

**ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS SERVIÇOS DE REFORÇO ESTRUTURAL À
FORÇA CORTANTE DA PONTE COSTA E SILVA**

Elaborado por:



RONALDO OLIVEIRA DE ALMEIDA
CREA 5068890409/D-SP
Mat.: 973.173-3
UGP/DETEC/DE/NOVACAP

R03			
R02			
R01			
R00	07/10/2022	Versão inicial	Ronaldo Almeida
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL
Nome do projeto		REFORÇO ESTRUTURAL À FORÇA CORTANTE DA PONTE COSTA E SILVA	
Número do projeto		PROJ-DE-058-18	Nome Eletrônico do Arquivo: PROJ-DE-058-18-CAD-DT-ETS-002-R00
Endereço do projeto		PARANOÁ, LIGAÇÃO DA SHIS QL 10 DO LAGO SUL AO SCES 01 DO PLANO PILOTO	

SUMÁRIO

1	OBJETO	3
2	INTRODUÇÃO	3
3	JUSTIFICATIVA	4
4	REFORÇO ESTRUTURAL EM FIBRA DE CARBONO	7
4.1	INFORMAÇÕES GERAIS	7
4.2	POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO (PRFC).....	8
4.3	CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO EXECUTIVO DE REFORÇO COM PRFC	10
4.4	PROCESSO CONSTRUTIVO DO SISTEMA COMPOSTO PRFC.....	13
4.4.1	PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE PARA O RECEBIMENTO DO SISTEMA PRFC.....	15
4.4.2	APLICAÇÃO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO	20
4.4.3	ANCORAGEM ESPECIAL DAS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO.....	22
5	PRAZO.....	25
6	REGIME DE EMPREITADA	25
7	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	26

1 OBJETO

Contratação de empresa de engenharia especializada para prestação de serviços de reforço estrutural das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva à força cortante, por aplicação de mantas de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC), localizada no Lago Paranoá, ligando o Setor de Clubes Sul ao Pontão do Lago Sul, com acesso à Península dos Ministros e a Quadra 11 do Lago Sul, em Brasília/DF.

2 INTRODUÇÃO

O presente documento trata das informações técnicas referentes ao reforço estrutural das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva à força cortante, por aplicação de mantas de PRFC, conforme projetos executivos fornecidos pela empresa Concrepoxi, contratada para realização dos serviços de recuperação e reforço estrutural e revitalização da Ponte Costa e Silva (Contrato Nº 027/2021-DJ/NOVACAP).

Quadro 1 - Principais características estruturais da Ponte Costa e Silva

Sistema Estrutural	Balanços progressivos em concreto protendido e trecho central isostático metálico
Comprimento total (m)	440,0
Largura (m)	13,5
Número de vãos (unid.)	3
Vão principal (m)	220,0
Vãos Laterais (m)	110,0
Trecho Central Isostático Metálico (m)	60,0
Número de faixas	3 faixas, sendo uma reversível
Passeio de pedestres	2 passeios de 1,5 m

Figura 1 – Ponte Costa e Silva



Fonte: Bento Viana (IPTC Photo Metadata)

3 JUSTIFICATIVA

A Ponte Costa e Silva foi projetada pelo renomado Arquiteto Oscar Niemeyer em 1967, e inaugurada em 1976, com a participação direta da NOVACAP.

A sua construção foi iniciada em 1969, com projeto executivo original, em balanços progressivos de concreto protendido. Entretanto, foi paralisada, por problemas estruturais. Para sua conclusão, sete anos após o início da construção, foi necessário modificar o projeto executivo do trecho central, dando lugar a um segmento isostático com 60 m, em estrutura metálica. Finalmente, a ponte foi inaugurada em 1976 e se mantém em operação até esta data.

Em 1995, 19 anos após o início de sua operação, houve uma intervenção nas fundações para tratamento das corrosões encontradas nos tubulões.

Em janeiro de 2014, 38 anos após sua inauguração, devido à movimentação das barreiras de concreto (guarda-rodas) pré-moldadas, ocasionando um estrangulamento parcial das pistas de rolamento, Figura 2, a seguir, resultante da deflexão dos balanços do vão central.

Figura 2 – Obstrução parcial das pistas de rolamento pela movimentação das barreiras de concreto na região da junta de ligação entre os balanços protendidos e o trecho metálico (jan./2014)



Fonte: Novacap, 2014

A partir dessas constatações, a NOVACAP contratou a empresa Topocart, que subcontratou a empresa LSE – Laboratório de Sistemas Estruturais, especializada em monitoração e diagnóstico estrutural, que em relatório¹ concluiu que:

[...] o aumento das flechas dos balanços do vão central em razão das perdas progressivas de protensão em razão da relaxação do aço, da fluência do concreto e da ruptura de fios de protensão em razão da corrosão sobtensão que está presente nos cabos (evidências de infiltração das ancoragens)

[...]

Diante desse diagnóstico, em 2021, a Novacap licitou a obra de recuperação e reforço estrutural e revitalização da Ponte Costa e Silva, tendo a empresa Concrepoxi Engenharia como ganhadora, Contrato Nº 027/2021-DJ/NOVACAP, que por sua vez subcontratou a empresa EGT Engenharia para elaborar o projeto executivo de reforço de acordo com as premissas do projeto básico da Novacap.

Por meio de carta², o Professor Dr. Eng. Fernando Rebouças Stuchi, projetista da EGT, informa que a conclusão da LSE, sobre a necessidade de protensão externa, “*aparentemente está correta*”, vez que:

[...]

A ponte Costa e Silva foi projetada com o conceito de protensão total, em que as tensões principais na alma são controladas até o limite de resistência a tração, ou seja, não deveriam aparecer fissuras importantes na alma pelo controle da tensão principal de tração.

[...]

Além desse reforço especificado pela LSE, a EGT, a partir de novas investigações e nova modelagem numérica da ponte, verificou que havia a necessidade de reforço por força cortante, principalmente nas regiões fissuradas, indicando problemas de cisalhamento. Dessa forma, a empresa realizou estudos a fim de encontrar a melhor solução para combater essa manifestação patológica, indicando o reforço por meio da aplicação de manta de fibra de carbono²:

[...]

A solução com manta de fibra de carbono foi a escolhida, pois apresenta o melhor custo-benefício. Embora tecnicamente a protensão externa seja a

¹ Relatório LSE-R2018-12-14-1, Contrato: 670/2013-ASJUR (Novacap/Topocart)

² Carta EGT-CPX01/003/21 à Concrepoxi com vista à Novacap

melhor, a grande probabilidade de cortar bainhas e perder protensão longitudinal torna essa solução menos atrativa. Além disso, as espessuras das lajes são grandes e os furos passantes são de difícil execução. Por fim, a quantidade de ancoragem dos cabos protendidos que são necessários tornam a solução inviável financeiramente.

