

VIGAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS A PRÉ-FISSURAÇÃO POR FLEXÃO EM LABORATÓRIO E POSTERIORMENTE REPARADAS COM RESINA EPÓXI E CHAPAS DE AÇO

Matheus VALADÃO¹

Prof.Dr. Bruno do Vale Silva

RESUMO: Acrescentar chapas de aço em estruturas de concreto armado é um método de reforço estrutural a curto prazo, que proporcionará para a estrutura uma nova oportunidade de continuar exercendo sua função. Os motivos pelos quais houve necessidade deste uso são diversos, tais como, falhas de execução, mudança da função da edificação, variações térmicas elevadas e também patologias, nas quais esta pesquisa tem correlação. O surgimento de uma fissura é o surgimento de uma patologia, e sem os cuidados necessários ocasionará sérios problemas à edificação, em que favorece a deterioração da armadura interna chegando até ao ponto de ruína. Para isso, a chapa de aço é uma alternativa viável de recuperação estrutural. O objetivo deste trabalho é mostrar, através de ensaios laboratoriais, o comportamento à flexão de vigas, e, após sua fissuração fazer uso das chapas de aço coladas com resina epóxi, analisando a viabilidade de seu uso, suas restrições, vantagens e desvantagens. A elaboração da vigente pesquisa baseou-se inicialmente em artigos, relatórios e websites, onde fora realizada uma análise crítica do material consultado para colocar em prática os estudos em laboratório para comprovar a viabilidade da pesquisa.

Palavras-chave: Concreto Armado. Fissura. Chapa de Aço. Reforço estrutural. Patologia.

1 INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho situa-se dentro da área de engenharia de estruturas, especificamente de concreto armado. A vertente que este trabalho abordará será vigas de concreto armado submetidas a pré-fissuração por flexão em laboratório e posteriormente reparadas com resina epóxi e chapas de aço

Ano a ano, dia após dia, o mundo está a evoluir e isso já acontece vários mil anos atrás onde tudo se deu início com o homem, passando cada dia por dificuldades diferentes, tendo que se proteger cada dia melhor pode-se criar ao longo do tempo abrigos, inicialmente em cavernas, passando para cabanas com

¹ Discente do 4º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. matheusvaladao16@gmail.com

²Matheus VALADÃO

pele de animais, chegando até o ponto referente a pesquisa, o surgimento de construções de concreto. Desde então houveram melhorias significativas com enfoque referente a resistência desse concreto, atualmente passou-se a utilizar complementos que o torna cada vez mais resistente, inicialmente a adição da barra de aço ao concreto, tornou-o possível a resistir esforços onde não é de sua competência.

Tendo como base vários trabalhos já realizados sobre reforço de estrutura de concreto armado através de ensaios experimentais (COSTA, 2014; Revista Alconpat, 2016), também sobre reforço a flexão com chapas de aço esta pesquisa seguirá o mesmo caminho, onde serão ensaiadas vigas com chapas de aço coladas, reforçando nas áreas de risco, onde ocorrem a maior concentração de tensões causando a fissuração da viga, com os resultados obtidos será feito a verificação de sua viabilidade, seus custos, vantagens, desvantagens etc.

Inicialmente espera-se que os resultados sejam satisfatórios, onde a resistência suportada pela viga após o reforço seja maior que a resistência máxima de suporte da viga referência sem reforço.

2 METODOLOGIA

A elaboração da vigente pesquisa baseou-se inicialmente em artigos, relatórios e websites, onde fora realizada uma análise crítica do material consultado para colocar em prática os estudos em laboratório para comprovar a viabilidade da pesquisa.

3 DESENVOLVIMENTO

O tempo limite de duração nas construções não são infinitos e com o tempo surgem defeitos, que são chamados de patologias, essas patologias quando surgem diminui a vida útil da construção podendo leva-la a colapso, mas esse

surgimento pode ocorrer devido à 3 (três) fatores diferentes, e o principal dele é devido a execução da estrutura (COSTA, 2015).

