplicada até a ocorrência da primeira desaderência, sendo a força medida juntamente com o deslocamento da fibra. Este ensaio é usado para compósitos de matriz polimérica, apresentando dificuldade na aplicação em matrizes cerâmicas devido à colocação da fibra se verificando um desalinhamento da fibra. Deve-se tomar

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

eficiente de Poisson, pois este influencia na mascar ar os resultados.

O ensaio mais utilizado para compósitos de matriz polimérica sendo recomendado pelas normas do ACI para verificação da aderência compósito/concreto, é o teste de arrancamento mecânico de fibras (terceiro ensaio utilizado). Ele consiste em colar uma chapa de aço quadrada com lado igual a 5 cm sobre o sistema compósito aplicado e, através de um dispositivo adequado, promover o arrancamento desta chapa, medindo-se a força na fibra necessária para que se produza o arranque da fibra, conforme figura 25. O ensaio depende muito do comprimento da fibra embebida na resina e dos diâmetros da fibra para não haver dispersão dos resultados, sendo dentre todos os ensaios descritos o de maior número de modelos teóricos. A desvantagem do ensaio é de avaliar a aderência localizadamente, não se estendendo a toda área do reforço aplicado

Figura 25 - Ensaio de arrancamento (Machado, A. P(2002)).

De acordo com o modo de ruptura ocorrido, avalia-se a eficiência da aplicação (aderência), conforme figura 26.

Podem ocorrer três modalidades distintas de ruptura:

A ruptura ocorre no pino de ligação da placa com o dispositivo de arrancamento, indicando que tanto o sistema compósito quanto o substrato de concreto estão adequados . A ruptura ocorre no substrato de concreto, indicando que o sistema está perfeitamente aderido(mais comum).O sistema compósito descola do substrato de concreto, indicando que a aplicação não foi

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

A figura 26 mostra uma ruptura do reforço ocorrendo no substrato do concreto, vendo-se a superfície do concreto e o reforço aplicado

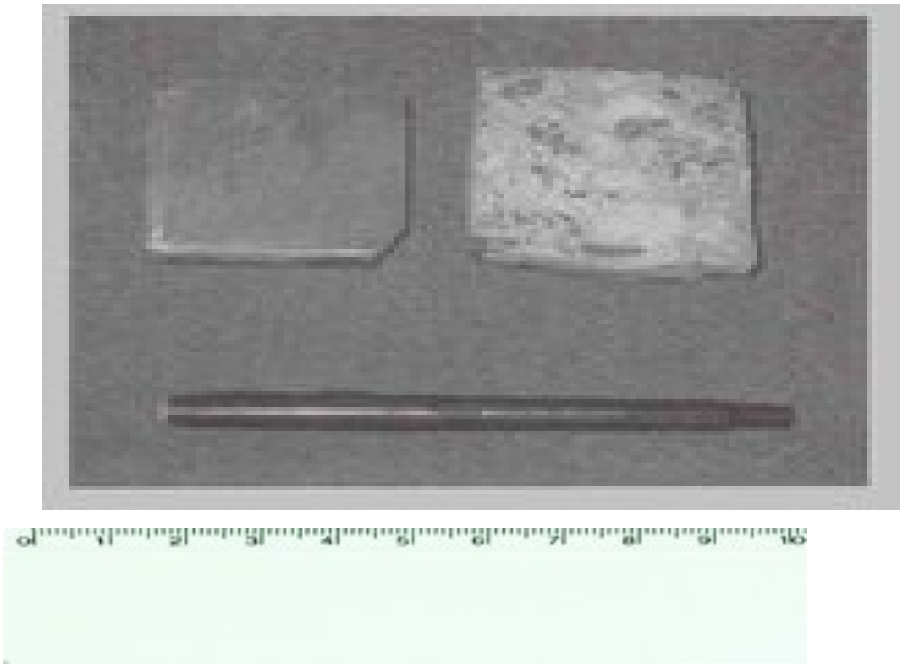


Figura 26 - Ensaio de arrancamento concluído com ruptura ocorrendo no substrato de concreto(Machado, (2002)).

A frequência (quantidade) de testes deve ser especificada nos resultados da análise. A resistência de tração da aderência deve exceder 1,4 MPa e exibir a fratura do substrato de concreto. Resistências menores que a especificada ou ruptura entre o sistema compósito e o concreto ou entre camadas devem ser comunicadas ao projetista do reforço e ao engenheiro responsável pela aplicação para avaliação e aceitação.

O sistema compósito deve também ser avaliado em relação às delaminações existentes, pois estas interferem amplamente na aderência compósito/concreto. Os métodos de inspeção devem ser capazes de detectar delaminações de no mínimo 1.300 mm². Métodos como a sondagem acústica conforme figura 27 (primeiro ensaio realizado), ultra-sônica e termografia podem ser utilizados para detectar as delaminações. Na figura 27, vê-se o ensaio de sondagem acústica, onde é avaliada qualitativamente a aderência manta/concreto através do som produzido ao longo da peça reforçada, marcando as regiões com delaminações ou bolhas-de-ar.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 27 - Esquema de ensaio de sondagem acústica (a martelo) (Machado, (2002))

As delaminações com área de menor que 1.300 mm² são admissíveis, desde que o total da área delaminada seja inferior a 5 % da área total do sistema aplicado e não ocorram mais do que dez manifestações por m². As delaminações, maiores que 1.600 mm², podem afetar o desempenho do sistema instalado e devem ser reparadas por um processo seletivo de corte e retirada do trecho de fibra afetado e aplicação de um remendo equivalente às camadas afetadas acrescido dos necessários transpasses, com avaliação e aceitação do projetista do reforço e do engenheiro responsável pela aplicação do sistema. Após os reparos, as áreas reparadas devem ser novamente inspecionadas para verificar se os reparos foram adequadamente realizados. A resistência do substrato de concreto é um parâmetro importantíssimo para aplicações condicionadas à colagem crítica, uma vez que a tensão de tração no substrato deverá ser no mínimo igual à 1,4 MPa para garantir a perfeita

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

sistema composto e o substr ato.

é recomendável a aplicação de sistemas compostos aderidos externamente, se o concreto não possuir uma resistência mínima à compressão de 14 MPa.

As duas grandes desvantagens da aplicação dos sistemas compostos em reforços de estruturas de concreto armado, segundo Isaia (2005-2007), são em primeiro lugar, a apresentação de ruptura frágil, sem patamar de escoamento definido ou alguma indicação de ruptura iminente. Isso decorre do fato de que a resposta dos sistemas compostos é diferente da do aço utilizado nas peças de concreto armado, que escoa após a sua deformação linear elástica para valores relativamente pequenos de deformação. Essa discrepância significa na prática, que as armaduras de aço entram em escoamento muito antes do sistema composto contribuir com qualquer capacidade adicional de reforço, o que em última análise, significa que se torna muito difícil se conseguir um aumento significativo na carga de escoamento ou na rigidez do elemento reforçado. Em segundo lugar, o reforço à flexão com elementos compostos aderidos externamente está limitado pela capacidade de ligação entre o sistema e a superfície de concreto, ocorrendo, em muitos casos, o descolamento em níveis de tensão que são apenas uma pequena fração da capacidade resistente efetiva do composto. O recente desenvolvimento de novas famílias de sistemas compostos visa contornar ou pelo menos minimizar parte das desvantagens dos atuais sistemas. Os novos sistemas compostos apresentam componentes estruturais híbridos construídos com diferentes tipos de fibras de carbono e vidro associadas no mesmo produto.

O uso de sistemas híbridos, ainda que apenas em aplicações experimentais, conduzirá a nova vertente teórica de projeto de reforços, permitindo maior controle, em relação aos sistemas correntes, das deformações antes da ruptura e da durabilidade das peças.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

4.1-Caracterização dos Materiais

O cimento utilizado foi o cimento Portland composto CP II Z-32 RS, de um mesmo lote de fabricação, adquirido em um dos estabelecimento comerciais, mais utilizados da região de Natal. Este tipo de cimento de acordo com os ensaios realizados apresentou os seguintes resultados:

Tabela 3 ï Resultados dos ensaios realizados com o cimento utilizado(Fonte:Cimento Nassau)

Perda ao fogo	4,25%	NBR 5743/89
Óxido de magnesio	2,22%	NBR 9203/85
Anidrido sulfúrico	3,26%	NBR 5745/89
Resíduo insoluvel	7,43%	NBR 8347/92
Equivalente alcalino	0,97%	
Óxido de calcio livre	1,03%	NBR 7227/90
Área especifica	341 cm^2/g	NBR 7224/96
Massa especifica	3,02 g/cm^3	NBR 6474/84
Densidade aparente	1,20 g/cm^3	
Finura-resíduo na pereira	0,04mm = 15,2%	NBR 11579/91
Água de pasta de consistência normal	27,3%	NBR 11582/91
Início da pega	Duas horas e vinte e cinco minutos	NBR 11581/91
Fim da pega	Três horas e trinta minutos	NBR 11581/91
Expansibilidade	0,5 mm	NBR 11582/91

A resistência à compressão mínima obtida aos 28 dias foi de 38,1 MPa e a máxima foi de 39,8 MPa .

A areia quatzosa utilizada é de origem natural, comumente empregada em concretos da região de Natal. O cascalhinho utilizado foi proveniente do mesmo lote e de uma única pedreira. A água utilizada foi da rede pública de abastecimento local.

Foram realizados os ensaios de determinação da composição granulométrica da areia e do cascalhinho, além de medidas da densidade aparente e real, diâmetro máximo e módulo de finura no laboratório de Eng.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

s normas NBR-7217,ABNT,1987 e NBR-
os apresentaram os seguintes resultados, conforme tabela 6 e tabela 7:

.

Tabela 4 - Ensaios realizados no cascalhinho utilizado.

Retido na peneira 9,5mm	6,66%
Retido na peneira 4,8mm	55,2%
Retido na peneira 2,4mm	27,66%
Retido na peneira 1,2mm	10,47%
Diâmetro máximo	9,5 mm
Densidade aparente	1,50 g/cm³
Densidade real	2,783 g/cm³

Tabela 5 ï Ensaios realizados na areia utilizada.