[...]

Além disso, sobre as deficiências no Estado Limite Último por força cortante, a Concrepoxi ponderou:

[...]

Considerando que a maior parte desta deficiência se dá pelo elevado peso próprio da estrutura, onde temos trechos, por exemplo, com uma capa asfáltica de 22 cm, buscou-se uma solução que não gerasse incremento de peso próprio, apresentasse elevada resistência e fosse de rápida execução. Desta forma, a solução proposta para a segurança estrutural foi usar fibra de carbono nas almas da seção celular.

[...]

Diante disso e da apresentação prévia dos custos estimativos para o reforço em carbono supracitado, a Novacap entendeu que, por se tratar de serviços dispendiosos para o erário e em atendimento à Norma NBR 6118 (item 5.3), providenciou a contratação da Paula Machado Engenharia (PME), empresa especializada em reforços com uso de mantas de PRFC, para fazer a análise de conformidade do projeto de reforço de cortante em carbono (Contrato D.E. Nº 081/2022–DJ/NOVACAP), apresentado pela empresa Concrepoxi, contratada para realização dos serviços de recuperação e reforço estrutural e revitalização da Ponte Costa e Silva (Contrato Nº 027/2021-DJ/NOVACAP).

A PME, tendo como Diretor Técnico o Engenheiro Ari de Paula Machado, autor do “Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (da Viapol)”, concluiu que³:

[...]

A partir da análise efetuada pela Paula Machado Engenharia utilizando o material fornecido pela EGT conclui-se que o dimensionamento da estrutura atende integralmente aos requisitos de norma quanto à segurança estrutural e estabilidade da estrutura, estando o projeto aprovado por parte deste ACP (grifo nosso).

[...]

³ Relatório de Avaliação de Conformidade de Projeto (ACP) - PM-22-RAC-026-025

A partir das informações apresentadas, a Fiscalização da de recuperação e reforço estrutural e revitalização da Ponte Costa e Silva informa ao Departamento de Edificações que⁴:

[...]

O Aditivo anteriormente aprovado, somado ao valor proposto para execução do reforço de cisalhamento ultrapassa o valor previsto no artigo 181 do Regulamento de Licitações e Contratos da NOVACAP, bem como do parágrafo 1º do Art. 81 da Lei 13303/16.

[...]

O Departamento de Edificações se manifesta à Diretoria de Edificações⁵:

[...]

Conforme apresentado pela fiscalização e verificado as análises apresentadas pela Departamento Técnico, após o parecer apresentado pela PME sobre os projetos apresentados pela construtora ConcrePoxi, este Departamento se manifesta e sugere um novo processo licitatório para atender a execução do reforço estrutural por fibra de carbono (reforço por força cortante, principalmente nas regiões fissuras, que são indicativas de problemas de cisalhamento).

Dessa forma, tendo em vista o exposto, com a finalidade de dar prosseguimento à obra de recuperação e reforço estrutural e revitalização da Ponte Costa e Silva (Contrato Nº 027/2021-DJ/NOVACAP), foi elaborado a presente especificação técnica para execução do reforço das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva com aplicação de mantas de PRFC.

4 REFORÇO ESTRUTURAL EM FIBRA DE CARBONO

4.1 INFORMAÇÕES GERAIS

A CONTRATADA deverá executar o reforço das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva, a partir da aplicação de mantas PRFC, seguindo as premissas do projeto executivo elaborado pela empresa Concrepoxi, contratada pela NOVACAP e apresentado na licitação:

- CPX01A-S1D-01-005-A;
- CPX01A-S1D-01-006-A.

O sistema de reforço das almas em fibra de carbono, proposto neste Projeto Básico, foi baseado no projeto executivo contratado pelo Contrato Nº 027/2021-DJ/NOVACAP.

⁴ Despacho - NOVACAP/PRES/DE/DEDI/SEREO (91429999)

⁵ Despacho - NOVACAP/PRES/DE/DEDI (91432379)

A execução desses serviços deverá ser planejada de forma que as pistas de rolamento sempre permaneçam liberadas para o tráfego. Além disso, durante todo o período de realização do reforço estrutural, a empresa CONTRATADA deverá contar com a responsabilidade técnica de profissional com experiência em serviços de reforço com uso de fibra de carbono, cuja capacitação deverá ser comprovada por atestado de capacidade técnica, a ser conferido na fase de licitação e durante a execução dos serviços.

Os serviços acompanhados pelo profissional descrito acima deverá ser concluído com a emissão de Relatório Técnico conclusivo, de documento “como construído” (*as built*), acompanhado de ART, sobre todas as etapas do reforço estrutural e com o posicionamento conclusivo sobre sua perfeita realização, inclusive Manual de Manutenção.

Nota:

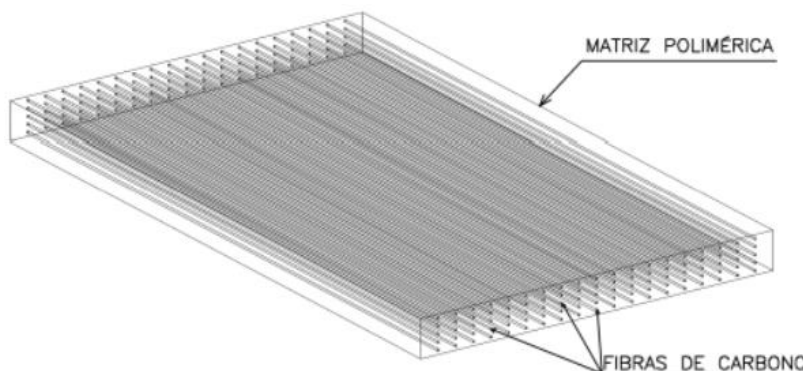
Qualquer alteração nas premissas deste Projeto Básico, na fase de obra, será assumida pela CONTRATADA, eximindo o autor deste PB de qualquer responsabilidade e penalidade, conforme Lei 13.303/2016 (Lei das Estatais) e Lei 10.406/2002 (Código Civil).

4.2 POLÍMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO (PRFC)

O PRFC é um material compósito formado pela matriz polimérica e fibras de carbono. Materiais compósitos são formados pela união de dois ou mais materiais de origem e composições diferentes, formando um material composto, Figura 3.

O PRFC é um material anisotrópico e heterogêneo com comportamento elástico linear até a ruptura, não sofre plastificação antes de romper, dessa forma, rompe de forma abrupta.