Segundo Costa (2015, p. 21):

A partir do instante em que é iniciada a construção, a mesma já estar suscetível à ocorrência de falhas das mais diversas naturezas, associadas a causas variadas como falta de mão de obra qualificada, controle de qualidade praticamente inexistente, execução da obra com pouca qualidade, péssimas condições de trabalhos para os funcionários, materiais de segunda linha com qualidade péssima, irresponsabilidade técnica dos responsáveis e até mesmo sabotagem.

Exemplos dessas patologias por execução são, trincas em vigas devidas à falta de barras de aço, trincas de elementos estruturais devido ao mau escoramento das formas, falhas no concreto devido a precária vibração do concreto entre outras de acordo com TAKATA (2009).

Trazendo para análise deste trabalho com ocorrência dessas patologias na fase de execução onde seria dispendioso a reforma através de uma substituição por exemplo, há necessidade de se reparar as partes afetadas utilizando métodos que tragam a revitalização de volta, com custo acessível e que evite desastres futuros, dependendo do período de execução do reforço.

O uso das chapas de aço é um método de reforço estrutural que corrige os problemas de fissuração além de dar um aumento significativo de resistência ao elemento reparado.

Com define Ferrari et al. (2002) apud Pimenta (2012, p. 12):

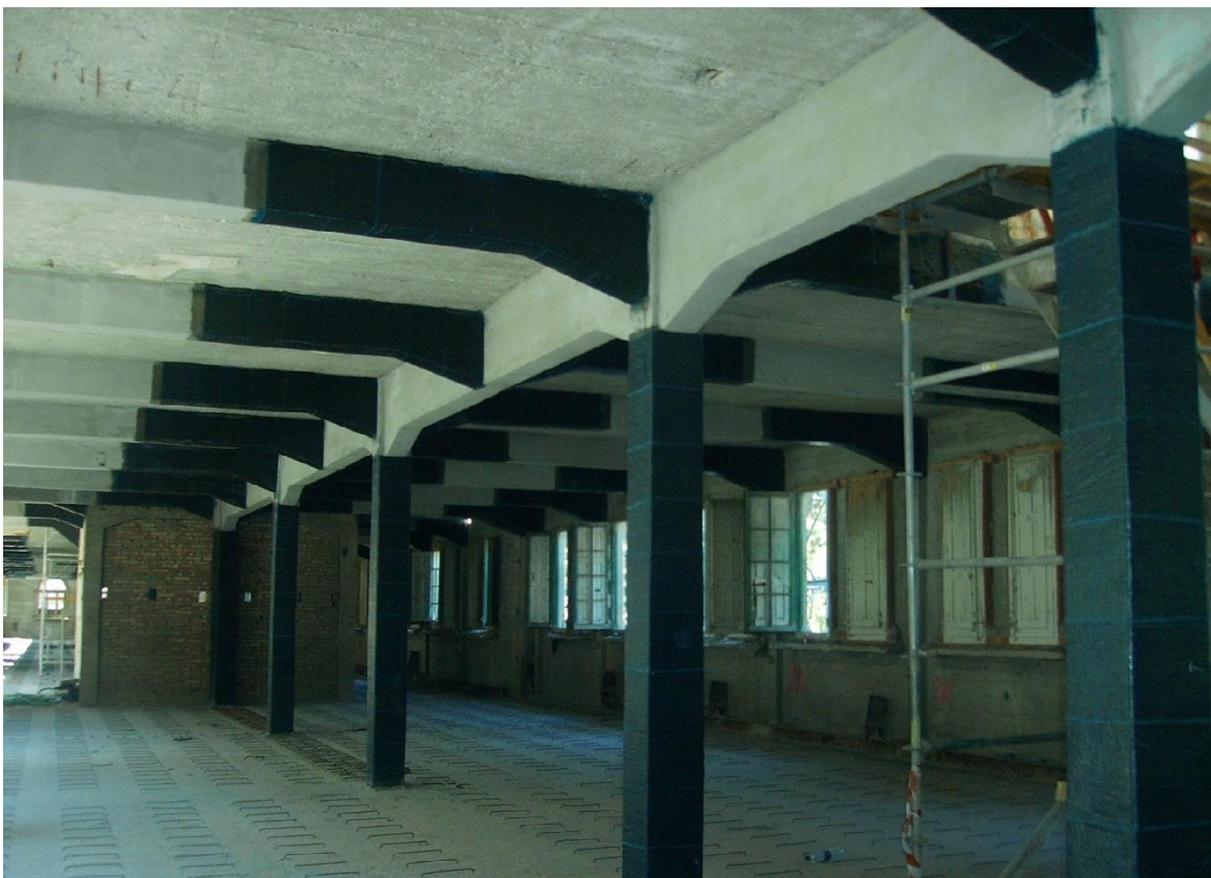
O uso de reforço estrutural é utilizado para elevar a capacidade de elemento estrutural resistir a um determinado esforço, que devido a “falhas de concepção ou execução de projeto, alteração da função da edificação, desgaste natural, surgimento de patologias, variações térmicas no concreto, falta de manutenção, entre outros motivos, não atendem mais as suas condições originais ou novas necessidades da estrutura”.