Retido na peneira 4,8mm	0%
Retido na peneira 2,4mm	0,2%
Retido na peneira 1,2mm	0,4%
Retido na peneira 0,6mm	0,9%
Retido na peneira 0,3mm	8,2%
Retido na peneira 0,15mm	75,4%
Retido na peneira Ò0,15mm	14,9%
Diâmetro máximo	0,6 mm
Densidade aparente	1,370 g/cm³
Densidade real	2,630 g/cm³

4.2- Definições do traço

Foi utilizado o traço 1:2:4 com relação a/c=0,7 na confecção dos corpos-de-prova por representar um concreto convencional, que necessitava de reforço estrutural em pilares por confinamento.

A resistência à compressão obtida foi de 20 MPa aos vinte e oito dias. As proporções dos materiais utilizadas foram as seguintes: 0,6 kg de cimento, 1,2 kg de areia, 2,4 kg de casca lhinho e 458 ml de água totalizando 4,65 kg.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

orpos-de-prova e Planejamento dos

Foram confeccionados 36(trinta e seis corpos-de-prova)(5x10 cm) divididos em 5(cinco) tipos. Foram realizados os seguintes ensaios em cada:

-6 cp sem reforço com 20 MPa à res.compressão

-10 cp com reforço pré-impregnado com 20 MPa à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e ultra-som.

-10 cp com reforço tradicional com 20 MPa à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e ultra-som.

-5 cp com reforço tradicional com 20 MPa exposto em ambiente marinho na orla marítima de Natal à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e utra-som.

-5 cp com reforço pré-impregnado com 20 MPa exposto em ambiente marinho na orla marítima de Natal à sondagem acústica, à res.compressão, teor de cloretos, carbonatação, ph e ultra-som.

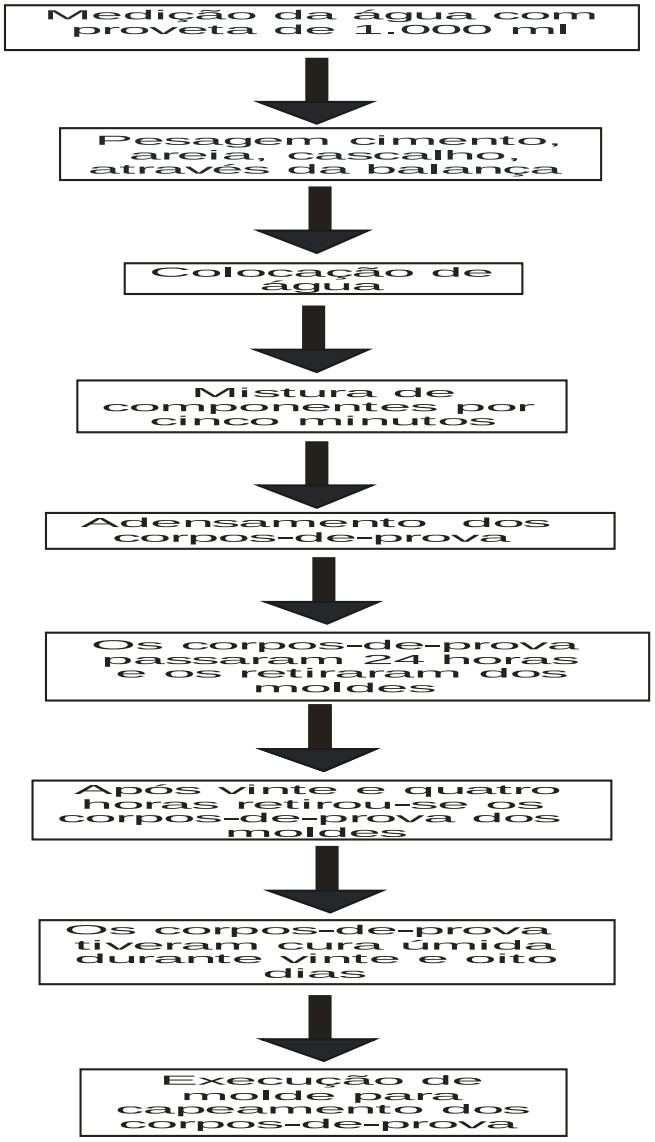
-Do total de corpos-de-prova, dez (10) deles foram expostos em ambiente marinho na orla marítima de Natal-RN - praia de Ponta Negra durante dois meses conforme ilustrado na figura 28:

Figura 28 ï Corpos-de-prova sem reforço expostos à névoa salina por 60 dias (Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

e cura dos corpos-de-prova de concreto

As amostras, foram confeccionadas e moldadas de acordo com a NBR 5738, (ABNT,2003), permitindo fazer uma análise no estado endurecido, quanto à resistência à compressão, a aderência manta/concreto e a durabilidade (exposição à névoa salina). Obedeceu-se a seguinte sequência, conforme fluxograma abaixo:



Na figura 29, vê-se, os corpos-de-prova após execução do capeamento antes de serem submetidos ao reforço e aos ensaios.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 29 - Corpos-de-prova após a cura antes dos ensaios de sondagem acústica e resistência à compressão ainda sem reforço estrutural(Fonte:Autor)

4.5-Reforço Estrutural Utilizado

O tipo de reforço estrutural escolhido para aplicação foi o cintamento dos corpos-de-prova cilíndricos com fibra de vidro. Este reforço é bastante utilizado em estruturas, para melhorar o desempenho de peças axialmente solicitadas através de um envolvimento contínuo da peça comprimida de concreto por uma jaqueta de compósito com transpasse de 10 cm, combatendo-se a expansão lateral do concreto. O efeito da pressão de confinamento é o de induzir um estado triaxial de tensões no concreto, tendo-se um comportamento bastante superior tanto na resistência quanto na ductibilidade relativamente a um outro concreto submetido tão somente à compressão uniaxial. O confinamento traz como resultado um incremento da resistência e da deformação máxima da compressão no concreto. Ele é conseguido pela orientação das fibras transversalmente ao eixo longitudinal do elemento. As fibras confinantes se comportam similarmente a estribos em espiral ou mesmo a estribos convencionais. Nenhuma contribuição de fibras alinhadas longitudinalmente deve ser considerada para efeito de confinamento. O confinamento de seções circulares exige uma ligação íntima entre o elemento de concreto e a fibra confinante, para que se tenha êxito na execução do reforço estrutural.

Vale salientar que a aplicação e o dimensionamento do reforço estrutural nos corpos-de-prova foram acompanhados pelo fabricante do compósito e por empresa especializada em reforço (Engecal-Engenharia e Cálculos Ltda) e

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

os-de-prova foram reforçados com manta de anta de fibra de vidro pré-impregnada.

-A sequência de aplicação do reforço estrutural nos corpos-de-prova com a manta de fibra de vidro tradicional figuras 30, 31 e 32, conforme já exposto anteriormente foi a seguinte:

-Lixamento manual dos corpos-de-prova através de lixa número 100, aplicação do primer epoxídico bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação do epóxi estruturante bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação da manta de fibra de vidro por confinamento, aplicação do rolo tira-bolha nos corpos-de-prova, aplicação do epóxi estruturante bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação do rolo tira bolha nos corpos-de-prova.

-A sequência de aplicação do reforço estrutural nos corpos-de-prova com a manta de fibra de vidro pré-impregnada figuras 33, 34 e 35, conforme já exposto anteriormente foi a seguinte:

-Lixamento manual dos corpos-de-prova com de lixa número 100, aspersão de água na superfície dos corpos-de-prova, aplicação da manta de fibra de vidro pré-impregnada por confinamento, aplicação do rolo tira bolha nos corpos-de-prova, aplicação de epóxi estruturante bicomponente nos corpos-de-prova na proporção 3:1, aplicação do rolo tira-bolha nos corpos-de-prova.

Vale salientar que nas duas situações não foi necessário a aplicação de argamassa epoxídica de regularização antes da aplicação do reforço, já que os corpos-de-prova não apresentavam imperfeições nas suas superfícies.

A figura 30 ilustra a manta de fibra de vidro tradicional, antes da aplicação do primer epoxídico, responsável pela aderência manta/concreto.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

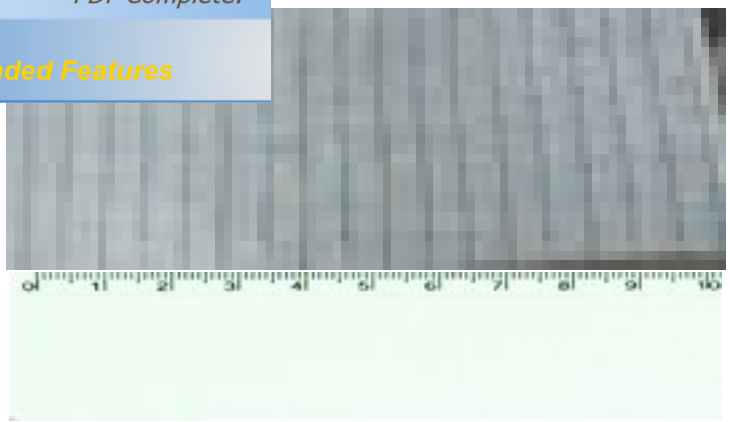


Figura 30 - Detalhe da manta de fibra de vidro tradicional(Fonte:Autor)

A figura 31 ilustra a manta de fibra de vidro pré-impregnada, antes da aplicação do reforço, já com o epóxi pré-impregnado na super fície da manta.

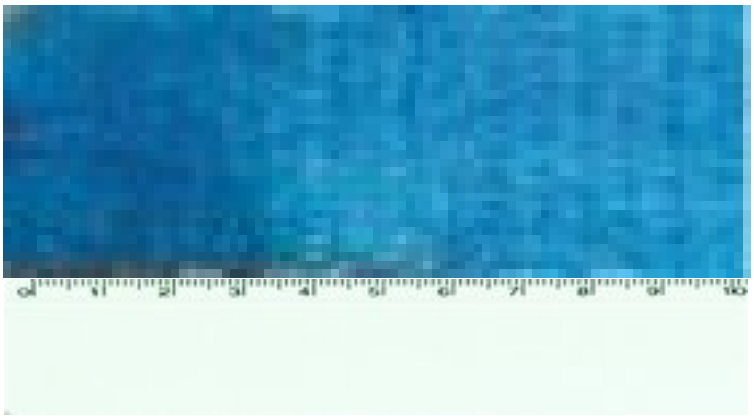


Figura 31 - Detalhe da manta de fibra de vidro pré-impregnada(Fonte:Autor)

A figura 32 ilustra o corpo-de-prova após aplicação do primer epoxídico, antes da aplicação da manta de fibr a de vidro de vidro tradicional.