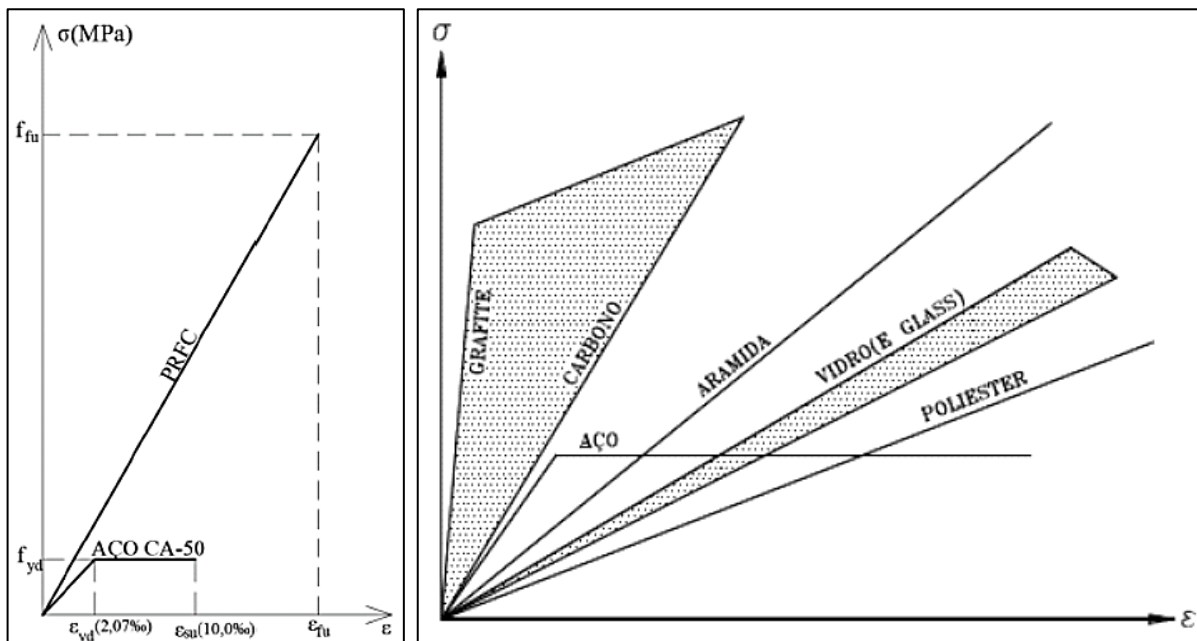
Figura 3 – Representação do polímero reforçado com fibras de carbono em perspectiva



Fonte: Marques Costa, 2019

Na Figura 4, observa-se um gráfico com a relação tensão-deformação do PRFC e do aço CA-50. A relação tensão-deformação do PRFC é elástico linear até a ruptura, e a relação tensão-deformação do aço CA-50 é elástico linear até atingir a tensão de escoamento. Quando a tensão no aço atinge a tensão de escoamento, o aço entra no regime plástico, e sofre deformação sob tensão constante até a ruptura (ruptura dúctil).

Figura 4 – Gráfico mostrando a relação tensão-deformação do PRFC e do Aço CA-50



Fonte: Marques Costa, 2019, e Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

Os materiais compósitos que utilizam as fibras de carbono como elemento resistente apresentam as seguintes características:

- Ótima resistência mecânica;
- Excelente rigidez;
- Bom comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas;
- Elevada resistência a ataques químicos diversos;
- Não são afetados pela corrosão por se tratar de um produto inerte;
- Estabilidade térmica e reológica;
- Extrema leveza, devido ao baixo peso específico do sistema (da ordem de $1,6\text{g/cm}^3$ a $1,9\text{g/cm}^3$, cerca de 5 vezes menor do que o do aço estrutural) chega-se ao ponto de não se considerar o seu peso próprio nos reforços;

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE PROJETO EXECUTIVO DE REFORÇO COM PRFC

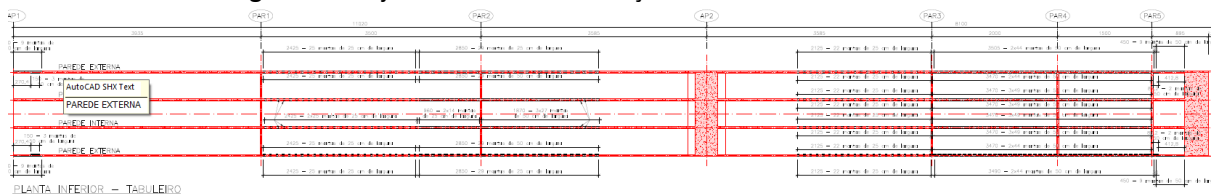
A EGT, em seu projeto executivo (CPX01A-S1D-01-005), apresenta os principais elementos para execução do reforço das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva, quais sejam:

- Tecido de fibra de carbono (TFC) unidirecional para reforço estrutural SIKAWRAP 300 C ou equivalente técnico:
 - Peso: 200 g/m²;
 - Espessura do Tecido de Fibra de Carbono (TFC): 0,167 mm;
 - Tensão Última no Compósito (TFC + Epóxi): 3.500 MPa;
 - Módulo de Elasticidade do Tecido: 266,0 GPa.
- Resina Epoxídica TRIEPOX C44 ou equivalente técnico, com teores voláteis conforme exigência LEED;
- Corda (vassourinha) de fibra de carbono para conexão estrutural e ancoragem de sistemas de reforço: SIKAWRAP FX-50 C ou equivalente técnico;
- Perfil metálico em chapas de aço SAC-300 de 12,7 mm de espessura;
- Barras rosçadas ASTM A325 de Ø20 mm.