Devido ao aço possuir uma resistência muito elevada a tração é um meio prático de corrigir a fissuração de vigas de concreto armado, mesmo sendo um método de reparo de curto prazo, existem limitações a serem seguidas com o uso das chapas, o principal dele é o usa-las em ambientes externos devido a oxidação do aço, já para áreas externas será necessário chapas específicas, ou com tratamentos para cada área de exigência.

A aplicação dessa chapas devem dispor de algumas ações que são de grande importância para que se obtenha resultados satisfatórios, segundo Costa (2014, p.12) a superfície onde recebera a chapa de aço devem estar isenta de pó ou outra substancia que impeça a adesão do adesivo epóxi, utilizando uma escova de aço, e ainda produzir intencionalmente ranhuras na chapa de aço e na viga de concreto para melhorar a aderença entre esses dois materiais. Esse tratamento da superfície da peça é chamado por Trindade (2015, p.59) de Apicoamento, além de mencionar que a aplicação das chapas não pode ser efetivada com a superfície úmida.

Um método de reparo semelhante ao uso das chapas de aço para reparos estruturais, é o uso da fibra de carbono, ela é um material de altíssima resistência muito mais que a do próprio aço, mais é um material nobre ou seja, os reparos com fibra de carbono são mais caros que o reforço metálico, o que muitas vezes o custo para reparar uma viga com a fibra termine sendo inviável ao cliente, cabendo ao uso da chapa de aço. A figura abaixo mostra o reforço estrutural utilizando a fibra de carbono.

FIGURA 1: Reforço estrutural utilizando fibra de carbono.



Fonte: <<http://dit.ietcc.csic.es/wp-content/uploads/2016/08/?C=S;O=D>> Acesso em 09/05/2018 às 23:28.

O objetivo desta pesquisa é estudar o comportamento à flexão de vigas de concreto armado e em seguida repará-las com chapas de aço coladas externamente.

3.1 Composição do Concreto e Avaliação da Consistência.

O traço unitário do concreto que será utilizado segue as recomendações do método IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992), que corresponde a 1:2:3 com $a/c=0,5$. A **TABELA 1** apresenta o consumo por metro cúbico dos materiais utilizados no concreto.

TABELA 1: Composição e consumo por m³.

Material	Consumo (kg/m³)
Cimento	375,2
Areia	750,4
Brita 1	1125,6
Água	187,6

Fonte: Autor, 2018.

Com o traço do concreto definido parte-se para a mistura para que posteriormente se possa moldar as vigas de ensaio, e antes desse molde é será feito ensaio de tronco de cone para verificar se o abatimento do concreto está dentro das especificações com base na NBR NM 67:1998. Os equipamentos utilizados para este ensaio estão representados na figura abaixo.