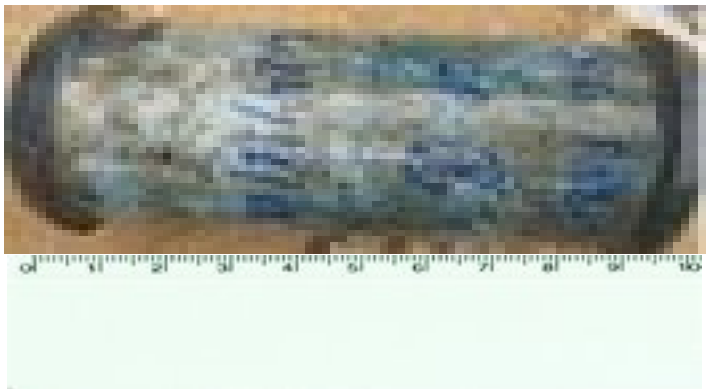


Figura 32 - Corpo-de-prova após aplicação de primer epoxídico para aderência da manta de fibra de vidro tradicional (detalhe brilho do epóxi)(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

-de-prova após aplicação de água tradicional, br a de vidro pré-impregnada.

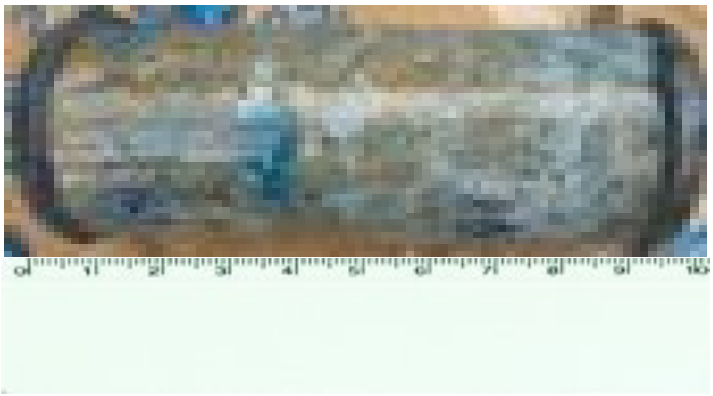


Figura 33 - Corpo-de-prova após aplicação de água para aderência da manta de fibra de vidro pré-impregnada(Fonte:Autor).

A figura 34 ilustra os corpos-de-prova após receberem o reforço estrutural por confinamento, utilizado a manta de fibra de vidro tradicional.

Figura 34 - Corpos-de-prova com reforço de manta de fibra de vidro tradicional(Fonte:Autor).

A figura 35 ilustra os corpos-de-prova após receberem o reforço estrutural por cofinamento, utilizando a manta de fibra de vidro pré-impregnada.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 35 - Corpos de prova com reforço de manta de fibra de vidro pré-impregnada(Fonte:Autor)

A figura 36 ilustra o local exato do transpasse utilizado em ambos tipos de manta de fibra de vidro,ou seja, região mais propícia para o descolamento da manta do concr eto durante o ensaio de resistência à compressão.

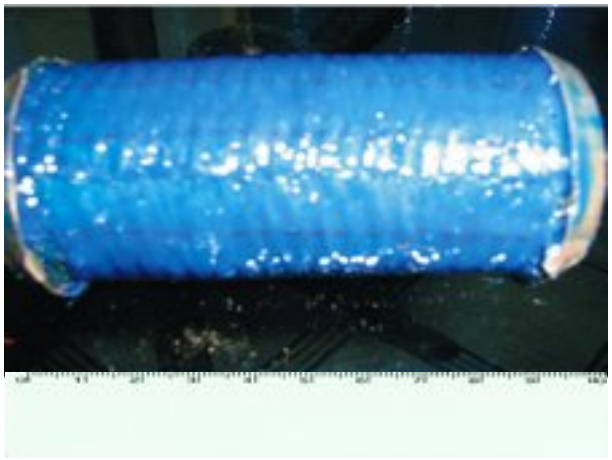


Figura 36 - Detalhe do transpasse de 10 cm utilizado nos corpos-de-prova com manta tradicional e pré-impregnada.(Fonte:Autor)

4.6 ï Caracterização dos ensaios

4.6.1 - Sondagem acústica

A primeira metodologia avaliativa que foi utilizada baseia-se no teste de sonoridade. Ele consiste em bater com um martelo de aço em toda a extensão

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

fibra de vidro pré-impregnado e tradicional) e ificar possíveis pontos em que a colagem não esteja adequada. As amostras foram avaliadas de acordo com a resposta sonora obtida e possíveis áreas de delaminações existentes.

Como o ensaio preconiza uma área mínima de delaminação inferior a 5 % da área total do sistema aplicado ou menor que 1.300 mm², e por causa da inexistência de sequência de normatização e metodologia do ensaio, foi proposta a seguinte sequência de aplicação para o ensaio por Pereira(2002), evidenciado na figuras 37 e 38:

-Avaliação com pancada do martelo de aço de 2 kg pelo avaliador em toda a extensão dos corpos-de-prova de 3 em 3 cm (ponta do martelo de aço) para verificação da existência de delaminações.

-Se não existir delaminações em toda a extensão dos corpos-de-prova o ensaio está terminado com a aceitação do reforço aplicado(NOTA 3).

- Se existirem delaminações, fazer medida da área da delaminação e comparar com a área total do reforço, se a área de delaminação for inferior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for menor que 1300 mm2, as delaminações são admissíveis, sendo a aplicação do reforço aceita(NOTA 2).

- Se a área de delaminação for superior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for maior que 1300mm², as delaminações não são admissíveis, sendo necessário refazer o reforço nas áreas com delaminações, sendo a aplicação do reforço rejeitada (NOTA 1).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

rço de manta de fibra de vidro pré-impregnada durante
dagem acústica.(Fonte:Autor)

Figura 38-Vista do corpo-de-prova com reforço de manta de fibra de vidro tradicional durante ensaio de sondagem acústica (Fonte:Autor)

Vale salientar que este ensaio foi realizado em laboratório(corpos-de-prova) e in-loco(pilares de residência).

4.6.2- Resistência à Compressão(Tração por Compressão Diametral)

A segunda metodologia avaliativa utilizada foi o ensaio de compressão. Ele consiste em aplicar uma carga em uma prensa hidráulica no corpo-de-prova reforçado, até a ruptura do mesmo. Os ensaios de resistência à compressão centrada seguiram a norma NBR-5739/1994 utilizando-se uma prensa hidráulica Shimadzu AG-I e uma prensa hidráulica Amsler. As amostras foram avaliadas de acordo com as tensões máximas obtidas,segundo Pereira(2005) e figura 39.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

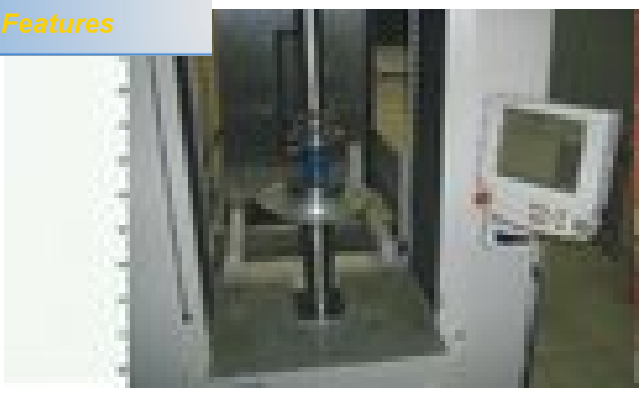


Figura 39 ï Corpo-de-prova reforçado com manta de fibra de vidro pré-impregnada durante o ensaio de resistência à compressão.(Fonte:Autor)

4.7-Análise da Fratura

Foram analisadas visualmente as superfícies fraturadas dos diversos tipos de corpos-de-prova utilizados, verificando-se sua área e forma. Pela análise ótica realizada após os ensaios de resistência à compressão, obteve-se evidências claras do rompimento ou união da manta/concreto e aderência ou falta de aderência da interface, conforme será demonstrado à seguir.

4.8-Teor de Cloretos

Foi analisada ainda a presença de cloretos nos corpos-de-prova através do ensaio de indicador de aspersão de nitrato de prata.

4.9-Carbonatação

Foi analisada ainda a penetração do gás carbônico nos corpos-de-prova através do ensaio de indicador de aspersão de fenolftaleína.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o

Foi analisado ainda o valor do ph do concreto, através do ensaio do lápis medidor de ph(escala de cores).

4.11-Arrancamento(Pull-off)

Outra metodologia avaliativa utilizada foi o pull-off, onde se faz a colagem de uma chapa de aço no reforço aplicado e posteriormente aplica-se uma carga para promover o arrancamento da chapa.

Este ensaio foi realizado in-loco em uma residência em Ponta Negra-NatalRN, com mais de trinta anos de construída, com fck=18 MPa, que apresentou corrosão das armaduras de seus pilares com perda de seção das armaduras principais (4 ferros de 12.5 mm) e de seus estribos (5.0 a cada 20 cm), causada pela ação dos cloretos e gás carbônico , pois a residência está localizada à beira-mar, em uma zona altamente agressiva conforme a nova norma de Projeto de estruturas (NB-1,ABNT,2003). Após a realização dos serviços de recuperação estrutural com remoção do concreto deteriorado,limpeza das armaduras com hidrojateamento de areia(figura 40), pintura das armaduras com primer rico em zinco, grauteamento das seções danificadas e acabamento das seções danificadas, foram realizados os reforços com as duas mantas de fibra de vidro(tradicional (4 pilares) e pré-impregnada (4 pilares)) à flexo-compressão(figura 41), com o objetivo de substituir as armaduras com perda de seção. Após a realização dos reforços foram executados os ensaios de pull-off e sondagem acústica nos oito pilares reforçados.