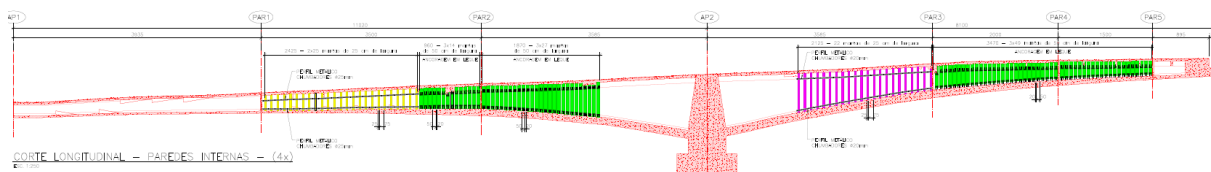
Na prancha supramencionada, é apresentada também a seguinte sequência para execução do reforço a partir da aplicação de mantas de fibra de carbono:

1. Apicoar, limpar, tratar e preencher com argamassa polimérica os trechos danificados de aplicação da manta;
2. Arredondar todos os cantos com raio mínimo de 20 mm;
3. Lixar mecanicamente, regularizar e limpar a superfície a ser reforçada;
4. (Nos casos de ancoragem fibra de carbono) executar furos e aplicar ancoragem com SIKAWRAP FX-50C ou equivalente técnico;
5. Aplicar resina e o tecido de fibra de carbono (TFC);
6. Executar furos na alma na posição das ancoragens;
7. (No caso de ancoragem metálica), posicionar as chapas, já com as barras soldadas (onde indicado), nos cantos entre mesa/alma e talão/alma com aplicação de argamassa de assentamento uniformemente distribuída entre as chapas e a fibra/concreto;

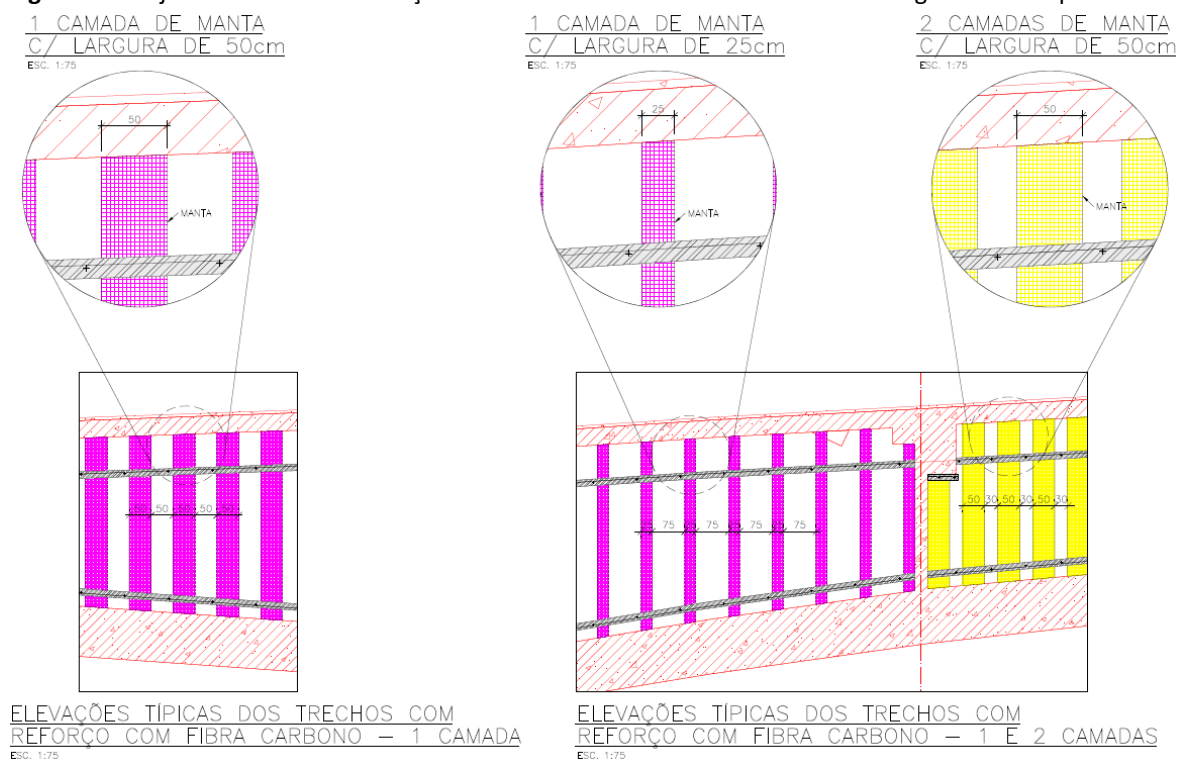
8. Efetuar torque final das barras rosqueada somente após a argamassa apresentar resistência mínima (verificar junto ao fabricante), tomando o cuidado para não expulsar a argamassa de assentamento entre as chapas e a fibra/concreto;
9. Preparar as superfícies externas (parede externas), após aplicação do reforço, para recebimento de pintura.

Figura 5 – Projeto Executivo de Reforço da Ponte Costa e Silva – Planta


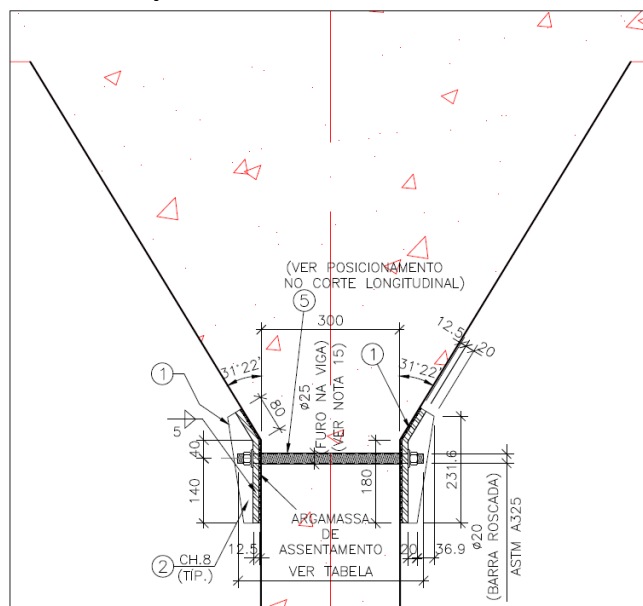
Fonte: Projeto Executivo - Prancha CPX01A-S1D-01-005

Figura 6 – Projeto Executivo de Reforço da Ponte Costa e Silva – Elevação


Fonte: Projeto Executivo - Prancha CPX01A-S1D-01-005

Figura 7 – Projeto Executivo de Reforço da Ponte Costa e Silva – Detalhes da ancoragem com chapa metálica


Fonte: Projeto Executivo - Prancha CPX01A-S1D-01-006

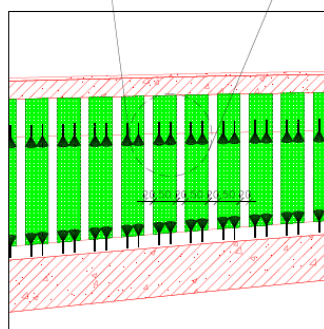
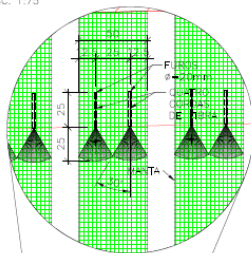
Figura 8 – Projeto Executivo de Reforço da Ponte Costa e Silva – Detalhe da ancoragem com chapa metálica