FIGURA 3: Imagem do tronco de cone para o ensaio de abatimento.



Fonte: Autor, 2018.

3.2 Corpos de prova cilíndricos Ø10x20cm.

A fim de monitorar a resistência a compressão do concreto a ser utilizado na fabricação das vigas experimentais, será realizado a fabricação e cura de 3 corpos de prova cilíndricos em moldes com diâmetro de 10cm e altura de 20cm, como mostrado na **FIGURA 4**, de acordo com a especificação da norma NBR 5738: 2003.

FIGURA 4: Corpos de prova cilíndricos Ø10x20cm.



Fonte: Autor, 2018.

3.3 Ensaio de compressão simples e tração indireta (diametral).

Aos 28 dias de cura serão rompidos os corpos de prova utilizando dois métodos, sendo eles compressão simples, numa prensa hidráulica Emic como mostra a **FIGURA 5**.

FIGURA 5: Foto prensa Emic 1MN



Fonte: Autor, 2018.

3.4 Caracterização do Aço

Um dos componentes mais importantes na fabricação de uma peça de concreto que precisa resistir a esforços de flexão é o aço, sua fabricação se dá de acordo com o valor da resistência de escoamento sendo classificados nas categorias CA-25, CA-50 e CA-60, representados na figura abaixo, segundo a NBR 7480:2007, o CA-50 é o mais utilizável na área da construção civil por possuir uma resistência a tração muito elevada. De acordo com a NBR 7480:2007 ha especificações a serem seguidas desde a saída do aço dos fornos até a aplicação em obra para que se possa obter uma boa qualidade do produto.

FIGURA 6: Tipos de aço CA-25, CA-50 e CA-60 respectivamente.



Fonte: www.gerdau.com

Com isso será realizado, a fim de complemento deste trabalho, a aferição da massa por metro linear e o ensaio a tração do aço CA-50 que será utilizado na fabricação da armação das vigas de ensaio, gerando também um gráfico de tensão por deformação que mostra o quanto é deformado a barra de aço a cada aumento gradativo de carga. Os ensaios serão realizados com base nas recomendações da norma NBR NM 6892:2002. O ensaio de tração será realizado em uma Emic 23-100 como mostra a figura abaixo.

FIGURA 7: Foto Emic 23-100 para ensaio de tração do aço.

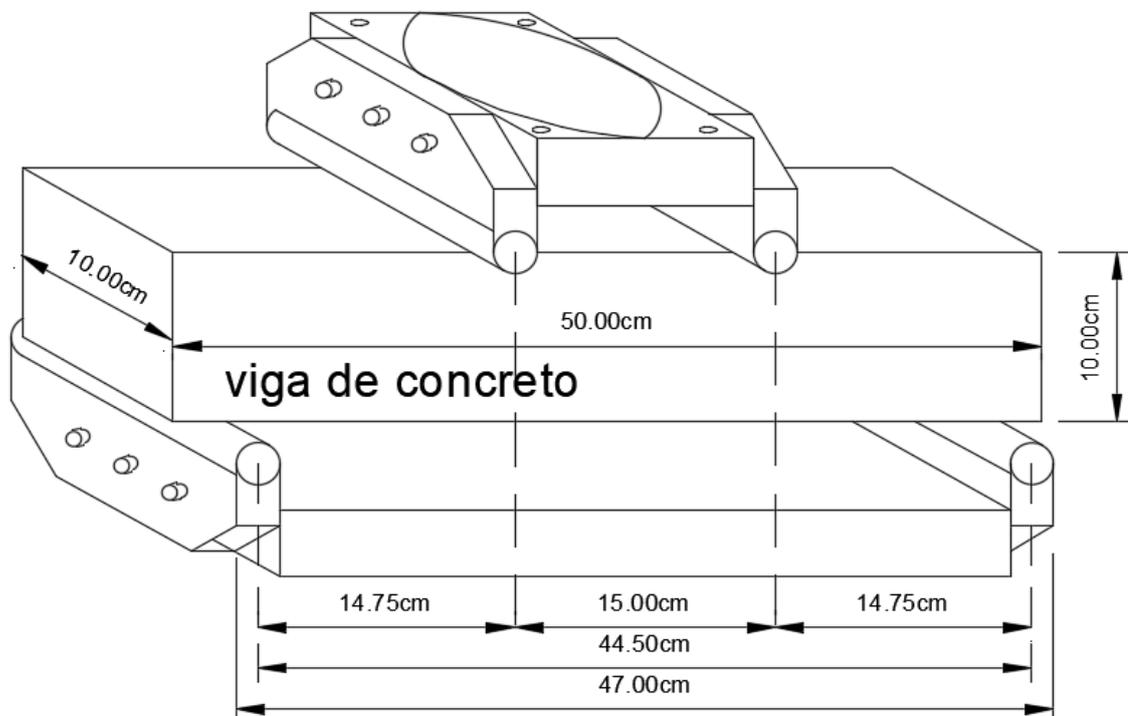


Fonte: Autor, 2018.

3.5 Ensaio de Flexão em Vigas de Concreto Armado

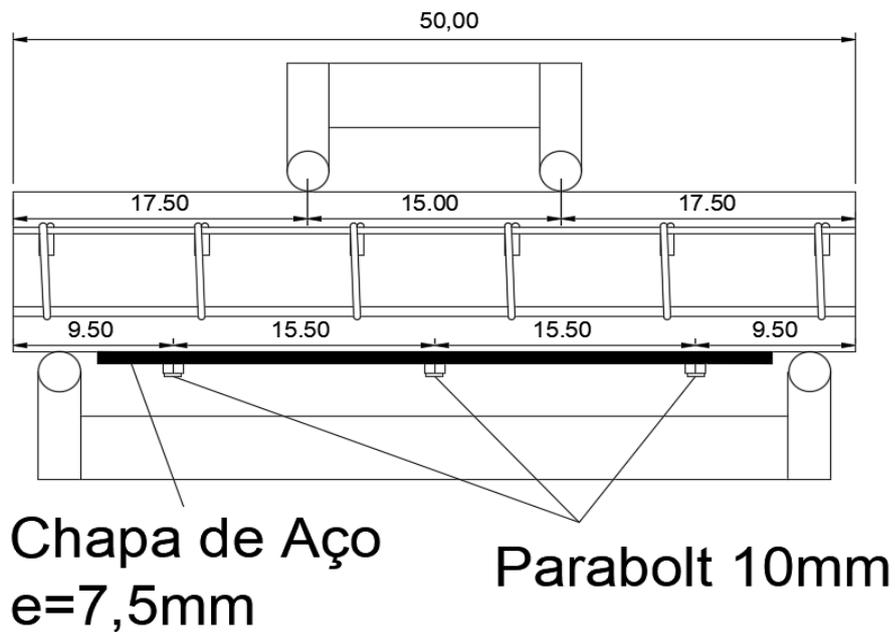
A pesquisa será realizada de modo experimental, onde serão rompidas vigas de concreto armado através de ensaio de 4(quatro) pontos, com uso de uma Prensa Emic representada na **FIGURA 8** com capacidade máxima de 1MN, onde o tamanho do corpo de ensaio será de seção transversal 10x10 cm e comprimento de 50 cm. Sendo em seguida reparadas com chapa de aço SAE 1020 na parte inferior da viga como mostra a **FIGURA 9**, sendo ela colada com resina epóxi que nada mais é do que um adesivo estrutural de alta resistência em idades baixas e ainda fixada com parabolts, que são uma espécie de haste roscada com porca e uma 'camisa', onde ao aplicar nesta porca um torque causa a abertura da camisa dando fixando-a à viga e também a chapa. As figuras 10 e 11 mostram a resina epóxi e o parabolts a ser utilizados.

FIGURA 8: Esquema de ensaio de 4 pontos na prensa Emic.



Fonte: Autor, 2018.

FIGURA 9: Representação da aplicação do reforço estrutural à viga.



Fonte: Autor, 2018.

FIGURA 10: Imagem resina epóxi.



Fonte: <<http://vedacit.com.br/produtos/compound-adesivo>> Acesso em 20/08/2018 às 18:12.

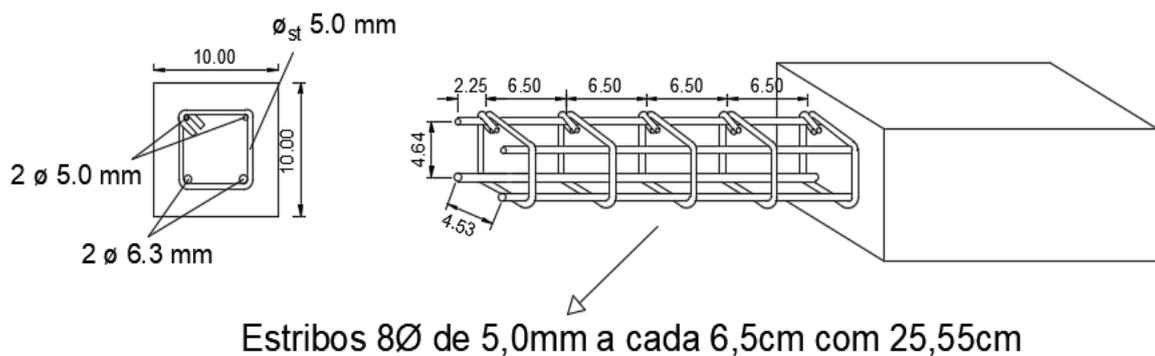
FIGURA 11: Imagem parabolt.



Fonte: <[https://www.climbclean.com.br/parabolt-\(chumbador\)-aco-inox-anc-3-8-para-furo-de-10mm~1007~65~1~linhas~ancoragem-esportiva](https://www.climbclean.com.br/parabolt-(chumbador)-aco-inox-anc-3-8-para-furo-de-10mm~1007~65~1~linhas~ancoragem-esportiva)> Acesso em 18/04/2018 às 14:40

A armação das vigas será composta por 2 barras com \varnothing 6,3 mm na parte tracionada, com estribos de \varnothing 4,2 mm espaçados a cada 10 cm e 2 barras de porta estribo com \varnothing de 4,2 mm como mostra a **FIGURA 12**.

FIGURA 12: Esquema de armação das vigas.



Fonte: Autor, 2018.

Seguindo o esquema de detalhamento mostrado acima pode se realizar uma estimativa de momento fletor admissível que a viga teoricamente resistirá, sendo confrontado posteriormente com o valor de momento indicado através do ensaio. Adotou-se para os cálculos de momento um concreto C20 (F_{ck} 20 MPa), $\gamma_s=1,15$, $\gamma_c=1,4$, utilizando a equação 1 para obtenção desse valor.

$$Mk = \frac{Md}{1,4} \quad \text{Equação 1}$$

Onde, Mk é o momento admissível à viga, Md é o momento fletor de serviço calculado através da equação 2 e 1,4 corresponde há fator de segurança exigido por norma.

$$Md = 0,68 * bw * X * fcd * (d - 0,4X) \quad \text{Equação 2}$$

Nesta equação, bw é o comprimento da base da viga, o X corresponde à altura da linha neutra sendo inicialmente calculado através da equação 3, fcd é a resistência a compressão do concreto calculado na equação 4, já o d é a altura útil da viga que corresponde a $0,9 * h$.

$$0,68 * bw * X * fcd = fyd * As \quad \text{Equação 3}$$

$$fcd = \frac{fck}{\gamma_c} \quad \text{Equação 4}$$

O As corresponde a área de aço tracionada na viga, ou seja, a área correspondente às duas barras de 6,3 mm. Em seguida com a altura da linha neutra calculada deve-se verificar em qual domínio a viga se encontra, 2 ou 3, para isso segue com uso das equações 5, 6 e 7.

$$X_2 \text{ lim} = 0,26 * d \quad \text{Equação 5}$$

$$X_3 \text{ lim} = 0,63 * d \quad \text{Equação 6}$$

$$X_2 \text{ lim} < X < X_3 \text{ lim} \quad \text{Equação 7}$$

Verificado o domínio da viga, deve agora verificar o limite da mesma através da equação 8.

$$\frac{X}{d} \leq 0,45 \quad \text{Equação 8}$$

Aprovado o limite pode-se calcular o momento fletor de serviço, $Md=213,02$ kNcm chegando ao momento admissível de $Mk=152,15$ kNcm. Contudo,

utilizando esse valor encontrado pode-se chegar também a uma suposta carga a ser resistida pela viga ao atingir o suposto valor obtido de momento através da equação 9.

$$Mk = P * 14,75$$

Equação 9

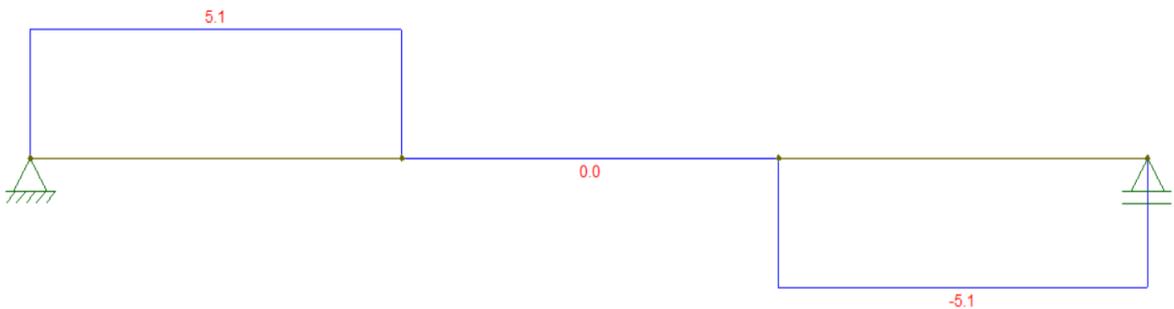
Onde P é a carga atuante em cada apoio, como mostra a **FIGURA 13** a viga possui dois pontos de atuação de carga P sendo eles somados para se obter o valor de carga exercido pela máquina igual ao total de 10,2 kN, gerando assim os gráficos de força cortante e momento fletor como mostrado nas figuras abaixo.

FIGURA 13: Representação das cargas atuante na viga mediante flexão de quatro pontos.



Fonte: Autor, 2018.

FIGURA 14: Representação do diagrama de esforço cortante (kN).



Fonte: Autor, 2018.

FIGURA 15: Representação do diagrama de momento fletor (kN.cm).



Fonte: Autor, 2018.

3.6 Estudo de viabilidade financeira

Com intuito de se verificar os custos para a fabricação das vigas foram orçados em cinco estabelecimento os materiais necessários para fabricação das vigas como mostra a tabela abaixo, onde o valor referência utilizado para a cotação foi a média entre os valores cotados.

TABELA 2: Tabela orçamentaria dos materiais utilizados nas vigas.

Materiais	Qnt.	Unid. Medida	Tanapi	Constru serra	Pontal	Pruden mat	molina	Média
Tábua de pinus 3mx2,5cm x15 cm	1	unid.	R\$14,50	R\$14,90	XXX	XXX	R\$12,00	R\$13,80
Cimento CP-II (votoran)	1	unid.	R\$21,20	R\$25,90	R\$24,00	R\$20,50	R\$25,90	R\$23,50
Areia (Lavada)	1	M³	R\$95,00	R\$84,00	R\$88,00	XXX	R\$117,00	R\$96,00
Areia (Fina)	1	M³	R\$79,00	R\$70,00	R\$65,00	XXX	XXX	R\$71,33
Brita 1	1	M³	R\$102,00	R\$90,00	R\$92,00	XXX	R\$125,00	R\$102,25
Aço 4.2mm	1	Barra	R\$ 8,00	R\$9,00	R\$9,40	R\$6,40	R\$9,90	R\$8,54
Aço 6.3mm	1	Barra	R\$ 12,00	XXX	R\$18,30	R\$13,45	R\$18,90	R\$15,66
Maço de prego 15x15	1	kg	R\$ 9,50	R\$9,00	R\$11,25	R\$9,20	R\$9,00	R\$9,59
Arame recozido	1	Kg	R\$ 11,00	R\$9,00	R\$11,00	R\$7,70	R\$11,00	R\$9,94
Adesivo estrutural	1	Unid.	XXX	R\$60,00	R\$49,90	R\$34,50	R\$39,90	R\$45,85
Total			R\$352,20	R\$371,80	R\$368,85	R\$91,75	R\$367,70	R\$396,47
	Qnt	Unid. Medida	Merceferro	Gerdau		Qnt	Unid. Medida	Ropar
Chapa de Aço SAE 1020	1	Folha	R\$74,00	R\$105,00	Parabolts 10 mm	1	Unid.	R\$1,30

Fonte: Autor, 2018.

Com base nas pesquisas orçamentarias, foram gastos R\$95,85 totais com a fabricação de 3 vigas reforçadas, sendo o valor de R\$31,95 para cada uma, já para as vigas referência foram gastos R\$41,86 totais sendo R\$13,95 para cada uma delas, totalizando R\$137,71 (Cento e trinta e sete reais e setenta e um centavos).

4 CONCLUSÃO

Com relação a realização dos ensaios verifica-se que são possíveis dentro do laboratório de materiais de construção civil da instituição.

Com relação ao levantamento de custos para realização para esta pesquisa experimental conclui-se que é viável tanto para o autor do trabalho, quanto relativamente comparado aos benefícios que trará ao mercado da construção civil no que refere a maior agilidade na escolha de reforço estrutural para estruturas de concreto armado.

Com relação aos futuros resultados experimentais, espera-se que sejam satisfatórios, onde a resistência suportada pela viga após o reforço seja maior que a resistência máxima de suporte da viga referência sem reforço. O que pode comprovar uma alternativa viável de reforço para estruturas de concreto armado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova:** NBR 5738. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos:** NBR 5739. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – especificação:** NBR 7480. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Ensaio de tração à temperatura ambiente**: NBR NM 6892. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**: NBR NM 67. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

BATTI, Marília Marcon Bez. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS AO CISALHAMENTO COM CHAPA DE AÇO**. 2015. 16p. Artigo (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

COSTA, Angélica Medeiros de. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO REFORÇO COM CHAPA COLADA EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO PÓS-FISSURAÇÃO**. 2014. 20p. Artigo (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2014.

DEGHENHARD, Caroline Crozeta – **Análise experimental da capacidade portante em vigas de concreto armado sujeitas a flexão com reforço metálico colado na face tracionada**. Revista Iniciação Científica da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, v.11, n.1, 2013. 19p.

Disponível em <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/vergalhao-ca-25-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em 07 de maio 2018.

Disponível em <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/vergalhao-gerdau-gg-50#ad-image-0>>. Acesso em 07 de maio 2018.

Disponível em <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/ca-60-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em 07 de maio 2018.

HELENE, P.; TERZIAN, P., Manual de Dosagem e Controle do Concreto. São Paulo: Pini, 1992.

SILVA, Bruno do Vale Silva et al. **Análise experimental de distintas configurações de chapa metálica no reforço à flexão em vigas de concreto armado**. Revista ALCONPAT, v. 6, n. 2, pág. 190– 201, Agosto de 2016.

SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz (Aut.). **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto**. São Paulo, SP: PINI, 2009.

TRINDADE, Diego dos Santos da. **Patologia em estruturas de concreto armado**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2015.

TAKATA, Leandro Teixeira. **Aspectos executivos e a qualidade de estruturas em concreto armado: Estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2009.