4.12-Ultra-Som

Outra metodologia avaliativa utilizada foi o ensaio de ultra-som, que é baseado na medida da velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

uperfície (NBR-8802,ABNT,2000). O campo de servindo principalmente para a verificação da uniformidade do concreto nos di stintos componentes estr uturais, delimitando as zonas de concreto de alta e baixa qualidade, permitindo comparar qualidades em termos de resistências à compressão ou módulos de elasticidade dos concretos e determinar a existência, a localização e à profundidade de fissuras. As ondas longitudinais são as mais rápidas e mais úteis para os propósitos do ensaio. De um modo simplificado, onda é uma pertubação que se propaga de um ponto para outro, através de um meio, transmitindo energia sem transporte de matéria. Partindo do princípio que o concreto tem uma constituição suficientemente homogênea para as ondas elásticas de alta freqüência, na faixa acima do nível audível, e que por outra parte é necessário operar com comprimentos de onda relativamente pequenos para poder obter trajetórias definidas, adota-se uma solução de compromisso operando entre 40 e 50 Khz que está dentro da faixa dos ultra-sons. O teste de determinação da velocidade de propagação da onda ulta-sônica tem sobre a esclerometria a vantagem de não se limitar a uma determinação superficial das características do concreto, estendendo-se a toda a sua massa. A medida que a velocidade de propagação aumenta a compacidade do concreto aumenta e a medida que a velocidade de propagação diminui a compacidade do concreto diminui. O ensaio se inicia quando um pulso de freqüência ultra-sônica é gerado e transmitido para um transdutor eletro-acústico em contato com a superfície do concreto à ser analisado. Após passar através do concreto, as vibrações são recebidas e convertidas em sinal elétrico pelo segundo transdutor eletro-acústico, com amplificação adequada, ao circuito gerador-receptador. O tempo decorrido entre a emissão da onda e sua recepção(t) é portanto medido com exata precisão. Vale ressaltar que a aplicação da energia elástica gerada na sonda não se transmite à superfície do concreto diretamente, mas através de um acoplante geralmente utiliza-se vaselina,silicone ou graxa como material localizado entre as faces dos transdutores e a superfície à ser ensaiada, a fim de permitir um contato contínuo entre as superfícies. Pode-se fazer na análise uma transmissão direta,indireta ou superficial dependendo das disposições geométricas dos transdutores utilizadas (emissor e receptor). Este método está enquadrado entre os métodos de ensaios não-destrutivos(END), característica

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ção das estruturas de concreto armado e ório (corpos-de-prova). Segue a classificação da qualidade do concreto em função da velocidade de propagação da onda ultra-sônica:

v>4500 m/s = excelente compacidade/qualidade

3500<v<4500 m/s= ótima compacidade/qualidade

3000<v<3500 m/s=boa compacidade/qualidade

2000<v<3000 m/s= regular compacidade/qualidade

V<2000 m/s= ruim compacidade/qualidade

Figura 40-Vista do hirojateamento de areia durante a recuperação estrutural dos pilares da residência(Fonte:Autor)

Figura 41-Vista do reforço estrutural à flexo-compressão realizado nos pilares da residência(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos ensaios de sondagem acústica realizados nos corpos-de-prova, após a colagem da manta de fibra de vidro pré-impregnada, verificou-se a inexistência de delaminações e bolhas de ar na superfície do concreto, comprovando a inexistência de grandes erros de aplicação. A manta de fibra de vidro tradicional no ensaio de sondagem acústica também não apresentou delaminações e bolhas de ar na superfície do concreto, indicando também a inexistência de grandes erros de aplicação. Tanto os corpos-de-prova da manta de fibra de vidro tradicional como da pré-impregnada expostos ou não ao ambiente marinho da orla marítima de Natal, não apresentaram delaminações e bolhas de ar no ensaio de sondagem acústica. Vale salientar conforme já foi descrito que o papel do aplicador do sistema de reforço é importantíssimo, influenciando diretamente na aderência manta/concreto, principalmente no sistema com manta de fibra de vidro tradicional, pois exige um maior cuidado na aplicação, já que o aplicador lida com misturas de componentes com proporções exatas de epóxi, exigindo grande atenção e experiência para sua realização.

Nos ensaios de resistência à compressão realizados nos corpos-de-prova sem reforço estrutural, obteve-se resultados satisfatórios com valores de Tensões máximas iguais a: 21.96 MPa, 22.42 MPa, 21.84 MPa, 22.35 MPa, 21.93 MPa e 22.44 MPa, tendo uma média de 22.15 MPa. Em virtude dos resultados obtidos das tensões máximas nos corpos-de-prova reforçados com manta de fibra de vidro tradicional e pré-impregnada serem similares, não se ensaiou um maior número de corpos-de-prova para verificação da obtenção da resistência inicial de 20 MPa. Também não se realizou ensaios com corpos-de-prova com outras dimensões pelos seguintes motivos: o de já existir diversos trabalhos acadêmicos que realizaram tal procedimento com corpos-de-prova (10 X 20 cm) , pela convicção de que se iria obter os mesmos resultados, e por saber que em uma verificação experimental de resistência à compressão in-loco em obras construídas, baseado na norma (NB-1,ABNT,2003), se analisa os corpos-de-prova extraídos, (5 x 10 cm), fazendo-se como recomenda a norma somente uma correlação dos resultados obtidos.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

marinho das superfícies dos corpos-de-prova e influência na aderência manta/concreto, comparando-se com os não expostos à névoa salina, tanto na manta tradicional como na pré-impregnada, sendo comprovado nos resultados dos ensaios de sondagem acústi ca e resistência à compressão aplicada.

Nos ensaios de resistência à compressão realizados com reforço estrutural com a manta de fibra de vidro tradicional, obteve-se resultados inferiores dos obtidos com a manta de fibra de vidro pré-impregnada com a mesma resistência do concreto, caracterizando menores tensões máximas produzidas, portanto uma aderência inferior à obtida com a manta pré-impregnada, conforme resultados tabela 6 e figuras 42, 43 e 44 à seguir:

Tabela 6 - Resultados de tensões máximas obtidas da manta de fibra de vidro tradicional.

Tensões máximas
T1=40,29 MPa
T2=40,35 MPa
T3=40,51 MPa
T4=40,4 MPa(ambiente marinho)
T5=40,52 MPa
T6=40,74 MPa(ambiente marinho)
T7=40,35 MPa(ambiente marinho)
T8=40,61 MPa
T9=40,39 MPa
T10=40,73 MPa
T11=40,84 MPa
T12=40,15 MPa
T13=40,4 MPa(ambiente marinho)
T14=40,23 MPa
T15=40,74MPa(ambiente marinho)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

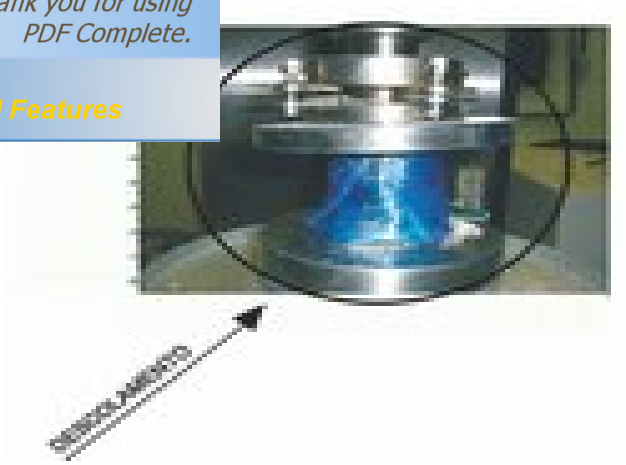


Figura 42- Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional durante ensaio de resistência à compressão (rompimento do transpasse)(Fonte:Autor)

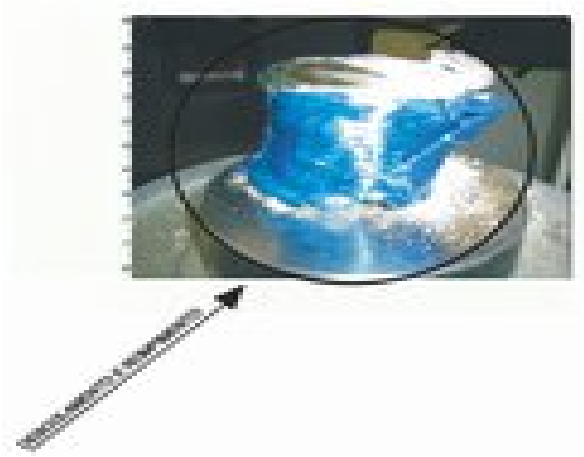
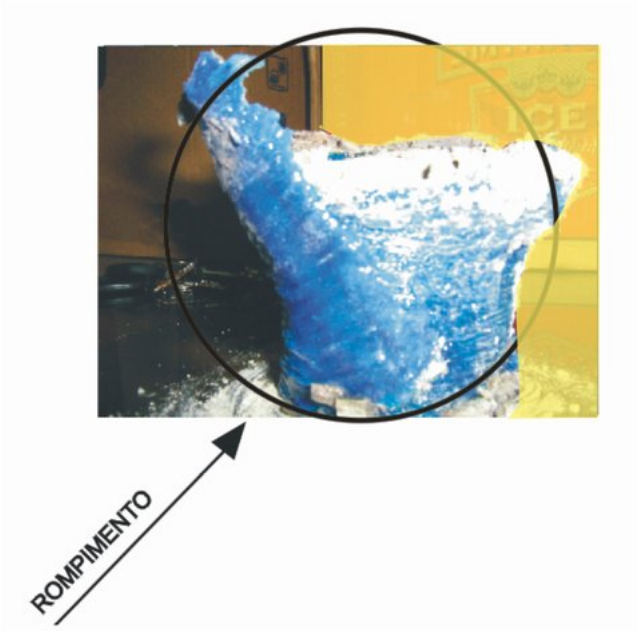


Figura 43 - Corpo-de-prova com reforço da manta tradicional após ensaio de resistência à compressão (rompimento do transpasse e descolamento da interface manta/concreto) (Fonte: Autor)



Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

passe rompida da manta de fibra de vidro tradicional
a da interface manta /concreto(área fraturada maior)
(Fonte:Autor)

Nos ensaios de resistência à compressão realizados com reforço estrutural com a manta de fibra de vidro pré-impregnada, obteve-se resultados superiores dos obtidos com a manta de fibra tradicional com a mesma resistência do concreto, caracterizando maiores tensões máximas produzidas, portanto uma aderência superior à obtida com a manta tradicional de fibra de vidro, conforme resultados tabela 7 e figuras 45, 46 e 47 à seguir:

Tabela 7 - Resultados de tensões máximas obtidas da manta de fibra de vidro pré-impregnada

Tensões máximas
T1=60,66 MPa
T2=60,14 MPa(ambiente marinho)
T3=60,19 MPa(ambiente marinho)
T4=60,17 MPa
T5=60,8 MPa
T6=60,4 MPa
T7=60,27 MPa
T8=60,70 MPa
T9=60,91 MPa
T10=60,68 MPa(ambiente marinho)
T11=60,17 MPa
T12=60,5 MPa
T13=60,53 MPa(ambiente marinho)
T14=60,78 MPa(ambiente marinho)
T15=60,53 MPa

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

dos obtidos na maioria dos corpos-de-prova, ior nas tensões máximas produzidas, sendo o menor valor de tensão obtido (T1=60.14 MPa), maior do que todos os valores de tensão máxima obtidos na manta de fibra de vidro tradicional,comprovando a maior aderência da manta de fibra de vidro pré-impregnada.