DETALHE D1

ESC. 1:10

Fonte: Projeto Executivo - Prancha CPX01A-S1D-01-006

Figura 9 – Projeto Executivo de Reforço da Ponte Costa e Silva – Detalhes da ancoragem com fibra de carbono

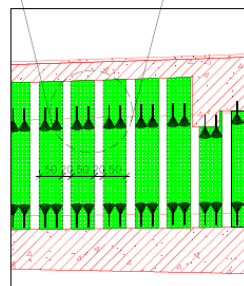
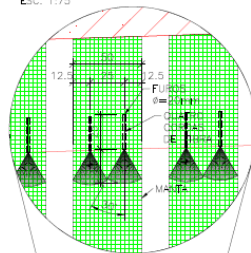
3 CAMADAS DE MANTA
C/ LARGURA DE 50cm
ESC. 1:75



ELEVAÇÕES TÍPICAS DOS TRECHOS COM
REFORÇO COM FIBRA CARBONO – 3 CAMADAS

ESC. 1:75

3 CAMADAS DE MANTA
C/ LARGURA DE 50cm
ESC. 1:75



ELEVAÇÕES TÍPICAS DOS TRECHOS COM
REFORÇO COM FIBRA CARBONO – 3 CAMADAS

ESC. 1:75

Fonte: Projeto Executivo - Prancha CPX01A-S1D-01-006

Figura 10 – Projeto Executivo de Reforço da Ponte Costa e Silva – Legenda

-  1 CAMADA DE MANTA DE FIBRA DE CARBONO COM 0,167mm DE ESPESSURA;
E_f ≥ 210GPa
F_u ≥ 3200 MPa
-  2 CAMADAS DE MANTA DE FIBRA DE CARBONO COM 0,167mm DE ESPESSURA;
E_f ≥ 210GPa
F_u ≥ 3200 MPa
-  3 CAMADAS DE MANTA DE FIBRA DE CARBONO COM 0,167mm DE ESPESSURA;
E_f ≥ 210GPa
F_u ≥ 3200 MPa

Fonte: Projeto Executivo - Prancha CPX01A-S1D-01-005

A partir dos projetos executivos supracitados, estimou-se os seguintes quantitativos para execução do reforço das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva:

Tabela 1 – Quantitativos extraídos dos projetos executivos de reforço por PRFC da Ponte Costa e Silva

Item	Descrição	Unid.	Quant. Total
1	Preparação da superfície (lixamento mecânico)	m ²	3.351,8
2	Regularização da superfície (argamassa base epóxi, tixotrópica)	m ²	3.351,8
3	Aplicação da 1ª camada de manta PRFC 300 g/cm ²	m ²	3.351,8
4	Aplicação da 2ª camada de manta PRFC 300 g/cm ²	m ²	2.169,5
5	Aplicação da 3ª camada de manta PRFC 300 g/cm ²	m ²	1.330,6
6	Ancoragem em fibra de carbono (Sikawrap FX ou equivalente) *	m	4.260,0
7	Cantoneira CH #12,5 C=250 mm (ancoragem metálica)	kg	28.948,5
8	Enrijecedor CH #12,5 A=57x256 mm (ancoragem metálica)	kg	1.904,3
9	Furos de Ø20 mm p/ ancoragem de PRFC com “corda” de carbono	m	2.130,0
10	Furos de Ø20 mm p/ ancoragem metálica com barra roscada	m	1.104,0

***Nota:** Para efeito de elaboração de orçamento, considerou-se o quantitativo de ancoragem especial em corda de fibra de carbono referente à aplicação dela em todas as mantas.

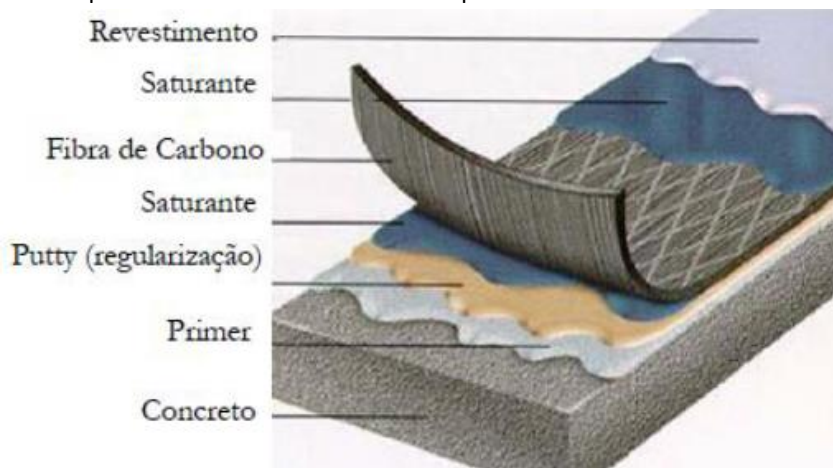
4.4 PROCESSO CONSTRUTIVO DO SISTEMA COMPOSTO PRFC

A seguir, estão elencadas as etapas construtivas recomendadas para a execução dos sistemas estruturados com fibras de carbono, Figura 11.

- a) **Limpeza e preparação da superfície:** primeiramente deve-se realizar a limpeza da superfície onde será aplicado o sistema FRP através de abrasivos ou jatos de úmido de basalto ou limalhas metálicas, promovendo a abertura dos poros e removendo a poeira, substâncias oleosas e graxas, pinturas, argamassas, etc. Cantos envolvidos nessa aplicação devem ser arredondados visando evitar concentrações de tensões e eliminar eventuais “vazios”. Posteriormente deve-se retirar o pó utilizando-se pano limpo ou estopa embebida em álcool, acetona ou aguarrás;

- b) **Aplicação do imprimador primário:** sobre a superfície seca aplica-se um “primer” de baixa viscosidade e alto teor de sólidos a fim de garantir aderência do FRP com o substrato;
- c) **Aplicação do regularizador de superfície:** Após aplicado o “primer”, faz-se uso de uma resina epóxi com alto teor de sólidos, denominada “putty”, utilizada para nivelar a superfície da estrutura, garantindo o estabelecimento de uma superfície desempenada contínua;
- d) **Corte e imprimação do FRP:** no caso de laminados, estes devem ser previamente cortados sendo posteriormente saturados com uma resina com alto teor de sólidos para realizar a aderência do sistema na superfície de concreto. Existem duas maneiras para se executar esse procedimento: saturação via úmida (FRP é saturado antes da aplicação sobre o concreto – melhor trabalhabilidade e economia de resina, porém dificulta o transporte até o local de colagem); e saturação via seca (a saturação é feita sobre o concreto da peça a ser reforçada para em seguida ser colada a lamina de FRP)
- e) **Aplicação do FRP:** após todos esses procedimentos, insere-se o FRP por sobre todas as camadas anteriores;
- f) **Segunda camada de saturação:** é feita a segunda saturação por sobre o FRP instalado, de modo a garantir que as fibras estejam totalmente imersas na resina;
- g) **Terceira camada de saturação:** repete-se o item anterior;
- h) **Revestimento estético e/ou protetor:** pode-se aplicar uma camada de cobertura a fim de garantir boa estética à estrutura de concreto reforçada. Essa etapa não fará parte do presente escopo de serviços.

Figura 11 – Etapas construtivas dos sistemas compostos estruturados com fibras de carbono



Fonte: Projeto de Estruturas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos FRP (ORLANDO, 2019)

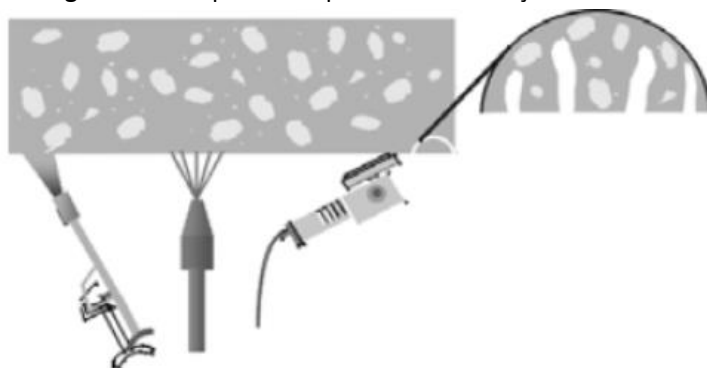
4.4.1 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE PARA O RECEBIMENTO DO SISTEMA PRFC

A preparação das superfícies de concreto onde será aplicado o sistema composto será determinada em função das duas hipóteses possíveis de funcionamento estrutural:

- Predominância da condição crítica de colagem do sistema composto;
- Predominância da condição crítica de contato íntimo para o sistema composto.

As aplicações com o objetivo de reforço para os esforços de flexão e de cisalhamento em vigas, lajes ou pilares de concreto armado exigem que seja estabelecido um sistema de colagem bastante eficiente para que seja possível uma adequada transferência de esforços entre os meios aderidos, caracterizando a condição crítica de colagem. Nesse caso, a superfície do concreto deverá sofrer as seguintes preparações mostradas na Figura 12.

Figura 12 – Limpeza da superfície de instalação do sistema



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (Viapol)

- Utilização de abrasivos ou jatos de areia ou limalhas metálicas para a limpeza da superfície onde deverá ser aderido o sistema composto. Para superfícies pequenas ou limitadas costumam ser utilizadas politrizes, geralmente acopladas com aspiradores de pó, que permitem a limpeza sem a contaminação do ambiente. Essa limpeza deve contemplar a remoção de poeira, pó, substâncias oleosas e graxas, partículas sólidas não totalmente aderidas, recobrimentos diversos como pinturas, argamassas etc. Também deverão ficar totalmente expostas quaisquer brocas ou imperfeições superficiais significativas.

A Figura 13 mostra a limpeza da face inferior de uma laje com a utilização de poltriz elétrica com aspirador de pó acoplado e a Figura 14 mostra detalhes da poltriz elétrica e do aspirador de pó.

Figura 13 – Limpeza de superfície com politriz elétrica



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (Viapol)

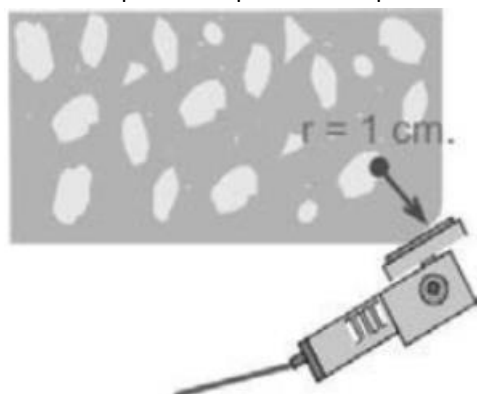
Figura 14 – Detalhe da politriz elétrica e do aspirador de pó



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (Viapol)

No caso em que o sistema composto exigir o recobrimento de mais de uma superfície lateral da peça ocorrerá a necessidade de arredondamento das quinas envolvidas nessa aplicação, visando com isso evitar concentração de tensões na fibra de carbono e eliminar eventuais “vazios” entre o concreto e o sistema por deficiência na colagem. Os cantos rugosos devem ser suavizados com aplicação de massa regularizadora apropriada com acabamento lixado, Figura 15, a seguir.

Figura 15 – Limpeza de superfície com politriz elétrica



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (Viapol)

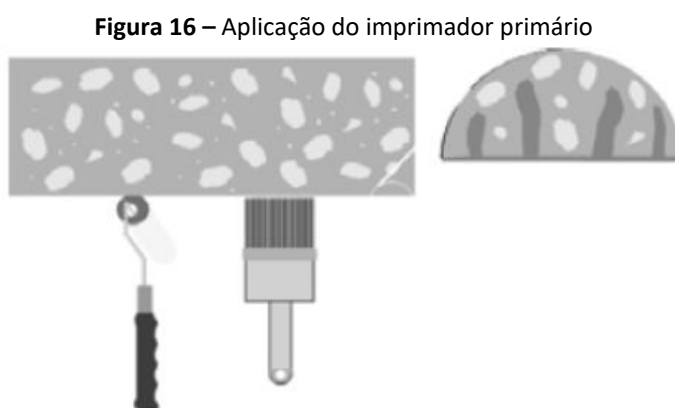
Para que as demais etapas possam ser implantadas, todas as superfícies sobre as quais será implantado o sistema composto deverão estar secas, sem umidade intersticial, uma vez que a presença de água pode inibir a penetração das resinas e reduzir drasticamente a eficiência da ponte de aderência necessária.

No caso de contato crítico, nas aplicações que envolvam o confinamento das peças de concreto armado, a preparação das superfícies deve ser fundamentalmente direcionada no sentido de que seja estabelecido um contato íntimo e contínuo entre as superfícies envolvidas. Essas superfícies não podem apresentar concavidades ou convexidades que impeçam o carregamento correto do sistema composto. As irregularidades superficiais expressivas devem ser corrigidas através do seu preenchimento (caso de brocas) com material de reparação compatível com as características mecânicas do concreto existente ou através da sua remoção (caso das juntas de formas).