Figura 45 - Corpo-de-prova com reforço da manta pré-impregnada durante ensaio de resistência à compressão (não rompimento do transpasse)(Fonte:Autor)

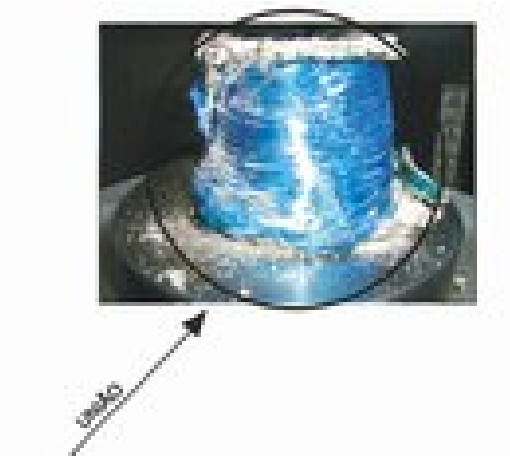


Figura 46 - Corpo-de-prova com reforço da manta pré-impregnada após ensaio de resistência à compressão (aderência da interface manta/concreto)(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

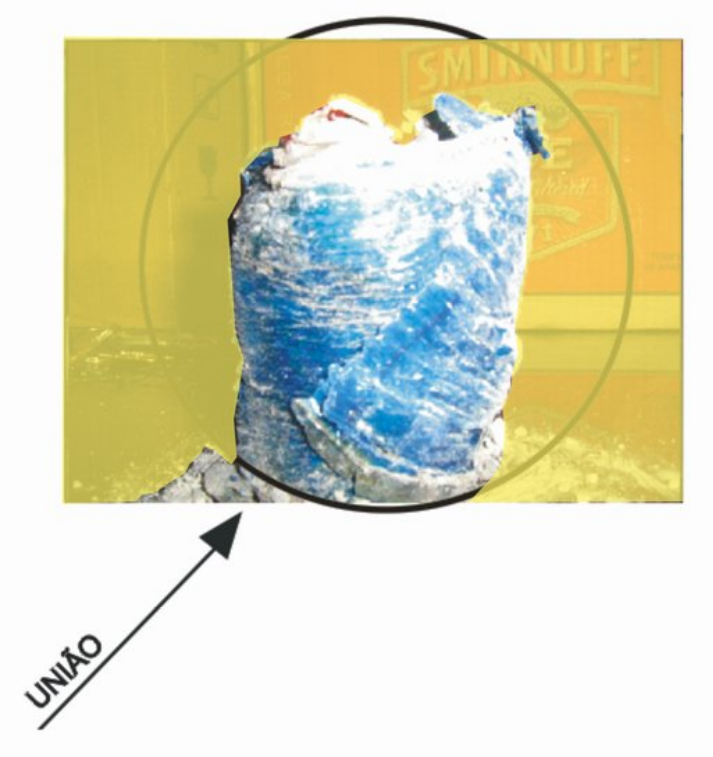


Figura 47 - Vista da região do transpasse unida da manta de fibra de vidro pré-impregnada caracterizando uma maior aderência da interface manta/concreto(área fraturada menor).(Fonte:Autor)

As superfícies fraturadas dos corpos-de-prova com reforço estrutural com a manta de fibra de vidro tradicional apresentaram uma maior área de fratura e um descolamento da interface manta/concreto(rompimento) na tensão máxima, caracterizando uma menor aderência do que a manta de fibra de vidro pré-impregnada conforme figuras 48 e 49. Na ruptura da interface manta/concreto, ocorreu mudanças nas geometrias dos corpos-de-prova com redução da seção útil do concreto, com propagação de fissuras no concreto, até a completa desagregação do concreto.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

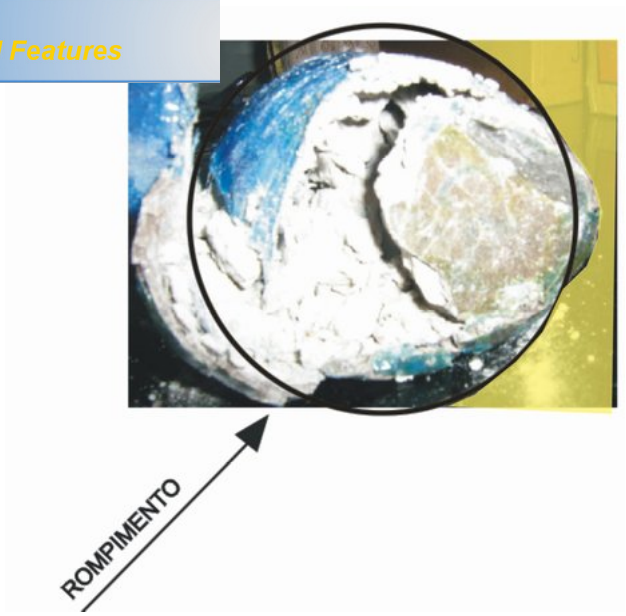


Figura 48 - Vista da superfície de fratura da manta de fibra de vidro tradicional (área maior) e da ruptura da interface manta/concreto(Fonte:Autor)

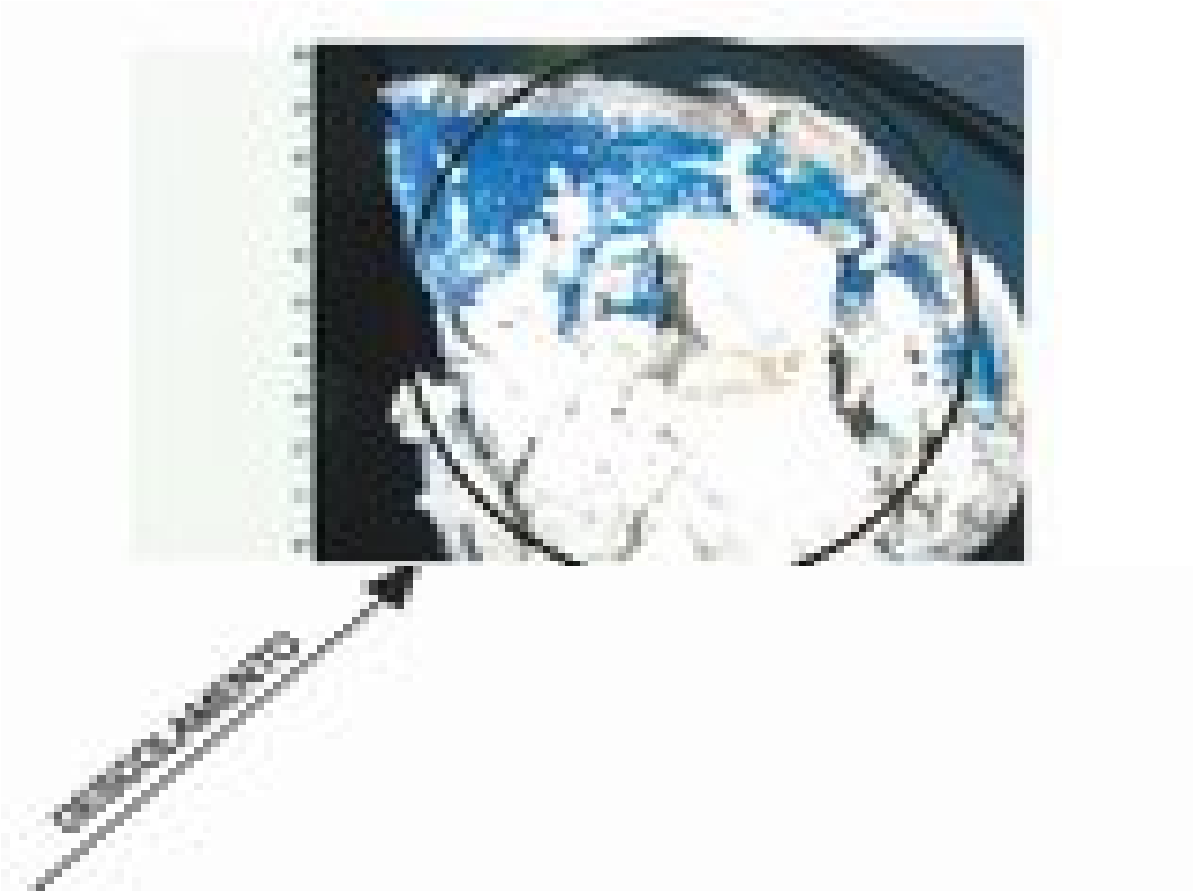


Figura 49 - Vista da superfície de fratura da manta de fibra de vidro tradicional com ruptura e descolamento da interface manta/concreto (Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

dos corpos-de-prova com reforço estrutural ré-impregnada apresentaram uma menor área de fratura e não apresentaram descolamento da interface manta/concreto (rompimento) na tensão máxima, caracterizando uma maior aderência do que a manta de fibra de vidro tradicional conforme figuras 50 e 51. Devido ao favorecimento de alinhamento das fibras e a garantia das quantidades controladas de resina termofixa do tipo epóxi parcialmente curadas, características especiais da manta de fibra de vidro pré-impregnada, não ocorreu ruptura da interface manta/concreto, apenas uma pequena fissuração do concreto, com uma menor redução útil do concreto, evidenciando-se a efetividade da aderência da moldagem por contato dos sistemas pré-impregnados.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

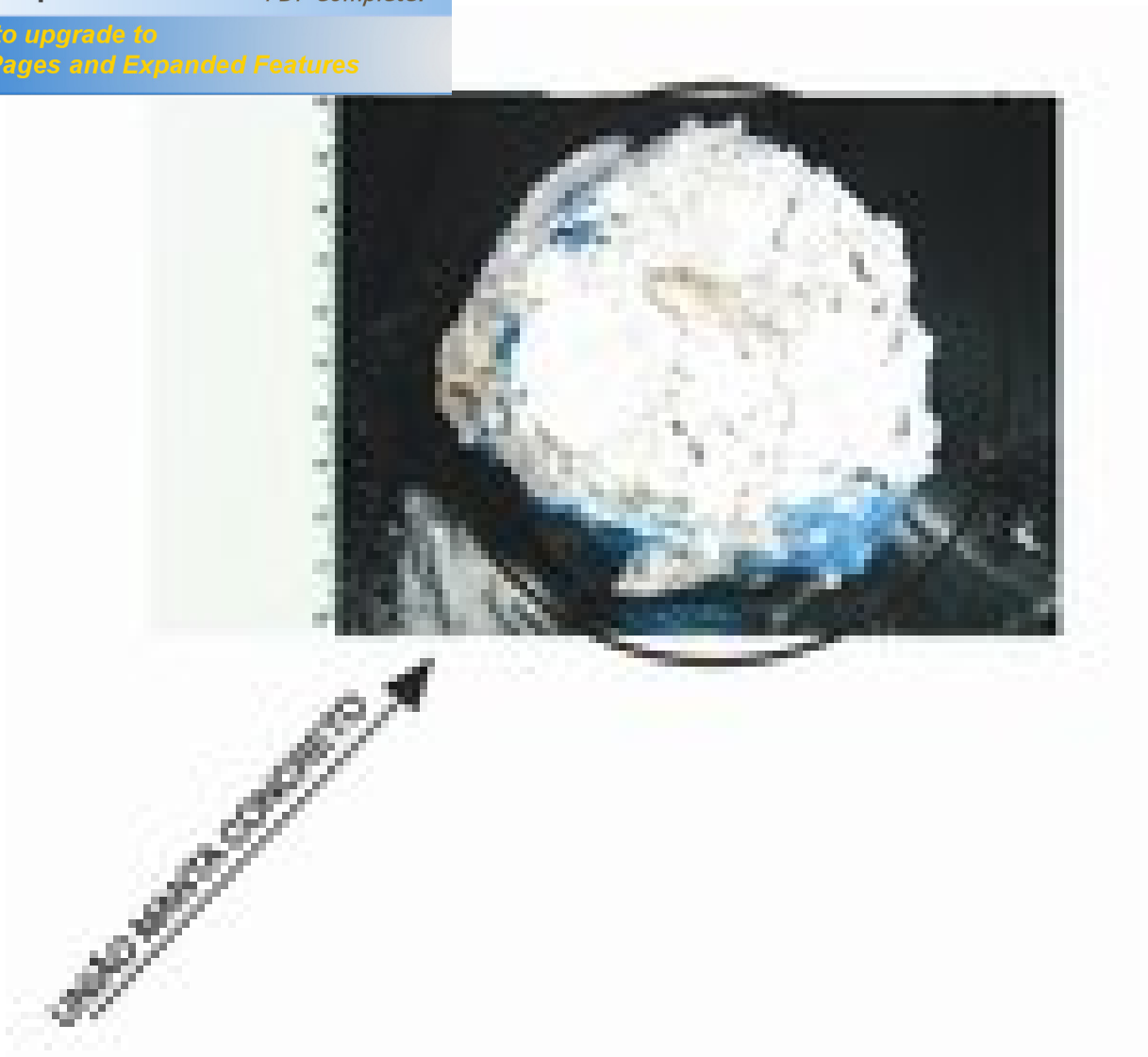


Figura 50 - Vista da superfície de fratura da manta de fibra de vidro pré-impregnada(área menor) e da união da interface manta/concreto(Fonte:Autor)

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

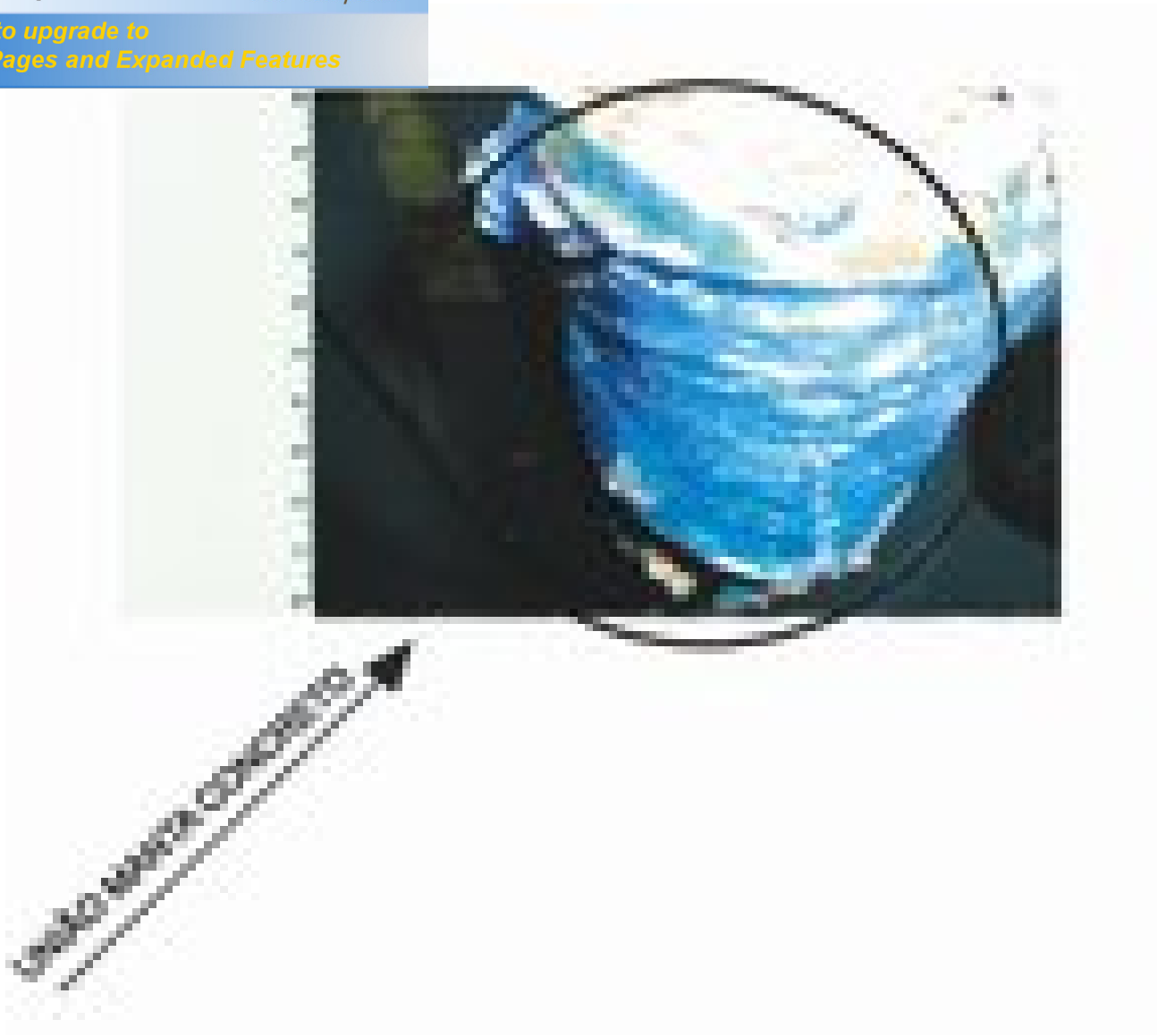


Figura 51 ï Detalhe da união da interface manta/concreto da manta de fibra de vidro pré-impregnada (Fonte:Autor)

Nos corpos-de-prova reforçados com a manta de fibra de vidro tradicional, as tensões máximas obtidas foram inferiores às da manta de fibra de vidro pré-impregnada tendo uma média de tensão máxima de 40.4 MPa (acréscimo de aproximadamente 2,02 vezes) sendo o menor valor obtido de 40.1 MPa e o maior valor obtido de 40.8 MPa ,em virtude da menor aderência apresentada na interface manta/concreto provocando o descolamento e rompimento da manta. Nos corpos-de-prova reforçados com manta de fibra de vidro pré-impregnada, as tensões máximas foram superiores às da manta de fibra de vidro tradicional tendo uma média de tensão máxima de 60.4

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

mente de 3.02 vezes) sendo o menor valor ior ao maior valor obtido com a manta de fibra de vidro tradicional(40.8 MPa) e o maior valor obtido de 60.9 MPa, em virtude da maior aderência apresentada na interface manta/concreto não provocando o descolamento e rompimento da manta, ficando unida a interface manta/concreto. Vale salientar que esta tensão máxima obtida nos ensaios não é a tensão de aderência (onde ocorre o descolamento da manta do concreto), não podendo se determinar tal tensão pelo ensaio de resistência à compressão, só através do ensaio de resistência ao cisalhamento através de equipamento de difícil aquisição e alto custo(máquina triaxial). Mesmo com a utilização deste equipamento seria difícil a execução de tal procedimento, pelas várias variáveis constantes na utilização de tal equipamento. Portanto com os resultados obtidos os reforços com ambas as mantas foram aprovados para o reforço de pilares circulares de concreto armado por confinamento, com uma apresentando uma maior aderência e consequentemente uma maior resistência final(tensão máxima) (pré-impregnada), cabendo ao calculista do reforço, a escolha de qual sistema irá utilizar pela necessidade de aumento de resistência pretendida na obra em questão. Vale salientar que o reforço estrutural utilizado em ambas as mantas foi com apenas uma camada de reforço estrutural, podendo ser aumentado ainda a resistência final de ambas as mantas com a adição de novas camadas de reforço estrutural.