Uma vez concluída a recuperação do substrato de concreto pode-se partir para a aplicação propriamente dita do sistema composto, que se faz segundo as etapas a seguir.

4.4.1.1 APLICAÇÃO DO IMPRIMADOR PRIMÁRIO

Os imprimadores primários têm como objetivo penetrar nos poros do concreto, colmatando-os para que, juntamente com a película aderida à superfície do concreto, seja estabelecida uma ponte de aderência eficiente, sobre a qual será instalado o sistema, conforme mostra a Figura 16.



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (Viapol)

4.4.1.2 APLICAÇÃO DO REGULARIZADOR DE SUPERFÍCIE

As massas regularizadoras de superfície são utilizadas para a calafetação e/ou regularização das superfícies de concreto onde serão aplicados os sistemas, garantindo o

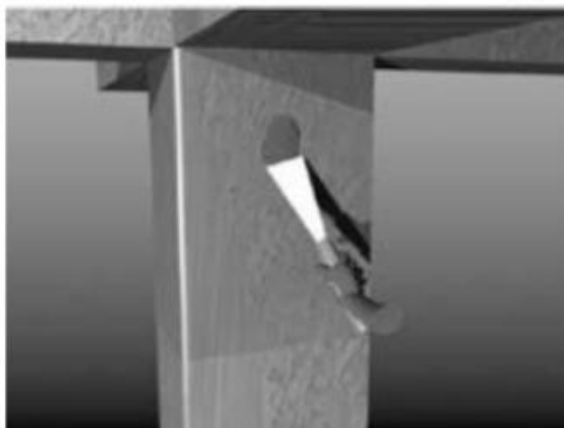
estabelecimento de uma superfície desempenada contínua. Quanto maior a irregularidade superficial maior será o consumo desse material.

Deverá ser utilizada argamassa base epóxi, com característica tixotrópicas e com resistência a compressão superior à 30 MPa, contendo alto teor de sólidos para calafetar eventuais imperfeições superficiais e criar um plano desempenado para a aplicação do sistema composto, Figura 17.

Deverá ser considerada uma espessura mínima de 5 mm com para fins de orçamento.

Devido à grande flexibilidade dos sistemas compostos essas superfícies não necessitam obrigatoriamente estarem niveladas com a horizontal, admitindo-se alguma ondulação residual sem que ocorra risco de diminuição da eficiência do sistema. Observe-se que a aplicação da pasta regularizadora é feita apenas para as regularidades concaptadas dentro da área imprimada.

Figura 17 – Regularização da superfície com a pasta regularizadora



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono (Viapol)

4.4.1.3 CORTE E IMPRIMAÇÃO DAS FIBRAS DE CARBONO

As lâminas de fibra de carbono serão previamente cortadas em bancadas especialmente montadas para o corte. São utilizados para o corte uma régua metálica, tesoura de aço (para o corte transversal) e faca de corte ou estilete (para o corte longitudinal), Figura 18.

Após o corte as lâminas de fibras de carbono deverão ser aderidas às peças a serem reforçadas. A CONTRATADA deverá escolher entre as duas maneiras distintas para se executar esse procedimento: saturação via úmida ou saturação via seca.

Figura 18 – Corte da fibra de carbono



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

4.4.1.3.1 SATURAÇÃO VIA ÚMIDA

Na saturação via úmida, a lâmina de fibra de carbono é saturada em bancada própria, sendo depois transportada para a sua aplicação na peça a ser reforçada, conforme mostra a Figura 19.

A aplicação de lâminas de fibra de carbono saturadas em bancada tem se mostrado de aplicação mais fácil (menos trabalhosa), porém impõe a uma limitação no comprimento da lâmina a ser transportada, da ordem de 3,5 a 4,0 m.

Figura 19 – Saturação da fibra de carbono na bancada

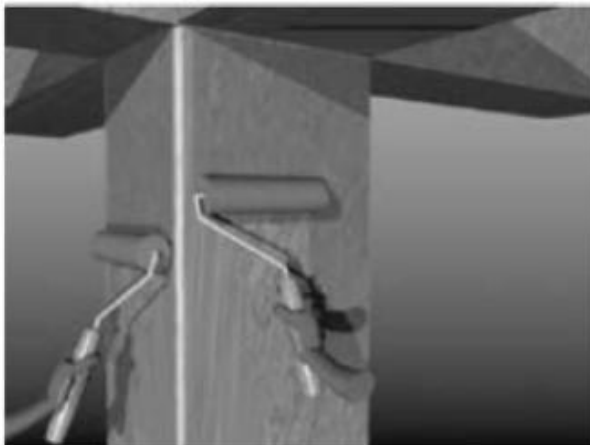


Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

4.4.1.3.2 SATURAÇÃO VIA SECA

Na saturação via seca é feita diretamente sobre o concreto da peça a ser reforçada para em seguida ser colada a lâmina de fibra de carbono, Figura 20.

Figura 20 – Saturação diretamente sobre o concreto



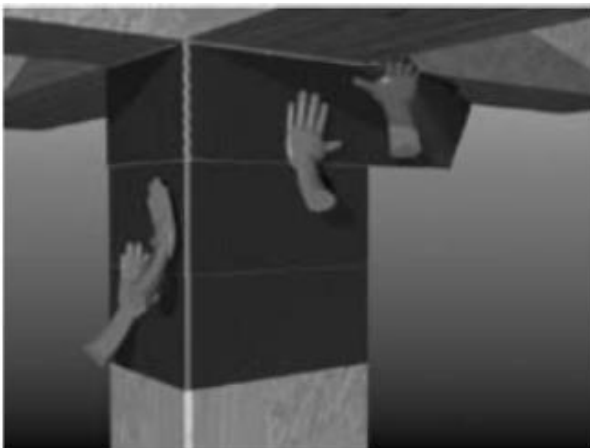
Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

4.4.2 APLICAÇÃO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO

4.4.2.1 PRIMEIRA CAMADA DE SATURAÇÃO

A colocação da manta de fibra de carbono, independentemente do tipo de imprimação utilizado, deve ser imediata, uma vez que o tempo de aplicação da resina saturante (pot-life) é muito curto, no máximo 25 a 30 minutos. Dentro desse intervalo de tempo ainda é possível se fazer ajustes de alinhamento e prumo das lâminas de fibra de carbono para o seu correto posicionamento, Figura 21.

Figura 21 – Aplicação da lâmina de fibra de carbono



Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

Com relação ao alinhamento das fibras de carbono o ACI Committee 440 estabelece quando da aplicação das lâminas que se observe visualmente a orientação das fibras de carbono de modo que não se permita a ocorrência de ondulações ou desvios de direção maior

que um desvio máximo de 5° (87 mm/m) da direção especificada no projeto de reforço. Qualquer desvio maior que esse deverá ser comunicado ao engenheiro projetista.

Para que a lâmina de fibra de carbono fique perfeitamente aderida ao substrato de concreto é executado imediatamente à colocação da mesma um procedimento para a eliminação das bolhas de ar que tenham ficado aprisionadas na interface desses dois elementos. Esse procedimento é denominado de “rolagem das bolhas de ar” e é feito com a utilização de pequenos roletes de aço denteados que “empurram” as bolhas de ar até a extremidade das lâminas, onde finalmente são eliminadas, Figura 22.

Figura 22 – Rolagem das bolhas de ar

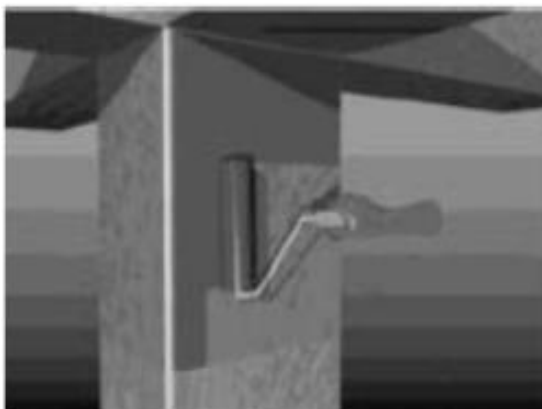


Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

4.4.2.2 SEGUNDA E TERCEIRA CAMADAS DE SATURAÇÃO

Terminado o posicionamento da lâmina de fibra de carbono é feita a segunda saturação, por sobre a lâmina instalada, de modo a garantir que a fibra de carbono esteja totalmente imersa (encapsulada). Normalmente se espera cerca de 30 minutos para essa segunda operação de saturação. Variações de tempo podem ocorrer conforme o sistema composto adotado. A Figura 23 mostra esquematicamente essa operação.

Para a terceira camada, a operação (saturação) deverá ser repetida. Ressalta-se que cada lâmina exige duas imprimações independentes, não podendo a última camada de imprimação da lâmina anterior ser utilizada para a colocação da próxima lâmina.

Figura 23 – Segunda saturação da lâmina


Fonte: Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono

4.4.3 ANCORAGEM ESPECIAL DAS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO

Considerando que a geometria da Ponte Costa e Silva não é uniforme, tendo seu desenvolvimento em forma de arco, além de mísulas e outros tipo de desconformidades, foi proposto pela projetista ancoragens especiais, utilizando “cordas” de fibra de carbono.

4.4.3.1 PROCEDIMENTOS PARA EXECUÇÃO DA ANCORAGEM TIPO LEQUE

Nas Figuras 24 a 49, a seguir, está mostrado o passo a passo para execução da ancoragem especial, utilizando “corda” de fibra de carbono (Fonte: Sika).

Figura 24 – Preparação da superfície

Figura 25 – Superfície preparada

Figura 26 – Execução de furo de Ø20 mm

Figura 27 – Medida da profundidade do furo (25 cm)


Figura 28 – Execução de ranhuras

Figura 29 – Ranhuras executadas

Figura 30 – Arredondamento das bordas do furo

Figura 31 – Limpeza do furo (aspirador)

Figura 32 – Limpeza do furo (soprador)

Figura 33 – Limpeza do furo (espanador)

Figura 34 – Limpeza do furo (vassoura)

Figura 35 – Conferência do comprimento da corda


Figura 36 – Corte da corda de fibra de carbono

Figura 37 – Saturação da corda com resina epóxi

Figura 38 – Aprisionando a extremidade da corda

Figura 39 – Aplicação de resina epóxi nas ranhuras

Figura 40 – Preenchimento do furo com adesivo estrutural

Figura 41 – Colocação parte presa da corda no interior do furo

Figura 42 – Fixação de ramos da corda nas ranhuras

Figura 43 – Saturação da ancoragem com resina


Figura 44 – Aplicação de adesivo estrutural sobre



Figura 45 – Limpeza do excesso de adesivo



Figura 46 – Ancoragem aderida à estrutura



Figura 47 – Aplicação de adesivo estrutural sobre a área onde será aplicada a manta



Figura 48 – Área onde será aplicada a manta coberta com adesivo estrutural



Figura 49 – Aplicação da manta sobre o adesivo estrutural



5 PRAZO

Estima-se um prazo de 180 (cento e oitenta) dias para execução dos serviços de reforço das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva com aplicação de mantas de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC).

6 REGIME DE EMPREITADA

Considerando que se trata de uma obra com serviços de recuperação, reforço e revitalização que, por suas características, não possibilitam uma quantificação absolutamente

precisa dos exatos volumes a executar, sugere-se a contratação por preço unitário, que deve ser preferida para objetos que, por sua natureza, não permitam a precisa indicação dos quantitativos orçamentários, conforme Acórdão 1978/2013-Plenário do TCU, TC 007.109/2013-0:

[...]

*“a empreitada por preço global (...) deve ser adotada quando for possível definir previamente no projeto, com boa margem de precisão, as quantidades dos serviços a serem posteriormente executados na fase contratual; **enquanto que a empreitada por preço unitário deve ser preferida nos casos em que os objetos, por sua natureza, possuam uma imprecisão inerente de quantitativos em seus itens orçamentários, como são os casos de reformas de edificação, obras com grandes movimentações de terra e interferências, obras de manutenção rodoviária, dentre outras**”.*

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os serviços de reforço estrutural das almas do tabuleiro da Ponte Costa e Silva à força cortante, por aplicação de mantas de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) deverão contemplar: materiais, insumos, mão de obra, equipamentos, custos indiretos, impostos e demais custos necessários à perfeita execução dos serviços.

Qualquer ensaio necessário à comprovação da qualidade dos serviços executados deverá ser providenciado pela Contratada, que deverá assumir os custos adicionais da contratação dos serviços.

A Contratada deverá providenciar container para escritório e almoxarife a serem localizados em áreas dentro do canteiro existente.

A Contratada deverá, ainda, manter vigilâncias 24 horas dos seus materiais e locais de serviço.

Brasília, 7 de outubro de 2022.



ENG. CIVIL RONALDO OLIVEIRA DE ALMEIDA

CREA 5.068.890.409/D-SP

Mat.: 973.173-3

UGP-OAE/DETEC/DE/NOVACAP