Os resultados dos ensaios realizados in-loco na residência demonstraram conforme o ensaio de resistência à compressão em laboratório, que a tensão de aderência da manta de fibra de vidro tradicional é inferior a da manta de fibra de vidro pré-impregnada. No ensaio do pull-off foram obtidos valores de tensões inferiores a 1,6 MPa para ambas as mantas, sendo que as tensões da manta pré-impregnada tiveram valores um pouco superiores ao da manta de fibra de vidro tradicional.

Manta de fibra de vidro tradicional: 1,53 MPa, 1,52 MPa, 1,53 MPa e 1,55 MPa Manta de fibra de vidro Pré-Impregnada: 1,55 MPa, 1,57 MPa,1,58 MPa e 1,57 MPa

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ruptura ocorreu no substrato de concreto, perfeitamente aderido, conforme figuras 52 e 53.

Figura 52 - Vista da interface manta/concreto da manta de fibra de vidro tradicional após ensaio de pull-off(Fonte:Autor)

Figura 53 - Vista da interface manta/concreto da manta de fibra de vidro pré-impregnada após ensaio de pull-off(Fonte:Autor)

-Nos ensaios de sondagem acústica nos pilares in-loco,não foram observadas delaminações,bolhas de ar, tanto na manta de fibra de vidro tradicional como na pré-impregnada.

-Os ensaios realizados nos pilares da residência in-loco, ampliaram ainda mais a pesquisa de avaliação das estruturas reforçadas, pois avaliaram pilares de seção quadrada, visto que em laboratório os corpos-de-prova tinham seção circular, obtendo os mesmos resultados para ambas as situações.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

oretos nos corpos-de-prova, após a aspersão r do concreto ficou a mesma, indicando a não existência de cloretos nos corpos-de-prova ilustrado na figura 54.

Figura 54-Vista do corpo-de-prova após a aspersão de nitrato de prata(Fonte:Autor)

-No ensaio de carbonatação nos corpos-de-prova, após a aspersão do indicador fenolftaleína, a cor do concreto também continou a mesma, indicando a penetração de gás carbônico nos corpos-de-prova ilustrado na figura 55.

Figura 55-Vista do corpo-de-prova após a aspersão da fenolftaleína (Fonte:Autor)

-No ensaio do valor de ph nos corpos-de-prova, após o risco pelo lápis de ph e comparação com a escala de cores, observou-se uma cor verde na superfície do concreto, indicando o valor de ph=8, mostrando a despassivação do concreto, ou seja, este concreto não estaria mais protegendo a armadura pela redução de sua alcalinidade ilustrado na figura 56.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Figura 56-Vista do corpo-de-prova após aplicação do lápis medidor de ph e comparação com a escala de cores (Fonte:Autor)

-No ensaio de ultra-som realizado após corte dos corpos-de-prova fraturados, obteve-se como resultados a inexistência de fissuras na interface manta/concreto, a inexistência de vazios no concreto e velocidades de onda ultra-sônicas entre 3000 e 3500 m/s, indicando uma boa qualidade do concreto e boa compacidade do concreto analisado, segundo a norma específica e ilustrado na figura 57.

Figura 57-Vista do corpo-de-prova durante o ensaio de ultra-som (Fonte:Autor)

Seguem abaixo os resultados obtidos nos ensaios de ultra-som:

Manta de Fibra de vidro tradicional:

3234 m/s, 3376 m/s , 3212 m/s , 3489 m/s, 3311 m/s , 3213 m/s, 3433 m/s, 3215 m/s, 3266 m/s, 3431 m/s, 3277 m/s, 3366 m/s, 3328 m/s, 3247 m/s e 3376 m/s.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

é-impregnada:

3211 m/s, 3343 m/s, 3367 m/s, 3498 m/s, 3467 m/s, 3389 m/s, 3346 m/s, 3274 m/s, 3291 m/s, 3273 m/s, 3267 m/s, 3385 m/s, 3245 m/s, 3167 m/s e 3385 m/s.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

ÇÃO DE ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DE RETO ARMADO REFORÇADAS COM COMPÓSITOS

Ensaio de Sondagem acústica:

O avaliador deve analisar a estrutura reforçada através de martelo de aço de 2 kg, através de pancadas uniformes de 3 em 3 cm, não variando muito a força aplicada na superfície. Após o ensaio da estrutura analisada:

1- Se não existir delaminações em toda a extensão do reforço aplicado o ensaio está terminado com a aceitação do reforço aplicado **(NOTA 3)**

2- Se existirem delaminações, fazer medida da área da delaminação e comparar com a área total do reforço, se a área de delaminação for inferior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for menor que 1300 mm2, as delaminações são admissíveis, sendo a aplicação do reforço aceita **(NOTA 2)**

3- Se a área de delaminação for superior a 5% da área total do reforço ou sua área de delaminação for maior que 1300mm², as delaminações não são admissíveis, sendo necessário refazer o reforço nas áreas com delaminações, sendo a aplicação do reforço rejeitada **(NOTA 1)**.

Ensaio de arrancamento ou Pull-off:

O avaliador deve utilizar o equipamento de arrancamento, no mínimo em 5(cinco) áreas de reforço aplicado, para se fazer uma média dos resultados obtidos, em virtude do ensaio ser localizado. O avaliador deve colar uma chapa de aço quadrada ou circular no reforço aplicado através de epóxi, e após a cura do sistema proceder ao arancamento da chapa. Após o ensaio da estrutura analisada:

1- Se a ruptura ocorrer no pino de ligação da placa com o dispositivo de arrancamento, indicando que tanto o sistema compósito quanto o substrato de concreto estão adequados e a média dos ensaios tiver uma Tensão de aderência acima de 1,5 MPa, o sistema está aprovado **(NOTA 3)**

2- Se a ruptura ocorrer no substrato de concreto, indicando que o sistema está perfeitamente aderido e a média dos ensaios tiver uma Tensão de

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

sistema está aprovado **(NOTA 2)**

- Se o sistema composito descola do substrato de concreto, indicando que a aplicação não foi correta e a média dos ensaios tiver uma Tensão de aderência abaixo de 1,5 MPa, o sistema está reprovado **(NOTA 1)**

Com a elaboração desta correlação entre os ensaios, fica mais fácil a obtenção de um critério (padronização) na avaliação dos reforços utilizando compósitos em estruturas de concreto armado, devendo-se formalizar sua normalização. De acordo com este critério de avaliação em média tanto a manta de fibra de vidro tradicional quanto a manta de fibra de vidro pré-impregnada, obtiveram notas satisfatórias de desempenho (3,2).

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

LO 6: CONCLUSÕES

-Comprovou-se nos ensaios de sondagem acústica que a exposição ao ambiente marinho não influenciou nos resultados dos ensaios realizados, tanto da manta tradicional quanto da pré-impregnada na resistência estudada de 20 MPa.

- Comprovou-se nos ensaios de resistência à compressão dos corpos-de-prova sem reforço estrutural, as resistências esperadas.

-O papel do aplicador do sistema de reforço é importantíssimo para se evitar o aparecimento de futuras patologias,principalmente no sistema tradicional.

-Comprovou-se também nos ensaios de resistência à compressão e pull-off que a exposição ao ambiente marinho não influenciou nos resultados dos ensaios realizados, tanto da manta tradicional quanto da pré-impregnada. Explicado pelo tratamento prévio da superfície do concreto realizado antes da aplicação do reforço estrutural com compósitos.

-Nos ensaios de resistência à compressão e pull-off, comprovou-se com os resultados obtidos com a manta de fibra de vidro tradicional, que eles produziram menores tensões máximas, gerando uma aderência inferior à obtida com a manta pré-impregnada, enquanto que a manta de fibra de vidro pré-impregnada produziu maiores tensões máximas, gerando uma aderência superior à obtida com a manta de fibra de vidro tradicional.

-Nas superfícies fraturadas nos corpos-de-prova analisados observou-se que os com manta de fibra de vidro tradicional, apresentaram uma maior área de fratura, com descolamento da interface manta/concreto(rompimento) na tensão máxima, caracterizando uma menor aderência do que a manta de fibra de vidro pré-impregnada e os com manta de fibra de vidro pré-impregnada, apresentaram uma menor área de fratura, com uma união da interface manta/concreto na tensão máxima, caracterizando uma maior aderência do que a manta de fibra de vidro tradicional.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

-Nos corpos-de-prova reforçados com a manta de fibra de vidro tradicional, os acréscimos de tensões máximas foram inferiores aos da manta de fibra de vidro pré-impregnada tendo uma média de tensão de 40.4 MPa(acréscimo de aproximadamente 2 vezes).

-Nos corpos-de-prova reforçados com manta de fibra de vidro pré-impregnada, os acréscimos de tensões máximas foram superiores aos da manta de fibra de vidro tradicional tendo uma média de tensão de 60.4 MPa(acréscimo de aproximadamente 3 vezes).

- Os resultados dos ensaios de arrancamento realizados in-loco na residência, demonstraram conforme os outros ensaios efetuados que a aderência da manta de fibra de vidro tradicional é inferior a da manta de fibra de vidro pré-impregnada. No ensaio do pull-off foram obtidos valores de tensões inferiores a 1,6 MPa para ambas as mantas, sendo que as tensões da manta pré-impregnada tiveram valores um pouco acima aos da manta de fibra de vidro tradicional.

-Nos ensaios de teor de cloretos realizados nos corpos-de-prova, após a aspersão do indicador nitrato de prata a cor do concreto ficou a mesma, indicando a não existência de cloretos nos corpos-de-prova.

-Nos ensaios de carbonatação realizados nos corpos-de-prova, após a aspersão do indicador fenolftaleína, a cor do concreto também continou a mesma, indicando a penetração de gás carbônico nos corpos-de-prova.

-Nos ensaios do valor de ph realizados nos corpos-de-prova, após o risco pelo lápis de ph e comparação com a escala de cores, observou-se uma cor verde na superfície do concreto, indicando o valor de ph=8, mostrando a despassivação do concreto, ou seja, que este concreto não estaria mais protegendo a armadura pela redução de sua alcalinidade.

-Nos ensaios de ultra-som realizados após corte dos corpos-de-prova fraturados, obteve-se como resultados a inexistência de fissuras na interface manta/concreto, a inexistência de vazios no concreto e velocidades de onda ultra-sônicas entre 3000 e 3500 m/s, indicando uma boa qualidade do concreto e uma boa compacidade do concreto analisado, segundo a norma específica.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

avaliação foi elaborada uma proposta de ndagem acústica e de arrancamento (pull-off) com atribuição de notas de desempenho. Com a elaboração desta normalização a avaliação dos reforços ficou mais fácil, pois existe à partir de agora uma correlação entre os ensaios,obtendo-se um critério(padronização), na avaliação dos reforços utilizando compósitos em estruturas de concreto armado.

- De acordo com este critério de avaliação em média tanto a manta de fibra de vidro tradicional quanto a manta de fibra de vidro pré-impregnada, obtiveram notas satisfatórias de desempenho(3,2).

- Portanto com os resultados obtidos os reforços com ambas as mantas foram aprovados para o reforço de pilares circulares de concreto armado por confinamento, com uma apresentando uma maior aderência e consequentemente uma maior tensão máxima (pré-impregnada), cabendo ao calculista do reforço, a escolha de qual sistema irá utilizar pela necessidade de aumento de resistência pretendida na obra em questão. Deve-se com os resultados obtidos neste trabalho, disseminar a utilização por parte das empresas aplicadoras dos sistemas de reforço com compósitos da manta de fibra de vidro pré-impregnada, em virtude das suas vantagens técnicas.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

PARA TRABALHOS FUTUROS

-Realização de ensaios avaliativos (sondagem acústica, resistência à compressão e pull-off) com as mantas de fibra de carbono e kevlar pré-impregnadas, para confirmação do aumento de aderência concreto/fibra e comparação com os resultados obtidos com a fibra de vidro

- Realização de ensaios avaliativos (sondagem acústica, resistência à compressão e pull-off) com as mantas de fibra de carbono,vidro e kevlar pré-impregnadas e não impregnadas, com incremento de armaduras nos corpos-de-prova

-Realização de ensaios de microscopia eletrônica de varredura,com amostras das mantas de fibra de carbono,aramida e vidro pré-impregnadas e tradicionais para análise da interface manta/concreto

-Realização de ensaios de ultra-som com amostras das mantas de fibra de vidro,carbono e aramida pré-impregnadas e tradicionais para análise da interface manta/concreto

-Formulação de epóxis para substituição dos epóxis utilizados nas mantas pré-impregnadas

- Avaliação da influência das dimensões do corpo-de-prova na eficiência dos resultados dos ensaios avaliativos utilizados

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

-Utilização por parte das empresas aplicadoras dos sistemas de reforço com compósitos, da manta de fibra de vidro pré-impregnada em nossa região, em virtude das vantagens técnicas

-Utilização por parte das empresas aplicadoras dos sistemas de reforço com compósitos, das mantas de fibra de carbono e kevlar pré-impregnadas em nossa região, visando a completa disseminação no meio técnico e científico do sistema com a manta pré-impregnada

-Melhoria da aderência manta/concreto com a utilização dos compósitos pré-impregnados e diminuição ou eliminação das patologias oriundas das aplicações com o sistema tradicional

-Elaboração de uma metodologia para o ensaio de sondagem acústica e para o ensaio de arrancamento para análise de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos

-Elaboração de um tabela de correlação entre dois ensaios (sondagem acústica e arrancamento), para análise de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos

-Encaminhamento à ABNT de proposta de normalização das metodologias dos ensaios de sondagem acústica e arrancamento, para análise de estruturas de concreto armado reforçadas com compósitos

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

REFERÊNCIAS

ABNT, NBR (NB ï 1), Projeto de estruturas de concreto, RJ, 2003

ABNT-NBR 5739, Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilindricos- Método de ensaio, RJ,1994

AITICIN,P.C; Concreto de Alto desempenho,Pini,São Paulo,2000

ANTEQUERA,P;JIMENEZ,L;MIRAVETE,A, Los Compuestos de Fibra de Vidro, Universidad de Zaragoza,1991

American Concrete Institute, AC/Building Code Requirements for Structural Concrete(ACI 318-95) and Comentary(ACI 318 R-95 e ACI 503R)

American Concrete Institute, ACI Committe 440. Guide for the design and construction of externally bonder FRP systems for strengthening concrete structures,2000

ASTM D 2344, Ensaio de flexão em três pontos, método de ensaio, Philadelfia

ASTM D 5379 ï 93, Ensaio losipescu, método de ensaio, Philadelfia

ASTM D 303976, Ensaio de tração transversal, método de ensaio, Philadelfia

BASF, Software ñReforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbonoò,2003

BEBER,A;SANTAROSA,D;CAMPOS,A, Confinamento de concreto com compósitos, Ibracon,2006

BIRYUKOVICH,K.L, Glass Fibre Reinforced Cement, Cera, 1965

CEN 1542; Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Pull-off test. Bruxelas. Comitê Europeu de Normalização, 1995.

CHAJES, J.M; Bond and Force transfer of composite material plates bonded to concrete. ACI Structural Journal, Detroit, 1996.

Concrete Society Committe, Design Guidance for Strengthening Concrete Structures Using Fibre Composite Materials,2000

DIN EN 989:1995, FIBER PUSH OUT TEST

FERRARI,V.J;PADARATZ,I.J;LORRIGIO,D.D, Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem, Ibracon, São Paulo, 2002.

FREYSSINET; Cahier des clauses tecniques- Reinforcement du beton par collage de tisu de fibres de carbone procede TFC. Paris,1997.

ISIS, Canadian Network of centers of excellence on intelligent sensing for innovative structures- Standard test methods 1998.

ISAIA,G.C; Materiais de Construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo,Ibracon,2007, vol.1.

ISAIA,G.C; Materiais de Construção civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais, São Paulo,Ibracon,2007, vol.2.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

o, Pesquisa e Realizações, São

ISAIA,G.C; Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações, São Paulo,Ibracon,2005, vol.2.

LORENZIS,L, Stability of CFRP Confined Columns,Universitá degli Studi di Lecce,2004

MACHADO, A . P , Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono, São Paulo. Pini,2002.

MBRACE- Composite Strengthening System- Engineering Design Guidelines, USA,2002.

METHA,K.P; Concreto:Estrutura,Propriedades e Materiais,Pini,São Paulo,1994

MENEGUEL, J.M; SÁNCHEZ, E, Estudo da aderência compósito de fibra de carbono-concreto em vigas reforçadas à flexão, Ibracon, São Paulo,2002.

MENEGHETTI,L.C; GARCEZ,M.R; CAUDURO,L.B; FILHO,L.C.P.S, Caracterização da resistência à tração de polímeros estruturados com fibras de carbono,vidro e aramida, Ibracon, São Paulo,2005.

MENECHETTI, L.C, Comportamento de ruptura de elementos de concreto armado com materiais compósitos, tese de doutorado, UFRS, Porto Alegre, 2007

MELO, G.S; CABRAL, S.C.M, Aderência e descolamento de compósitos de fibra de carbono em estruturas de concreto reforçadas, Ibracon, São Paulo,2004.

MIRMIRAN,A;SHAHAWY,M, Behavior of concrete columns confined by fiber composites, Journal of structural engineering, New York,1997

NEVILLE,A.M; Propriedades do Concreto,Pini,São Paulo,1997

PEREIRA,F.S.C; Effect of stell casing surface conditions on the adherence of oilwell cements,18 TH International Congress of Mechanical Engineering,Ouro Preto-Minas Gerais, 2005.

PEREIRA,F.S.C, Utilização de Manta de Fibra de Carbono no reforço de estruturas de Concreto Armado, Ibracon,São Paulo,2002.

PEREIRA,F.S.C; Avaliação de Aderência de Interfaces cimento/revestimento metálico em Poços de Petróleo,Dissertação de Mestrado,PPGEM-UFRN,2005

RAY PUBLISSHING PUBLICATION, Composites for Infrastructure- A Guide for Civil Engineers

SAADATMANESH,H;EHSANI,M, Fiber composite plates can strengthen beams, Concrete Internacional, Detroit,1990

SEVERINO,A.J Metodologia do Trabalho Científico, Editora Cortez,São Paulo,2003

SOUZA,V.C.M; RIPPER,T, Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, Pini, São Paulo,1998.

Your complimentary use period has ended. Thank you for using PDF Complete.
Click Here to upgrade to Unlimited Pages and Expanded Features

Verificação experimental da aderência de um e carbono colado à superfície do concreto, Revisa do concreto,Ibracon, São Paulo,2005.

SOUZA,R.H.F; APPLETON,J.ªS; RIPPER,T.C; Avaliação do desempenho de compósitos armados com tecido de fibras de carbono como elemento de reforço de vigas de betão armado, Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas, Lisboa,1998.

SPRAGG, C.J;DRAZAIL,L.T, Fiber, Matrix, and Interface Proprieties, ASTM STP 1890,1996

SCHWARTZ,M.M, Composite materials handbook, New York:McGraw-Hill,1984

SIKA 2000, Guias de Diseno e Instalacion Tejidos Sikawrap, Reforzamiento com Sistemas de Fibras de Carbono(CFRP) y Fibras de Vidrio(GFRP) para Estructuras de Concreto y Madera,SantaFé de Bogotá,Colombia,jan

TENG,J.G; YAO,J; CHEN,J.F, Intermediate crack-induced in RC beams and slabs. Construction na Building Materials, 2003

TOUTANJI,H; ORTIZ,G, The effect of surface preparation on the bond interface between FRP sheets and concrete members. Composite Structures, 2001

TOUTANJI,H, Stress-Strain characteristics of concrete columns externally confined with advanced fiber composite, ACI Materials Journal, Detroit,1999

TSAI,S.W; MIRAVETE,A, Diseño y Analisis de Materiales Compuestos, Editora Reverte S/A, Barcelona,1988

XIAO,J; LI,J;ZHA,Q, Experimental study on bond behavior between FRP and concrete. Construction and Buiding Materials, 2004

YE,J.Q, Interfacial shear transfer of RC beams strengthened by bonded composite plates. Cement & Concrete Composites, 2001

Livros Grátis

(http://www.livrosgratis.com.br)

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo