

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ESTUDO DE REFORÇO AO CISALHAMENTO DE VIGAS DE
CONCRETO ARMADO COM COMPÓSITOS DE FIBRA DE
CARBONO**

MITSUO NOGUEIRA KANEGAE

**ORIENTADOR: GUILHERME SALES SOARES DE AZEVEDO
MELO**

MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ESTRUTURAS

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO DE REFORÇO AO CISALHAMENTO DE VIGAS DE
CONCRETO ARMADO COM COMPÓSITOS DE FIBRA DE
CARBONO**

MITSUO NOGUEIRA KANEGAE

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO
DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**GUILHERME DE SALES SOARES DE AZEVEDO MELO, Ph.D (ENC-UnB)
(ORIENTADOR)**

**MARCOS HONORATO DE OLIVEIRA, D.Sc (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**NÍVEA GABRIELA BENEVIDES DE ALBUQUERQUE, D.Sc (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**GALILEU SILVA SANTOS , D.Sc (ENC-UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

FICHA CATALOGRÁFICA

KANEGAE, MITSUO NOGUEIRA

Estudo de Reforço ao Cisalhamento de vigas de concreto armado com Compósitos de Fibra de Carbono [Distrito Federal] 2016.

viii, 123 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2016)

Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Análise Estrutural

2. Concreto Armado

3. Cisalhamento

4. Reforço com CFRP

I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

KANEGAE, M. N. (2016). Estudo de Reforço ao Cisalhamento de vigas de concreto armado com Compósitos de Fibra de Carbono. Monografia de Projeto Final, Publicação G.PF-001/90, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 123 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Mitsuo Nogueira Kanegae

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Estudo de Reforço ao Cisalhamento de vigas de concreto armado com Compósitos de Fibra de Carbono.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2016

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Mitsuo Nogueira Kanegae

mitsuokanegae@gmail.com

71.827-615 Brasilia-DF

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - Generalidades	1
1.2 - Objetivos	3
1.3 - Apresentação do trabalho	4
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 - Reforço de estruturas de concreto armado	5
2.2- Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono como Reforço Estrutural	7
2.3- Dimensionamento ao cisalhamento: normas e pesquisadores	10
2.3.1- ABNT NBR 6118 (2014): Projeto de estruturas de Concreto	11
2.3.2 - ACI 318 (2011): Requerimentos de norma para Concreto Estrutural	13
2.3.3 - Zsutty: Previsão da resistência ao cisalhamento	15
2.4- Dimensionamento do reforço com fibras de carbono externamente coladas: normas e pesquisadores	17
2.4.1- ACI 440.2R (2008): Guia para dimensionamento e construção de sistemas de FRP colados externamente para reforço de estruturas de concreto	17
2.4.2- Fib bulletin 14: Reforço de FRP colados externamente em estruturas de Concreto Armado	19
2.4.3- Chen e Teng: Capacidade ao cisalhamento de vigas reforçadas com FRP.....	21
3 ESTUDOS EXPERIMENTAIS	25
3.1- Estudos da pós-graduação em Estruturas da UNB.....	27
3.1.1 - Salles Neto (2000).....	27
3.1.2 - Silva Filho (2001).....	29
3.1.3 - Araújo (2002)	30
3.2 - Estudos experimentais realizados em outras universidades brasileiras	32
3.2.1 - Beber (2003) (UFRGS)	32
3.2.2 - Gallardo (2002)	34
3.2.3 - Galvez (2003)	35
3.2.4 - Spagnolo et al. (2013)	36
3.3 - Estudos experimentais estrangeiros	37
3.3.1 - Khalifa & Nanni (2000)	37
3.3.2 - Pellegrino & Modena (2002).....	39
3.3.3 - Taljsten (2003).....	40
3.3.4 - Adhikary & Mitsuyoshi (2004)	41
3.3.5 - Dias & Barros (2005)	42

3.3.6 - Leung et al. (2007)	43
3.3.7 - Altin et al., Turquia (2010)	45
3.3.8 - Jayakaprash et al. (2010)	46
4 - RELAÇÃO TEÓRICA EXPERIMENTAL	48
4.1 - Vigas de referência sem reforço	49
4.2 - Reforço em “U” e em “L” sem ancoragem	52
4.2.1 - Cálculo base com NBR 6118	52
4.2.2 - Calculo base com ACI 318	55
4.2.3 - Cálculo base com Zsutty	58
4.3 - Vigas com reforço em “U” com ancoragem	61
4.3.1 - Cálculo base com NBR 6118	62
4.3.2 - Calculo base com ACI 318	64
4.3.3 - Calculo base com Zsutty	66
4.4 - Vigas com reforço somente nas laterais	67
4.4.1 - Calculo base com NBR 6118	67
4.4.2 - Calculo base com ACI 318	70
4.4.3 - Calculo base com Zsutty	72
4.5 - Vigas com reforço de envolvimento completo	74
4.5.1 - Calculo base com NBR 6118	74
4.5.2 - Calculo base com ACI 318	76
4.5.3 - Calculo base com Zsutty	77
4.6 - Outras variáveis investigadas	79
4.6.1 - Seção Retangular ou “T”	79
4.6.2 - Presença de armadura transversal	80
4.6.3 - Comprimento da viga	81
4.6.4 - Número de camadas de reforço	81
4.6.5 - Continuidade do reforço	82
4.6.6 - Inclinação das fibras	82
4.7- Modo de ruptura das vigas	83
4.8 - Ancoragem do reforço	90
5 - CONCLUSÃO	94
5.1 - Sugestão para futuros trabalhos	95
6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
7. ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Fissura diagonal ao longo do vão de cisalhamento.....	2
Figura 1.2 - Exemplificação do modelo da treliça de Morsch aplicado à uma viga com armadura transversal perpendicular ao eixo	2
Figura 2.1- Exemplos de tratamentos de estruturas com corrosão	5
Figura 2.2- Exemplo de retirada do concreto de modo manual.....	6
Figura 2.3- Exemplo de retirada do concreto com martelo mecânico.....	6
Figura 2.4- Tratamento da superfície de concreto com tateamento de areia	6
Figura 2.5- Exemplo de fibra de carbono e sua aplicação em viga de concreto.....	9
Figura 2.6- Camadas de diferentes materiais para aplicação de fibras de carbono	10
Figura 2.7- Ilustração da seção de viga com as propriedades utilizadas por CHEN e TENG22	
Figura 3.1- Detalhamento do reforço de cada viga (Salles Neto, 2000).....	29
Figura 3.2- Configuração de carregamento e digramas de esforços (Silva Filho, 2001)	30
Figura 3.3- Detalhes da viga de teste e da seção transversal (Beber, 2003).....	33
Figura 3.5 - Configuração de teste e esquemas de reforço (Khalifa & Nanni, 2000)	39
Figura 3.6 - Vigas testadas através de flexão por 4 pontos (Taljsten, 2003)	41
Figura 3.7 - Configuração de reforço e seções de cada viga (Adhikary & Mitsuyoshi, 2004)	42
Figura 3.8 - Detalhamento da seção transversal das vigas pequenas e médias (Leung et al., 2007)	44
Figura 3.10- Detalhamento da ancoragem do reforço (Altin et al., 2010).....	46
Figura 3.9- Detalhes da viga de teste e da seção transversal (Altin et al., 2010)	46
Figura 4.10- Detalhamento da viga de teste e seção transversal (Mofidi et al., 2011).....	48
Figura 4.15- Detalhamento da ancoragem do reforço (Khalifa & Nanni, 2000).....	94
Figura 4.13- Detalhamento da ancoragem (Silva Filho, 2001)	94
Figura 4.14- Detalhamento da ancoragem do reforço (Altin et al., 2010).....	95
Figura 4.16- Detalhamento da ancoragem do reforço (Araújo, 2003; Gallardo, 2002; Spagnolo et al., 2013)	95
Figura 5.1- Seção transversal da viga T (Sap2000).....	99
Figura 5.2- Detalhes das armaduras replicadas e extruídas (Sap2000)	101
Figura 5.4 - Vista lateral da viga montada com destaque para os reforços (Sap2000).....	101
Figura 5.3 - Detalhes das armaduras replicadas e extruídas mais os reforços em tiras de CFRP (Sap2000).....	101
Figura 5.5 - Vista em 3D da viga montada com suportes e carregamento determinados (Sap2000)	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Estudos experimentais coletados e suas características gerais.....	26
Tabela 3.2- Tabela de especificação das características de reforço das vigas do trabalho (Salles Neto, 2000).....	27
Tabela 3.3 - Tabela de especificação das características dos reforços de cada viga (Silva Filho, 2001).....	31
Tabela 3.4 - Tabela de especificação das características de reforço de cada viga(Araújo, 2002).....	32
Tabela 3.5- Detalhamento do reforço de cada grupo de vigas (Beber, 2003).....	34
Tabela 3.6- Características gerais do sistema de reforço (Gallardo, 2002).....	36
Tabela 3.7- Características gerais do sistema de reforço (Galvez, 2003).....	37
Tabela 3.8 - Características gerais de reforço (Spagnolo et al. , 2013).....	38
Tabela 3.9 - Características gerais de reforço e força cortante de ruptura (Pellegrino & Modena, 2002).....	41
Tabela 3.10 - Características gerais de reforço e carga total de ruptura (Dias & Barros, 2005).....	44
Tabela 3.11 - Características gerais de reforço e carga total de ruptura (Leung et al., 2007).....	45
Tabela 3.6- Tabela de especificação das características de reforço das vigas (Jayaprakash et al, 2010).....	48
Tabela 4.1 - Tabela comparativa dos valores calculados pela NBR6118 , ACI318 e Zsutty para vigas sem reforço.....	52
Tabela 4.2 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com NBR 6118 para vigas com reforço em “U” sem ancoragem.....	57
Tabela 4.3 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço em “U” sem ancoragem.....	60
Tabela 4.4 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço em “U” sem ancoragem.....	64
Tabela 4.7 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço em “U” com ancoragem.....	67
Tabela 4.6 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço em “U” com ancoragem.....	69
Tabela 4.8 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com NBR para vigas com reforço somente nas laterais.....	72
Tabela 4.9 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço somente nas laterais.....	76
Tabela 4.10 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço somente nas laterais.....	77
Tabela 4.11 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com NBR para vigas com reforço com envolvimento completo.....	81

Tabela 4.11 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço com envolvimento completo.....	82
Tabela 4.12 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço com envolvimento completo.....	84
Tabela 4.13 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas de seção T ou R.....	86
Tabela 4.14 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com ou sem estribo.....	87
Tabela 4.15 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para diferente comprimentos de vigas.....	89
Tabela 4.16 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para diferente número de camadas.....	91
Tabela 4.17 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para reforço contínuo ou em faixas.....	91
Tabela 4.18 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para diferentes inclinações.....	92
Tabela 4.19 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas sem reforço.....	94
Tabela 4.20 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas em “U” sem ancoragem.....	94
Tabela 4.21 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas em “U” com ancoragem.....	94
Tabela 4.22 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas somente nas laterais.....	94
Tabela 4.23 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas envolvidas completamente.....	94
Tabela 4.24 - Tabela das cargas máximas de cada viga com reforço e ancoragem com incremento de resistência.....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teo. para vigas referência	52
Gráfico 4.2 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teo. para reforço em “U” sem ancoragem com NBR6118.....	57
Gráfico 4.3 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teo. para reforço em “U” sem ancoragem (ACI 318) .. 58	
Gráfico 4.4 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” sem ancoragem (Zsutty). 61	
Gráfico 4.5 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” com ancoragem (NBR6118).....	64
Gráfico 4.6 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” com ancoragem (ACI 318). 66	
Gráfico 4.7 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” com ancoragem (Zsutty). 68	
Gráfico 4.8 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço somente nas laterais (NBR 6118) 70	
Gráfico 4.9 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço somente nas laterais (ACI 318) ... 72	
Gráfico 4.10 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço somente nas laterais (Zsutty) 74	
Gráfico 4.11 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço com envolvimento completo (NBR6118).....	76
Gráfico 4.12 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço com envolvimento completo (ACI 318).....	78
Gráfico 4.13 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço com envolvimento completo (Zsutty).....	79

RESUMO

Este trabalho visa o estudo do cisalhamento em vigas de concreto armado com Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono, ou Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), colados externamente. Tal estudo é realizado através da utilização de métodos teóricos de cálculo prevendo as cargas últimas de estruturas testadas em laboratório. Diversos resultados experimentais de trabalhos brasileiros e estrangeiros foram coletados e comparados com valores teóricos dos critérios propostos por normas e pesquisadores. Sendo a resistência total da viga ao cisalhamento a soma entre as parcelas de resistência da viga de concreto armado e dos compósitos de fibra de carbono, foram aplicadas as normas ABNT NBR 6118 (2014) e ACI 318 (2011); e as formulações propostas pelo pesquisador Zsutty (1968). Para o cálculo da parcela de resistência da fibra de carbono, não existem muitas normas que abordem o assunto de maneira direta, sendo que as que possuem maior representatividade são o ACI 440 (2008) e FIB *bulletin* 14 (2001), além das formulações propostas pelos pesquisadores Chen e Teng (2003). Após a aplicação dos métodos, os valores são combinados para que seja possível concluir qual método ou norma mais se aproxima do valor de resistência da viga testada em laboratório e com menor variação entre seus resultados. Desse modo, é possível ter uma idéia do quão aproximados são os métodos de dimensionamento de elementos estruturais desse tipo e também podemos facilitar a escolha dos tipos de aplicação de reforços estruturais dependendo das condições locais e da normativa utilizada. No total foram coletados os resultados experimentais de mais de 200 vigas testadas em laboratório dentre as quais existem variações em propriedades e modos de aplicação do reforço que foram investigados sobre suas influências nos resultados dos métodos de cálculo.

ABSTRACT

This project aims the study of shear in reinforced concrete beams with externally bonded Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP). Such study is made by using theoretical methods of calculation predicting the ultimate loads of structures tested in laboratory. A range of experimental results, coming from brazilian and foreign works, were collected and compared with values produced by standards and researchers. The total shear capacity of the beam is the sum of the resistance of the reinforced concrete beam with the resistance of the carbon fiber composite. Therefore, in order to calculate the shear resistance of the concrete and the steel reinforcement, the applied standards were ABNT NBR 6118 (2014) and ACI 318 (2011); and the formulations proposed by the researcher Zsutty (1968). In relation to the calculation of the carbon fiber resistance, there are not many standards that directly approach the subject, so the most representative ones are ACI 440.2R (2008) and FIB *bulletin* 14 (2001); and the formulations proposed by the researchers Chen and Teng (2003). After the application of the methods, the values were combined to make it possible to conclude which method or standard approximates more of the resistance of the tested beam and with less variation between its results. Thereby, it is possible to have an idea of how aproximate the methods of design of structural elements are, and also facilitate the selection of a type of application of the reinforcement depending on the conditions and standards applied. It were collected the experimental results of more than 200 beams that were tested in laboratory. Amongst them, there is some properties variations and types of reinforcement application which were investigated about their influence on the calculation results.

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - Generalidades

Um dos materiais mais empregados dentro da Engenharia Civil para soluções estruturais dentro das mais diversas áreas como construção civil, estrutura de transporte, saneamento, barragens, pontes e geotecnia é o Concreto Armado. O concreto apresenta alta resistência a compressão e facilidade em se adaptar a qualquer tipo de forma, algo que, aliada a excelente resistência a tração do aço, permite a criação de um tipo de material primordial para a formação de pilares, lajes, vigas, entre outras peças. Algo que deve ser sempre estudado como matéria essencial no uso do concreto são os modos de ruptura das peças e os consequentes avisos que uma estrutura apresenta quando está sendo solicitada de maneira desproporcional.

Vigas de concreto armado geralmente rompem de duas maneiras gerais: ruptura a flexão ou ruptura ao cisalhamento que, em vigas de concreto armado, é súbita e frágil por natureza. A ruptura à flexão depende, basicamente, da área de armadura longitudinal de tração, das dimensões da seção e das resistências do concreto e do aço. Podem-se ocorrer os modos de ruptura frágil à compressão com esmagamento do concreto atingindo encurtamento limite de 0,35% ou uma ruptura frágil à tração quando o aço escoar e rapidamente ultrapassa o alongamento máximo de 1% (CLÍMACO, 2013). A resposta da viga à solicitação de momento fletor é bem entendida e, conseqüentemente, os procedimentos de cálculo são razoavelmente efetivos e consistentes. Entretanto, devido à complexidade dos mecanismos de transferência dos efeitos de corte, o entendimento detalhado da resposta da viga ao cisalhamento não é tão aprofundado. Muitos dos fornecimentos das normas possuem parcelas empíricas, variando de estudo para estudo (JUNG e KIM, 2008).

A ruptura ao cisalhamento é menos previsível e, pelo fato de não dar nenhum aviso prévio (grandes fissuras), ela se torna mais perigosa que a ruptura a flexão. Portanto, por tal motivo, uma viga é dimensionada, preferencialmente, de modo a desenvolver sua capacidade máxima a flexão e assegurar um modo de ruptura também a flexão sob cargas extremas (LI *et al.*, 2001). Enquanto o dimensionamento específico à flexão está preocupado em assegurar que os dois lados da peça estrutural resistam aos valores apropriados das forças longitudinais de tração e compressão, o dimensionamento ao cisalhamento pretende assegurar que os dois lados da peça continuem a agir como uma unidade. Isso envolve a identificação de onde e quanto da armadura de cisalhamento é necessária para ligar os dois lados e prevenir uma ruptura prematura. Para regiões que não contêm armadura transversal, uma ruptura ao cisalhamento pode ocorrer sem aviso e geralmente envolve a

abertura de uma grande fissura diagonal na região de solicitação, como mostrado na figura 1.1 (COLLINS *et al.*, 2007).

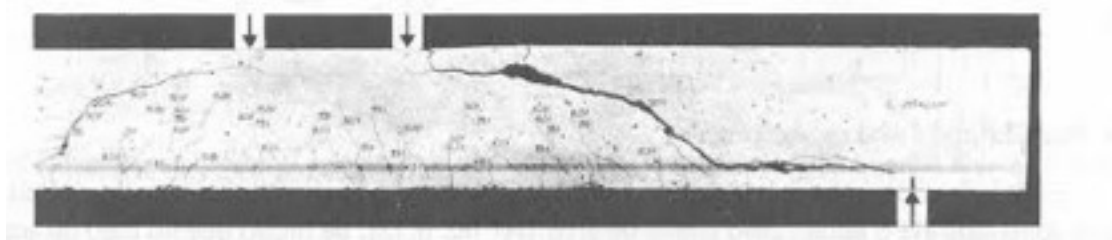


Figura 1.1 - Fissura diagonal ao longo do vão de cisalhamento (BASTOS, 2015)

Os cálculos de um projeto estrutural aproximam os mecanismos de resistência de uma viga ao cisalhamento aos de uma treliça. Os pesquisadores alemães Ritter e Morsch idealizaram tal modelo de aproximação tendo, após fissuração, o banzo superior constituído pelo concreto comprimido na flexão, o banzo inferior pela armadura longitudinal de tração, as diagonais tracionadas pela armadura transversal e as diagonais comprimidas por bielas de concreto inclinadas. Tal modelo é ainda hoje, com algumas adaptações, base para dimensionamento em normas no mundo todo (CLÍMACO, 2013).

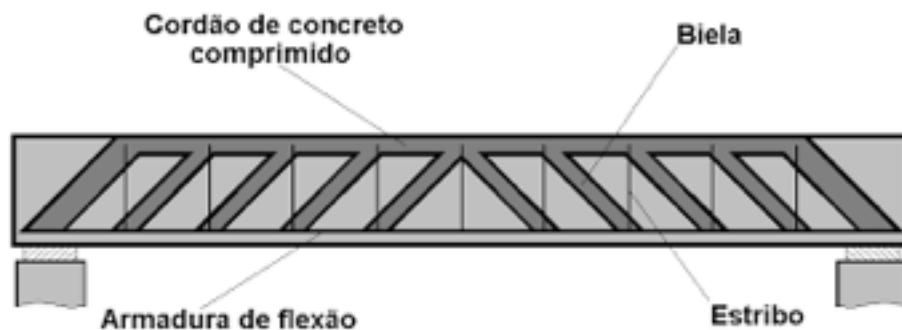


Figura 1.2 - Exemplificação do modelo da treliça de Morsch aplicado à uma viga com armadura transversal perpendicular ao eixo (PINHEIRO *et al.*, 2003)

Caso algum dos elementos diagonais da viga esteja em desacordo com o solicitado pelas cargas, toda resistência ao cisalhamento é comprometida. Mesmo com probabilidades baixas da ocorrência de deficiência nas estruturas, há casos onde a vida útil esperada não é alcançada e, daí, as rupturas podem se relacionar aos seguintes fatores (LI *et al.*, 2001):

- Erros nos cálculos de dimensionamento e detalhamentos impróprios da armadura;
- Materiais de baixa qualidade;
- Falhas nas construções com práticas indevidas;

- Mudança na função de uma estrutura de uma carga de serviço mais baixa para uma carga de serviço mais alta e redução;
- Perda total da área da seção transversal das armaduras de cisalhamento devido à corrosão em ambientes de serviço.

No caso do Brasil, a falha ou até mesmo a ausência dos programas de manutenção estrutural permitem o aparecimento de danos (patologias) que exigem muitas vezes interferências urgentes custando muito mais do que a prevenção em si. O volume de recursos que se somam para realizar reforços e reparos em construções é extremamente alto e, por falta de capital e responsabilidade, em muitos casos, não são realizados. Desse modo, é plausível afirmar que planejamentos e manutenções bem realizados em todos os detalhes custam bem menos do que medidas inesperadas e são processos que deveriam ser exigidos não somente em norma mas incorporados na cultura de construção do país.

Ao se verificar a necessidade de intervenção em peças estruturais, é necessário avaliar quais são as propriedades que estão deficitárias e quais materiais poderiam ser utilizados para suprir tais deficiências. Pensando nisso, compósitos como os Polímeros Reforçados com Fibras, ou Fiber Reinforced Polymers (FRP), tem mostrado bons resultados na recuperação de estruturas de concreto armado. Tal material é uma ótima opção devido a sua elevada resistência a tração, peso leve, resistência a corrosão, durabilidade alta e facilidade de instalação (KHALIFA *et al.*, 2000).

1.2 - Objetivos

Os objetivos podem ser listados da seguinte maneira:

- I. Identificar os métodos e normas existentes para cálculo da resistência de vigas de concreto armado ao cisalhamento e para contribuição de reforços de CFRP à mesma resistência;
- II. Coletar estudos experimentais realizados com vigas de concreto armado reforçadas externamente com faixas de CFRP, sendo eles nacionais ou internacionais;
- III. Aplicar os métodos e normas às vigas coletadas e assim calcular a capacidade de cada uma ao cisalhamento para enfim comparar os valores teóricos com experimentais;
- IV. Através do cálculo ao cisalhamento e a flexão, estimar qual o modo de ruptura que prevalece e comparar com o modo de ruptura observado em laboratório;

V. Estudar o comportamento do reforço com relação ao tipo de ancoragem aplicado;

1.3 - Apresentação do trabalho

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos apresentados da seguinte maneira:

Além do atual capítulo, o *Capítulo 2* apresenta revisão bibliográfica com texto a respeito do material reforçado com fibra de carbono assim como sua utilização como reforço de vigas de concreto armado. Logo após, são apresentados os modelos de cálculo detalhadamente com suas fórmulas e símbolos. Foram escolhidas as normas ABNT NBR 6118 (2014), ACI 318 (2011) e modelo do professor Zsutty (1968) sobre o cisalhamento em vigas de concreto armado sem o reforço. Para a parcela de contribuição do reforço de CFRP ao cisalhamento foram escolhidas as normas ACI 440.2R (2008), FIB *bulletin 14* (2001) e modelo dos pesquisadores Chen e Teng (2003).

O *Capítulo 3* se inicia apresentando os 19 estudos experimentais coletados durante o projeto. O principal é mostrar como as vigas foram montadas e quais as condições dos experimentos realizados. Os resultados atingidos por cada autor também são analisados de maneira a avaliar as especificidades de cada tipo de reforço.

O *Capítulo 4* apresenta os cálculos realizados com estas 200 vigas, aproximadamente, são apresentados em tabelas dependendo do tipo de aplicação do reforço e também comentados em relação aos resultados encontrados. As previsões dos modos de ruptura com valores de cálculo das cargas máximas para cisalhamento e flexão também são mostradas nesse capítulo. Ao final, valores de resistência do reforço associados ao uso de ancoragem (quando utilizado) são estudados de maneira específica.

Finalmente, o *Capítulo 5* conclui o trabalho dando uma visão geral dos resultados obtidos e comentando com idéias particulares do autor sobre o assunto.

Em momento final são incluídas *Referências Bibliográficas e Apêndices*.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Reforço de estruturas de concreto armado

Quando percebida uma peça estrutural com patologias ou até mesmo deteriorações na alvenaria, um processo básico para reparação estrutural seria a identificação das causas, extensão da deterioração e a utilização dos meios adequados de intervenção. Nos casos de ataque químico e corrosão de armaduras as especificações devem envolver não somente a reparação dos elementos danificados mas também dificultar deteriorações posteriores com a penetração de agentes agressivos. Pintura da armadura com produtos passivantes (produtos a base de cimento portland) e não passivantes (produtos a base de resinas poliméricas), proteção catódica, realcalinização e extração de cloretos são técnicas especiais de recuperação de estruturas com problemas de corrosão, algumas delas mostradas na figura 2.1 (CASTRO, 2014).

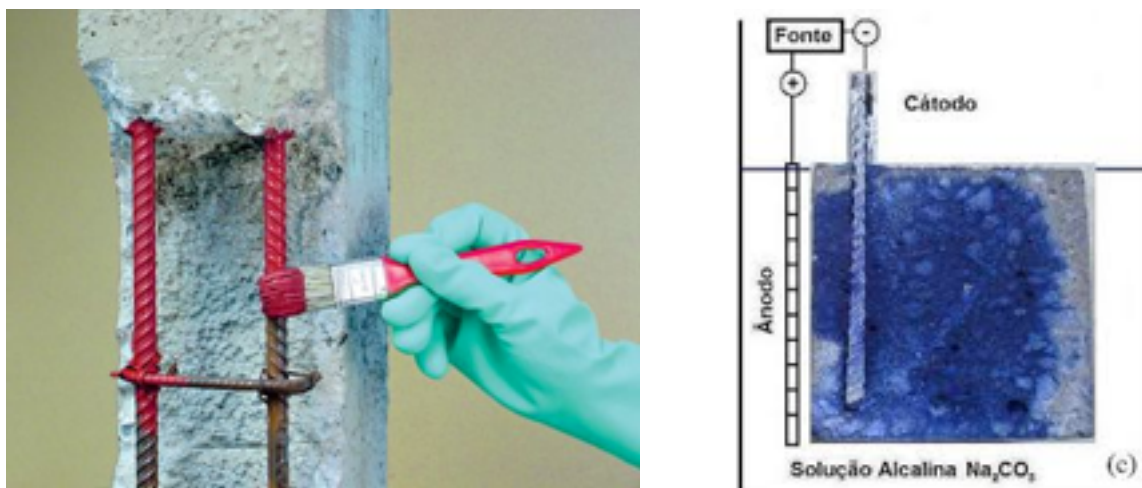


Figura 2.1- Exemplos de tratamentos de estruturas com corrosão
(techne.pini.com.br, 20/11/2015)

Quando o diagnóstico determinar a necessidade de retirada do concreto, é indicado que a superfície esteja isenta de nata de cimento, produtos de cura, pó de sujeira e óleo. A retirada do concreto deverá ser feita de maneira a deixar a superfície rugosa com os agregados expostos (CASTRO, 2014). Alguns métodos de eliminação do concreto deteriorado e outras substâncias são dadas a seguir:

- Manual



Figura 2.2- Exemplo de retirada do concreto de modo manual
(construcaomercado.pini.com.br, 20/11/2015)

- Martelos mecânicos



Figura 2.3- Exemplo de retirada do concreto com martelo mecânico
(pt.slideshare.net/jeanpaulomendes, 2014)

- Jateamento de areia



Figura 2.4- Tratamento da superfície de concreto com jateamento de areia
(CASTRO, 2014)

- Jateamento de água a altas pressões (hidrodemolição)
- Lavagem com soluções ácidas
- Jatos de limalha de aço

Uma outra alternativa para reforço de estruturas de concreto armado seria a protensão externa que contribui tanto para a redução das deformações como para o aumento da capacidade dos elementos estruturais. Algumas vantagens seriam a relativa simplicidade do método construtivo em termos de engenharia, a ausência de problemas com o cobrimento dos cabos e a possibilidade de inspeção e eventual reposição dos cabos durante a vida útil (BEBER, 2003).

No início da década passada, a aplicação de chapa de aço com resina epóxi em elementos de concreto era considerada como uma das melhores técnicas de reforço ou reparo de elementos de concreto deteriorados. A grande aceitação desta técnica pode se atribuir a produtos de epóxi de alta qualidade, técnica simples, econômica e reforço do elemento sem que haja um aumento significativo em suas dimensões (BEBER, 2003). No entanto, tal técnica sofre dos seguintes fatores: deterioração da ligação na interface aço-concreto causada pela corrosão do aço, dificuldade de manipulação de placas pesadas de aço no local de construção e limitados tamanhos de placas de aço. Faixas ou mantas de FRP poderiam substituir as placas de aço e eliminar tais desvantagens. Isto exemplifica que compósitos podem ser aplicados em várias situações onde técnicas de reforço tradicionais podem ser problemáticas (BAKIS *et al.*, 2002).

2.2- Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono como Reforço Estrutural

Os compósitos são formados a partir de dois ou mais materiais com o objetivo de criar um novo material com propriedades e comportamento mecânico superiores aos apresentados pelos materiais constituintes atuando individualmente. Basicamente, há três tipos de compósitos: reforçados com partículas, reforçado com fibras e estrutural laminado. A matriz é o corpo do compósito e serve para unir os macro-componentes e dar forma. As fibras, partículas, lâminas e flocos são os componentes estruturais e determinam a estrutura interna do material. Por exemplo, um material compósito reforçado com partículas utilizado amplamente na área de Engenharia Civil é o Concreto sendo os agregados miúdo e graúdo as partículas unidas através de uma matriz, a pasta de cimento (BEBER, 2002, apud CALLISTER JR., 1997). Outro tipo de compósito menos tradicional, mas que está atraindo a atenção de pesquisadores envolvidos com engenharia estrutural é o Polímero Reforçado com Fibras ou Fiber Reinforced Polymers (FRP). A forma fibrosa da maioria dos materiais apresenta melhores propriedades de resistência e rigidez do que em sua forma original, ou seja, a utilização de fibras se torna muito interessante sob o ponto de vista estrutural com combinações de materiais fibrosos de alta resistência à tração e alto módulo de elasticidade com materiais de baixo módulo e baixa resistência.

Como já dito, as matrizes são responsáveis pela união dos seus componentes com função de transmitir solicitações externas e distribuí-las para as fibras. A matriz não é utilizada para suportar tensões e também possui funções de proteção contra abrasão, umidade e agentes agressivos de natureza biológica e química (BEBER, 2002). Atualmente, existe uma grande variedade de matrizes poliméricas que podem ser originadas a partir de resinas termorrígidas e termoplásticas, sendo a primeira mais utilizada no âmbito de reforços estruturais. Dentre as resinas termorrígidas mais utilizadas, estão o poliéster, éster-vinílico, uretano metacrilato, fenol e epóxi (BEBER, 2002 apud HOLLAWAY & LEEMING, 1999).

Dentre as fibras utilizadas para compor este tipo de material, as mais comuns são as fibras de vidro, carbono e aramida. Em geral, a fibra de vidro possui diâmetro de 3 a 20 μ m e pode ser usada para pisos industriais, recipientes e tubulações. Estas fibras chegam a apresentar resistência à tração na casa dos 3000 MPa com módulo de elasticidade de cerca de 85 GPa. Compósitos com fibra de aramida possuem nomes comerciais conhecidos (Kevlar, Nomex) e resistência elevada sendo utilizados em cordas, coletes a prova de bala, carcaça de mísseis, substituição do amianto em freios, embreagem, etc. Fibras de aramida apresentam resistências da ordem de 3000 MPa e módulo de elasticidade entre 60 GPa e 120 GPa. As fibras de carbono possuem elevada rigidez e resistência a todos os tipos de ataques químicos, bom comportamento à fadiga, à variação térmica e reológico e pequeno peso. O processo de carbonização de polímeros orgânicos resulta nas fibras de carbono ou de grafite, formadas por dezenas de milhares de filamentos com espessura de 5 a 18 μ m. Tais polímeros orgânicos como a poliácridonitrila são trefiladas em cerca de 5 a 10 vezes o seu tamanho com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas, logo após três processos de aquecimento são realizados: estabilização, carbonização e grafitação (CARNEIRO *et. al*, 2008). Fibras de carbono apresentam módulo de elasticidade na casa dos 230GPa e resistência à tração de 3500 MPa, variando da deformação última de cada produto. Os polímeros reforçados com fibras de carbono, ou carbon fiber reinforced polymers (CFRP), são explorados devido a sua afinidade para utilização como reforço estrutural de elementos de concreto armado.

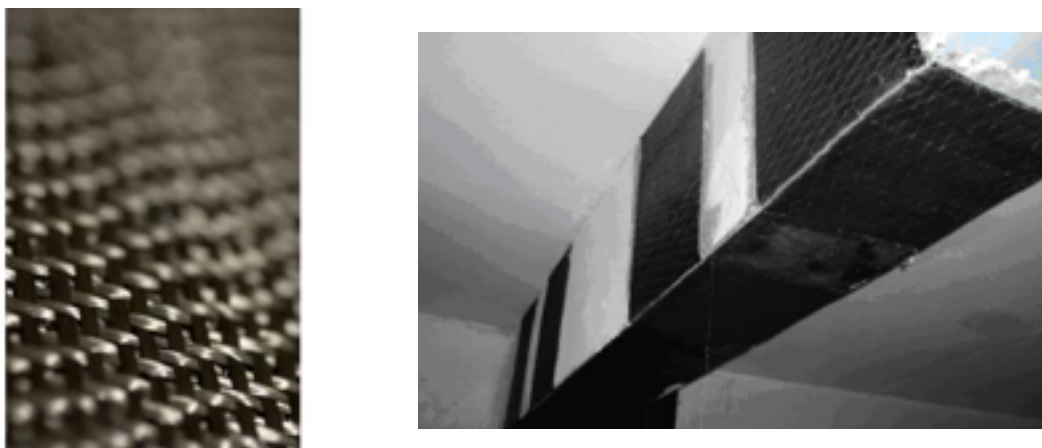


Figura 2.5- Exemplo de fibra de carbono e sua aplicação em viga de concreto

Existem dois sistemas principais para aplicação de reforços com CFRP: pré-fabricados e curados in situ. O primeiro tipo já um material rígido pronto para ser colado à superfície plana da viga com formas em laminados de 1,0 a 1,5 mm. Pelo fato de ser pré-fabricado, possui maior garantia de qualidade e menor variabilidade de performance. Já o segundo tipo trata-se de um sistema constituído por fibras contínuas, sob a forma de fios, mantas ou tecidos de espessura entre 0,1 e 0,5 mm, em estado seco, aplicados sobre um adesivo epóxi, moldados e curados in situ. Pode-se utilizar em duas camadas e a orientação das fibras pode ser unidirecional, bidirecional ou multidirecional. Para a aplicação do compósito de fibra de carbono curado in situ, junto a viga a ser reforçada, pode-se seguir os seguintes passos (SALLES NETO, 2000):

- A superfície de concreto deve ser tratada da maneira já abordada anteriormente;
- Aplica-se o primer ou qualquer outro material que consolide partículas soltas e impeça que a porosidade do concreto prejudique as resinas;
- Nivelamento da superfície com pasta de base epóxi;
- Aplica-se resina de colagem;
- Cola-se os tecidos ou mantas de fibra de carbono;
- Aplica-se a resina de recobrimento das fibras;
- Aplica-se revestimento protetor.

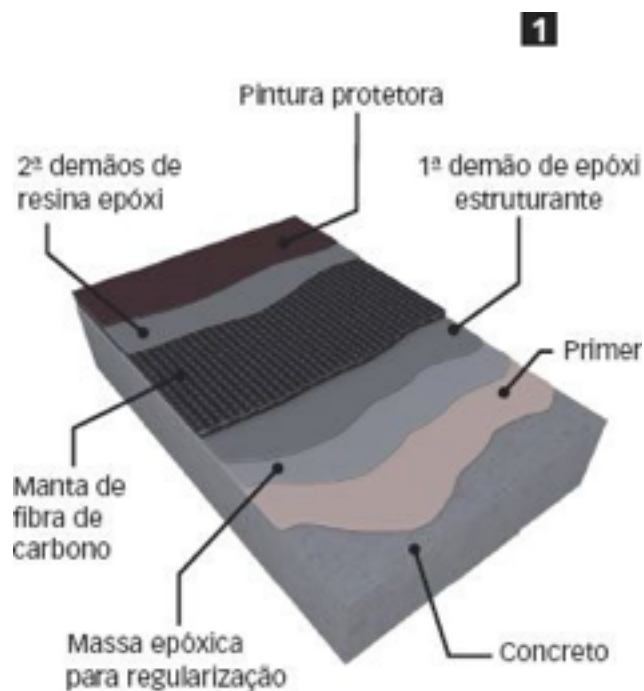


Figura 2.6- Camadas de diferentes materiais para aplicação de fibras de carbono (SALLES NETO, 2000)

2.3- Dimensionamento ao cisalhamento: normas e pesquisadores

O comportamento ao cisalhamento de peças estruturais de concreto armado é um fenômeno complexo que depende do desenvolvimento de mecanismos internos, da magnitude e combinação das quais ainda é tema de debate. É reconhecido que a resistência ao cisalhamento é determinada principalmente pela contribuição oferecida pela zona de compressão não-fissurada, engrenamento dos agregados e, quando presente, armadura de cisalhamento (FIB bulletin 14, 2001).

Um grande avanço no entendimento do comportamento ao cisalhamento do concreto armado foi alcançado desde a teoria da analogia da Treliça de Morsch em 1909, porém a complexidade de vários modelos de previsão faz com que a aplicação desses modelos diretamente nas equações de dimensionamento seja difícil. Conseqüentemente, a maioria das normas internacionais e nacionais de dimensionamento são baseadas em aproximações semi-empíricas e dependem de suposições de que os vários mecanismos para a resistência são plásticos e que a redistribuição de tensões possa ocorrer seguindo o escoamento da armadura (FIB bulletin 14, 2001).

2.3.1- ABNT NBR 6118 (2014): Projeto de estruturas de Concreto

A norma NBR 6118 utiliza de dois modelos para cálculo de peças sujeitas a esforço cortante. Tais modelos são baseados no modelo da treliça, com banzos paralelos, associados a mecanismos resistentes complementares desenvolvidos no interior do elemento estrutural e traduzidos por uma componente adicional V_c . Em geral, as seguintes condições devem ser satisfeitas:

$$\begin{aligned}V_{Sd} &\leq V_{Rd2} \\V_{Sd} &\leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw}\end{aligned}$$

onde:

V_{Sd} é a força cortante solicitante,

V_{Rd2} é a força cortante resistente relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto,

V_{Rd3} é a força resistente relativa à ruína por tração diagonal, tal resistência leva em conta a parcela resistida pela armadura de estribo V_{sw} , mais a parcela adicional V_c resultante dos mecanismos complementares a treliça.

Para o objetivo de previsão da capacidade resistente do elemento estrutural linear, são calculados ambos V_{Rd2} e V_{Rd3} e o que possuir valor mínimo será o limitante de sua capacidade. Basicamente, verifica-se se a viga é mais frágil à compressão na biela com esmagamento do concreto ou na diagonal tracionada da armadura transversal.

Verificação da biela comprimida de concreto

A NBR 6118 propõe um processo simplificado de verificação com a utilização de um coeficiente α_{v2} compondo a equação mais um limite de $0,60 \cdot f_{cd}$ para tensões de compressão no esmagamento do concreto. Portanto, para estribos a 90° , tem-se a expressão:

$$V_{Rd2,90} = 0,27 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \cdot \text{sen}2\theta$$

onde: $\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$

θ é a inclinação da biela comprimida,

α , inclinação dos estribos, caso geral a 90°

A equação mais geral seria:

$$V_{Rd2} = 0,54 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \cdot \text{sen}^2 \theta (\cot \alpha + \cot \theta)$$

Para o Modelo I de cálculo, $\theta=45^\circ$.

Para o Modelo II, $30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$.

Calculo da armadura transversal

O cálculo da força resistente na diagonal tracionada leva em conta duas parcelas V_c e V_{sw} . A primeira considera a contribuição de mecanismos complementares a treliça de Morsch, entre eles a resistência ao deslizamento nas duas faces de uma fissura inclinada fornecida pelo engrenamento e pelo atrito dos agregados e o efeito de pino ou rebite da armadura longitudinal que cruza a fissura.

No Modelo I, $V_c = V_{c0}$ para flexão simples ou flexo-tração:

$$V_{c0} = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d$$

No Modelo II, caso V_{c0} seja menor que V_{sd} , a parcela V_c é reduzida:

$$V_{c1} = V_{c0} \frac{V_{Rd2} - V_{sd}}{V_{Rd2} - V_{c0}}, V_{c0} \leq V_{sd}$$

$$V_{c1} = V_{c0}, V_{c0} \geq V_{sd}$$

Neste projeto, prevê-se a carga máxima que a viga resiste e, portanto, não está estabelecido o valor da carga solicitante no momento do cálculo. Por esse motivo, nos cálculos desta pesquisa só será utilizado o Modelo I da NBR 6118.

Para o cálculo da parcela V_{sw} resistida pela armadura transversal, a equação é a mesma para ambos os modelos da norma:

$$V_{sw} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta$$

Esta equação é uma simplificação para estribos a inclinação de 90°. E ficando atento para as unidades, visto que no Brasil, A_{sw}/s é dado em cm^2/m e para aplicação na equação é necessária compatibilização com as unidades das outras variáveis.

2.3.2 - ACI 318 (2011): Requerimentos de norma para Concreto Estrutural

O capítulo 11 da ACI 318 (2011) aborda cálculos para cisalhamento e torção em elementos de concreto protendidos e não protendidos. A resistência ao cisalhamento é baseada na tensão cisalhante média na seção transversal $b_w \times d$. O dimensionamento da seção é baseado na seguinte equação geral:

$$\phi V_n \geq V_u$$

onde:

$$V_n = V_c + V_s$$

A resistência final, portanto, nada mais é do que a soma da parcela resistida pelo concreto mais a parcela resistida pelo armação. Tal adição é comum entre normas de concreto no mundo todo. A resistência fornecida pelo concreto V_c é assumidamente a mesma para vigas com ou sem reforço ao cisalhamento, ou seja, numa viga sem nenhum reforço ao cisalhamento, seja ele em bitolas de aço ou em fibras de carbono, toda a resistência da viga será representada por V_c .

O calculo mais detalhado da parcela V_c é dada pela seguinte expressão baseada na tensão de fissuração do concreto:

$$V_c = (0,16 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} + 17 \cdot \rho \cdot \frac{V_u \cdot d}{M_u}) \cdot b_w \cdot d \leq 0,29 \cdot b_w \cdot d \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}$$

onde:

λ é fator de modificação utilizado no ACI para concretos de peso leve. Nesse caso para concreto normal, $\lambda = 1$.

V_c e V_u em N;

M_u em N.mm;

f_c' em MPa;

p é a taxa de armadura longitudinal - $A_s/b \cdot d$

A norma ainda limita $V_u \cdot d/M_u \leq 1$ para conter o efeito de arco referente a razão entre vão de cisalhamento e altura útil (a/d). O valor mínimo de M_u igual a $V_u \cdot d$ serve para limitar V_c perto de pontos de inflexão.

A forma simplificada sugerida pela norma afirma que, para a maioria dos dimensionamentos não exigentes da forma detalhada da equação, é conveniente assumir um valor de :

$$0,01 \cdot \sqrt{f_c'}$$

Portanto, a equação usada seria:

$$V_c = 0,17 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt{f_c'}$$

Sendo:

V_c em N;

b_w e d em mm;

f_c' em MPa

Lembrando que todas as equações ilustradas neste trabalho estão utilizando unidades do Sistema Internacional (SI), visto que é comum para algumas normas como as do ACI utilizarem outros sistemas de unidades de medidas.

Para a parcela resistida pela armadura de cisalhamento V_s , a norma considera os seguintes tipos de armadura de cisalhamento:

- Estribos perpendiculares ao eixo da peça;
- Estribos com inclinação de 45° ou mais em relação a armadura longitudinal;
- Barras dobradas inclinadas a 30° ou mais em relação a armadura longitudinal;
- Tela soldada perpendicular ao eixo da peça;
- Espirais, nós circulares ou em voltas;
- Combinações.

O calculo é dado pela seguinte equação básica:

$$V_s = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot d}{s} \leq 0,68 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b_w \cdot d$$

onde:

s é o espaçamento dos estribos em mm

A_{sw} a área da seção dos estribos em mm²

Tal equação leva em conta os estribos perpendiculares ao eixo. Caso haja inclinação a equação seria:

$$V_s = \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot (\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha) \cdot d}{s}$$

sendo:

α o ângulo de inclinação dos estribos.

As duas equações assumem uma treliça com as diagonais comprimidas de concreto com inclinação de 45°.

2.3.3 - Zsutty: Previsão da resistência ao cisalhamento

O professor Theodore C. Zsutty membro do ACI chamou a atenção para a importância da análise de dados vindos de testes de vigas em laboratório com relação a resistência ao cisalhamento. Seu estudo inicial publicado no jornal científico do ACI em 1968 resultou em um método empírico que combina técnicas de análise dimensional com análise estatística de regressão aplicadas a fontes de dados de vigas de concreto armado testadas ao cisalhamento. Zsutty também ressaltou em seu segundo estudo de 1971 que as equações dadas na norma do ACI 318 (1963) não eram as mais precisas representações do comportamento de vigas previamente testadas, porém o desejo de manter métodos de dimensionamento já estabelecidos e previsões conservadoras iriam preservar as equações da norma. Portanto, lembrando da necessidade de um método simples e preciso que engenheiros estruturais de todas áreas sempre necessitam, ele desenvolveu suas equações empíricas para análise de resistência ao cisalhamento baseada nas propriedades de dimensionamento a/d , f_c' , p e f_{yd} .

Sua equação geral para esforço cortante último V_u seria:

$$V_u = \phi(V_c + V_s)$$

onde:

V_c e V_s são as parcelas de cortante resistidos pelo concreto e estribos, respectivamente;

ϕ é o coeficiente de minoração da capacidade resistente última prevista pela ACI 318.

O estudo de Zsutty divide as vigas ensaiadas entre dois grupos de vigas esbeltas com $a/d > 2,5$ e vigas curtas com $a/d < 2,5$. Para vigas esbeltas, o método previu equações do seguinte formato para a parcela resistida pelo concreto tanto para fissuração como para tensão diagonal de cisalhamento nomeado por Zsutty:

$$V = k \cdot (f_c' \cdot \rho \cdot \frac{d}{a})^{\frac{1}{3}}$$

Para vigas curtas, foram utilizadas as formas mais simples de modelagem matemática para propósitos práticos, visto que o comportamento ao cisalhamento é mais complexo nesse tipo de viga. Portanto, as equações para resistência do concreto seriam as seguintes:

Para $a/d > 2,5$:

$$V_c = 2,3 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt[3]{f_c' \cdot \rho \cdot \frac{d}{a}}$$

onde:

b_w e d são expressos em mm;

V_c em N;

f_c' em MPa;

ρ é a taxa geométrica de armadura longitudinal - $A_s / b \cdot d$

Para $a/d < 2,5$:

$$V_c = (\frac{2,5}{a/d}) \cdot (2,3 \cdot b_w \cdot d \cdot \sqrt[3]{f_c' \cdot \rho \cdot \frac{d}{a}})$$

Para a parcela do esforço cortante resistido pelos estribos, a equação prevista pelo ACI:

$$V_s = \frac{A_s f_{yd}}{s}$$

2.4- Dimensionamento do reforço com fibras de carbono externamente coladas: normas e pesquisadores

Muitos estudos foram realizados sobre o reforço de vigas com polímeros reforçados com fibras (FRP) e estabeleceram que tais vigas rompem ao cisalhamento principalmente por dois modos principais: ruptura do FRP ou descolamento do FRP, sendo que, para o alcance de uma resistência superior para a viga reforçada, o descolamento do FRP não é desejável. O dimensionamento, portanto, é baseado na capacidade da peça em relação a seu provável modo de ruptura. Outro aspecto essencial no cálculo do reforço é a deformação efetiva do FRP que não alcança sua deformação última e, portanto, sua capacidade máxima de tração é limitada. Os modelos e normas tratam essa previsão com diferentes abordagens sendo o ponto de maior discordância entre eles.

2.4.1- ACI 440.2R (2008): Guia para dimensionamento e construção de sistemas de FRP colados externamente para reforço de estruturas de concreto

O reforço ao cisalhamento que pode ser providenciado pelo sistema de FRP é baseado em muitos fatores como geometria da viga, tipo de envolvimento da fibra e a resistência existente do concreto.

No dimensionamento de uma viga a cisalhamento a esforço resistente deve ser maior que o solicitante. As normas do ACI definem um fator de redução para a resistência:

$$\phi V_n \geq V_u$$

A resistência ao cisalhamento de uma peça reforçada com FRP pode ser calculada com a adição da contribuição da fibra com as resistências dos estribos e do concreto. Um fator adicional de redução ψ_f é aplicado na contribuição do sistema de FRP.

$$\phi V_n = \phi(V_c + V_s + \psi_f V_f)$$

A contribuição da fibra V_f é calculada baseada na sua orientação e um padrão de fissura assumido, ou seja, a tensão de tração no FRP através da fissura de cisalhamento resulta na força a ser calculada.

$$V_f = \frac{A_{fv} \cdot f_{fe} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \cdot d_{fv}}{s_f}$$

onde:

s_f é o espaçamento entre as tiras de FRP medido entre eixos,

d_{fv} é a altura útil até o final do reforço,

α é o ângulo de inclinação da tira de FRP,

A área total de reforço A_{fv} é contabilizada através da número de tiras n , da espessura da seção de cada tira w_f e da altura da tira t_f .

$$A_{fv} = 2 \cdot n \cdot t_f \cdot w_f$$

Agora para determinar a resistência efetiva da fibra é preciso modificar o nível de deformação que pode ser desenvolvida no reforço o que reflete proporcionalmente na tensão de tração como na equação a seguir.

$$f_{fe} = \varepsilon_{fe} \cdot E_f$$

onde, a deformação efetiva leva em conta como a viga está envolvida pela lâmina de FRP.

Para *vigas completamente envolvidas por FRP*, limita-se a deformação mínima de 0,4% como na equação.

$$\varepsilon_{fe} = 0,004 \leq 0,75 \cdot \varepsilon_{fu}$$

Para *vigas com faixas em "U" ou em dois lados*, a deformação efetiva é calculada através de um coeficiente de redução que depende da ancoragem do reforço.

$$\varepsilon_{fe} = k_v \cdot \varepsilon_{fu} \leq 0,004$$

O coeficiente de redução k_v depende da resistência do concreto, esquema de ancoragem do reforço e da rigidez do laminado. A equação mostra como o k_v é calculado.

$$k_v = \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot L_e}{11900 \cdot \varepsilon_{fu}}$$

onde,

L_e é o comprimento de ligação entre a viga e o reforço e é dado pela equação.

$$L_e = \frac{23300}{(n \cdot t_f \cdot E_f)^{0,58}}$$

É importante lembrar que as equações exigem a inserção de unidades SI em vista da presença de valores algébricos nas expressões. Para o cálculo de k_v também é necessário o cálculo de k_1 e k_2 dados pelas equações.

$$k_1 = \left(\frac{f_c'}{27} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Para faixas em “U”:

$$k_2 = \frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}}$$

Para faixas em dois lados:

$$k_2 = \frac{d_{fv} - 2L_e}{d_{fv}}$$

2.4.2- Fib *bulletin* 14: Reforço de FRP colados externamente em estruturas de Concreto Armado

De acordo com modelos de alguns pesquisadores como Triantafillou (1998) e Taljsten (1999), o reforço externo de FRP pode ser tratado em analogia ao aço de reforço interno assumindo que no estado limite último de cisalhamento (tração diagonal no concreto), o FRP desenvolve uma deformação efetiva na direção principal do material que, em geral, é menor do que a deformação de tensão de ruptura. Portanto, a capacidade de um elemento reforçado pode ser calculada de acordo com a igualdade:

$$V_{Rd} = \min(V_{cd} + V_{wd} + V_{fd}, V_{Rd2})$$

onde:

V_{cd} é a parcela de resistência do concreto e V_{wd} a do aço;

V_{fd} é a contribuição do FRP que pode ser escrita da seguinte forma:

$$V_{fd} = 0,9 \cdot \varepsilon_{fd,e} \cdot E_{fu} \cdot \rho_f \cdot b_w \cdot d \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

onde:

$\varepsilon_{fd,e}$ é o valor de dimensionamento da deformação efetiva;

ρ_f é a taxa do reforço de FRP;

E_{fu} é o modulo de Elasticidade último;

θ e α os ângulos de inclinação da biela de fissuração e da fibra de carbono, respectivamente.

Para o cálculo da deformação efetiva, a seguinte formulação é dada pelo FIB:

- Para vigas com envolvimento completo:

$$\varepsilon_{f,e} = 0,17 \cdot \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \cdot \rho_f} \right)^{0,30} \varepsilon_{fu}$$

- Para fibras em forma de “U” ou presentes somente nas laterais das vigas:

$$\varepsilon_{f,e} = \min \left[0,65 \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \cdot \rho_f} \right)^{0,56} \cdot 10^{-3}, 0,17 \left(\frac{f_{cm}^{2/3}}{E_{fu} \cdot \rho_f} \right)^{0,30} \varepsilon_{fu} \right]$$

onde:

f_{cm} é a resistência do concreto no teste de compressão em MPa

E_{fu} em GPa

A diferenciação das equações para deformação efetiva é devida ao modo de ruptura mais provável das fibras, onde nas vigas completamente envolvidas é mais observada a ruptura por

esgotamento da capacidade da fibra e, nas vigas com reforço em “U”, é observado mais o descolamento das faixas de fibra carbono.

Para o cálculo da taxa de FRP, também há uma diferenciação se as fibras são adicionadas a viga em faixas descontínuas ou em uma lâmina sem interrupção na face da viga. As equações são as seguintes:

- Para reforço com ligação contínua e espessura t_f :

$$\rho_f = 2t_f \text{sen}\alpha / b_w$$

- Para reforço em forma de faixas com espaçamento s_f :

$$\rho_f = (2t_f / b_w)(b_f / s_f)$$

onde:

b_f é a largura da faixa de FRP

2.4.3- Chen e Teng: Capacidade ao cisalhamento de vigas reforçadas com FRP

Os pesquisadores J.F. Chen e J.G. Teng, das universidades de Edimburgo e Hong Kong, também foram dois entre vários estudiosos que propuseram modelos de dimensionamento para a parcela resistida pelo reforço de FRP. Porém, o modelo deles se destaca por ser bastante criterioso e por considerar fatores que não são muitas vezes lembrados por outros métodos de cálculo. Em sua publicação em 2003 sobre tal assunto, Chen e Teng fazem uma análise geral dos modelos já existentes e percebem carências que eles tentam suprir em seu modelo. Por exemplo, fatores como o tipo de envolvimento do reforço, dados estatísticos suportando o método, o tipo de ligação entre concreto e fibra e a previsão de uma deformação específica racional e não tão empírica são representados no modelo de Chen e Teng.

Um modelo geral para ruptura do FRP em uma viga com fissura crítica de cisalhamento inclinada em relação a seu eixo longitudinal por um ângulo θ , ligada pelos seus dois lados a fibra com largura w_{frp} , espessura t_{frp} e espaçamento s_{frp} foi lançado no mesmo ano em que um modelo específico para o descolamento do FRP também foi desenvolvido.

A contribuição das faixas de FRP para a capacidade da viga é dado por:

$$V_{frp} = 2f_{frp,e} \cdot t_{frp} \cdot w_{frp} \frac{h_{frp,e} (\cot \theta + \cot \beta) \text{sen} \beta}{s_{frp}}$$

onde:

$$f_{frp,e} = D_{frp} \sigma_{frp,max}$$

Para o cálculo da altura efetiva do reforço de FRP usam as seguintes medidas mostradas na figura abaixo.

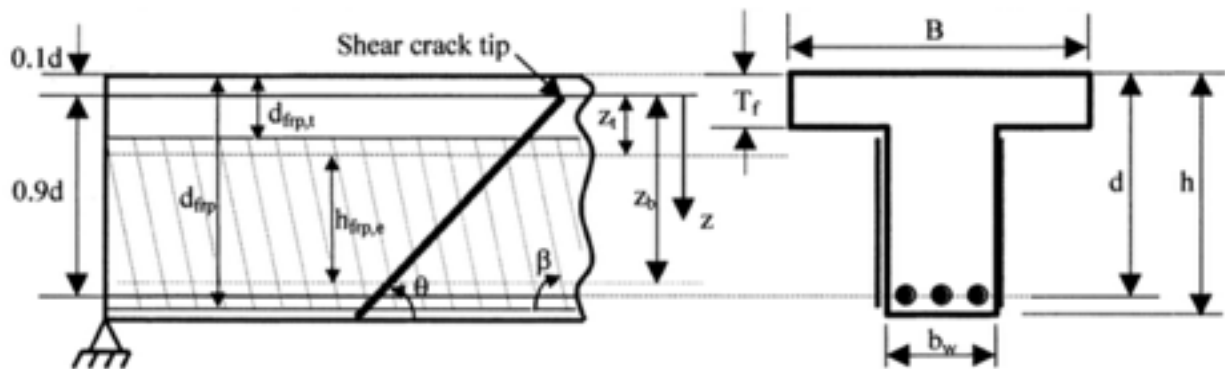


Figura 2.7- Ilustração da seção de viga com as propriedades utilizadas por Chen e Teng (2003)

$$h_{frp,e} = z_b - z_t$$

onde:

$$z_t = d_{frp,t}$$

$$z_b = 0,9 \cdot d - (h - d_{frp})$$

Para a definição do fator de distribuição da tensão D_{frp} e da tensão máxima no FRP, foram realizados diversos testes para analisar a ligação entre a fibra e o concreto principalmente para o estudo do descolamento. Um importante aspecto é que existe um comprimento de ligação efetivo no qual um aumento nesse comprimento não pode aumentar a resistência da ligação. A fundamental diferença entre reforço de FRP colado externamente e reforço interno é esse fato de que, para o interno, comprimento de ligação pode sempre ser encontrado para que o reforço seja exigido ao máximo em relação a sua capacidade resistiva.

A máxima tensão no FRP, portanto ocorre onde o FRP tem o maior comprimento de ligação e é dada por:

- Para ruptura por descolamento:

$$\sigma_{frp,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{frp} \\ 0,315\beta_w\beta_L \sqrt{\frac{E_{frp}\sqrt{f'_c}}{t_{frp}}} \end{array} \right\}$$

- Para ruptura do FRP:

$$\sigma_{frp,max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,8f_{frp}, \frac{f_{frp}}{E_{frp}} \leq \epsilon_{max} \\ 0,8\epsilon_{max}E_{frp}, \frac{f_{frp}}{E_{frp}} > \epsilon_{max} \end{array} \right\}$$

O comprimento máximo de ligação é dado por:

- Para reforço em “U”:

$$L_{max} = \frac{h_{frp}}{\text{sen}\beta}$$

- Para reforço nas laterais:

$$L_{max} = \frac{h_{frp,e}}{2\text{sen}\beta}$$

O fator de distribuição das tensões pode ser obtido pelas seguintes equações:

$$D_{frp} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{\pi\lambda} \frac{1 - \cos\frac{\pi}{2}\lambda}{\text{sen}\frac{\pi}{2}\lambda}, \lambda \leq 1 \\ 1 - \frac{\pi - 2}{\pi\lambda}, \lambda > 1 \end{array} \right\}$$

onde:

$$\lambda = \frac{L_{max}}{L_e}$$

L_e é o comprimento efetivo de ligação e é dado por:

$$L_e = \sqrt{\frac{E_{frp} t_{frp}}{\sqrt{f_c}}}$$

O modelo de Chen e Teng ainda determinam dois coeficientes para o cálculo da tensão máxima, um coeficiente do comprimento de ligação e um coeficiente para a largura da faixa de FRP:

$$\beta_L = \begin{cases} 1, \lambda \geq 1 \\ \text{sen} \frac{\pi \lambda}{2}, \lambda < 1 \end{cases}$$

Para reforço em faixas:

$$\beta_w = \sqrt{\frac{2 - w_{frp} / (s_{frp} \text{sen} \beta)}{1 + w_{frp} / (s_{frp} \text{sen} \beta)}}$$

Para reforço contínuo:

$$\beta_w = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

3 ESTUDOS EXPERIMENTAIS

Um dos objetivos principais desse trabalho é a verificação de como os métodos e normas prevêm a capacidade resistiva de uma viga de concreto armado com e sem reforço externo de fibra de carbono. Para isso, os trabalhos experimentais em laboratório são fundamentais sabendo que eles irão definir as propriedades e condições de reforço das vigas, assim como os resultados representantes da realidade. Desse modo, a produção de um banco de dados com estudos experimentais reconhecidos dentro do campo da engenharia estrutural vindos de vários países se faz necessário.

A montagem do banco de dados experimental foi feita através de 19 estudos principais reunindo um total de 201 vigas rompidas em laboratório. Devido ao tema muito específico de reforço ao cisalhamento apenas externo e com fibras de carbono, não é fácil encontrar trabalhos que se encaixem exatamente no esperado como foco da pesquisa. No entanto, foi realizada uma seleção criteriosa que eliminou experimentos com detalhes diferentes como a inserção do reforço, fibras de outros materiais, CFRP em forma alternativa como em barras e vigas com dimensões que se afastassem exageradamente das demais. O conjunto das amostras é representativo atendendo o proposto pela pesquisa e todos os cálculos de previsão de carga de ruptura destas vigas estão explicitados nas tabelas nos anexos ao final do projeto.

Tendo esses fatores em vista, o número de vigas coletadas foi satisfatório para criar um modelo inicial que pode ser alimentado continuamente, assim como para entendimento teórico e prático do reforço de vigas ao cisalhamento com fibras de carbono.

Autor (es)	Título	Universidade	Nº de vigas	Finalidade	Publicação encontrada	Ano
Moacyr Salles Neto	Comportamento ao cisalhamento de Vigas T de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono	Universidade de Brasília	8	Dissertação de Mestrado	UNB	2000
José Neres da Silva Filho	Vigas T em Concreto Armado Reforçadas ao Cisalhamento com Compósito de Fibra de Carbono	Universidade de Brasília	8	Dissertação de Mestrado	UNB	2001
Alessandro Santos de Araújo	Reforço ao Cisalhamento de Vigas T de Concreto Armado com Fibra de Carbono com Dois tipos de Ancoragem	Universidade de Brasília	8	Dissertação de Mestrado	UNB	2002
Andriei José Beber	Reforço Estrutural à Força Cortante	Universidade Federal do Rio Grande do Sul	30	Tese de Doutorado	UFRGS	2003
Gustavo de Oliveira Gallardo	Reforço ao Esforço Cortante em Vigas de Concreto Aplicando-se Folhas Flexíveis de Fibra de Carbono Prê-impregnadas	Universidade Estadual de Campinas	6	Dissertação de Mestrado	UNICAMP	2002
Lizette Elena Mazzocato Galvez	Reforço Estrutural à Força Cortante em Vigas de Concreto Armado por Meio de Colagem Externa de Mantas Flexíveis de Fibra de Carbono	Universidade Estadual de Campinas	7	Dissertação de Mestrado	UNICAMP	2003
L.A. Spagnolo Jr ¹ , E.S. Sánchez Filho ² , M.S.L. Velasco ³	Vigas T de concreto armado reforçadas à força cortante com compósito de fibras de carbono	1) Engenharia Petrobras 2) Universidade Federal Fluminense 3) PUC-Rio	8	Artigo Científico	Revista IBRACON de Estruturas Vol.6	2013
Ahmed Khalifa, Antonio Nanni	Improving Shear Capacity of Existing RC T-section beams using CFRP composites	University of Missouri, Rolla (USA)	6	Artigo Científico	Cement & Concrete Composites 22	2000
Ahmed Khalifa, Antonio Nanni	Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies Using CFRP Composites	University of Missouri, Rolla (USA)	8	Artigo Científico	Construction and Building Materials, Vol. 16	2002
Carlo Pellegrino, Claudio Modena	Fiber Reinforced Polymer Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Transverse Steel Reinforcement	Universidade de Padova (ITA)	11	Artigo Científico	Journal of Composites for Construction	2002
Bjorn Taljsten	Strengthening concrete beams for shear with CFRP sheets	Lulea' University of Technology (SWE)	7	Artigo Científico	Construction and Building Materials, Vol. 17	2003
Bimal Babu Adhikary ¹ , Hiroshi Mutsuyoshi ²	Behavior of Concrete Beams Strengthened in Shear with Carbon-Fiber Sheets	1) Encotech Engineering Consultants (USA) 2) Saitama University (JPN)	8	Artigo Científico	Journal of Composites for Construction	2004
S. Dias, J. Barros	Verificação experimental de uma nova técnica de reforço ao corte com CFRP para vigas de betão armado	Escola de Engenharia do Minho, Guimarães (POR)	12	Artigo Científico	Revista IBRACON de Estruturas Vol.1, Numero 2	2005
Cristopher Leung ¹ , Zhongfan Chen ² , Stephen Lee ³ , Mandy Ng ⁴ , Ming Xu ⁵ , Jinmao Tang ⁶	Effect of Size on the Failure of Geometrically Similar Concrete Beams Strengthened in Shear with FRP Strips	1)3)4)5)6) Hong Kong Univ. of Science and Tech (HKG) 2) Southwest Univ., Nanjing (CHI)	10	Artigo Científico	Journal of Composites for Construction	2007
J. Jayaprakash ¹ , Abdul Aziz Abdul Samad ² , Ashrabov Anvar Abbasovich ³ , Abang Abdullah Abang Ali ⁴	Shear Capacity of precracked and Non-precracked Reinforced Concrete Shear Beams with Externally Bonded Bi-Directional CFRP Strips	1)4) University Putra Malaysia (MYS) 2) University Tun Hussein (MYS) 3) Tashkent Automobile and Road Construction Insitute (UZB)	16	Artigo Científico	Construction and Building Materials, Vol. 22	2008
J. Jayaprakash ¹ , Abdul Aziz Abdul Samad ² , Ashrabov Anvar Abbasovich ³	Investigation on Effects of Variables on Shear Capacity of Precracked RC T-Beams with Externally Bonded Bi-directional CFRP Discrete Strips	1) University Putra Malaysia (MYS) 2) University Tun Hussein (MYS) 3) Tashkent Automobile and Road Construction Insitute (UZB)	12	Artigo Científico	Journal of Composites Materials	2010
Sinan Altin, Özgür Anil, Yagmur Kopraman e Çelebi Mertoglu ¹ M. Emin Kara ²	Improving Shear Capacity and Ductility of Shear-deficient RC Beams Using CFRP Strips	1) Gazi University (TUR) 2) Aksaray University (TUR)	10	Artigo Científico	Journal of Reinforced Plastics and Composites	2010
Amir Mofidi ¹ , Omar Chaallal ²	Shear Strengthening of RC Beams with Externally Bonded FRP Composites: Effect of Strip-Width-to-Strip-Spacing Ratio	1) McGill University, Montreal (CAN) 2) University of Quebec, Montreal (CAN)	14	Artigo Científico	Journal of Composites for Construction	2011
Amir Mofidi ¹ , Omar Chaallal ²	Tests and Design Provisions for Reinforced Concrete Beams Strengthened in Shear Using FRP Sheets and Strips	1) McGill University, Montreal (CAN) 2) University of Quebec, Montreal (CAN)	12	Artigo Científico	International Journal of Concrete Structures and Materials	2014

Tabela 3.1 - Estudos experimentais coletados e suas características gerais

3.1- Estudos da pós-graduação em Estruturas da UNB

Os estudos experimentais da pós-graduação da UNB sobre reforço de vigas ao cisalhamento com polímeros reforçados com fibra de carbono (CFRP) foram três (SALLES NETO, 2000), (SILVA FILHO, 2001) e (ARAÚJO, 2002). Os três foram dissertações de mestrado e foram executados no laboratório de estruturas da Faculdade de Tecnologia. Basicamente, vigas “T” foram rompidas para a observação da resistência ao cisalhamento com e sem o reforço.

3.1.1 - Salles Neto (2000)

Os experimentos foram a partir de 08 vigas “T” de concreto armado, simplesmente apoiadas, submetidas a carregamentos de 4 pontos. Seis dentre as oito vigas possuíam reforço com CFRP na alma, formato em “U” e sem ancoragem.

Viga	Descrição
V1	Viga de referência, sem reforço e sem estribos no vão de cisalhamento
V2	Vigas sem estribos no vão de corte, reforçada ao cisalhamento com fibra de carbono inclinada a 45°, sem pré-fissuração
V3	Vigas sem estribos no vão de corte, reforçada ao cisalhamento com fibra de carbono inclinada a 90°, sem pré-fissuração
V4	Viga de referência, sem reforço e com armadura de cisalhamento insuficiente
V5	Viga com armadura de cisalhamento insuficiente, reforçada ao cisalhamento com fibra de carbono inclinada a 90°, pré-fissurada
V6	Viga com armadura de cisalhamento insuficiente, reforçada ao cisalhamento com fibra de carbono inclinada a 90°, pré-fissurada
V7	Viga com armadura de cisalhamento insuficiente, reforçada ao cisalhamento com fibra de carbono inclinada a 45°, pré-fissurada
V8	Viga com armadura de cisalhamento insuficiente, reforçada ao cisalhamento com fibra de carbono inclinada a 45°, pré-fissurada

Tabela 3.2- Tabela de especificação das características de reforço das vigas do trabalho (SALLES NETO, 2000)

As vigas tem comprimento de 4400 mm, com alma de 150 x 300 mm e mesa de 550 x 100 mm. As principais variáveis do estudo foram os ângulos de inclinação das faixas de CFRP, o espaçamento e a quantidade de camadas do mesmo.

O concreto e o aço utilizados foram verificados em relação a resistência a compressão e tração dos mesmos. As armaduras de flexão foram compostas por 3 barras com 20mm de diâmetro e 3 com 16mm de diâmetro. Três das vigas não possuíam armadura transversal no vão de corte e as outras possuíam estribos de $A_{sw}/s = 1,68 \text{ cm}^2/\text{m}$. Todo o dimensionamento foi pensado em produzir vigas deficientes ao cisalhamento que necessitassem do reforço cujo sistema utilizado foi com compósitos MBrace com 3 resinas base (primer, pasta e saturante) mais a fibra de carbono em si. Quatro das seis vigas foram pré-fissuradas antes da aplicação das faixas. O detalhamento do reforço é dado a seguir:

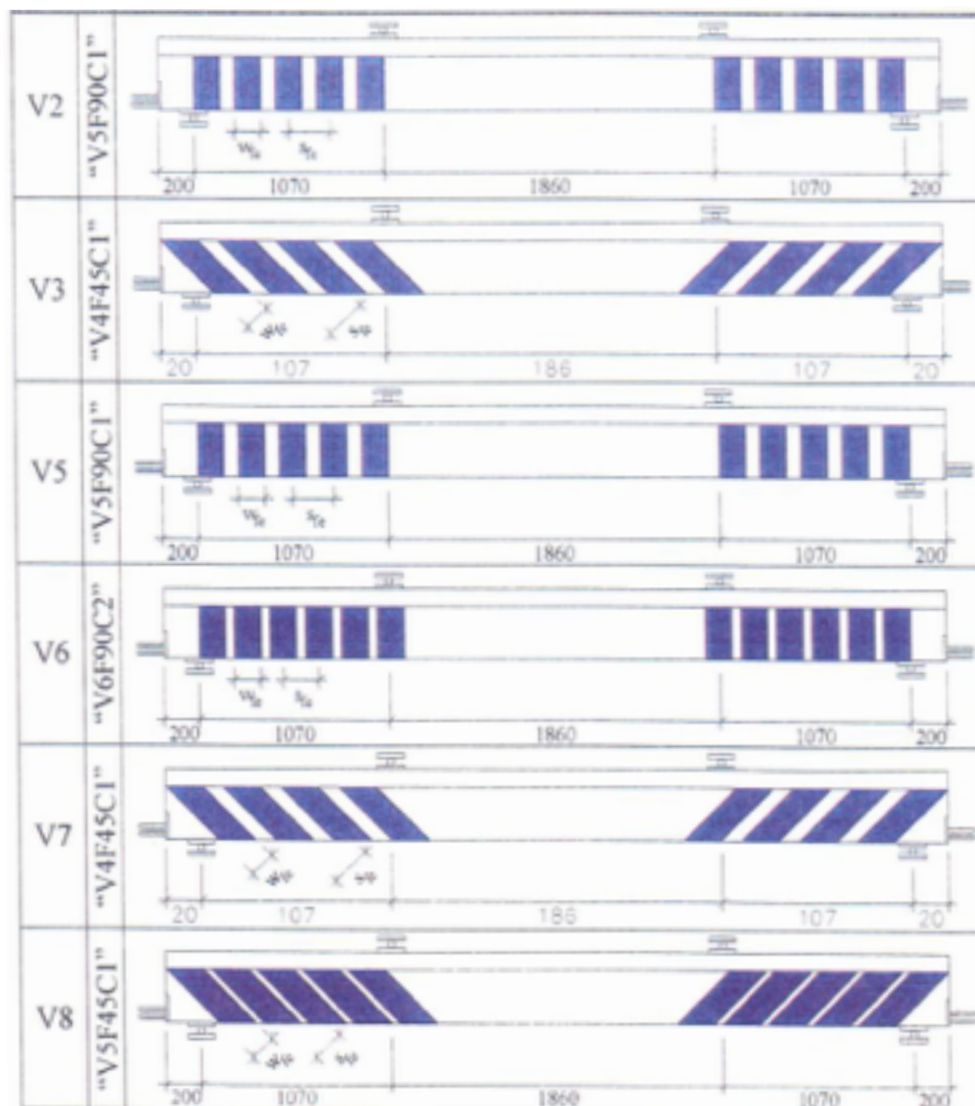


Figura 3.1- Detalhamento do reforço de cada viga (SALLES NETO, 2000)

O dimensionamento do reforço ao cisalhamento com fibra de carbono foi realizado de acordo com o Guia de Projeto Estrutural com Fibras de Carbono, desenvolvido pela Master Builders, inc baseado totalmente no calculo da ACI440. Os resultados foram positivos para o uso desse tipo de reforço, porém um fator limitante foi a falta de ancoragem das fibras na ligação alma/mesa. Todas vigas romperam por cisalhamento e as reforçadas apresentaram descolamento dos tecidos de CFRP. Para as vigas sem armadura transversal, observou-se uma maior deterioração do concreto indicando maior solicitação como já esperado.

3.1.2 - Silva Filho (2001)

Nesta pesquisa também foram analisadas oito vigas simplesmente apoiadas, submetidas a duas cargas concentradas, sendo sete reforçadas com CFRP. Como este estudo foi posterior ao Salles Neto (2000), houve uma preocupação em ancorar os reforços ou envelopar completamente a superfície das vigas que foram divididas em dois grupos: grupo 1 com quatro vigas com as faixas de laminado envolvendo a alma e a mesa das vigas, através de furos nas mesas, na ligação viga/mesa; e grupo 2 com outras três vigas com as faixas de laminado envolvendo somente suas almas e ancoradas junto ao bordo inferior da mesa.

O esquema de carregamento é dado pela figura:

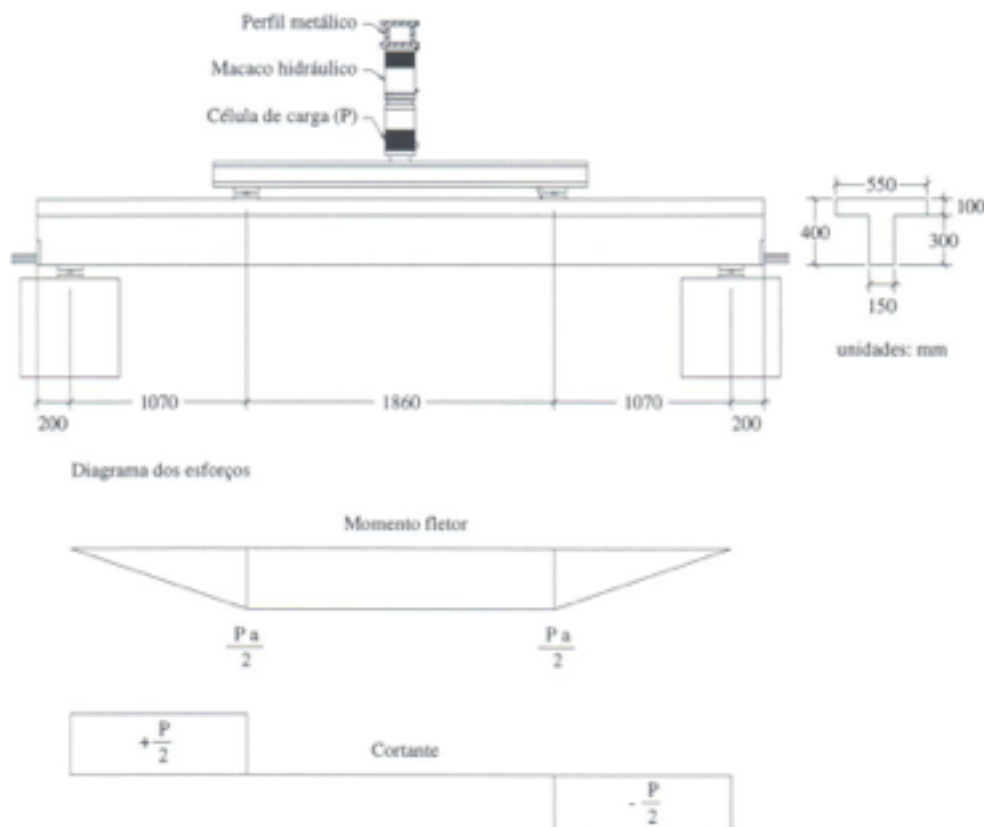


Figura 3.2- Configuração de carregamento e digramas de esforços (SILVA FILHO, 2001)

Viga	Grupo	Tipo de ancoragem	Pré- fissura	Tipo de reforço ao cisalhamento (cada lado da viga)
V1 REF	-		não	Referência sem reforço
V2	1	Envolvimento	sim	Cinco faixas verticais com uma camada de fibra de carbono por faixa
V3			sim	Cinco faixas verticais com duas camadas de fibra de carbono por faixa
V4			sim	Quatro faixas inclinadas a 45° com uma camada de fibra de carbono por faixa
V5			sim	Três faixas inclinadas a 45° com uma camada de fibra de carbono por faixa
V6	2	Ancoragem na alma com barras de aço	sim	Cinco faixas verticais com três camadas de fibra de carbono por faixa
V7			sim	Cinco faixas verticais com uma camada de fibra de carbono por faixa
V8			sim	Cinco faixas verticais com duas camadas de fibra de carbono por faixa

Tabela 3.3 - Tabela de especificação das características dos reforços de cada viga (SILVA FILHO, 2001)

As vigas do Grupo 1 aumentaram em média 60% a resistência ao cisalhamento e as do Grupo 2 alcançaram a média de contribuição de 40%. Concluiu-se que o envolvimento da alma e mesa da viga com compósitos aumentou a capacidade resistente das vigas ao cisalhamento, até mesmo permitindo que o mecanismo de ruptura fosse modificado de cisalhamento para flexão (deformação plástica excessiva). A ancoragem com a utilização de barras de aço também mostrou-se eficiente, aumentando a capacidade resistente ao cisalhamento das vigas, e atingindo em média carga 39% superior em relação à viga de referência sem reforço. No entanto, as duas soluções para o descolamento do reforço são trabalhosas de serem realizadas na prática. A primeira deve realizar furos na mesa para que seja possível a passagem da fibra e segunda necessita de furos pequenos na alma que podem afetar os estribos.

3.1.3 - Araújo (2002)

Este estudo deu continuidade aos trabalhos de Salles Neto (2000) e Silva Filho (2001) realizados no Laboratório de Estruturas da Universidade de Brasília. Para isso, mantiveram-se as mesmas características das vigas e do reforço dos trabalhos citados assim como as principais variáveis dos ensaios: espaçamento, a quantidade, a inclinação e o tipo de ancoragem. As vigas foram divididas em dois grupos, um grupo com ancoragem melhorada com a colagem de faixas

horizontais de tecidos de fibra na alma, e outro grupo com as faixas de tecido de fibra de carbono envolvendo toda a viga, através de furos na mesa.

As vigas ensaiadas, tanto neste estudo, como também nos estudo de Salles Neto (2000) e Silva Filho (2001), possuem comprimento total e vão livre de 4400 mm e 4000 mm, respectivamente, altura útil (d) nominal de 355,2 mm, largura da alma (b_w) de 150 mm e relação a/d igual a 3,01.

Viga	Grupo	Tipo de ancoragem	Pré- fissura	Tipo de reforço ao cisalhamento (cada lado da viga)
V1 REF	-	-	não	Viga de referência sem reforço
V2	1	Ancoragem na alma da viga com a utilização de faixa de tecido de CFRP horizontal	sim	Cinco faixas de tecido de CFRP a 90° (uma camada) e uma faixa horizontal de tecido de CFRP de 50 mm de largura (uma camada)
V3			sim	Cinco faixas de tecido de CFRP a 90° (uma camada) e uma faixa horizontal de tecido de CFRP de 100 mm de largura (uma camada)
V4			sim	Cinco faixas de tecido de CFRP a 90° (duas camadas) e uma faixa horizontal de tecido de CFRP de 100 mm de largura (duas camadas)
V5 REF	2	-	não	Viga de referência sem reforço
V6		Envolvimento alma e mesa da viga	sim	Cinco faixas de tecido de CFRP a 90° (uma camada)
V7			sim	Cinco faixas de tecido de CFRP a 90° (duas camadas)
V8			sim	Quatro faixas de tecido de CFRP a 45° (uma camada)

Tabela 3.4 - Tabela de especificação das características de reforço de cada viga (ARAÚJO, 2002)

Novamente, os resultados utilizando o envolvimento completo da viga foram mais eficazes, apesar do trabalho maior de aplicação. Para tal tipo de reforço, a adição de capacidade ao cisalhamento da viga reforçada em relação à viga de referência sem reforço foi de 135%. No caso do outro grupo que tentou um tipo diferente de ancoragem da viga com faixas horizontais de fibra na extremidade superior da alma, o aumento foi de 30%, ou seja, menor do que os 40% observados na solução de ancoragem utilizada no estudo do Silva Filho (2001).

3.2 - Estudos experimentais realizados em outras universidades brasileiras

3.2.1 - Beber (2003) (UFRGS)

Esta pesquisa realizou a investigação do comportamento de vigas de concreto armado de seção retangular reforçadas com compósitos de fibra de carbono. Foram 14 vigas reforçadas à flexão (Grupo F) e 30 vigas reforçadas ao cisalhamento (Grupo C) todas com seção transversal 15 x 30 cm e comprimento de 300 cm, sendo que, devido a finalidade deste projeto, somente as vigas reforçadas ao cisalhamento foram adicionadas às tabelas de cálculo. O número de exemplares do Grupo C foi definido para testar 12 configurações diferentes de reforço variando-se tipo de aplicação, inclinação, continuidade do material, espaçamento e largura das faixas.

As vigas não possuem armadura transversal, excetuando-se estribos de montagem em suas extremidades. A armadura de flexão é dupla e composta por seis barras de aço CA-50 de 16,0 mm de diâmetro com duas camadas como mostrado no detalhamento a seguir:

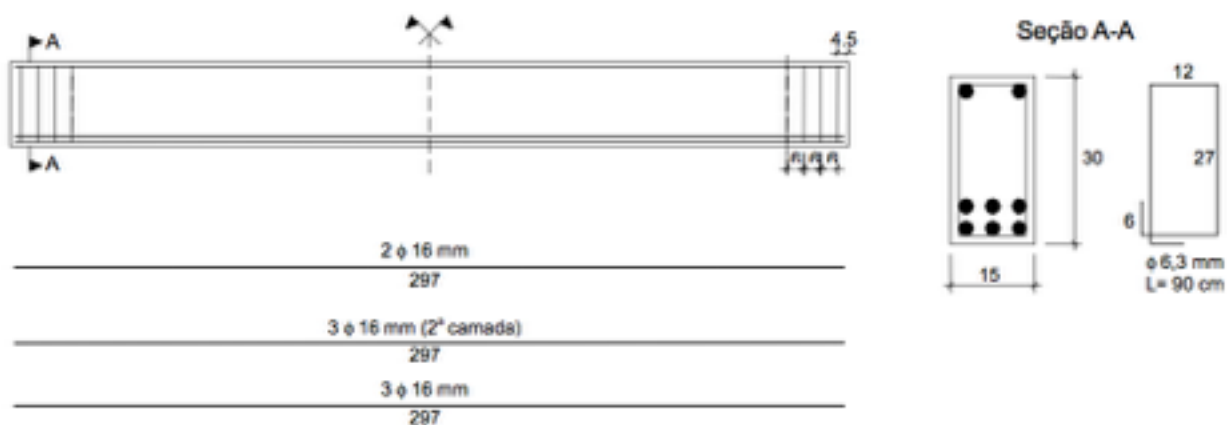


Figura 3.3- Detalhes da viga de teste e da seção transversal (BEBER, 2003)

O estudo de Beber (2003) foi interessante pelo fato de ter configurações variadas do uso de CFRP como reforço. Foram utilizados diferentes posicionamentos, ângulos de inclinação, fornecedores dos materiais compósitos e outras características que influenciam diretamente no resultado da parcela resistida pelo reforço. O esquema de reforço de cada viga é apresentado na Tabela 3.5 retirada do próprio trabalho de Beber (2003).

Esquema de reforço		Replark 20		Vigas		
	$s_f = 10 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 90^\circ$	Somente nas laterais	V9_A	V9_B	V21_A	
		Tipo "L"	V10_A	V10_B	V17_A	
		Tipo "U"	V11_A	V11_B	V17_B	
		Envolvimento completo	V12_A	V18_A	V20_A	
	$s_f = 14,14 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$	Somente nas laterais	V12_B	V14_B		
		Tipo "L"	V19_A	V19_B		
	$s_f = 65,5 \text{ cm}$ $w_f = 65,5 \text{ cm}$ $\beta = 90^\circ$	Somente nas laterais	V13_A	V13_B		
		Tipo "U"	V15_B	V16_B		
		Envolvimento completo	V18_B	V16_A		
	$s_f = 65,5 \text{ cm}$ $w_f = 65,5 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$	Somente nas laterais	V14_A	V15_A		
	$s_f = 10 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 90^\circ$	Somente nas laterais	V22_B	V20_B		
	$s_f = 14,14 \text{ cm}$ $w_f = 5 \text{ cm}$ $\beta = 45^\circ$	Somente nas laterais	V21_B	V22_A		

Tabela 3.5- Detalhamento do reforço de cada grupo de vigas (BEBER, 2003)

As vigas de controle apresentaram modo de ruptura rigorosamente como esperado por tração diagonal. Uma grande fissura com inclinação aproximada de 45° se formou repentinamente isso pelo fato das vigas não possuírem armadura transversal. Em relação às vigas reforçadas com faixas, foram atingidas incrementos de até 146,2% com melhores resultados atingidos pelas configurações de envolvimento completo da viga retangular. Já para os reforços em "L", "U" e somente nas laterais, as evidências experimentais apontam descolamento das fibras, algo que não permitiu o alcance dos mesmo níveis de contribuição. O desempenho médio destas alternativas foi cerca de 85% e muito parecido entre as configurações mesmo com as diferenças da quantidade de utilização

de material. No entanto, o modo de ruptura variou entre as formas de aplicação em “L” e somente nas laterais de modo que, para a primeira, ocorreu uma combinação entre descolamento e ruptura do compósito e, para segunda, foi dominante do desprendimento do compósito. Somente com o reforço de CFRP envolvendo a viga inteira e de modo contínuo foi possível a configuração de ruptura à flexão com esmagamento do concreto e flambagem da armadura de compressão. Mesmo com maior consumo de material, o desempenho dessas vigas foi muito maior atingindo 240%. No caso da aplicação de manta flexível contínua em “U”, o resultado não mudou bastante em relação às mantas flexíveis.

3.2.2 - Gallardo (2002)

Este estudo realizado na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) apresenta 6 vigas de seção T com armadura transversal de estribo 4,2 mm e espaçamento de 30 cm. Alma com seção de 360 x 120 mm, mesa 100 x 300 mm e armadura longitudinal com 4 estribos de 20 mm. Ensaio de 4 pontos realizado sobre o vão total de 3600 mm e vão de cisalhamento de 1700 mm. As especificações do reforço são mostradas na tabela abaixo:

Viga	Tipo de ancoragem	Características de reforço
V1 REF	-	-
V2	Somente nas Laterais	Faixas de 1 camada com espessura de 50mm e espaçamento de 150 mm
V3		Faixas verticais de 1 camada com espessura de 50mm e espaçamento de 150mm
V4	“U” sem ancoragem	Faixas verticais de 1 camada com espessura de 50mm e espaçamento de 150mm
V5	“U” com prolongamento da tira na parte inferior da mesa	Faixas verticais de 2 camadas com espessura de 50mm e espaçamento de 150mm
V6	“U” com faixa horizontal para ancoragem	Faixas verticais de 2 camadas com espessura de 50mm e espaçamento de 150mm

Tabela 3.6- Características gerais do sistema de reforço
(GALLARDO, 2002)

Todas as vigas romperam por cisalhamento respondendo ao objetivo de dimensionamento de vigas bem mais resistentes à flexão. Os incrementos de resistência relativos às fibras de carbono chegaram à um máximo de 74,75% para viga V5. O autor afirmou problemas como espessura excessiva de resina epóxi para viga V2 e V6 resultando em incrementos menores de 5,45% e 39,73%, respectivamente. Para as vigas V3 e V4, onde a única alteração foi na configuração de aplicação de somente nas laterais para formato em “U”, os aumentos na capacidade ao cisalhamento das vigas foram parecidos com valores de 40,97% e 47,42%.

3.2.3 - Galvez (2003)

Dois grupos de vigas foram estudados com diferença no concreto, sendo, no grupo 2, concreto de alta resistência. Tal diferença foi necessária depois que o autor percebeu que as vigas do grupo 1 romperam com escoamento da armadura longitudinal, ou seja, à flexão não resistida pela baixa altura das vigas. A seção das espécimes é retangular com altura de 200 mm por largura de 150 mm e vão de 1500 mm.

As especificações de reforço são resumidas na tabela abaixo.

Viga	Tipo de ancoragem	f _{ck} planejado (MPa)	Características de reforço
V1 REF	-	30	-
V2	Somente nas Laterais		Manta contínua ao longo do vão de cisalhamento de 1 camada com fibras a 90°
V3			Manta contínua ao longo do vão de cisalhamento de 1 camada com fibras a 45°
V4 REF	-	90	-
V5	Somente nas Laterais		Manta contínua ao longo de todo o vão de 1 camada com fibras a 90°
V6	"U" sem ancoragem		Faixas verticais de 1 camada com espessura de 50mm e espaçamento de 150mm
V7	Envolvimento completo		Faixas verticais de 1 camada com espessura de 50mm e espaçamento de 150mm

Tabela 3.7- Características gerais do sistema de reforço
(GALVEZ, 2003)

As amostras reforçadas com CFRP romperam com o descolamento das mantas e faixas, e as referências romperam devido a força cortante. Como já dito as vigas do Grupo 1 romperam a flexão e as do Grupo 2, após o tratamento especial do concreto, romperam ao cisalhamento. As vigas do

Grupo 2 apresentaram um aumento de 61% em média com o reforço e as do Grupo 1 incrementaram 53% à sua resistência com o reforço, o que já foi suficiente para levar a uma ruína por flexão.

3.2.4 - Spagnolo *et al.* (2013)

Oito vigas de concreto armado com seção T de 150 mm de largura da alma e 400 mm de altura total foram testadas em dois grupos diferentes. As variações entre as vigas são, principalmente, a armadura transversal (menor no Grupo 2) e o número de camadas dentro do mesmo grupo que varia entre 1, 2 e 3. Todas as vigas reforçadas possuem faixa horizontal para melhorar a ancoragem das faixas como mostrado na figura. O carregamento é realizado através de 4 pontos com $a/d = 2,4$.

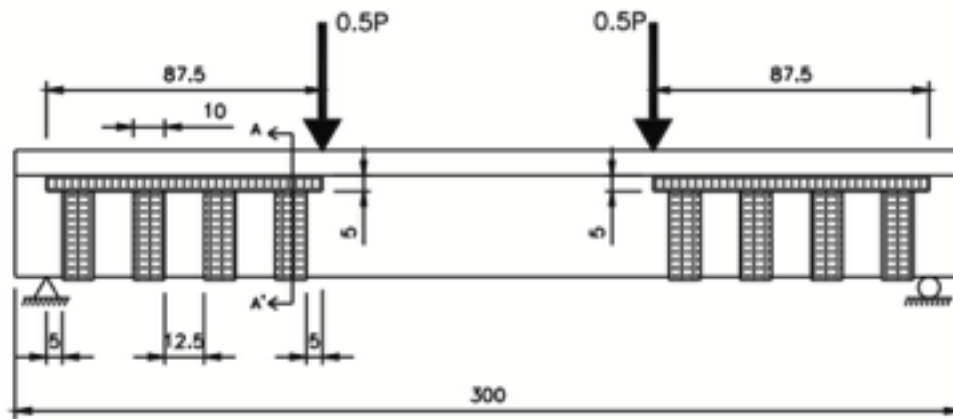


Figura 3.4 - Ilustração das vigas reforçadas com faixas de CFRP (SPAGNOLO *et al.*, 2013)

As especificações de reforço de cada viga são mostradas na tabela abaixo:

Viga	Tipo de ancoragem	nº de camadas	Características de reforço
V1 REF	-		-
V2	"U" com faixas horizontais no limite da alma	1	Faixas verticais com espessura de 100mm e espaçamento de 225mm
V3		2	Faixas verticais com espessura de 100mm e espaçamento de 225mm
V4		3	Faixas verticais com espessura de 100mm e espaçamento de 225mm
V5 REF	-		-
V6	"U" com faixas horizontais no limite da alma	1	Faixas verticais com espessura de 100mm e espaçamento de 225mm
V7		2	Faixas verticais com espessura de 100mm e espaçamento de 225mm
V8		3	Faixas verticais com espessura de 100mm e espaçamento de 225mm

Tabela 3.8 - Características gerais de reforço
(SPAGNOLO *et al.*, 2013)

Todas as vigas romperam por cisalhamento com acréscimos entre 36% e 54% devido aos reforços. A capacidade das vigas não acompanhou o aumento no número de camadas apresentando valores de resistência parecidos. O Grupo 1 apresentou valores maiores de resistência ao cisalhamento devido a maior porcentagem de armadura longitudinal.

3.3 - Estudos experimentais estrangeiros

3.3.1 - Khalifa & Nanni (2000)

O trabalho de Khalifa & Nanni na área de reforço ao cisalhamento com polímeros reforçados com fibra de carbono é referência mundial contando inclusive com método próprio para cálculo da contribuição V_f para vigas de concreto armado. Esta pesquisa realizada em 1999 e publicada em 2000 foi apenas um dentre várias a investigar o comportamento das vigas reforçadas externamente. Inclusive as formulações propostas pela ACI (American Concrete Institute) para o assunto são baseadas no método de Khalifa & Nanni algo que também acontece com a FIB (Federação Internacional do Betão) que se baseia nos estudos do Triantafyllou.

O estudo apresentado investiga 6 vigas de seção T sem armadura transversal na região de solicitação. Os parâmetros adotados foram a quantidade de CFRP e sua distribuição (mantas

contínuas ou serie de faixas, superfície de ligação (somente nos lados ou envolvimento em “U”), direção principal da fibra e presença de ancoragem no final. As ilustrações das vigas assim como o posicionamento dos extensômetros podem ser encontradas na figura a seguir.

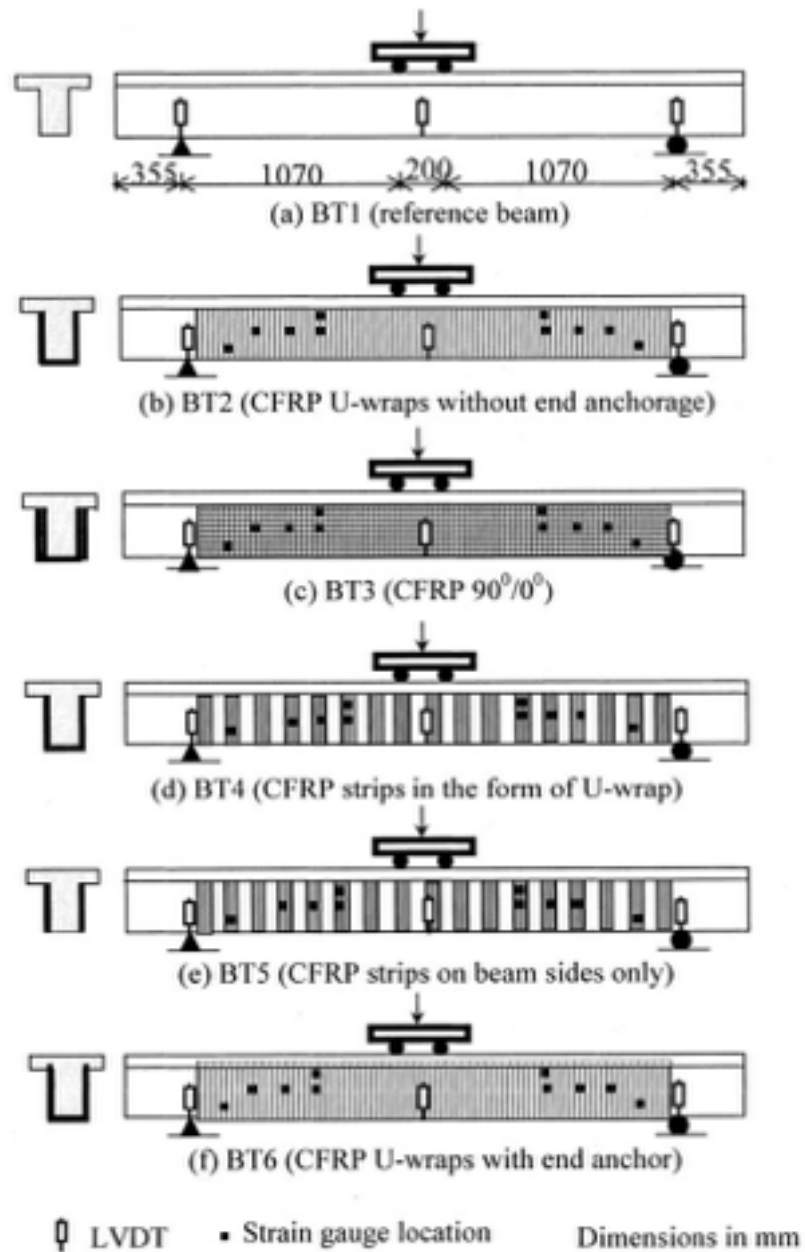


Figura 3.5 - Configuração de teste e esquemas de reforço (KHALIFA & NANNI, 2000)

Para as vigas testadas no estudo experimental, aumento na capacidade cisalhante de 35-145% foi alcançado. Os autores concluíram que a performance do CFRP colado externamente pode ser desenvolvida quando uma ancoragem adequada é utilizada. Todas as vigas romperam por cisalhamento menos a ancorada pela técnica proposta que levou a viga a uma ruína por flexão. A menor contribuição foi do reforço aplicado somente nas laterais da viga e as faixas em “U” alcançaram valores perto das mantas contínuas. No entanto, os autores aconselham, para prática, a aplicação da cobertura contínua de CFRP, pois, ao ser utilizado faixas, há a possibilidade de danos a uma faixa individual. Tal dano à uma faixa de reforço é mais perigoso e impactante para a capacidade ao cisalhamento geral da viga do que danos em uma manta contínua.

3.3.2 - Pellegrino & Modena (2002)

Este trabalho de pesquisadores também renomados na área de reforço com CFRP testou 11 vigas com carregamento de 4 pontos sobre um vão de 2000mm. As seções são retangulares e foram dimensionadas para que a capacidade última de cisalhamento fosse atingida antes da falha a flexão.

Todos os reforços nesta pesquisa utilizaram mantas contínuas coladas nas laterais das vigas ao longo de todo o vão. As variáveis principais foram a presença ou não de armadura transversal e o número de camadas de tecido de fibra de carbono.

Viga	Tipo de ancoragem	n° de camadas	Estribos	Vn exper. (kN)
V1 REF	-		-	74,7
V2	Somente nas Laterais	1	-	120,0
V3		3	-	112,8
V4		3	-	140,2
V5 REF	-		8mm/20cm	161,5
V6	Somente nas Laterais	2	8mm/20cm	193,0
V7		2	8mm/20cm	213,3
V8		3	8mm/20cm	247,5
V9		1	8mm/20cm	161,4
V10		2	8mm/20cm	208,8
V11		2	8mm/20cm	212,0

Tabela 3.9 - Características gerais de reforço e força cortante de ruptura (PELLEGRINO & MODENA, 2002)

Através desse estudo é possível tirar algumas conclusões como a de que o aumento no número de camadas não se traduz em um aumento proporcional no valor da carga resistida pela viga. Também é marcante a efetividade que a presença de estribos tem sobre a capacidade de resistência das amostras, principalmente comparada ao incremento praticamente nulo da viga V9 reforçada somente nas laterais com uma camada. Outro aspecto que os autores chamaram a atenção foi o efeito que os estribos causam no reforço externo ao provocarem uma série de fissuras diagonais na superfície lateral da viga. Isso afeta diretamente a ligação das mantas externas e é possível concluir que a efetividade do reforço diminui quando a razão entre a rigidez dos estribos e a rigidez do CFRP aumenta.

3.3.3 - Taljsten (2003)

Neste estudo experimental realizado na Lulea Universidade de Tecnologia (Suécia), fonte de diversos estudos sobre o uso de polímeros reforçados com fibras, foram testadas sete vigas: uma para referência sem fibras de carbono e seis vigas envolvidas por mantas contínuas com algumas variáveis. Como o compósito possui um sistema unidirecional de fibras, a inclinação das mantas foi um dos parâmetros a ser explorado. A quantidade de CFRP também foi outra variável adotada e, na região de solicitação cortante, não há a presença de estribos. As vigas são representadas na figura abaixo:

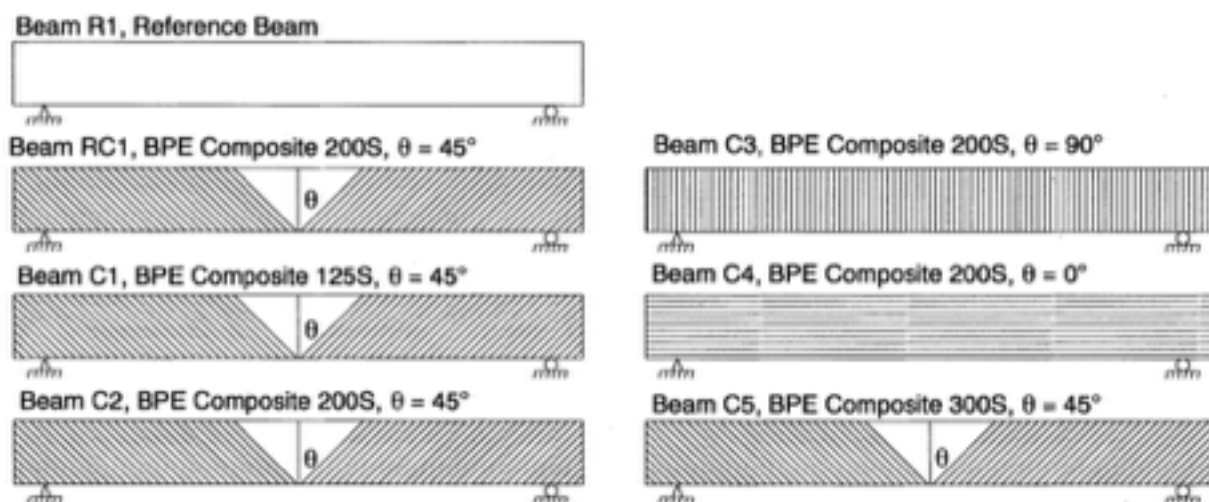


Figura 3.6 - Vigas testadas através de flexão por 4 pontos (TALJSTEN, 2003)

O peso específico do reforço aparece na figura em g/m^2 como 200S, 125S e 300S (200g/m^2 , 125g/m^2 e 300g/m^2). A segunda e ultima vigas foram as que apresentaram melhores resultados em relação a acréscimo de resistência ao cisalhamento: 246% e 269%, respectivamente. Estas grandes porcentagens se devem ao fato da continuidade do reforço, à quantidade de material, à inclinação da manta e ao fato de que a viga sem estribo ao ser reforçada apresenta valores maiores de efetividade do reforço. A menor eficiência é das fibras horizontais ao eixo da viga com acréscimo de apenas 24%, apesar da quantidade de material utilizado. As outras amostras apresentaram valores em volta de 100% para o aumento devido à aplicação de CFRP externamente às vigas de concreto armado.

3.3.4 - Adhikary & Mitsuyoshi (2004)

Este estudo apresentou vigas retangulares quase quadradas com seção de dimensões 150 x 200 mm e comprimento de 2600 mm. Mantas foram combinadas e variadas verticalmente e horizontalmente assim como a altura de aplicação. A figura ilustra a configuração de reforço.

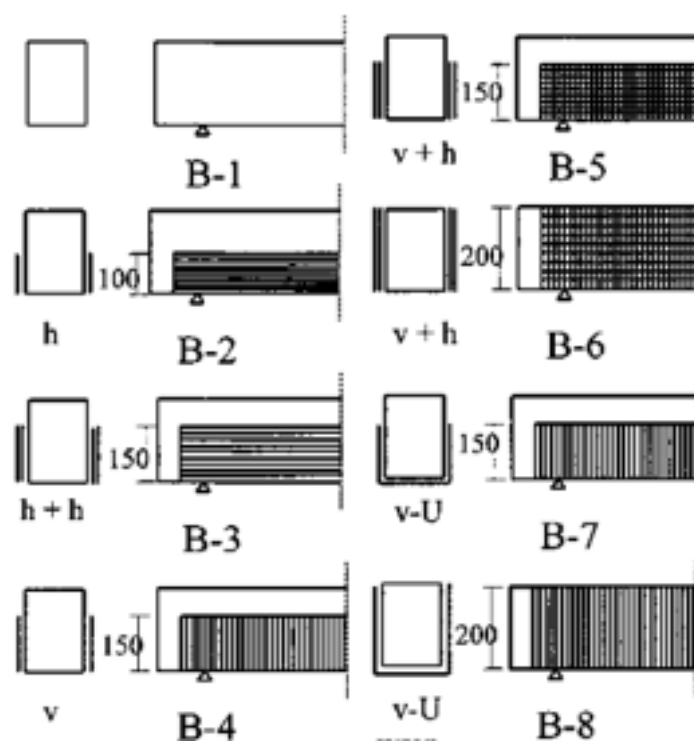


Figura 3.7 - Configuração de reforço e seções de cada viga (ADHIKARY & MITSUYOSHI, 2004)

Foi possível confirmar o que já era esperado de que a efetividade do reforço varia de acordo com a sua altura de aplicação e consequente superfície de ligação com a viga e quantidade de material trabalhando ao cisalhamento. As vigas 6 e 8 apresentaram os maiores incrementos de 106,1% e 118,9%, respectivamente. As fibras orientadas horizontalmente quase não surtem efeito para resistência, algo que pode ser confirmado ao se observar evolução quase nula da viga 4 para viga 5 com capacidade última cortante variando de 58,6 para 60,3 kN.

3.3.5 - Dias & Barros (2005)

Essa dupla de pesquisadores da Universidade do Minho apresentou uma nova técnica de reforço baseada na inserção de laminados de CFRP em finos entalhes efetuados no concreto de cobrimento que atingiram certa eficácia ao reforçar vigas de concreto armado deficientes ao cisalhamento. No entanto, nesta pesquisa, somente as vigas com reforço externo foram levadas em conta devido ao foco do estudo comparativo. 12 vigas divididas em 4 grupos com uma viga referência, uma com armadura transversal e uma com reforço de CFRP em cada grupo, foram analisadas.

Vigas	Estribo	Características de reforço	Carga de ruptura (kN)
V1 REF	-	-	100,4
V2	6mm c/ 300mm	-	169,35
V3	-	2 camadas de reforço em "U" orientadas a 90° com 25mm de largura e 190mm de espaçamento	122,06
V4 REF	-	-	116,5
V5	6mm c/ 150mm	-	215,04
V6	-	2 camadas de reforço em "U" orientadas a 90° com 25mm de largura e 95mm de espaçamento	179,54
V7 REF	-	-	74,02
V8	6mm c/ 150mm	-	120,64
V9	-	2 camadas de reforço em "U" orientadas a 90° com 25mm de largura e 80mm de espaçamento	111,14
V10 REF	-	-	75,7
V11	6mm c/ 75mm	-	159,1
V12	-	2 camadas de reforço em "U" orientadas a 90° com 25mm de largura e 40mm de espaçamento	143,0

Tabela 3.10 - Características gerais de reforço e carga total de ruptura (DIAS & BARROS, 2005)

Este estudo foi interessante ao comparar a técnica de reforço em questão relativamente nova com o dimensionamento tradicional ao cisalhamento com a inserção de armadura transversal ao longo do vão de cisalhamento. O resultado foi o esperado com uma efetividade maior dos estribos, porém, dependendo da configuração das faixas de CFRP ao diminuir o espaçamento, o reforço com fibra de carbono também se mostra significativo. A média no aumento com tal reforço foi de 54% e com os estribos de aço de 82%.

3.3.6 - Leung *et al.* (2007)

Neste estudo experimental realizado em Hong Kong, foram coletados resultados vindos de dois grupos de vigas variando entre eles a altura das vigas. Ao se variar tal parâmetro também se alterou os dimensionamentos das armaduras longitudinais e transversais para que as vigas continuassem com a mesma relação proporcional. A figura a seguir ilustra a diferença.

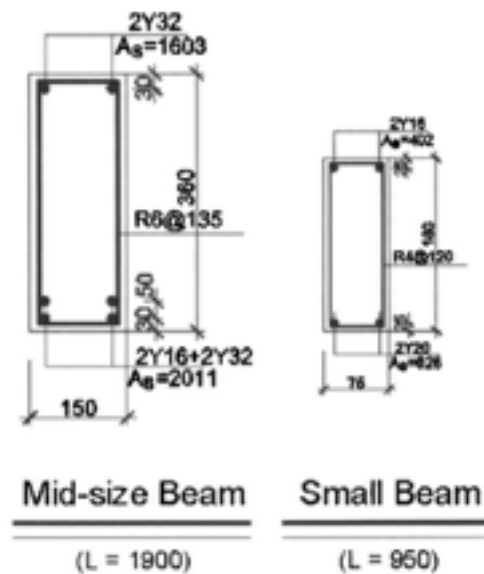


Figura 3.8 - Detalhamento da seção transversal das vigas pequenas e médias (LEUNG *et al.*, 2007)

Em relação ao reforço de CFRP a tabela abaixo especifica os tipos de reforços assim como as cargas de ruptura obtidas nos testes.

Vigas	Altura efetiva d (mm)	nº de camadas	Características de reforço	Carga de ruptura (kN)
V1 REF	155	1	-	81,5
V2			Reforço em “U” com faixas de 20mm de largura e 60mm de espaçamento	130,0
V3			Reforço em “U” com faixas de 20mm de largura e 60mm de espaçamento	91,7
V4			Reforço envolvendo completamente a viga com faixas de 20mm de largura e 60mm de espaçamento	132,2
V5			Reforço envolvendo completamente a viga com faixas de 20mm de largura e 60mm de espaçamento	133,3
V6 REF	305	2	-	299,7
V7			Reforço em “U” com faixas de 40mm de largura e 120mm de espaçamento	309,2
V8			Reforço em “U” com faixas de 40mm de largura e 120mm de espaçamento	319,5
V9			Reforço envolvendo completamente a viga com faixas de 40mm de largura e 120mm de espaçamento	472,7
V10			Reforço envolvendo completamente a viga com faixas de 40mm de largura e 120mm de espaçamento	500,6

Tabela 3.11 - Características gerais de reforço e carga total de ruptura (LEUNG *et al.*, 2007)

Para os reforços em “U”, as contribuições foram de até 59% para as vigas de menor altura. Este valor sobe para 63,5% quando a viga é envolvida completamente, o que não é uma variação muito significativa. Para as vigas de altura maior, a contribuição do reforço em “U” cai e a com envolvimento completo sobe. Os valores de contribuição seriam de 6,6% e 67%, respectivamente. Estas variações sugerem que para vigas com maior altura, o fator de descolamento do reforço é bem mais influente do que em vigas de altura menor.

3.3.7 - Altin *et al.*, Turquia (2010)

Neste estudo, 10 vigas foram testadas reforçadas com compósitos reforçados com fibra de carbono (CFRP) colados em “U” nas vigas T de dimensões e detalhes mostrados na seguinte figura:

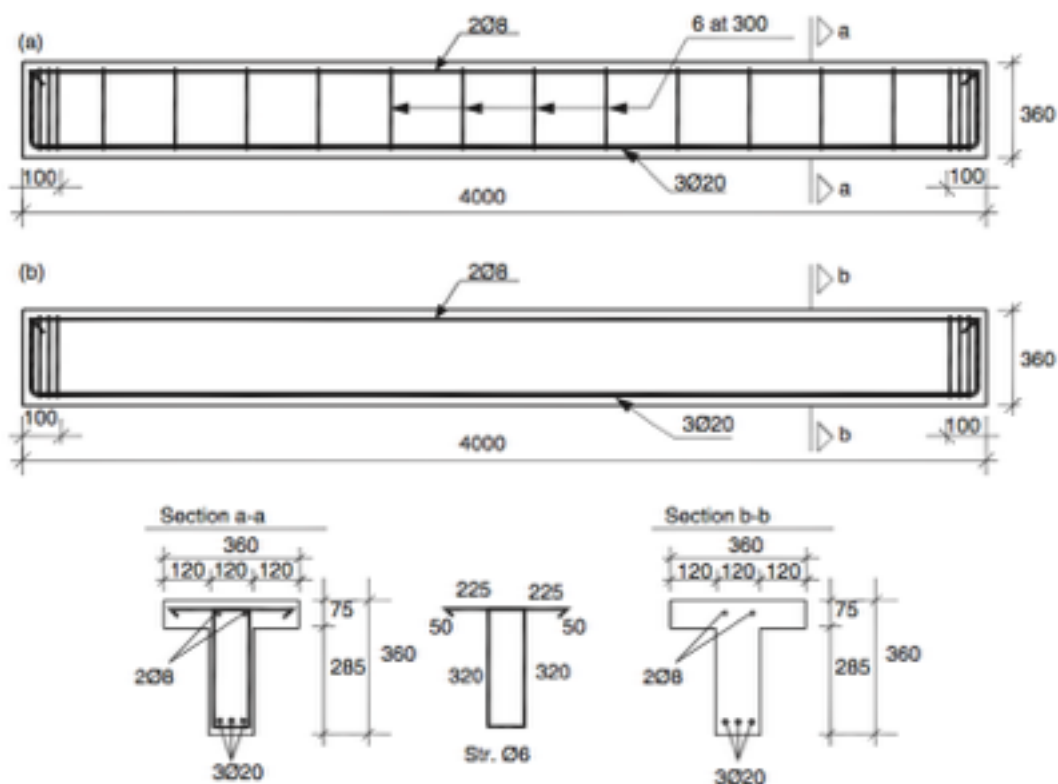


Figura 3.9- Detalhes da viga de teste e da seção transversal (ALTIN *et al.*, 2010)

O interessante deste estudo, foi a utilização de ancoragem e a comparação entre a resistência das vigas com ou sem ancoragem do reforço. Também são testadas vigas com e sem armadura de cisalhamento internas. A ancoragem utilizada é mostrada na figura a seguir:

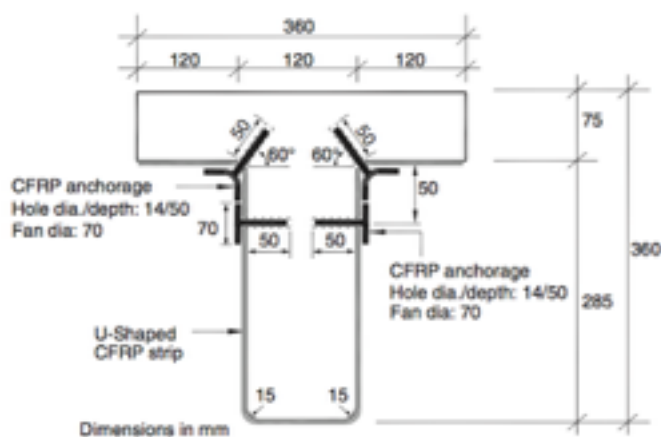


Figura 3.10- Detalhamento da ancoragem do reforço (ALTIN *et al.*, 2010)

3.3.8 - Jayakaprash *et al.* (2010)

Uma serie de 12 vigas T de concreto armado foram fabricadas com uma diferenciação nos estribos internos, na inclinação dos reforços e na relação a/d. O problema neste estudo foi a área total de armadura transversal que foi informada no seu escopo. As vigas possuíam área de seção de estribos exageradas com espaçamentos pequenos e tal configuração resulta em resistências ao cisalhamento bastante elevadas mesmo sem os reforços. O fato de, após os testes, serem observados rupturas por cisalhamento com cargas bem menores do que as calculadas levou a uma desconfiança das informações transmitidas no trabalho. Por esse fato, optou-se por descartar os resultados das previsões.

Specimen details		f_c (MPa)	a_v/d	Internal reinforcement			
				Tensile	f_y (MPa)	Stirrups	f_y (MPa)
TT1	TT1a (C)	27.4	2.5	2 Nos. 20 mm ($\rho = 1.69\%$)	554.17	4 legged 6 mm @ 120 mm c/c	660.82
	TT1-1 (P-R)						
	TT1-2 (P-R)						
TS1	TS1a (C)	16.7	2.5	2 Nos. 16 mm ($\rho = 1.08\%$)	311.22	2 legged 8 mm @ 210 mm c/c	620.31
	TS1-1 (P-R)						
	TS1-2 (P-R)						
TT2	TT2a (C)	27.4	4.0	2 Nos. 20 mm ($\rho = 1.69\%$)	554.17	4 legged 6 mm @ 90 mm c/c	660.82
	TT2-1 (P-R)						
	TT2-2 (P-R)						
TS2	TS2a (C)	16.7	4.0	2 Nos. 16 mm ($\rho = 1.08\%$)	311.22	2 legged 8 mm @ 90 mm c/c	620.31
	TS2-1 (P-R)						
	TS2-2 (P-R)						

C – Control Beam; P-R – Precracked-Repaired Beam; a_v/d – Shear span to effective depth ratio; $\rho = A_s/bd$.

Tabela 3.12- Tabela de especificação das características de reforço das vigas (JAYAPRAKASH *et al.*, 2010)

3.3.3 - Mofidi *et al.*(2011)

O estudo experimental inclui 14 testes em vigas T com armadura transversal e longitudinal bem detalhadas pelo estudo. O que não foi bem detalhado neste estudo foi o reforço de CFRP junto as vigas. Para o calculo de previsão ainda foram deduzidos alguns valores, porém os resultados não se assemelharam ao valores esperados em comparação às outras previsões. Desse modo, para não diminuir a confiabilidade do estudo, preferiu-se descartar os calculos das vigas reforçadas mantendo as vigas sem reforço de controle.

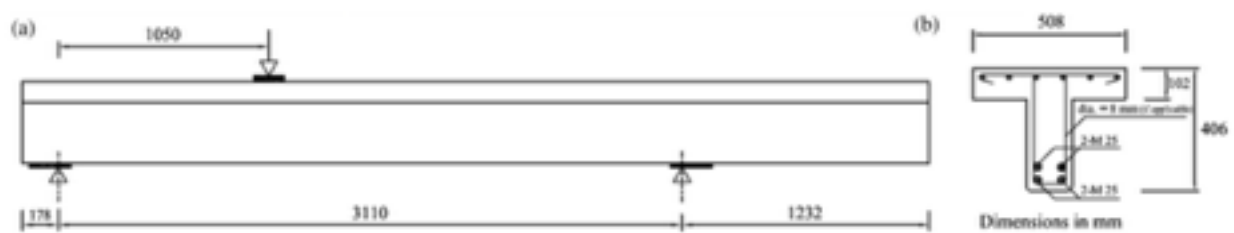


Figura 3.11- Detalhamento da viga de teste e seção transversal (MOFIDI *et al.*, 2011)

4 - RELAÇÃO TEÓRICA EXPERIMENTAL

Na última década, a implementação de modelos analíticos para dimensionamento, detalhamento e instalações de polímeros reforçados com fibra (FRP) foi resultado do aumento do uso de tal material para recuperação estrutural em várias ocasiões práticas. Suas técnicas efetivas e campo de aplicação também continuam crescendo cada vez mais. Entretanto, mesmo com certa inserção dentro da Engenharia Estrutural, o reforço ao cisalhamento com FRP está longe de ser completamente entendido e modelado em formato matemático e, portanto, continua a ser investigado.

A maioria das normas e recomendações quantificam a resistência nominal de cisalhamento como a simples soma das parcelas de contribuição do concreto, aço e FRP. Vários autores discutem o fato de que a presença do reforço influencia na deformação da armadura de aço interno o que pode levar a resultados não conservadores (PELLEGRINO *et. al*, 2013). Outra aproximação dos métodos é a inclinação das fissuras de cisalhamento fixada sempre a 45° mesmo com alguns estudos mostrando que este ângulo pode variar. Nesta pesquisa os valores de carga mostram a proximidade muitas vezes superior das previsões de cálculo em relação às cargas experimentais.

As normas escolhidas para calcular a capacidade das vigas ao cisalhamento coletadas dos estudos experimentais foram: norma brasileira sobre estruturas de concreto armado (NBR 6118:2011) e a norma americana do instituto americano de concreto (ACI 318). O estudo do pesquisador T. ZSUTTY também serviu de instrução para o cálculo da resistência da viga sem o reforço. Já para a avaliação do reforço de FRP colado externamente a viga, percebeu-se que, dentre todos os estudos sobre o assunto, duas normas foram as mais citadas e utilizadas: a norma americana ACI 440 e a europeia da federação internacional do concreto FIB (Fédération Internationale du Béton) *bulletin* 14. O estudo de CHEN e TENG, que também recebe bastante aceitação nos estudos sobre o assunto, foi escolhido por ser bastante criterioso e por dar variabilidade ao projeto, visto que vários outros estudos como o de Khalifa serviram de direção para a formulação das normas já utilizadas.

A avaliação da precisão dos modelos de previsão foi feita distinguindo os seguintes esquemas de reforço:

- 67 vigas reforçadas com faixas de FRP somente na alma da viga no formato em “U” ou “L”;
- 20 vigas reforçadas com faixas de FRP em “U” com ancoragem de prevenção de descolamento;

- 17 vigas completamente envolvidas pelas faixas de FRP;
- 38 vigas reforçadas com faixas de FRP somente nas laterais da alma;
- 36 vigas de controle sem reforço ao cisalhamento;

Totalizam-se 178 vigas, 23 a menos que não foram incluídas na previsão de um fator entre teórico e experimental. Estas vigas resultaram em previsões discrepantes do padrão das outras vigas o bastante para gerar dúvidas sobre os valores de propriedades e condições presentes nos estudos publicados. Como não é possível certificar-se da precisão dos experimentos e a validação das condições passadas nas publicações, preferiu-se não incluir tais discrepâncias na previsão dos fatores.

Nesta análise não foi observado nenhum aspecto relacionado a deslocamentos ou deformações medidas nas estruturas testadas. Todo o estudo foi focado para a previsão das cargas de ruptura. Para cada modelo de cálculo da resistência ao cisalhamento (NBR 6118, ACI 318 e Zsutty) foi acrescentada a parcela resistida pelo reforço de acordo com cada modelo (ACI 440, Fib bul. 14 e Chen et. al).

Para a escolha do método mais preciso de previsão, foi observado tanto a razão entre teórico e experimental como também o coeficiente de variação da média que mostra o quanto os valores desviaram da média calculada.

A seguir são apresentadas as tabelas comparativas.

4.1 - Vigas de referência sem reforço

Cada estudo experimental coletado realizou primeiramente testes em vigas simples de concreto armado sem qualquer tipo de reforço apenas com concreto, armaduras longitudinais e transversais (em vezes não utilizada). A partir dos resultados destas amostras, era possível identificar o quanto o reforço adicionava à carga última resistida pela viga. No total, foi possível a coleta de 36 vigas com parâmetros variados como quantidade de estribos, a/d , seção transversal, armadura longitudinal e resistência dos materiais.

As vigas de referência tiveram importância neste projeto para verificar os cálculos pelas normas NBR 6118, ACI 318 e pelo método de Zsutty para o cisalhamento de vigas de concreto armado. Tais métodos possuem parcelas em suas formulações vindas de estudos empíricos e com a comparação feita foi possível ter uma ideia do quanto esses valores se aproximam da realidade. A tabela abaixo apresenta os cálculos.

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	NBR 6118		ACI 318		Zsutty	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Salles Neto (2000)							
1	251	168,86	1,49	131,32	1,91	184,97	1,36
2	368,4	240,07	1,53	217,55	1,69	270,63	1,36
Silva Filho (2001)							
3	360	244,57	1,47	219,60	1,64	272,93	1,32
Araújo (2002)							
4	260	192,35	1,35	191,77	1,36	240,99	1,08
5	372	251,20	1,48	230,09	1,62	301,04	1,24
Altin et. al (2010)							
6	99,02	116,11	0,85	103,98	0,95	123,81	0,80
Mofidi e Chaallal (2011)							
7	122,7	105,14	1,17	92,13	1,33	138,65	0,88
8	350,6	252,70	1,39	256,09	1,37	302,61	1,16
Beber (2003)							
9	114,7	98,77	1,16	84,24	1,36	124,79	0,92
10	112,98	98,77	1,14	84,24	1,34	124,79	0,91
Galvez (2003)							
11	95	119,62	0,79	108,30	0,88	120,03	0,79
12	240,1	168,37	1,43	136,16	1,76	171,56	1,40
Dias & Barros (2005)							
13	100,04	116,24	0,86	85,52	1,17	96,08	1,04
14	169,35	166,31	1,02	141,16	1,20	151,71	1,12
15	116,5	115,82	1,01	87,35	1,33	108,10	1,08
16	215,04	215,86	1,00	198,51	1,08	219,26	0,98
17	74,02	63,19	1,17	46,29	1,60	60,04	1,23
18	120,64	108,63	1,11	96,78	1,25	110,53	1,09
19	75,7	62,68	1,21	47,84	1,58	67,25	1,13
20	159,1	152,83	1,04	148,01	1,07	167,42	0,95
Täljsten (2003)							
21	248,1	291,26	0,85	217,93	1,14	306,56	0,81
Khalifa & Nanni (2000)							
22	180	148,03	1,22	118,26	1,52	162,93	1,10
Gallardo (2002)							
23	234,06	207,01	1,13	170,35	1,37	202,42	1,16
Pellegrino & Modena (2002)							
24	149,4	86,10	1,74	74,32	2,01	108,05	1,38
25	323	218,10	1,48	222,87	1,45	268,87	1,20
Spagnolo et al. (2013)							
26	407,22	332,61	1,22	306,00	1,33	359,12	1,13
27	302,5	260,38	1,16	223,50	1,35	276,72	1,09
Mofidi e Chaallal (2014)							
28	122,7	94,91	1,29	85,45	1,44	130,18	0,94
29	350,6	241,36	1,45	248,18	1,41	292,90	1,20
Jayaprakash et. al (2008)							
30	98,14	85,16	1,15	70,83	1,39	97,50	1,01
31	74,86	85,16	0,88	67,76	1,10	84,02	0,89
32	64,88	61,32	1,06	54,03	1,20	70,74	0,92
33	61,56	61,32	1,00	52,11	1,18	60,96	1,01
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)							
34	78,4	62,73	1,25	53,68	1,46	78,80	0,99
Leung et al. (2007)							
35	81,5	55,78	1,46	59,23	1,38	75,14	1,08
36	299,7	219,80	1,36	219,80	1,36	283,91	1,06
		media	1,21	media	1,38	media	1,08
		desvio padrão	0,23	desvio padrão	0,24	desvio padrão	0,17
		cov (%)	19,00	cov (%)	17,78	cov (%)	15,35

Tabela 4.1 - Tabela comparativa dos valores calculados pela NBR6118 , ACI318 e Zsutty para vigas sem reforço

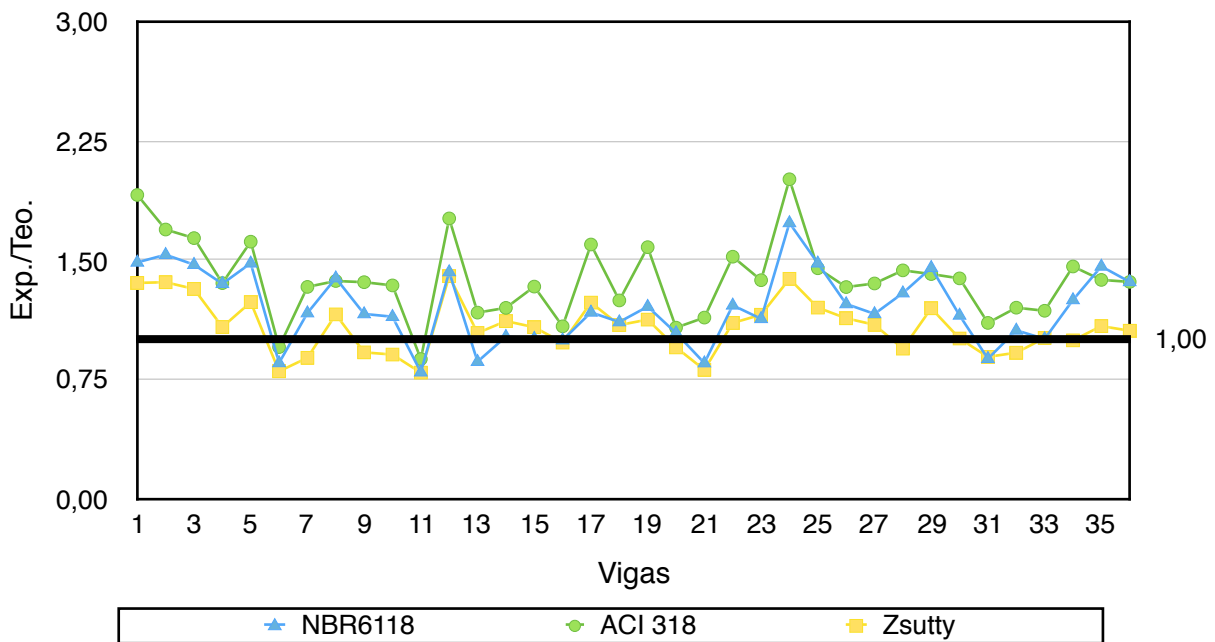


Gráfico 4.1 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teo. para vigas referência

Algumas observações podem ser feitas a partir dos resultados:

- O método proposto por Zsutty é o que mais se aproxima dos resultados experimentais. Os valores teóricos estão, em média, 8% abaixo dos experimentais com coeficiente de variação de 15,35%, o menor entre os métodos.
- A norma americana ACI 318 apresentou os resultados mais conservadores, 38% abaixo dos resultados práticos. O coeficiente de variação é um pouco maior que o do Zsutty com valor igual a 17,78%.
- A norma brasileira NBR 6118 foi a que apresentou resultados mais variados com coeficiente igual a 19%. A razão experimental-teórica para tais cálculos foi de 1,21, ou seja, os valores calculados foram 21% abaixo dos valores testados em laboratório.
- Os estudos que apresentaram maiores fatores exp./teo. foram os trabalhos de SALLES NETO, SILVA FILHO, ARAUJO, MOFIDI & CHAALLAL, KHALIFA& NANNI e PELLEGRINO& MODENA. Destes 5 estudos, 4 apresentaram vigas com seção T sugerindo que as normas preveem cargas menores para vigas desse tipo em relação a realidade. Este aspecto é investigado ao longo do projeto.
- Para NBR 6118, os valores variaram mais em relação a presença ou não de estribos. Para o cálculo da parcela V_{sw} , essa norma prevê valor menor em relação aos outros métodos. Tal parâmetro também é analisado.

- Para o ACI 318, em vigas sem estribos, os valores exp./teo. tendem a ser maiores mostrando calculos que minoram a parcela resistida pelas bielas comprimidas de concreto V_c .

4.2 - Reforço em “U” e em “L” sem ancoragem

4.2.1 - Cálculo base com NBR 6118

A comparação das cargas últimas de laboratório com as calculadas foi realizada utilizando valores totais de capacidade ao cisalhamento. Os valores comparados poderiam ser apenas as parcelas de contribuição do reforço, porém a separação entre parcelas de resistência não é confiável devido a sua complexidade e variação. Desse modo, preferiu-se a realização de uma abordagem geral das normas e métodos com uma combinação entre resultados calculados para a viga sem reforço e para a resistência do CFRP.

Nesta etapa do trabalho, as parcelas de contribuição do concreto V_c e da armadura transversal V_{sw} são calculadas através da norma ABNT NBR6118: 2011. A partir delas são acrescentadas as parcelas de incremento do reforço V_f calculadas pelas normas ACI 440 e Fib bul. 14 e pelo método dos pesquisadores Chen e Teng. Os resultados da capacidade total da viga ao cisalhamento experimentais são divididos pelos resultados teóricos e apresentados na tabela abaixo.

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	NBR 6118					
		ACI 440		FIB bul.14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
		Salles Neto (2000)					
1	275,6	269,04	1,02	326,25	0,84	265,89	1,04
2	320,5	310,53	1,03	391,44	0,82	287,33	1,12
3	403	340,25	1,18	391,19	1,03	334,12	1,21
4	402,8	428,19	0,94	458,08	0,88	374,53	1,08
5	420,6	381,74	1,10	453,79	0,93	355,06	1,18
6	395,3	421,10	0,94	478,13	0,83	360,57	1,10
		Altin et. al (2010)					
7	165,1	159,04	1,04	190,09	0,87	169,69	0,97
8	163,98	150,99	1,09	181,75	0,90	162,03	1,01
9	138,08	141,92	0,97	165,05	0,84	152,24	0,91
		Mofidi e Chaallal (2011)					
10	182,6	131,51	1,39	155,37	1,18	140,28	1,30
11	203,1	143,04	1,42	177,35	1,15	150,76	1,35
12	154,7	180,94	0,85	212,57	0,73	169,65	0,91
13	204,9	151,05	1,36	191,30	1,07	156,64	1,31
14	197,9	150,62	1,31	190,94	1,04	156,35	1,27
15	227,3	158,20	1,44	196,97	1,15	160,99	1,41
16	181,2	180,94	1,00	212,57	0,85	169,65	1,07
17	183,8	180,94	1,02	212,57	0,86	169,65	1,08
18	365,9	290,60	1,26	324,91	1,13	298,32	1,23
19	372,5	290,60	1,28	324,91	1,15	298,32	1,25
20	383,4	305,76	1,25	344,53	1,11	308,55	1,24
21	378,3	328,50	1,15	360,13	1,05	317,22	1,19
		Beber (2003)					
22	214,97	150,38	1,43	168,44	1,28	165,52	1,30
23	211,98	150,38	1,41	168,44	1,26	165,52	1,28
24	205,57	150,38	1,37	168,44	1,22	165,52	1,24
25	196,85	150,38	1,31	168,44	1,17	165,52	1,19
26	249,6	150,38	1,66	168,44	1,48	165,52	1,51
27	185,86	150,38	1,24	168,44	1,10	165,52	1,12
28	236,83	138,11	1,71	168,45	1,41	167,83	1,41
29	230,26	138,11	1,67	168,45	1,37	167,83	1,37
30	276,74	201,99	1,37	200,88	1,38	193,17	1,43
31	224,85	201,99	1,11	200,88	1,12	193,17	1,16
		Galvez (2003)					
32	175	201,25	0,87	210,09	0,83	219,81	0,80

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	NBR 6118					
		ACI 440		FIB bul.14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Dias & Barros (2005)							
33	122,06	161,23	0,76	190,19	0,64	166,22	0,73
34	179,54	205,43	0,87	235,51	0,76	206,61	0,87
35	111,14	114,16	0,97	127,97	0,87	99,20	1,12
36	143	163,60	0,87	158,73	0,90	120,26	1,19
Khalifa & Nanni (2000)							
37	310	308,14	1,01	326,83	0,95	262,23	1,18
38	315	308,14	1,02	326,83	0,96	262,23	1,20
Gallardo (2002)							
39	276,1	267,20	1,03	292,27	0,94	282,18	0,98
Mofidi e Chaallal (2014)							
40	182,6	121,10	1,51	144,80	1,26	129,16	1,41
41	203,1	132,55	1,53	166,63	1,22	139,38	1,46
42	197,9	140,08	1,41	175,69	1,13	144,82	1,37
43	204,9	140,51	1,46	176,03	1,16	145,11	1,41
44	227,3	147,61	1,54	181,36	1,25	149,35	1,52
45	181,2	170,20	1,06	196,05	0,92	157,80	1,15
46	183,8	214,02	0,86	232,12	0,79	178,97	1,03
47	372,5	279,01	1,34	313,09	1,19	285,83	1,30
48	383,4	294,07	1,30	327,82	1,17	295,81	1,30
49	378,3	316,66	1,19	342,51	1,10	304,25	1,24
Jayaprakash et. al (2008)							
50	134,73	139,92	0,96	156,26	0,86	160,26	0,84
51	174,64	139,92	1,25	156,26	1,12	160,26	1,09
52	134,73	126,23	1,07	140,60	0,96	146,73	0,92
53	121,42	139,92	0,87	156,26	0,78	160,26	0,76
54	101,46	126,23	0,80	140,60	0,72	146,73	0,69
55	134,73	108,04	1,25	120,48	1,12	126,95	1,06
56	121,42	127,39	0,95	144,98	0,84	143,68	0,85
57	154,68	127,39	1,21	144,98	1,07	143,68	1,08
58	108,19	96,36	1,12	113,45	0,95	115,12	0,94
59	81,51	127,39	-	144,98	-	143,68	-
60	88,16	127,39	-	144,98	-	143,68	-
61	68,21	108,04	-	120,48	-	126,95	-
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)							
62	122,8	121,39	1,01	126,75	0,97	110,16	1,11
63	171,6	163,24	1,05	153,45	1,12	140,76	1,22
Leung et al. (2007)							
64	130	72,84	1,78	80,29	1,62	82,47	1,58
65	91,7	72,84	1,26	80,29	1,14	82,47	1,11
66	309,2	285,71	1,08	316,25	0,98	298,74	1,04
67	319,5	285,71	1,12	316,25	1,01	298,74	1,07
		média	1,18	media	1,04	media	1,15
		desvio padrão	0,24	desvio padrão	0,20	desvio padrão	0,20
		cov (%)	20,29	cov (%)	19,00	cov (%)	17,43

Tabela 4.2 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com NBR 6118 para vigas com reforço em “U” sem ancoragem

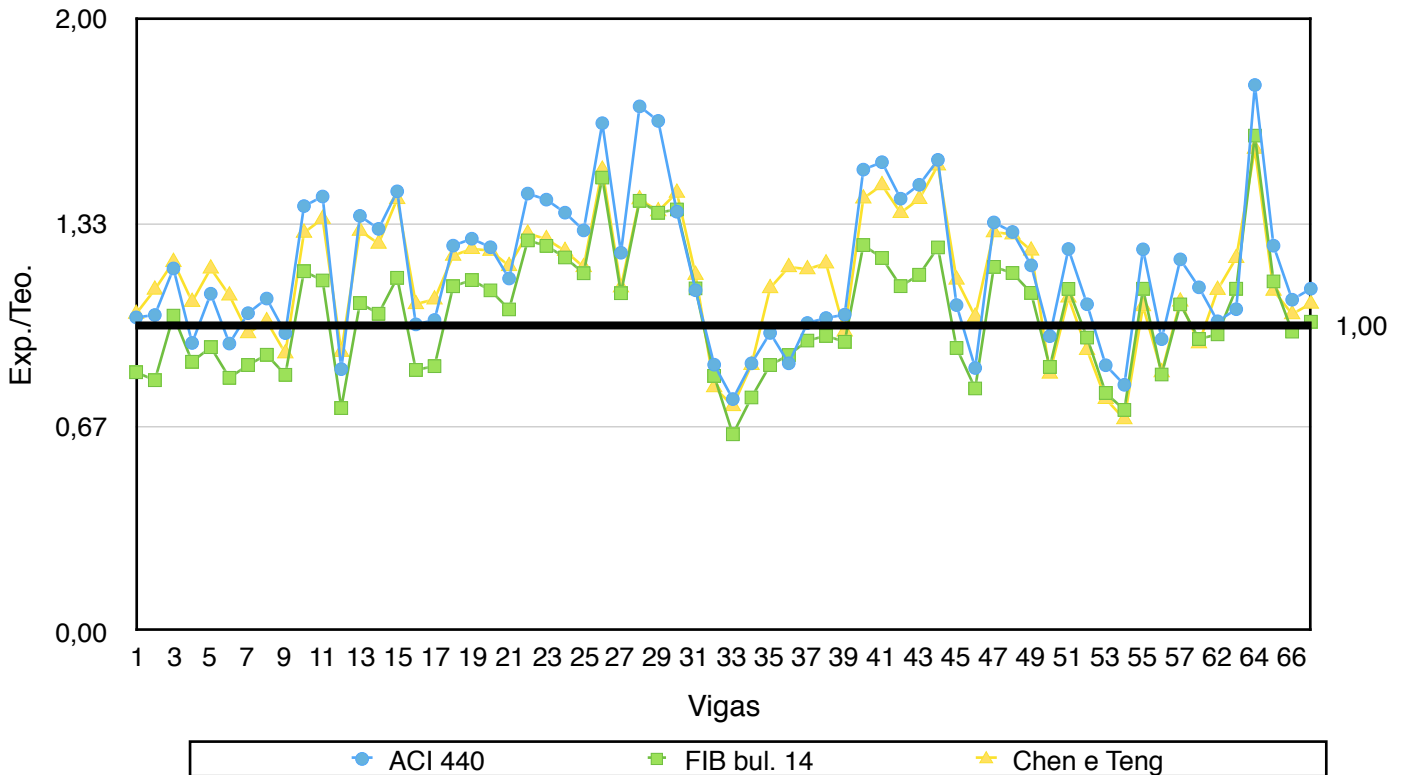


Gráfico 4.2 - Demonstrativo das razões Exp./Teo. para reforço em “U” sem ancoragem com NBR6118

Algumas observações a serem feitas:

- Os resultados para os valores combinados com ACI 440, FIB bul. 14 e Chen e Teng foram de 1,18, 1,04 e 1,15, respectivamente. Carga ultima calculada pela FIB se aproxima mais com valores 4% abaixo dos valores colhidos em laboratório, em média. Em seguida, Chen e Teng com valores 15% abaixo e a ACI com os valores mais conservadores 18% abaixo.
- É valido lembrar que nas comparações anteriores com vigas sem reforço, a NBR apresentou uma aproximação de 1,21. Notando que este fator diminui, é possível afirmar que os valores calculados pelos métodos utilizados para reforço externo com CFRP se aproximam e até ultrapassam os valores experimentais do reforço isoladamente. Caso se dividissem os fatores por 1,21 as relações para o reforço isolado seriam 0,97 (ACI 440), 0,86 (FIB) e 0,95 (Chen & Teng).
- Por motivos de coerência, as vigas que romperam por flexão não puderam ser comparadas com cálculos de esforço cortante. Portanto, fatores como os das últimas vigas do estudo de Jayaprakash *et al.* não foram especificados na tabela 4.2.

4.2.2 - Calculo base com ACI 318

Na tabela abaixo, são relatados as cargas de ruptura das vigas de laboratório reforçadas com reforço envolvendo as três faces da alma (“U”) assim como as cargas de ruptura calculadas através da ACI 318 somadas as da ACI 440, FIB bul. 14 e dos pesquisadores Chen & Teng.

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ACI 318					
		ACI 440		FIB bul.14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
		Salles Neto (2000)					
1	275,6	231,50	1,19	288,71	0,95	228,35	1,21
2	320,5	273,00	1,17	353,91	0,91	249,80	1,28
3	403	208,95	1,93	368,67	1,09	311,60	1,29
4	402,8	296,90	1,36	435,56	0,92	352,01	1,14
5	420,6	250,45	1,68	431,27	0,98	332,54	1,26
6	395,3	289,80	1,36	455,61	0,87	338,05	1,17
		Altin et. al (2010)					
7	165,1	146,70	1,13	177,76	0,93	157,36	1,05
8	163,98	138,96	1,18	169,72	0,97	150,00	1,09
9	138,08	129,99	1,06	153,12	0,90	140,31	0,98
		Mofidi e Chaallal (2011)					
10	182,6	118,49	1,54	142,36	1,28	127,26	1,43
11	203,1	130,03	1,56	164,33	1,24	137,75	1,47
12	154,7	167,93	0,92	199,56	0,78	156,64	0,99
13	204,9	138,04	1,48	178,29	1,15	143,63	1,43
14	197,9	137,61	1,44	177,93	1,11	143,34	1,38
15	227,3	145,19	1,57	183,95	1,24	147,98	1,54
16	181,2	167,93	1,08	199,56	0,91	156,64	1,16
17	183,8	167,93	1,09	199,56	0,92	156,64	1,17
18	365,9	293,98	1,24	328,29	1,11	301,70	1,21
19	372,5	293,98	1,27	328,29	1,13	301,70	1,23
20	383,4	309,14	1,24	347,91	1,10	311,93	1,23
21	378,3	331,88	1,14	363,51	1,04	320,60	1,18
		Beber (2003)					
22	214,97	135,86	1,58	153,92	1,40	151,00	1,42
23	211,98	135,86	1,56	153,92	1,38	151,00	1,40
24	205,57	135,86	1,51	153,92	1,34	151,00	1,36
25	196,85	135,86	1,45	153,92	1,28	151,00	1,30
26	249,6	135,86	1,84	153,92	1,62	151,00	1,65
27	185,86	135,86	1,37	153,92	1,21	151,00	1,23
28	236,83	123,58	1,92	153,93	1,54	153,30	1,54
29	230,26	123,58	1,86	153,93	1,50	153,30	1,50
30	276,74	187,47	1,48	186,36	1,48	178,65	1,55
31	224,85	187,47	1,20	186,36	1,21	178,65	1,26
		Galvez (2003)					
32	175	164,86	1,06	173,70	1,01	183,42	0,95

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ACI 318					
		ACI 440		FIB bul.14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Dias & Barros (2005)							
33	122,06	130,51	0,94	159,48	0,77	135,50	0,90
34	179,54	176,96	1,01	207,05	0,87	178,14	1,01
35	111,14	97,27	1,14	111,07	1,00	82,30	1,35
36	143	148,76	0,96	143,90	0,99	105,43	1,36
Khalifa & Nanni (2000)							
37	310	278,37	1,11	297,06	1,04	232,45	1,33
38	315	278,37	1,13	297,06	1,06	232,45	1,36
Gallardo (2002)							
39	276,1	228,83	1,21	253,89	1,09	243,81	1,13
Mofidi e Chaallal (2014)							
40	182,6	111,64	1,64	135,34	1,35	119,70	1,53
41	203,1	123,09	1,65	157,17	1,29	129,92	1,56
42	197,9	130,62	1,52	166,23	1,19	135,36	1,46
43	204,9	131,05	1,56	166,57	1,23	135,65	1,51
44	227,3	138,15	1,65	171,90	1,32	139,89	1,62
45	181,2	160,74	1,13	186,59	0,97	148,34	1,22
46	183,8	204,56	0,90	222,66	0,83	169,51	1,08
47	372,5	285,82	1,30	319,90	1,16	292,64	1,27
48	383,4	300,88	1,27	334,63	1,15	302,62	1,27
49	378,3	323,47	1,17	349,32	1,08	311,06	1,22
Jayaprakash et. al (2008)							
50	134,73	125,59	1,07	141,94	0,95	145,94	0,92
51	174,64	125,59	1,39	141,94	1,23	145,94	1,20
52	134,73	111,90	1,20	126,28	1,07	132,40	1,02
53	121,42	122,52	0,99	138,86	0,87	142,86	0,85
54	101,46	108,83	0,93	123,20	0,82	129,33	0,78
55	134,73	100,75	1,34	113,19	1,19	119,66	1,13
56	121,42	120,10	1,01	137,69	0,88	136,39	0,89
57	154,68	120,10	1,29	137,69	1,12	136,39	1,13
58	108,19	87,15	1,24	104,23	1,04	105,91	1,02
59	81,51	118,18	-	135,77	-	134,47	-
60	88,16	118,18	-	135,77	-	134,47	-
61	68,21	98,83	-	111,27	-	117,73	-
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)							
62	122,8	109,90	1,12	115,26	1,07	98,66	1,24
63	171,6	151,13	1,14	141,34	1,21	128,65	1,33
Leung et al. (2007)							
64	130	76,29	1,70	83,74	1,55	85,92	1,51
65	91,7	76,29	1,20	83,74	1,10	85,92	1,07
66	309,2	293,51	1,05	324,05	0,95	306,54	1,01
67	319,5	293,51	1,09	324,05	0,99	306,54	1,04
		media	1,31	media	1,11	media	1,24
		desvio padrão	0,26	desvio padrão	0,20	desvio padrão	0,21
		cov (%)	20,08	cov (%)	17,95	cov (%)	16,59

Tabela 4.3 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço em “U” sem ancoragem

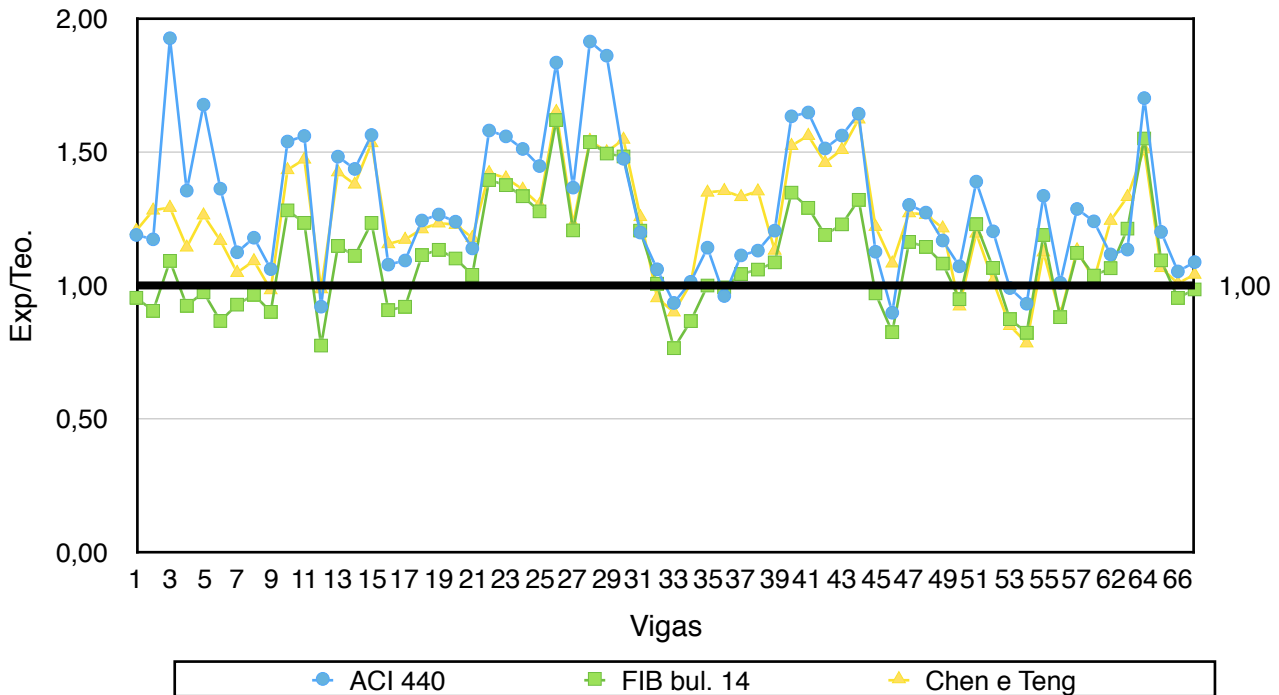


Gráfico 4.3 - Demonstrativo das razões Exp./Teo. para reforço em “U” sem ancoragem (ACI 318)

Algumas observações a serem feitas:

- Para a comparação com um método todo do ACI (ACI 318 + ACI 440), os valores calculados seriam 31% menores do que os experimentais. O coeficiente de variação é o maior dentre os métodos com valor de 20,08%.
- O conjunto com o FIB aproximaria os valores calculados em 11% menores. O coeficiente de variação de 17,95% um pouco menor que o anterior.
- Para o método proposto por Chen e Teng, os valores variam menos com coeficiente de variação igual a 16,59%. A média das razões de comparação foi de 1,24.
- A razão entre as vigas de referência calculadas pela ACI 318 exp./ teóricas ficou em 1,38. Sabendo disso, as razões diminuíram bastante confirmando o aumento na previsão de cargas para os reforços isolados.

4.2.3 - Cálculo base com Zsutty

O modelo de cálculo proposto pelo pesquisador Zsutty foi o que mais se aproximou dos valores coletados em laboratório nas vigas sem reforço e ainda com menos variação. O valor de 1,08 para a razão experimental/teórica e com coeficiente de variação de 15% confirma que o método será válido para a verificação da previsão das formulações para reforço de CFRP. A tabela abaixo mostra as comparações.

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ZSUTTY					
		ACI 440		FIB bul.14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Salles Neto (2000)							
1	275,6	285,15	0,97	342,36	0,81	282,00	0,98
2	320,5	326,64	0,98	407,55	0,79	303,44	1,06
3	403	370,81	1,09	421,75	0,96	364,69	1,11
4	402,8	458,76	0,88	488,65	0,82	405,10	0,99
5	420,6	412,31	1,02	484,35	0,87	385,62	1,09
6	395,3	451,66	0,88	508,69	0,78	391,13	1,01
Altin et. al (2010)							
7	165,1	166,52	0,99	197,57	0,84	177,18	0,93
8	163,98	158,80	1,03	189,55	0,87	169,84	0,97
9	138,08	149,83	0,92	172,97	0,80	160,16	0,86
Mofidi e Chaallal (2011)							
10	182,6	165,01	1,11	188,88	0,97	173,78	1,05
11	203,1	176,55	1,15	210,85	0,96	184,27	1,10
12	154,7	214,44	0,72	246,08	0,63	203,16	0,76
13	204,9	184,56	1,11	224,81	0,91	190,15	1,08
14	197,9	184,13	1,07	224,45	0,88	189,86	1,04
15	227,3	191,71	1,19	230,47	0,99	194,50	1,17
16	181,2	214,44	0,84	246,08	0,74	203,16	0,89
17	183,8	214,44	0,86	246,08	0,75	203,16	0,90
18	365,9	340,50	1,07	374,81	0,98	348,22	1,05
19	372,5	340,50	1,09	374,81	0,99	348,22	1,07
20	383,4	355,66	1,08	394,43	0,97	358,45	1,07
21	378,3	378,40	1,00	410,03	0,92	367,12	1,03
Beber (2003)							
22	214,97	176,40	1,22	194,46	1,11	191,54	1,12
23	211,98	176,40	1,20	194,46	1,09	191,54	1,11
24	205,57	176,40	1,17	194,46	1,06	191,54	1,07
25	196,85	176,40	1,12	194,46	1,01	191,54	1,03
26	249,6	176,40	1,41	194,46	1,28	191,54	1,30
27	185,86	176,40	1,05	194,46	0,96	191,54	0,97
28	236,83	164,12	1,44	194,47	1,22	193,85	1,22
29	230,26	164,12	1,40	194,47	1,18	193,85	1,19
30	276,74	228,01	1,21	226,90	1,22	219,19	1,26
31	224,85	228,01	0,99	226,90	0,99	219,19	1,03
Galvez (2003)							
32	175	200,52	0,87	209,36	0,84	219,08	0,80

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ZSUTTY					
		ACI 440		FIB bul.14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
		Dias & Barros (2005)					
33	122,06	141,07	0,87	170,03	0,72	146,06	0,84
34	179,54	197,71	0,91	227,80	0,79	198,89	0,90
35	111,14	111,02	1,00	124,83	0,89	96,05	1,16
36	143	168,17	0,85	163,31	0,88	124,84	1,15
		Khalifa & Nanni (2000)					
37	310	323,04	0,96	341,73	0,91	277,13	1,12
38	315	323,04	0,98	341,73	0,92	277,13	1,14
		Gallardo (2002)					
39	276,1	260,77	1,06	285,84	0,97	275,75	1,00
		Mofidi e Chaallal (2014)					
40	182,6	156,36	1,17	180,07	1,01	164,42	1,11
41	203,1	167,82	1,21	201,90	1,01	174,64	1,16
42	197,9	175,35	1,13	210,96	0,94	180,09	1,10
43	204,9	175,78	1,17	211,30	0,97	180,37	1,14
44	227,3	182,88	1,24	216,63	1,05	184,62	1,23
45	181,2	205,47	0,88	231,32	0,78	193,06	0,94
46	183,8	249,29	0,74	267,39	0,69	214,23	0,86
47	372,5	330,55	1,13	364,63	1,02	337,37	1,10
48	383,4	345,61	1,11	379,36	1,01	347,35	1,10
49	378,3	368,20	1,03	394,05	0,96	355,79	1,06
		Jayaprakash et. al (2008)					
50	134,73	152,26	0,88	168,60	0,80	172,61	0,78
51	174,64	152,26	1,15	168,60	1,04	172,61	1,01
52	134,73	138,57	0,97	152,94	0,88	159,07	0,85
53	121,42	138,78	0,87	155,13	0,78	159,13	0,76
54	101,46	125,09	0,81	139,47	0,73	145,59	0,70
55	134,73	117,46	1,15	129,90	1,04	136,36	0,99
56	121,42	136,81	0,89	154,40	0,79	153,10	0,79
57	154,68	136,81	1,13	154,40	1,00	153,10	1,01
58	108,19	96,00	1,13	113,09	0,96	114,76	0,94
59	81,51	127,03	-	144,62	-	143,32	-
60	88,16	127,03	-	144,62	-	143,32	-
61	68,21	107,68	-	120,12	-	126,59	-
		Adhikary e Mitsuyoshi (2004)					
62	122,8	135,44	0,91	140,80	0,87	124,21	0,99
63	171,6	176,77	0,97	166,98	1,03	154,29	1,11
		Leung et al. (2007)					
64	130	92,19	1,41	99,65	1,30	101,82	1,28
65	91,7	92,19	0,99	99,65	0,92	101,82	0,90
66	309,2	349,82	0,88	380,36	0,81	362,85	0,85
67	319,5	349,82	0,91	380,36	0,84	362,85	0,88
		media	1,04	media	0,93	media	1,02
		desvio padrão	0,16	desvio padrão	0,14	desvio padrão	0,14
		cov (%)	15,26	cov (%)	15,08	cov (%)	13,36

Tabela 4.4 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço em “U” sem ancoragem

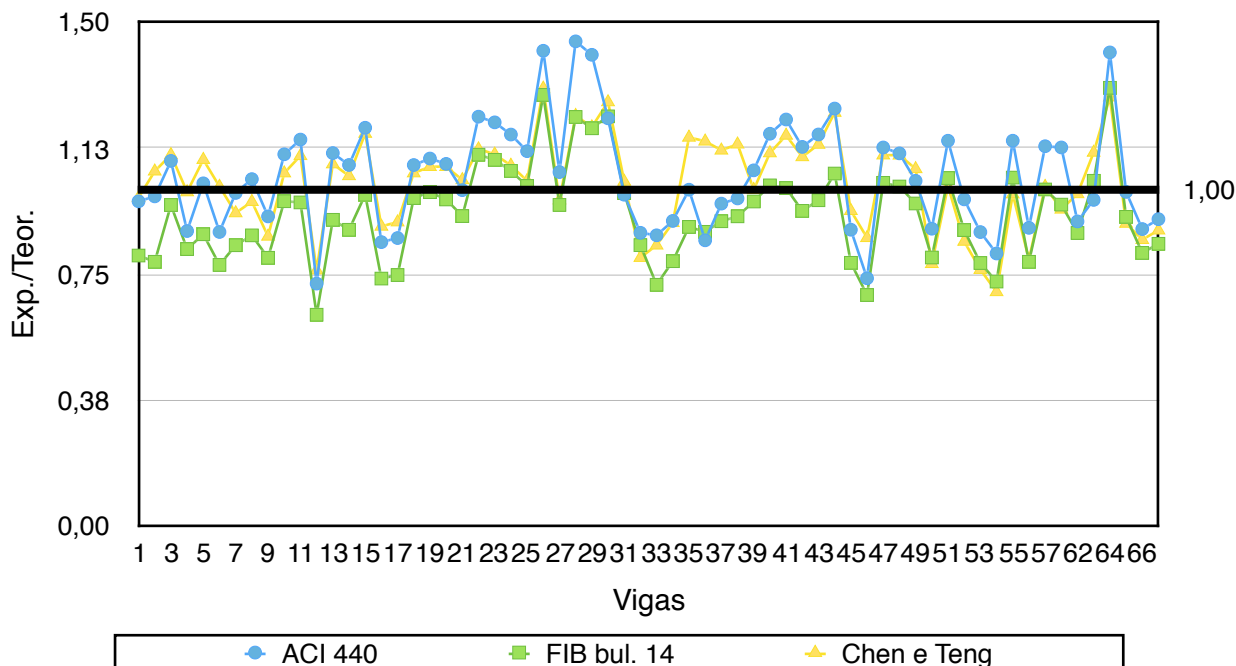


Gráfico 4.4 - Demonstrativo das razões Exp./Teor. para reforço em “U” sem ancoragem (Zsutty)

- Os valores se aproximaram bem mais entre si confirmando o método de Zsutty como acertivo e menos variável. Destaque para o conjunto com Chen & Teng criando valores apenas 2% menores em média e com coeficiente de variação de 13,36%.
- A utilização de Zsutty/ Fib apresenta uma previsão muito arrojada com valores que ultrapassam em média 7% aproximadamente. O coeficiente de variação foi de 15,08%.
- O conjunto Zsutty/ ACI também prevê bem a carga de ruptura das vigas com valores 4% menores em média. Este é o modelo mais conservador e com coeficiente de variação maior de 15,26%.

4.3 - Vigas com reforço em “U” com ancoragem

Alguns dos estudos utilizaram técnicas específicas para garantir a ancoragem dos tecidos de fibra de carbono, principalmente na ligação alma/mesa no caso de vigas com seções T. A ancoragem é efetiva quando evita o descolamento do reforço da superfície da viga e garante um alcance maior de tensões nas fibras. Agora, é verificado como os métodos de calculo preveem as cargas de ruptura das vigas reforçadas dessa maneira.

4.3.1 - Cálculo base com NBR 6118

Mais uma vez foi utilizada a norma brasileira combinada com os parâmetros de cálculo de ACI 440, FIB bulletin 14 e Chen & Teng. Os resultados de comparação são mostrados na tabela abaixo além de todas as etapas de aplicação dos métodos que são apresentadas nas tabelas nos apêndices.

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	NBR 6118					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Silva Filho (2001)							
1	420	494,19	0,85	519,01	0,81	410,58	1,02
2	491	353,40	1,39	411,53	1,19	350,68	1,40
3	510	457,62	1,11	481,60	1,06	392,87	1,30
Araújo (2002)							
4	295	266,68	1,11	311,73	0,95	269,44	1,09
5	315	266,68	1,18	311,73	1,01	269,44	1,17
6	300	318,02	0,94	365,70	0,82	302,31	0,99
Altin et. al (2010)							
7	175,36	157,68	1,11	188,74	0,93	168,54	1,04
8	172,62	151,32	1,14	181,98	0,95	162,31	1,06
9	171,26	142,22	1,20	165,28	1,04	152,51	1,12
10	172,72	127,57	1,35	158,62	1,09	138,33	1,25
11	170,42	120,85	1,41	151,41	1,13	131,80	1,29
12	170	110,53	1,54	133,81	1,27	120,91	1,41
Gallardo (2002)							
13	323	315,89	1,02	338,46	0,95	308,37	1,05
14	298,46	314,74	0,95	337,61	0,88	307,50	0,97
Spagnolo et al. (2013)							
15	552,79	402,65	1,37	448,22	1,23	422,72	1,31
16	586,65	464,59	1,26	518,42	1,13	451,48	1,30
17	590,13	507,11	1,16	555,38	1,06	473,29	1,25
18	433,34	324,83	1,33	370,40	1,17	344,55	1,26
19	466,57	388,70	1,20	442,53	1,05	375,59	1,24
20	416,3	431,22	0,97	479,49	0,87	397,40	1,05
		media	1,18	media	1,03	media	1,18
		desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,13	desvio padrão	0,14
		cov (%)	15,42	cov (%)	13,01	cov (%)	11,65

Tabela 4.5 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com NBR para vigas com reforço em “U” com ancoragem

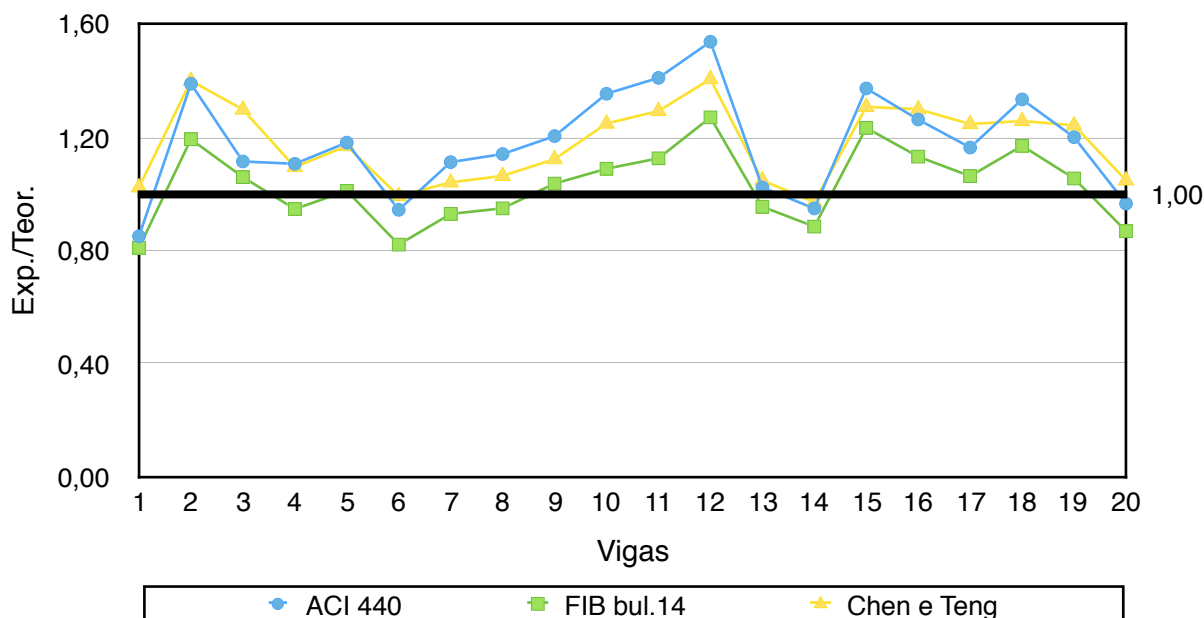


Gráfico 4.5 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” com ancoragem (NBR6118)

- A junção dos estudos experimentais em um só grupo de reforços com ancoragem é complicado devido aos tipos diferentes de técnicas adotadas. No entanto, foi possível realizar as comparações de maneira satisfatória.
- Os métodos da ACI 440 e de Chen e Teng tiveram previsões semelhantes das cargas de ruptura. A média das razões de comparação ficou em 1,18 com coeficiente de variação menor para Chen e Teng de 11,65% em relação a 15,42% para o ACI.
- Pelo gráfico, é possível perceber que as razões Exp./Teor. ficaram quase todas acima de 1,00. Os valores do método de FIB se aproximaram mais dos valores experimentais com uma diferença de apenas 3% em média.
- Quando comparadas com os valores dos reforços sem ancoragem mostrados anteriormente, os fatores de comparação não aumentaram, ou seja, os métodos preveem capacidades com aproximações reais semelhantes. Apenas nos estudos de Silva Filho e Altin *et al.* é possível perceber um aumento nas cargas experimentais mostrando efetividade da técnica de ancoragem.

4.3.2 - Calculo base com ACI 318

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ACI 318					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Silva Filho (2001)							
1	420	466,83	0,90	491,65	0,85	383,22	1,10
2	491	324,17	1,51	382,30	1,28	321,45	1,53
3	510	428,39	1,19	452,37	1,13	363,64	1,40
Araújo (2002)							
4	295	267,20	1,10	312,26	0,94	269,96	1,09
5	315	267,20	1,18	312,26	1,01	269,96	1,17
6	300	318,54	0,94	366,22	0,82	302,83	0,99
Altin et. al (2010)							
7	175,36	145,75	1,20	176,81	0,99	156,61	1,12
8	172,62	139,19	1,24	169,84	1,02	150,18	1,15
9	171,26	130,19	1,32	153,25	1,12	140,48	1,22
10	172,72	112,01	1,54	143,07	1,21	122,78	1,41
11	170,42	105,19	1,62	135,76	1,26	116,14	1,47
12	170	95,38	1,78	118,66	1,43	105,76	1,61
Gallardo (2002)							
13	323	279,47	1,16	302,04	1,07	271,95	1,19
14	298,46	278,66	1,07	301,53	0,99	271,42	1,10
Spagnolo et al. (2013)							
15	552,79	371,96	1,49	417,53	1,32	392,04	1,41
16	586,65	433,91	1,35	487,73	1,20	420,79	1,39
17	590,13	475,72	1,24	523,99	1,13	441,90	1,34
18	433,34	286,69	1,51	332,26	1,30	306,41	1,41
19	466,57	349,58	1,33	403,41	1,16	336,47	1,39
20	416,3	391,40	1,06	439,67	0,95	357,58	1,16
		media	1,29	media	1,11	media	1,28
		desvio padrão	0,23	desvio padrão	0,16	desvio padrão	0,17
		cov (%)	17,99	cov (%)	14,82	cov (%)	13,43

Tabela 4.6 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço em “U” com ancoragem

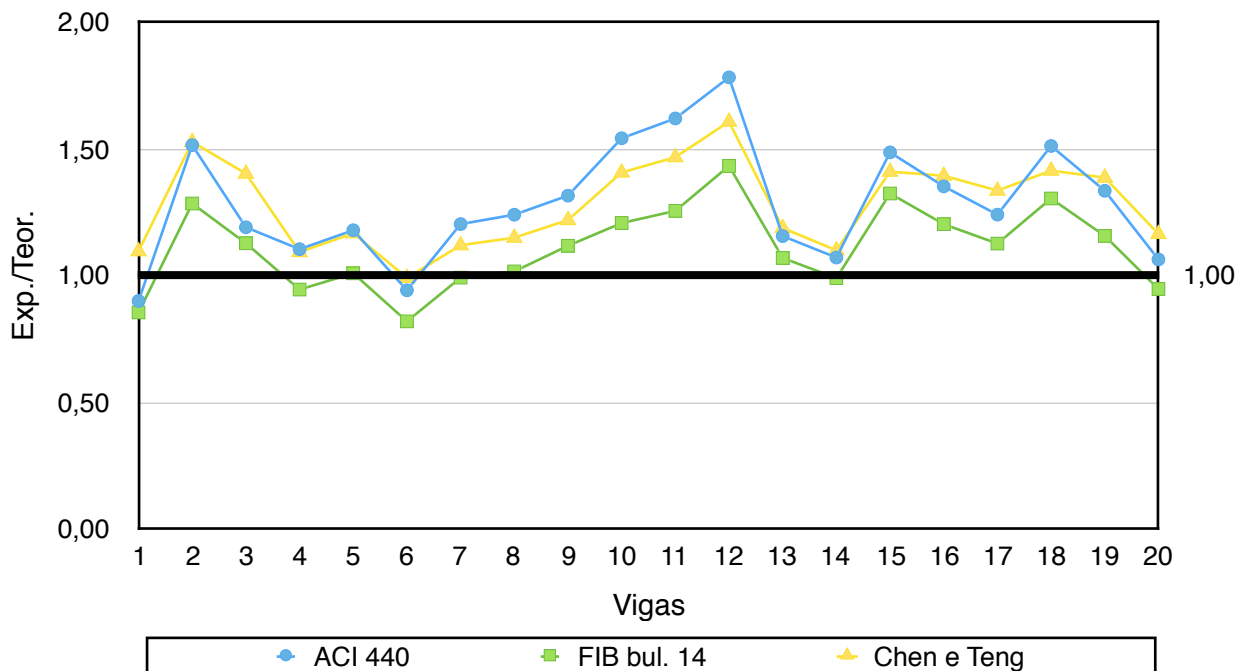


Gráfico 4.6 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” com ancoragem (ACI 318)

- Os resultados para o cálculo com a norma ACI 318 se distanciam dos resultados experimentais algo que pode ser notado claramente pelo gráfico ao perceber os pontos mais distantes da linha de referência de 1,00. As médias das razões de comparação foram de 1,29 (ACI 440), 1,11 (FIB) e 1,28 (Chen & Teng).
- Como só se alterou o método para a parte da viga sem reforço, os métodos da ACI 440 e Chen e Teng continuaram a apresentar médias semelhantes enquanto o FIB apresentou média menor. Os coeficientes de variação foram de 17,99% , 14,82% e 13,43%.

4.3.3 - Calculo base com Zsutty

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ZSUTTY					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Silva Filho (2001)							
1	420	520,39	0,81	545,21	0,77	436,78	0,96
2	491	377,89	1,30	436,02	1,13	375,17	1,31
3	510	482,11	1,06	506,09	1,01	417,36	1,22
Araújo (2002)							
4	295	316,11	0,93	361,17	0,82	318,87	0,93
5	315	316,11	1,00	361,17	0,87	318,87	0,99
6	300	367,46	0,82	415,14	0,72	351,75	0,85
Altin et. al (2010)							
7	175,36	165,59	1,06	196,66	0,89	176,46	0,99
8	172,62	159,02	1,09	189,67	0,91	170,01	1,02
9	171,26	150,02	1,14	173,09	0,99	160,32	1,07
10	172,72	131,84	1,31	162,90	1,06	142,61	1,21
11	170,42	125,02	1,36	155,58	1,10	135,97	1,25
12	170	115,24	1,48	138,52	1,23	125,62	1,35
Gallardo (2002)							
13	323	311,56	1,04	334,13	0,97	304,04	1,06
14	298,46	310,77	0,96	333,63	0,89	303,53	0,98
Spagnolo et al. (2013)							
15	552,79	425,28	1,30	470,86	1,17	445,36	1,24
16	586,65	487,23	1,20	541,05	1,08	474,11	1,24
17	590,13	529,07	1,12	577,35	1,02	495,25	1,19
18	433,34	339,97	1,27	385,54	1,12	359,69	1,20
19	466,57	402,91	1,16	456,73	1,02	389,79	1,20
20	416,3	444,75	0,94	493,02	0,84	410,93	1,01
		media	1,12	media	0,98	media	1,11
		desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,14	desvio padrão	0,14
		cov (%)	16,36	cov (%)	14,09	cov (%)	12,82

Tabela 4.7 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço em “U” com ancoragem

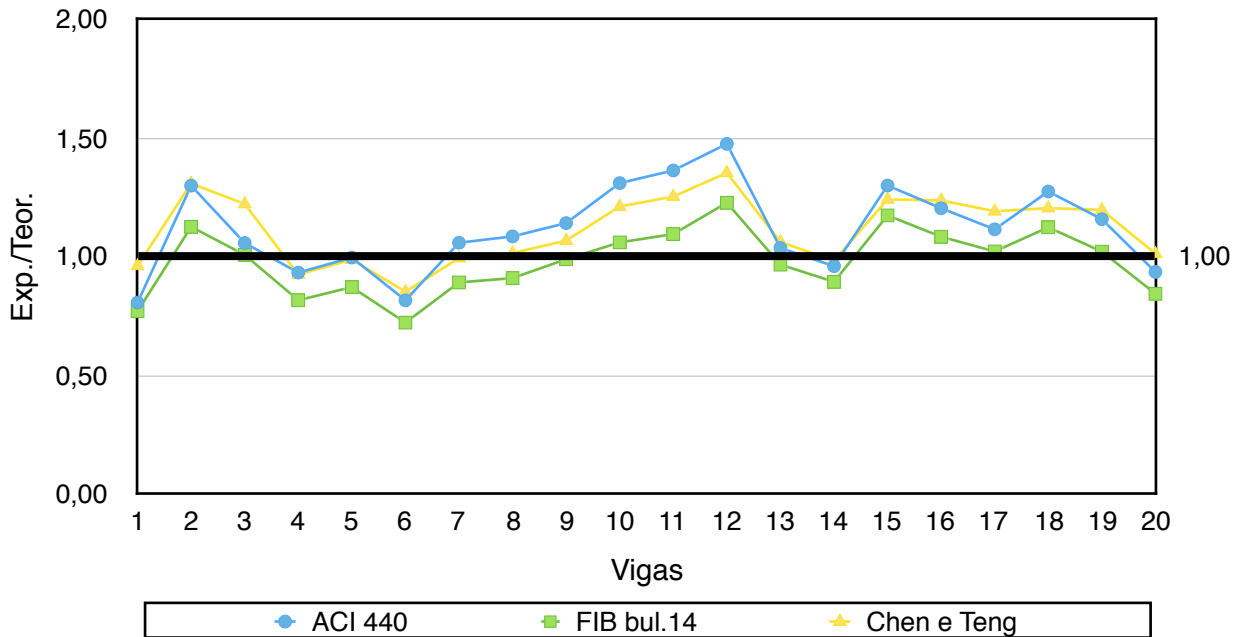


Gráfico 4.7 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço em “U” com ancoragem (Zsutty)

- A variação entre fatores de previsão diminuiu como pode se verificar no gráfico e também pelos valores dos coeficientes de variação. As previsões pela FIB ultrapassaram em média 2% os valores experimentais com pontos bem perto da linha de 1,00 e abaixo da linha.
- Os cálculos por Chen e Teng apresentaram coeficiente de variação menor mais uma vez com valor de 12,82%.
- Com a previsão 12% menor do que o observado experimentalmente, a ACI 440 apresentou fatores de comparação maiores nos ensaios realizados por Spagnolo e Altin *et al.* com faixas de CFRP de uma camada e vigas de seção T. Tais fatores são investigados neste trabalho.

4.4 - Vigas com reforço somente nas laterais

4.4.1 - Calculo base com NBR 6118

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	NBR 6118					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Beber (2003)							
1	196,24	138,10	1,42	168,44	1,17	157,67	1,24
2	208,58	138,10	1,51	168,44	1,24	157,67	1,32
3	230,38	138,10	1,67	168,44	1,37	157,67	1,46
4	203,3	138,11	1,47	168,45	1,21	162,28	1,25
5	183,3	138,11	1,33	168,45	1,09	162,28	1,13
6	244,01	177,43	1,38	200,88	1,21	182,07	1,34
7	251,5	177,43	1,42	200,88	1,25	182,07	1,38
8	256,78	210,01	1,22	222,76	1,15	225,77	1,14
9	241,12	210,01	1,15	222,76	1,08	225,77	1,07
10	285,82	293,81	0,97	317,91	0,90	194,58	1,47
11	225,02	293,81	0,77	317,91	0,71	194,58	1,16
12	271,4	293,84	0,92	364,87	0,74	227,04	1,20
13	251,19	293,84	0,85	364,87	0,69	227,04	1,11
Galvez (2003)							
14	134	136,65	-	178,89	-	157,06	-
15	145	152,96	-	200,05	-	192,15	-
16	241	225,79	-	269,38	-	237,08	-
Täljsten (2003)							
17	612,1	546,95	1,12	535,34	1,14	564,76	1,08
18	493,3	453,97	1,09	446,59	1,10	513,09	0,96
19	514,4	558,36	0,92	546,75	0,94	580,48	0,89
20	521,2	446,43	1,17	493,03	1,06	445,30	1,17
21	308,1	446,43	0,69	-	-	-	-
22	668,6	686,21	0,97	657,75	1,02	636,69	1,05
Gallardo (2002)							
23	212,48	264,96	0,80	289,69	0,73	272,51	0,78
24	257,16	265,87	0,97	290,74	0,88	273,45	0,94
Pellegrino & Modena (2002)							
25	240	185,09	1,30	198,91	1,21	174,44	1,38
26	225,6	294,11	0,77	269,03	0,84	197,83	1,14
27	280,4	294,11	0,95	269,03	1,04	197,83	1,42
28	386	395,78	0,98	378,91	1,02	329,04	1,17
29	426,6	445,34	0,96	410,32	1,04	336,50	1,27
30	495	445,34	1,11	410,32	1,21	336,50	1,47
31	322,8	326,24	0,99	336,64	0,96	310,55	1,04
32	417,6	395,78	1,06	378,91	1,10	329,04	1,27
33	424	395,78	1,07	378,91	1,12	329,04	1,29
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)							
34	88,4	84,22	1,05	103,94	0,85	77,03	1,15
35	107,8	119,40	0,90	145,74	0,74	94,72	1,14
36	106	77,11	1,37	120,97	0,88	90,15	1,18
37	120,4	113,39	1,06	140,12	0,86	90,34	1,33
38	133,2	171,04	0,78	179,15	0,74	125,84	1,06
		media	1,09	media	1,01	media	1,19
		desvio padrão	0,24	desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,17
		cov (%)	22,05	cov (%)	18,27	cov (%)	14,09

Tabela 4.8 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com NBR para vigas com reforço somente nas laterais

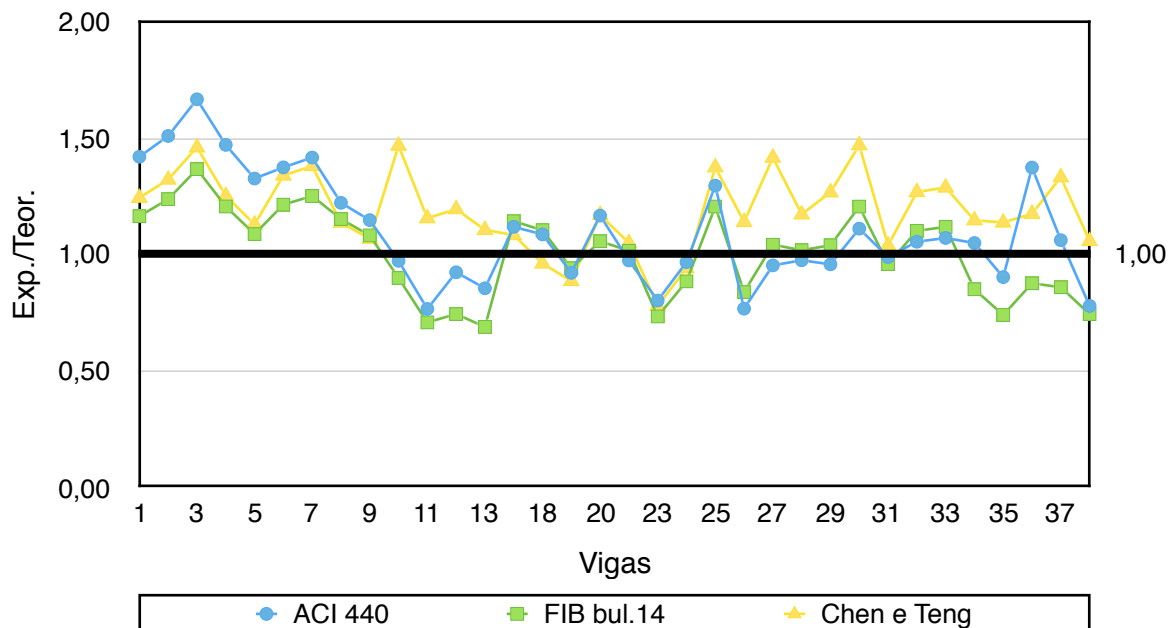


Gráfico 4.8 - Demonstrativo das razões Exp./Teor. para reforço somente nas laterais (NBR 6118)

- Para este tipo de aplicação de reforço somente nas laterais das vigas, os fatores de comparação para a ACI 440 diminuíram, prevendo cargas 9% abaixo do experimental. A norma possui fatores que levam em conta este parâmetro.
- FIB e Chen e Teng não variaram tanto as médias, tendo a primeira abaixado para 1,01 com coeficiente de variação igual a 18,27% e a segunda mantendo o valor de 1,19 com coeficiente menor de 14,09%.
- O método de Chen e Teng também possui um calculo para a ligação máxima entre reforço e viga que diferencia uma aplicação em “U” de uma aplicação somente dos lados. Para a ACI 440 esse parâmetro seria um coeficiente k_2 que através dos resultados se mostrou mais arrojado do que os parâmetros do Chen e Teng.
- A norma FIB não possui parcela que leve em conta diretamente o tipo de aplicação somente dos lados da viga. A deformação efetiva calculada segue o mesmo estudo de descolamento do reforço aplicado em “U”.
- Os resultados cortados dos estudos de GALVEZ e TALJSTEN apresentaram rompimento a flexão e não foram comparados com as cargas calculadas a cisalhamento.
- Dentro do estudo de BEBER, houve uma variação nos resultados devido à utilização de diferentes tipos e fabricantes dos compósitos com fibra de carbono. As últimas 4 vigas receberam o reforço de laminados CFK 200/2000 e as outras de mantas Replark 20.

4.4.2 - Calculo base com ACI 318

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ACI 318					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Beber (2003)							
1	196,24	123,58	1,59	153,92	1,27	143,15	1,37
2	208,58	123,58	1,69	153,92	1,36	143,15	1,46
3	230,38	123,58	1,86	153,92	1,50	143,15	1,61
4	203,3	123,58	1,65	153,93	1,32	147,75	1,38
5	183,3	123,58	1,48	153,93	1,19	147,75	1,24
6	244,01	162,91	1,50	186,36	1,31	167,54	1,46
7	251,5	162,91	1,54	186,36	1,35	167,54	1,50
8	256,78	195,49	1,31	208,23	1,23	211,25	1,22
9	241,12	195,49	1,23	208,23	1,16	211,25	1,14
10	285,82	279,29	1,02	303,39	0,94	180,06	1,59
11	225,02	279,29	0,81	303,39	0,74	180,06	1,25
12	271,4	279,32	0,97	350,35	0,77	212,52	1,28
13	251,19	279,32	0,90	350,35	0,72	212,52	1,18
Galvez (2003)							
14	134	128,78	-	171,01	-	149,19	-
15	145	143,21	-	190,30	-	182,40	-
16	241	193,58	-	237,17	-	204,87	-
Täljsten (2003)							
17	612,1	473,62	1,29	462,01	1,32	491,44	1,25
18	493,3	380,64	1,30	373,26	1,32	439,76	1,12
19	514,4	479,15	1,07	467,54	1,10	501,27	1,03
20	521,2	386,11	1,35	432,71	1,20	384,98	1,35
21	308,1	386,11	0,80	-	-	-	-
22	668,6	607,00	1,10	578,54	1,16	557,48	1,20
Gallardo (2002)							
23	212,48	227,70	0,93	252,43	0,84	235,25	0,90
24	257,16	228,16	1,13	253,03	1,02	235,74	1,09
Pellegrino & Modena (2002)							
25	240	173,31	1,38	187,14	1,28	162,66	1,48
26	225,6	282,34	0,80	257,26	0,88	186,06	1,21
27	280,4	282,34	0,99	257,26	1,09	186,06	1,51
28	386	400,55	0,96	383,68	1,01	333,81	1,16
29	426,6	450,11	0,95	415,09	1,03	341,28	1,25
30	495	450,11	1,10	415,09	1,19	341,28	1,45
31	322,8	331,01	0,98	341,41	0,95	315,32	1,02
32	417,6	400,55	1,04	383,68	1,09	333,81	1,25
33	424	400,55	1,06	383,68	1,11	333,81	1,27
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)							
34	88,4	72,11	1,23	91,82	0,96	64,92	1,36
35	107,8	108,47	0,99	134,80	0,80	83,79	1,29
36	106	67,43	1,57	111,29	0,95	80,47	1,32
37	120,4	104,02	1,16	130,75	0,92	80,97	1,49
38	133,2	159,98	0,83	168,09	0,79	114,79	1,16
		media	1,19	media	1,08	media	1,29
		desvio padrão	0,28	desvio padrão	0,21	desvio padrão	0,17
		cov (%)	23,89	cov (%)	19,06	cov (%)	12,93

Tabela 4.9 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, Fib e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço somente nas laterais

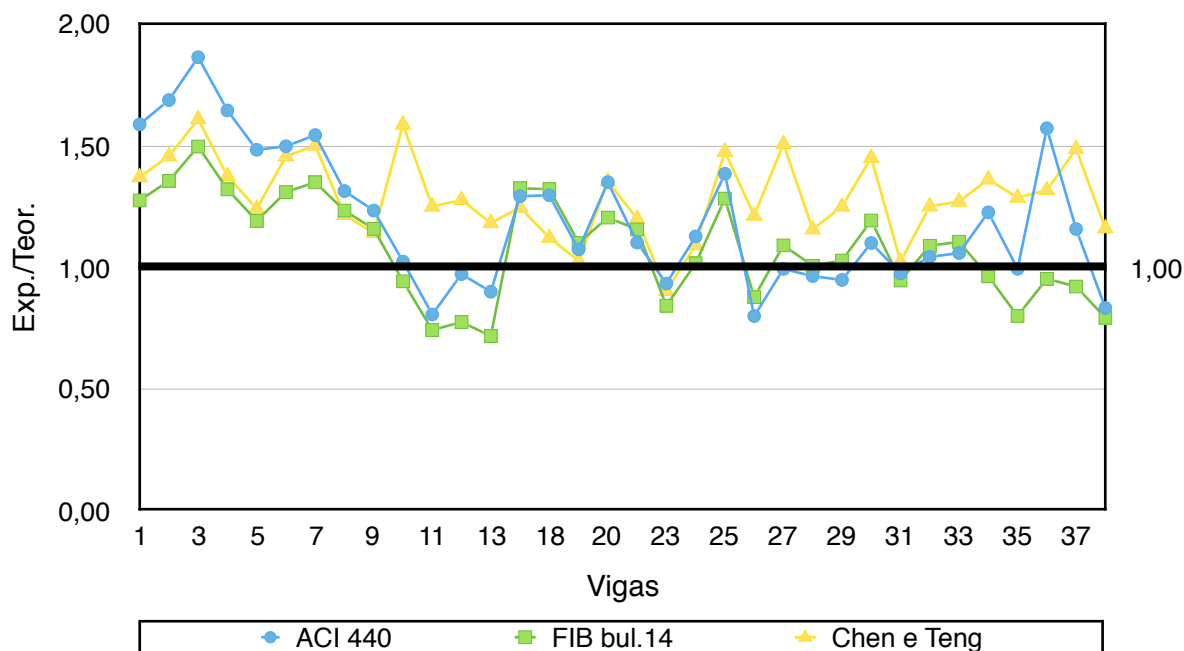


Gráfico 4.9 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço somente nas laterais (ACI 318)

- Os cálculos utilizando a ACI 318 aumentaram as razões de comparação, ou seja minoraram os valores para as cargas de ruptura teóricas em relação às experimentais. As médias foram de valores 19% abaixo para a soma com ACI440, 8% abaixo com FIB e 29% com CHEN e TENG.
- Através do gráfico é possível observar valores variando muito entre si. O modelo de CHEN e TENG obteve um tendência mais clara de previsão, porém se afastou demais da linha de tendência de 1,00. O modelo da FIB foi o mais próximo com coeficiente de variação mais alto de 19,06%. Os valores que mais variam são claramente os resultados da ACI 440 com coeficiente de variação muito alto de 23,89%.
- Nesta serie, os resultados de CHEN e TENG apresentaram tendências diferentes dos dois outros métodos. Por exemplo, ao mudar o material no estudo de BEBER, o modelo não alterou seus fatores de previsão tão drasticamente como nos outros modelos.
- O modelo de CHEN e TENG apresentou mais variação aplicado às vigas no estudo de PELLEGRINO & MODENA com mudança no número de camadas. Pode-se indicar que o método não acompanha tão bem os valores experimentais quando há 2 ou mais camadas. Tal suspeita é investigada mais a frente.

4.4.3 - Calculo base com Zsutty

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ZSUTTY					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Beber (2003)							
1	196,24	164,12	1,20	194,46	1,01	183,69	1,07
2	208,58	164,12	1,27	194,46	1,07	183,69	1,14
3	230,38	164,12	1,40	194,46	1,18	183,69	1,25
4	203,3	164,12	1,24	194,47	1,05	188,29	1,08
5	183,3	164,12	1,12	194,47	0,94	188,29	0,97
6	244,01	203,45	1,20	226,90	1,08	208,09	1,17
7	251,5	203,45	1,24	226,90	1,11	208,09	1,21
8	256,78	236,03	1,09	248,77	1,03	251,79	1,02
9	241,12	236,03	1,02	248,77	0,97	251,79	0,96
10	285,82	319,83	0,89	343,93	0,83	220,60	1,30
11	225,02	319,83	0,70	343,93	0,65	220,60	1,02
12	271,4	319,86	0,85	390,89	0,69	253,06	1,07
13	251,19	319,86	0,79	390,89	0,64	253,06	0,99
Galvez (2003)							
14	134	140,89	-	183,12	-	161,30	-
15	145	155,12	-	202,21	-	194,31	-
16	241	228,98	-	272,57	-	240,27	-
Täljsten (2003)							
17	612,1	562,24	1,09	550,63	1,11	580,06	1,06
18	493,3	469,27	1,05	461,88	1,07	528,38	0,93
19	514,4	568,19	0,91	556,58	0,92	590,31	0,87
20	521,2	473,55	1,10	520,16	1,00	472,42	1,10
21	308,1	473,55	0,65	-	-	-	-
22	668,6	696,04	0,96	667,58	1,00	646,52	1,03
Gallardo (2002)							
23	212,48	259,73	0,82	284,45	0,75	267,27	0,79
24	257,16	260,16	0,99	285,02	0,90	267,73	0,96
Pellegrino & Modena (2002)							
25	240	207,04	1,16	220,86	1,09	162,66	1,48
26	225,6	316,06	0,71	290,98	0,78	186,06	1,21
27	280,4	316,06	0,89	290,98	0,96	186,06	1,51
28	386	446,55	0,86	429,68	0,90	379,81	1,02
29	426,6	496,11	0,86	461,09	0,93	387,28	1,10
30	495	496,11	1,00	461,09	1,07	387,28	1,28
31	322,8	377,01	0,86	387,41	0,83	361,33	0,89
32	417,6	446,55	0,94	429,68	0,97	379,81	1,10
33	424	446,55	0,95	429,68	0,99	379,81	1,12
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)							
34	88,4	97,75	0,90	117,46	0,75	90,56	0,98
35	107,8	133,92	0,80	160,26	0,67	109,24	0,99
36	106	92,67	1,14	136,53	0,78	105,71	1,00
37	120,4	129,20	0,93	155,93	0,77	106,15	1,13
38	133,2	185,45	0,72	193,56	0,69	140,26	0,95
		media	0,98	media	0,92	media	1,08
		desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,15	desvio padrão	0,15
		cov (%)	18,58	cov (%)	16,71	cov (%)	14,33

Tabela 4.10 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço somente nas laterais

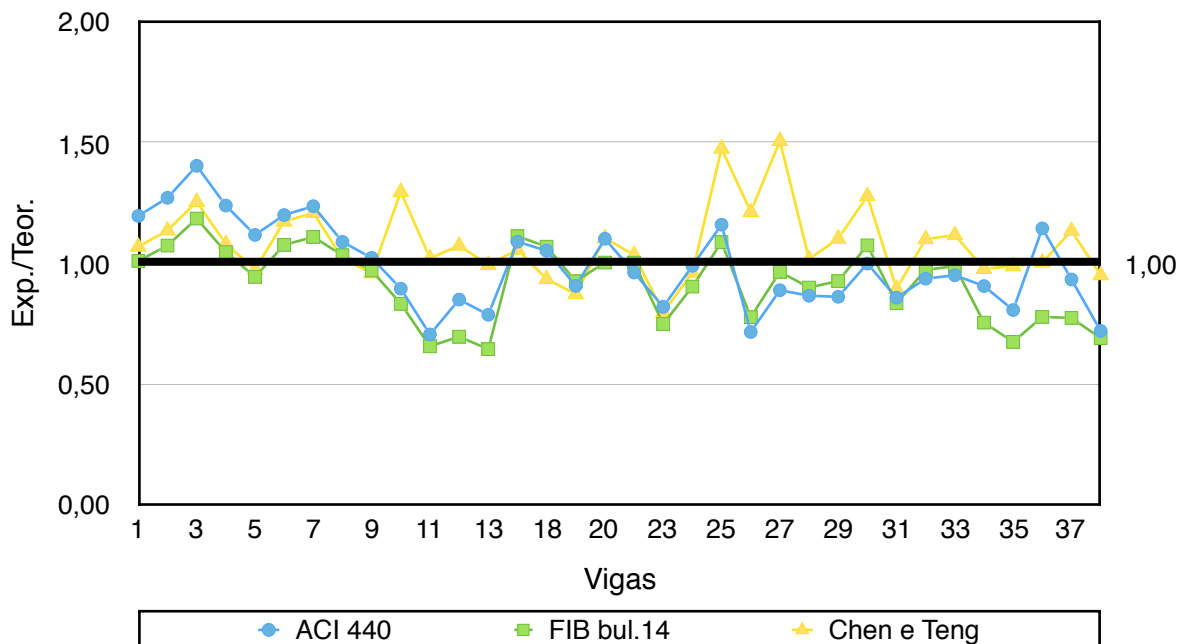


Gráfico 4.10 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço somente nas laterais (Zsutty)

- As razões de comparação se aproximaram bastante de 1,00 para esta série de cálculos combinados com as previsões de Zsutty. Em média, os valores para capacidade da viga ao cisalhamento somando parcelas de Zsutty e da ACI440 estão apenas 2% abaixo dos valores em laboratório. Porém, o coeficiente de variação se encontra em 18,58% neste trabalho.
- Para o conjunto Zsutty mais FIB, a maioria dos valores estão acima dos experimentais com média de razão experimental/teórico igual a 0,92, a menor encontrada em todas as comparações deste projeto.
- Com o modelo de CHEN e TENG, a mesma média de 1,08 encontrada nas comparações das vigas sem reforço com método de Zsutty se manteve. Isto indica que a contribuição de resistência ao cisalhamento do reforço de CFRP somente nas laterais calculado por CHEN e TENG isoladamente se encontra também no patamar de 8% menor que o observado experimentalmente. É possível observar que tais cálculos tiveram variação menor entre si dentre os obtidos nos outros métodos.

4.5 - Vigas com reforço de envolvimento completo

4.5.1 - Calculo base com NBR 6118

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	NBR 6118					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Silva Filho (2001)							
1	589	384,01	-	432,81	-	588,43	-
2	570	566,05	-	678,29	-	1005,32	-
3	579	479,99	-	559,36	-	828,71	-
4	573	453,16	-	522,18	-	756,59	-
Araújo (2002)							
5	650	387,33	1,68	435,32	1,49	588,51	1,10
6	788	565,83	1,39	676,22	1,17	998,19	0,79
7	612	389,65	1,57	437,69	1,40	600,47	1,02
Beber (2003)							
8	232,71	150,38	1,55	168,44	1,38	221,65	1,05
9	254,57	150,38	1,69	168,44	1,51	221,65	1,15
10	280,24	150,38	1,86	168,44	1,66	221,65	1,26
11	367,92	201,99	1,82	238,12	1,55	344,53	1,07
12	404,82	201,99	2,00	238,12	1,70	344,53	1,17
Galvez (2003)							
13	232	209,24	1,11	218,09	1,06	228,93	1,01
Leung et al. (2007)							
14	132,2	77,15	1,71	84,63	1,56	102,92	1,28
15	133,3	77,15	1,73	84,63	1,58	102,92	1,30
16	472,7	303,90	1,56	333,33	1,42	416,99	1,13
17	500,6	303,90	1,65	333,33	1,50	416,99	1,20
		media	1,64	media	1,46	media	1,12
		desvio padrão	0,22	desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,14
		cov (%)	13,60	cov (%)	12,37	cov (%)	12,31

Tabela 4.11 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com NBR para vigas com reforço com envolvimento completo

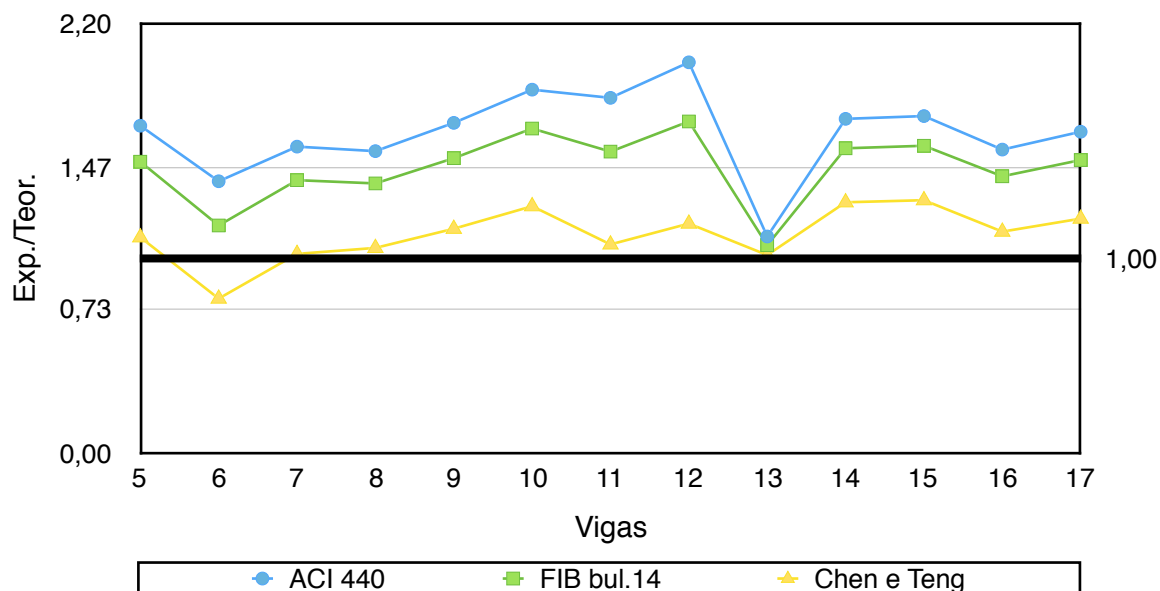


Gráfico 4.11 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço com envolvimento completo (NBR6118)

- O reforço envolvendo toda a superfície da viga, ou da alma com furos na mesa no caso de seção T, apresenta os melhores resultados para o objetivo de elevar a carga resistida por um viga quando o rompimento é definido por esforço cortante. A resistência ao cisalhamento de viga reforçada dessa maneira pode dobrar de valor ou até mesmo triplicar caso não possua armadura transversal.
- Os métodos da ACI 440 e FIB bul.14 formularam resultados com valores bem menores dos valores experimentais. Quando combinados com a NBR 6118, apresentaram razões de comparação iguais a 1,64 e 1,46, respectivamente. Essas médias foram as maiores observadas para os métodos citados.
- No caso do modelo de CHEN e TENG, a previsão de capacidade das vigas se aproximou bem mais do experimental. A média de comparação foi de 1,12 com coeficiente de variação igual a 12,31%. Isto mostra que o método considera uma parcela bem maior do reforço V_f do que os outros modelos considerados.

4.5.2 - Calculo base com ACI 318

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ACI 318					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Silva Filho (2001)							
1	589	359,04	-	407,84	-	563,45	-
2	570	540,70	-	652,94	-	979,96	-
3	579	450,76	-	530,13	-	799,48	-
4	573	422,57	-	491,58	-	725,99	-
Araújo (2002)							
5	650	366,72	1,77	414,71	1,57	567,90	1,14
6	788	545,10	1,45	655,48	1,20	977,45	0,81
7	612	367,94	1,66	415,97	1,47	578,75	1,06
Beber (2003)							
8	232,71	135,86	1,71	153,92	1,51	207,12	1,12
9	254,57	135,86	1,87	153,92	1,65	207,12	1,23
10	280,24	135,86	2,06	153,92	1,82	207,12	1,35
11	367,92	187,47	1,96	223,60	1,65	330,00	1,11
12	404,82	187,47	2,16	223,60	1,81	330,00	1,23
Galvez (2003)							
13	232	168,41	1,38	177,25	1,31	188,10	1,23
Leung <i>et al.</i> (2007)							
14	132,2	80,60	1,64	88,08	1,50	106,37	1,24
15	133,3	80,60	1,65	88,08	1,51	106,37	1,25
16	472,7	311,70	1,52	341,13	1,39	424,79	1,11
17	500,6	311,70	1,61	341,13	1,47	424,79	1,18
		media	1,73	media	1,53	media	1,16
		desvio padrão	0,23	desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,13
		cov (%)	13,54	cov (%)	11,64	cov (%)	11,39

Tabela 4.12 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com ACI 318 para vigas com reforço com envolvimento completo

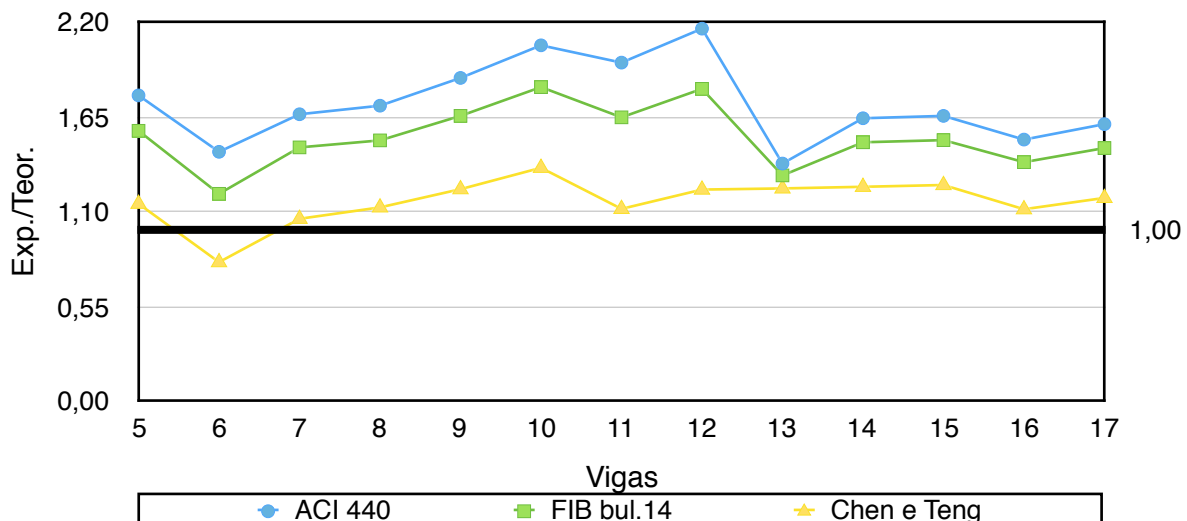


Gráfico 4.12 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço com envolvimento completo (ACI 318)

- Os cálculos utilizando ACI 318 se mostraram muito conservadores, principalmente quando somados às parcelas do ACI 440. A maior razão de comparação de todos os parâmetros foi de 1,73, ou seja, valores 73% menores que os experimentais.
- ACI 318/ CHEN e TENG apresentou média de 1,16 com coeficiente igual a 11,39% e ACI 318/ FIB apresentou média de 1,53 com coeficiente igual a 11,64%.
- Os cálculos para o estudo de SILVA FILHO não foram comparados pelo fato da viga ter rompido a flexão, comprovando a eficácia do reforço ao cisalhamento

4.5.3 - Calculo base com Zsutty

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	ZSUTTY					
		ACI 440		FIB bul. 14		Chen e Teng	
		Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.	Teór.	Exp/Teór.
Silva Filho (2001)							
1	589	412,37	1,43	461,17	1,28	616,79	-
2	570	594,07	0,96	706,32	0,81	1033,34	-
3	579	504,48	1,15	583,85	0,99	853,20	-
4	573	476,39	1,20	545,41	1,05	779,82	-
Araújo (2002)							
5	650	437,55	1,49	485,54	1,34	638,73	1,02
6	788	615,96	1,28	726,34	1,08	1048,32	0,75
7	612	439,03	1,39	487,06	1,26	649,85	0,94
Beber (2003)							
8	232,71	176,40	1,32	194,46	1,20	247,67	0,94
9	254,57	176,40	1,44	194,46	1,31	247,67	1,03
10	280,24	176,40	1,59	194,46	1,44	247,67	1,13
11	367,92	228,01	1,61	264,14	1,39	370,55	0,99
12	404,82	228,01	1,78	264,14	1,53	370,55	1,09
Galvez (2003)							
13	232	204,29	1,14	213,13	1,09	223,97	1,04
Leung et al. (2007)							
14	132,2	96,51	1,37	103,99	1,27	122,27	1,08
15	133,3	96,51	1,38	103,99	1,28	122,27	1,09
16	472,7	368,01	1,28	397,44	1,19	481,10	0,98
17	500,6	368,01	1,36	397,44	1,26	481,10	1,04
		media	1,36	media	1,22	media	1,01
		desvio padrão	0,20	desvio padrão	0,18	desvio padrão	0,10
		cov (%)	14,36	cov (%)	14,46	cov (%)	9,59

Tabela 4.13 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas com reforço com envolvimento completo

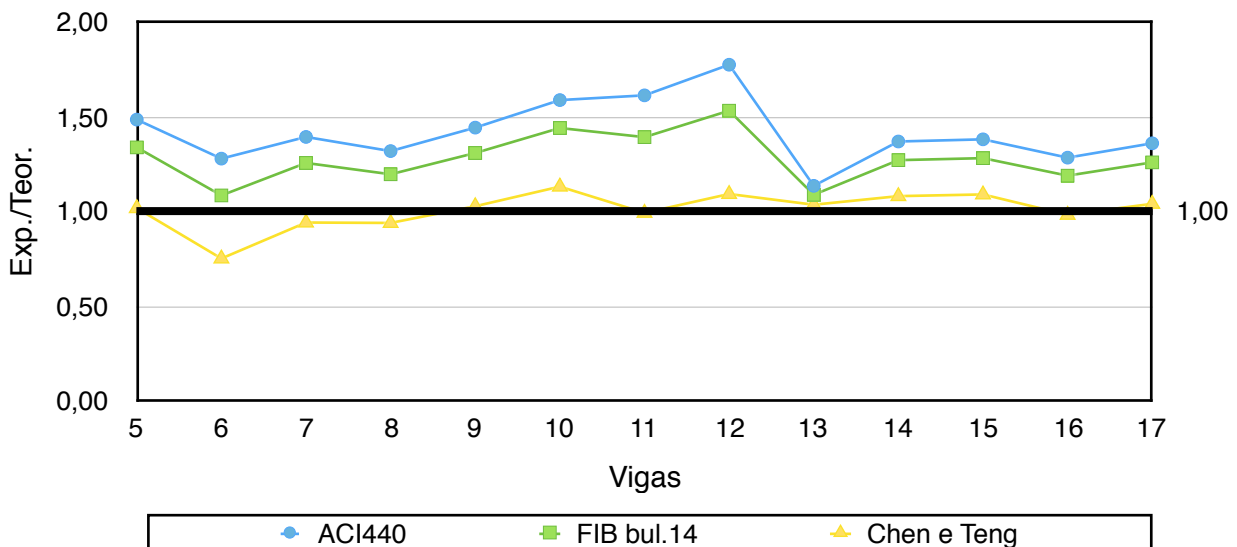


Gráfico 4.13 - Demonstrativo dos fatores Exp./Teor. para reforço com envolvimento completo (Zsutty)

- O modelo Zsutty+ CHEN e TENG apresentou valores bem próximos aos experimentais e com variação baixa. Em média, os resultados estão 1% abaixo e com coeficiente de variação igual a 9,59%. É possível verificar no gráfico a linha amarela bem próxima da linha de tendência igual a 1,00.
- A amostragem com esse tipo de reforço foi baixa, porém atendeu à finalidade de verificar como os métodos calculam as resistências e o quão próximo esses valores se aproximam dos valores experimentais tidos como valores reais.
- Claro que não é possível chegar num fator de aproximação exato dos métodos que calculam a atuação dos reforços. O mecanismo de resistência ao cisalhamento é complexo, e analisar qual seria a resistência do reforço que se adiciona à resistência do resto da viga de maneira precisa é uma tarefa difícil. No entanto, com a abordagem deste trabalho, é possível verificar como os métodos para viga com e sem reforços, quando somados, prevêm as cargas dependendo de vários parâmetros variáveis das montagens das vigas. No momento de aplicá-los na prática, será possível analisar quais propriedades verificar nas vigas e o quão conservador ou arrojado está sendo o método utilizado.

4.6 - Outras variáveis investigadas

Durante a comparação dos resultados e na montagem das tabelas apresentadas nas seções anteriores, houve a desconfiança da influência de alguns parâmetros das vigas testadas sobre os cálculos dos reforços de CFRP, além do tipo de aplicação de reforço que já foi estudado. Para verificação se há efeitos ou não sobre os métodos, os valores calculados foram divididos em grupos com variações nos parâmetros: comprimento da viga, presença de armadura transversal, número de camadas de reforço, seção transversal, continuidade das fibras ao longo do vão e inclinação da direção das fibras.

Para realizar a investigação, a parte da capacidade da viga ao cisalhamento relativa ao concreto e aço será estimada pelo método de ZSUTTY. Esta foi a proposta que, durante os estudos comparativos, apresentou resultados mais próximos dos experimentais e com menos variabilidade.

Os resultados são apresentados nas seções abaixo.

4.6.1 - Seção Retangular ou “T”

A primeira propriedade a ser variada é a seção transversal das vigas. Dentre os experimentos coletados, haviam dois tipos de geometria para as seções. A seção retangular com medidas $b_w \times h$ é mais simples de ser construída enquanto a seção T possui alma e mesa com fôrmas e armações diferentes. Para a mudança da seção, espera-se que os métodos de cálculo para a viga sem reforço também variem, portanto também foram incluídas na tabela abaixo.

		Seção T	Seção R	Seção T		Seção R	
		média	média	desvio padrão	CoV (%)	desvio padrão	CoV (%)
Vigas Referência	NBR 6118	1,30	1,14	0,19	14,52	0,24	20,55
	ACI 318	1,45	1,33	0,22	15,41	0,25	18,91
	ZSUTTY	1,13	1,04	0,17	14,86	0,16	15,20
ZSUTTY + Vc+ Vs	ACI 440	1,07	1,08	0,17	15,93	0,23	21,29
	FIB bul. 14	0,94	0,99	0,14	15,02	0,20	19,91
	Chen e Teng	1,051	1,047	0,13	12,44	0,15	14,61

Tabela 4.13 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para vigas de seção T ou R

Observando a tabela, as mudanças para os cálculos das vigas referência são bem mais acentuadas do que para os cálculos do reforço. O que acontece é que, no caso de seção retangular,

as normas e métodos produzem valores que se aproximam mais dos valores experimentais. Tal afirmação é coerente sabendo que, para seção “T”, uma parcela da capacidade da mesa de resistência ao esforço cortante não é levada em conta nos cálculos.

Para parte de baixo da tabela, para os modelos do reforço, como a soma é feita com o ZSUTTY, as médias de comparação caem para a seção T e aumentam em duas delas para seção R. Isso nos permite dizer que as cargas previstas dos reforços são maiores para a seção T. Para os cálculos da FIB, não se considera a altura do reforço e sim a altura útil da viga, algo que pode explicar o grande aumento para as resistências dos reforços em vigas T. Nos dois outros métodos, há a consideração da altura do reforço, porém este não trabalha tão bem na viga T quanto na viga retangular.

4.6.2 - Presença de armadura transversal

Os estudos experimentais buscavam analisar vigas deficientes ao cisalhamento e muitas vezes preferiram não armar a viga transversalmente, pelo menos no vão de cisalhamento, em busca desse resultado. Desse modo, investigou-se quais os efeitos da ausência de estribos nos métodos de dimensionamento.

		Sem estribo	Com estribo	Sem estribo		Com estribo	
		média	média	desvio padrão	CoV (%)	desvio padrão	CoV (%)
Vigas Referência	NBR 6118	1,16	1,25	0,22	19,24	0,23	18,53
	ACI 318	1,42	1,34	0,25	17,94	0,24	17,72
	ZSUTTY	1,04	1,12	0,16	15,81	0,16	14,51
ZSUTTY Vc+ Vs	ACI 440	1,08	1,07	0,17	16,38	0,22	20,68
	FIB bul. 14	0,96	0,98	0,15	15,78	0,19	19,75
	Chen e Teng	1,06	1,03	0,13	12,34	0,15	14,40

Tabela 4.14 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsuty para vigas com ou sem estribo

A variação maior está nos métodos para cálculo de $V_c + V_s$, como já era de se esperar pois afeta diretamente. Através da tabela é fácil concluir que a NBR e ZSUTTY calculam resistências mais afastadas do experimental para a contribuição do aço. A ACI 318, por sua vez, faz o contrário ao prever contribuição conservadora para o concreto e resistência maior para a armadura transversal.

Para os métodos ACI 440, FIB e CHEN e TENG, a diferença vinda da parte de cima da tabela é aliviada o que mostra previsões superiores quando há estribos. Na verdade, o raciocínio correto seria o de que as vigas do laboratório, quando possuindo estribos de aço, recebem um pouco menos de contribuição do reforço. Isso acontece pelo fato de que os estribos distribuem o que seria uma grande fissura individual para uma viga só de concreto em várias fissuras menores. Isto atrapalha na ligação efetiva do compósito com a superfície da viga. Os valores na tabela mostra que os cálculos não avaliam bem esse fenômeno.

4.6.3 - Comprimento da viga

	Vão > 2600	Vão < 2600	Vão > 2600		Vão < 2600	
	média	média	desvio padrão	CoV (%)	desvio padrão	CoV (%)
ACI 440	1,11	0,99	0,20	18,31	0,19	18,84
FIB bul. 14	0,98	0,93	0,17	17,81	0,18	18,90
Chen e Teng	1,047	1,054	0,13	12,82	0,17	15,88

Tabela 4.15 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para diferente comprimentos de vigas

Como as vigas coletadas nesse estudo possuem vários comprimentos, optou-se por verificar a influencia dos vãos nos cálculos. O modelo ZSUTTY/CHEN e TENG apresentou uma diferença menor entre as médias e com coeficientes de variação menores. Já os outros métodos apresentaram uma queda nas médias das razões de comparação para vão menores. Em outras palavras, o ZSUTTY/ FIB e ZSUTTY/ACI 440 apresentam valores maiores do que os experimentais para vigas de menor comprimento com variações na casas dos 18%.

4.6.4 - Número de camadas de reforço

	1 camada	2 ou mais	1 camada		2 ou mais	
	média	média	desvio padrão	CoV (%)	desvio padrão	CoV (%)
ACI 440	1,12	0,96	0,21	18,45	0,17	17,46
FIB bul. 14	1,00	0,90	0,18	18,20	0,15	16,78
Chen e Teng	1,048	1,051	0,14	13,49	0,16	15,48

Tabela 4.16 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para diferente número de camadas

Essa verificação é interessante pelo fato de que, ao dimensionar um reforço ao cisalhamento colado externamente, é possível o aumento do número de camadas de polímero com a intenção de aumentar a contribuição do reforço. No entanto, os valores dessa pesquisa mostram que a resistência da viga não acompanha essa tendência de aumento do número de camadas. A estimativa da ACI 440 e FIB bul. 14 ultrapassa bem os valores experimentais quando há a utilização de 2 ou mais camadas. Já para o método de CHEN e TENG, as médias se mantêm praticamente a mesma mostrando um cuidado do método na contabilização das camadas de reforço.

4.6.5 - Continuidade do reforço

Muitos dos estudos utilizaram mantas contínuas para teste em laboratório ao invés de faixas com espaçamentos. Vamos ver como os valores se apresentaram para esses casos.

	Faixas	Contínuo	Faixas		Contínuo	
	média	média	desvio padrão	CoV (%)	desvio padrão	CoV (%)
ACI 440	1,12	1,00	0,19	17,08	0,22	21,60
FIB bul. 14	0,99	0,94	0,17	17,17	0,19	20,15
Chen e Teng	1,046	1,060	0,14	13,233	0,15	14,52

Tabela 4.17 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para reforço contínuo ou em faixas

O modelo que mais variou de acordo com a continuidade ou não do reforço foi o da ACI 440 com valores mais aproximados dos reais para mantas contínuas. A FIB bul.14 e CHEN e TENG não variaram tanto suas razões de comparação, sendo, para a primeira, valores mais aproximados para reforço sem interrupção e, para a segunda, maior aproximação para reforço separado em faixas. Como já de costume, é possível observar menor coeficiente de variação para o modelo de CHEN e TENG.

4.6.6 - Inclinação das fibras

O última propriedade verificada foi a orientação das fibras de carbono ao serem aplicadas às vigas. Os ângulos utilizados foram de 90° e 45°, sendo o segundo mais difícil de ser perfeitamente obtido nas aplicações.

	$\alpha = 90$	$\alpha = 45$	$\alpha = 90$		$\alpha = 45$	
	média	média	desvio padrão	CoV (%)	desvio padrão	CoV (%)
ACI 440	1,08	1,07	0,21	19,23	0,19	18,20
FIB bul. 14	0,97	0,96	0,18	18,22	0,18	18,37
Chen e Teng	1,05	1,02	0,15	14,05	0,10	10,03

Tabela 4.18 - Tabela comparativa dos valores calculados pela ACI 440, FIB e Chen & Teng combinados com Zsutty para diferentes inclinações

Pôde-se verificar que as médias não variaram tanto quanto em outras investigações. O modelo de CHEN e TENG apresentou uma aproximação maior para fibras inclinadas a 45° porém uma mudança não muito expressiva. A conclusão é que os resultados dos métodos não são mais ou menos conservadores dependendo do ângulo de aplicação do reforço, o que representa algo positivo no processo de dimensionamento.

4.7- Modo de ruptura das vigas

Como já dito anteriormente, é muito importante para o dimensionamento estrutural a previsão do modo de ruptura de uma peça estrutural, principalmente em relação ao momento em que ela rompe a flexão ou a cisalhamento. Ao analisar uma viga danificada ou com urgência de recuperação, é necessário prever a carga de ruptura a flexão e tentar superá-la reforçando a viga ao cisalhamento elevando sua resistência.

No caso deste trabalho, foram eleitos os métodos de previsão mais adequados para cada tipo de reforço, previstas as cargas de ruptura a flexão de todas as vigas, comparadas com a carga de ruptura a cisalhamento previstas e verificadas se a previsão de modo de ruptura (se a flexão ou ao cisalhamento) correspondeu ao modo de ruptura observado em laboratório.

É importante também, caso haja a diferença entre o modo de ruptura experimental e o teórico, analisar diversos aspectos:

- O caso de a previsão ser de cisalhamento e ocorrer ruptura a flexão é melhor do que o caso contrário de acontecimento de ruptura ao cisalhamento;
- A diferença de cargas de ruptura entre cisalhamento e flexão pode ser tão pequena que se encaixe dentro do coeficiente de variação dos métodos;
- Analisar qual seria o método menos conservador através dos fatores de previsão.

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	Carga teórica por Zsutty (kN)	Carga teórica de resistência a flexão (kN)	Modo de ruptura teórico	Modo de ruptura experimental	Razão exp./teórico (fator de previsão)
Salles Neto (2000)						
1	251	184,97	566,75	Cisalhamento	Cisalhamento	1,36
2	368,4	270,63	562,49	Cisalhamento	Cisalhamento	1,36
Silva Filho (2001)						
3	360	272,93	582,17	Cisalhamento	Cisalhamento	1,32
Araújo (2002)						
4	260	240,99	634,91	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
5	372	301,04	945,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,24
Altin et. al (2010)						
6	99,02	123,81	163,19	Cisalhamento	Cisalhamento	0,80
Mofidi e Chaallal (2011)						
7	122,7	138,65	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	0,88
8	350,6	302,61	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,16
Beber (2003)						
9	114,7	124,79	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,92
10	112,98	124,79	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,91
Galvez (2003)						
11	95	120,03	121,70	-	Cisalhamento	0,79
12	240,1	171,56	311,69	Cisalhamento	Cisalhamento	1,40
Dias & Barros (2005)						
13	100,04	96,08	155,13	Cisalhamento	Cisalhamento	1,04
14	169,35	151,71	155,13	Cisalhamento	Cisalhamento	1,12
15	116,5	108,10	244,51	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
16	215,04	219,26	244,51	Cisalhamento	Cisalhamento	0,98
17	74,02	60,04	133,29	Cisalhamento	Cisalhamento	1,23
18	120,64	110,53	133,29	Cisalhamento	Cisalhamento	1,09
19	75,7	67,25	200,47	Cisalhamento	Cisalhamento	1,13
20	159,1	167,42	200,47	Cisalhamento	Cisalhamento	0,95
Täljsten (2003)						
21	248,1	306,56	711,32	Cisalhamento	Cisalhamento	0,81
Khalifa & Nanni (2000)						
22	180	162,93	368,27	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
Gallardo (2002)						
23	234,06	202,42	355,79	Cisalhamento	Cisalhamento	1,16
Pellegrino & Modena (2002)						
24	149,4	108,05	308,10	Cisalhamento	Cisalhamento	1,38
25	323	268,87	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,20
Spagnolo et al. (2013)						
26	407,22	359,12	566,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,13
27	302,5	276,72	567,46	Cisalhamento	Cisalhamento	1,09
Mofidi e Chaallal (2014)						
28	122,7	130,18	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	0,94
29	350,6	292,90	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,20
Jayaprakash et. al (2008)						
30	98,14	97,50	222,54	Cisalhamento	Cisalhamento	1,01
31	74,86	84,02	92,88	Cisalhamento	Cisalhamento	0,89
32	64,88	70,74	116,80	Cisalhamento	Cisalhamento	0,92
33	61,56	60,96	55,17	Flexão	Flexão	1,01
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)						
34	78,4	78,80	171,01	Cisalhamento	Cisalhamento	0,99
Leung et al. (2007)						
35	81,5	75,14	178,01	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
36	299,7	283,91	615,07	Cisalhamento	Cisalhamento	1,06
					media	1,08
					desvio padrão	0,17
					cov (%)	15,35

Tabela 4.19 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas sem reforço

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	Carga teórica por Zsutty / Chen e Teng (kN)	Carga teórica de resistência a flexão (kN)	Modo de ruptura teórico	Modo de ruptura experimental	Razão exp./teórico (fator de previsão)
Salles Neto (2000)						
1	275,6	282,00	566,75	Cisalhamento	Cisalhamento	0,98
2	320,5	303,44	566,75	Cisalhamento	Cisalhamento	1,06
3	403	364,69	562,49	Cisalhamento	Cisalhamento	1,11
4	402,8	405,10	562,49	Cisalhamento	Cisalhamento	0,99
5	420,6	385,62	562,49	Cisalhamento	Cisalhamento	1,09
6	395,3	391,13	562,49	Cisalhamento	Cisalhamento	1,01
Altin et. al (2010)						
7	165,1	177,18	163,32	Cisalhamento	Cisalhamento	0,93
8	163,98	169,84	163,13	Cisalhamento	Cisalhamento	0,97
9	138,08	160,16	163,07	Cisalhamento	Cisalhamento	0,86
Mofidi e Chaallal (2011)						
10	182,6	173,78	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,05
11	203,1	184,27	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
12	154,7	203,16	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	0,76
13	204,9	190,15	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
14	197,9	189,86	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,04
15	227,3	194,50	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,17
16	181,2	203,16	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	0,89
17	183,8	203,16	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	0,90
18	365,9	348,22	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,05
19	372,5	348,22	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,07
20	383,4	358,45	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,07
21	378,3	367,12	442,37	Cisalhamento	Cisalhamento	1,03
Beber (2003)						
22	214,97	191,54	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,12
23	211,98	191,54	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,11
24	205,57	191,54	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,07
25	196,85	191,54	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,03
26	249,6	191,54	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,30
27	185,86	191,54	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,97
28	236,83	193,85	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,22
29	230,26	193,85	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,19
30	276,74	219,19	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,26
31	224,85	219,19	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,03
Galvez (2003)						
32	175	219,08	316,33	Cisalhamento	Cisalhamento/ Descolamento	0,80
Dias & Barros (2005)						
33	122,06	146,06	155,13	Cisalhamento	Cisalhamento	0,84
34	179,54	198,89	244,51	Cisalhamento	Cisalhamento	0,90
35	111,14	96,05	133,29	Cisalhamento	Cisalhamento	1,16
36	143	124,84	200,47	Cisalhamento	Cisalhamento	1,15

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	Carga teórica por Zsutty / Chen e Teng (kN)	Carga teórica de resistência a flexão (kN)	Modo de ruptura teórico	Modo de ruptura experimental	Razão exp./teórico (fator de previsão)
Khalifa & Nanni (2000)						
37	310	277,13	368,27	Cisalhamento	Cisalhamento	1,12
38	315	277,13	368,27	Cisalhamento	Cisalhamento	1,14
Gallardo (2002)						
39	276,1	275,75	356,79	Cisalhamento	Cisalhamento	1,00
Mofidi e Chaallal (2014)						
40	182,6	164,42	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,11
41	203,1	174,64	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,16
42	197,9	180,09	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
43	204,9	180,37	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,14
44	227,3	184,62	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,23
45	181,2	193,06	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	0,94
46	183,8	214,23	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	0,86
47	372,5	337,37	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
48	383,4	347,35	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
49	378,3	355,79	435,90	Cisalhamento	Cisalhamento	1,06
Jayaprakash et. al (2008)						
50	134,73	172,61	222,54	Cisalhamento	Cisalhamento	0,78
51	174,64	172,61	222,54	Cisalhamento	Cisalhamento	1,01
52	134,73	159,07	222,54	Cisalhamento	Cisalhamento	0,85
53	121,42	159,13	92,88	Cisalhamento	Cisalhamento	0,76
54	101,46	145,59	92,88	Cisalhamento	Cisalhamento	0,70
55	134,73	136,36	116,80	Flexão	Cisalhamento	0,99
56	121,42	153,10	116,80	Flexão	Cisalhamento	0,79
57	154,68	153,10	116,80	Flexão	Cisalhamento	1,01
58	108,19	114,76	55,17	Flexão	Flexão	0,94
59	81,51	143,32	55,17	Flexão	Flexão	1,48
60	88,16	143,32	55,17	Flexão	Flexão	1,60
61	68,21	126,59	55,17	Flexão	Flexão	1,24
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)						
62	122,8	124,21	173,18	Cisalhamento	Cisalhamento	0,99
63	171,6	154,29	173,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,11
Leung et al. (2007)						
64	130	101,82	178,01	Cisalhamento	Cisalhamento	1,28
65	91,7	101,82	178,01	Cisalhamento	Cisalhamento	0,90
66	309,2	362,85	615,07	Cisalhamento	Cisalhamento	0,85
67	319,5	362,85	615,07	Cisalhamento	Cisalhamento	0,88
					media	1,04
					desvio padrão	0,16
					cov (%)	15,62

Tabela 4.20 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas em “U” sem ancoragem

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	Carga teórica por Zsutty/Fib bul.14 (kN)	Carga teórica de resistência a flexão (kN)	Modo de ruptura teórico	Modo de ruptura experimental	Razão exp./teórico (fator de previsão)
Silva Filho (2001)						
1	420	545,21	584,00	Cisalhamento	Cisalhamento	0,77
2	491	436,02	585,34	Cisalhamento	Cisalhamento	1,13
3	510	506,09	585,34	Cisalhamento	Cisalhamento	1,01
Araújo (2002)						
4	295	361,17	631,10	Cisalhamento	Cisalhamento	0,82
5	315	361,17	631,10	Cisalhamento	Cisalhamento	0,87
6	300	415,14	631,10	Cisalhamento	Cisalhamento	0,72
Altin et. al (2010)						
7	175,36	196,66	163,07	Flexão	Flexão	0,89
8	172,62	189,67	163,19	Flexão	Flexão	0,91
9	171,26	173,09	163,13	Flexão	Flexão	0,99
10	172,72	162,90	163,19	-	Flexão	1,06
11	170,42	155,58	163,26	Cisalhamento	Flexão	1,10
12	170	138,52	162,94	Cisalhamento	Flexão	1,23
Gallardo (2002)						
13	323	334,13	355,64	Cisalhamento	Cisalhamento	0,97
14	298,46	333,63	355,43	Cisalhamento	Cisalhamento	0,89
Spagnolo et al. (2013)						
15	552,79	470,86	568,71	Cisalhamento	Cisalhamento	1,17
16	586,65	541,05	568,71	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
17	590,13	577,35	569,08	-	Cisalhamento	1,02
18	433,34	385,54	568,17	Cisalhamento	Cisalhamento	1,12
19	466,57	456,73	568,71	Cisalhamento	Cisalhamento	1,02
20	416,3	493,02	569,08	Cisalhamento	Cisalhamento	0,84
					media	0,98
					desvio padrão	0,14
					cov (%)	14,09

Tabela 4.21 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas em “U” com ancoragem

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	Carga teórica para Zsutty / Chen e Teng (kN)	Carga teórica de resistência a flexão (kN)	Modo de ruptura teórico	Modo de ruptura experimental	Razão exp./teórico (fator de previsão)
Beber (2003)						
1	196,24	183,69	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,07
2	208,58	183,69	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,14
3	230,38	183,69	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,25
4	203,3	188,29	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
5	183,3	188,29	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,97
6	244,01	208,09	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,17
7	251,5	208,09	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,21
8	256,78	251,79	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,02
9	241,12	251,79	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,96
10	285,82	220,60	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,30
11	225,02	220,60	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,02
12	271,4	253,06	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,07
13	251,19	253,06	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,99
Galvez (2003)						
14	134	161,30	117,96	Flexão	Flexão	1,14
15	145	194,31	120,15	Flexão	Flexão	1,21
16	241	240,27	311,69	Flexão	Flexão	0,77
Täljsten (2003)						
17	612,1	580,06	711,32	Cisalhamento	Cisalhamento	1,06
18	493,3	528,38	711,32	Cisalhamento	Cisalhamento	0,93
19	514,4	590,31	718,95	Cisalhamento	Cisalhamento	0,87
20	521,2	472,42	691,17	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
21	308,1	-	691,17	Cisalhamento	Cisalhamento	-
22	668,6	646,52	718,95	Cisalhamento	Cisalhamento	1,03
Gallardo (2002)						
23	212,48	267,27	356,14	Cisalhamento	Cisalhamento	0,79
24	257,16	267,73	356,41	Cisalhamento	Cisalhamento	0,96
Pellegrino & Modena (2002)						
25	240	162,66	308,10	Cisalhamento	Cisalhamento	1,48
26	225,6	186,06	308,10	Cisalhamento	Cisalhamento	1,21
27	280,4	186,06	308,10	Cisalhamento	Cisalhamento	1,51
28	386	379,81	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,02
29	426,6	387,28	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
30	495	387,28	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,28
31	322,8	361,33	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	0,89
32	417,6	379,81	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,10
33	424	379,81	510,65	Cisalhamento	Cisalhamento	1,12
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)						
34	88,4	90,56	173,65	Cisalhamento	Cisalhamento	0,98
35	107,8	109,24	172,72	Cisalhamento	Cisalhamento	0,99
36	106	105,71	171,61	Cisalhamento	Cisalhamento	1,00
37	120,4	106,15	171,32	Cisalhamento	Cisalhamento	1,13
38	133,2	140,26	172,82	Cisalhamento	Cisalhamento	0,95
					media	1,08
					desvio padrão	0,16
					cov (%)	14,72

Tabela 4.22 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas somente nas laterais

Viga	Carga experimental de ruptura (kN)	Carga teórica por Zsutty / Chen e Teng (kN)	Carga teórica de resistência a flexão (kN)	Modo de ruptura teórico	Modo de ruptura experimental	Razão exp./teórico (fator de previsão)
Silva Filho (2001)						
1	589	616,79	582,17	Flexão	Flexão	1,01
2	570	1033,34	582,47	Flexão	Flexão	0,98
3	579	853,20	585,34	Flexão	Flexão	0,99
4	573	779,82	586,26	Flexão	Flexão	0,98
Araújo (2002)						
5	650	638,73	944,90	Cisalhamento	Cisalhamento/ Ruptura das fibras	1,02
6	788	1048,32	945,15	Flexão	Cisalhamento/ Ruptura das fibras	0,75
7	612	649,85	947,13	Cisalhamento	Cisalhamento/ Ruptura das fibras	0,94
Beber (2003)						
8	232,71	247,67	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,94
9	254,57	247,67	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,03
10	280,24	247,67	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,13
11	367,92	370,55	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	0,99
12	404,82	370,55	410,30	Cisalhamento	Cisalhamento	1,09
Galvez (2003)						
13	232	223,97	320,53	Cisalhamento	Cisalhamento/ Desprendimento	1,04
Leung <i>et al.</i> (2007)						
14	132,2	122,27	178,01	Cisalhamento	Cisalhamento	1,08
15	133,3	122,27	178,01	Cisalhamento	Cisalhamento	1,09
16	472,7	481,10	615,07	Cisalhamento	Cisalhamento	0,98
17	500,6	481,10	615,07	Cisalhamento	Cisalhamento	1,04
					media	1,00
					desvio padrão	0,08
					cov (%)	8,42

Tabela 4.23 - Tabela comparativa do modo de ruptura teórico com experimental para vigas reforçadas envolvidas completamente

Verificou-se uma previsão aceitável do modo de ruptura, pois, quando o teórico não correspondeu ao experimental, as cargas à flexão e ao cisalhamento eram bastante próximas, ou seja, o modo de ruptura seria muito mais difícil de ser premeditado matematicamente.

4.8 - Ancoragem do reforço

Durante a realização de qualquer pesquisa, dentre os tópicos propostos para estudo e análise, sempre há alguns que se destacam em importância e precisam ser aprofundados. No caso da aplicação de reforço ao cisalhamento em vigas, um aspecto que influencia muito na efetividade de aumento de resistência é a ancoragem. Este recurso, no caso do uso de fibra de carbono, consiste em providenciar suporte extra em pontos onde a ligação entre reforço e viga possui mais fragilidade, ou seja, nas extremidades dos compósitos.

Durante os testes nas vigas reforçadas, houve um fator que limitou a atuação das fibras de carbono em quase todos os estudos. O descolamento dos polímeros com fibra de carbono evita que o reforço atinja níveis de tensão maiores e interrompe a atuação destes polímeros de maneira precoce. Na maioria das ocorrências de desprendimento do reforço, o causador não é uma colagem defeituosa do material junto à superfície da viga, mas o arrancamento da cobertura de concreto que não suporta o acúmulo de tensões que o reforço traz para aqueles pontos de fragilidade. Como já mostrado, os métodos de cálculo para o reforço ao cisalhamento levam em conta o descolamento das fibras e possuem parâmetros que mensuram qual seria a carga máxima suportada até este tipo de ruptura.

As duas soluções que os estudos experimentais adotaram para esse tipo de problema foi a aplicação do compósito envolvendo completamente a superfície da viga, e a utilização de técnicas de ancoragem para o reforço. Quando utilizado o envolvimento completo da viga, o reforço apresenta contribuições excelentes para a resistência da viga solucionando efetivamente o problema do descolamento, porém com dificuldades práticas de aplicação como a necessidade de furos na laje. Para os tipos de ancoragem, o objetivo dos experimentos era descobrir qual seria a técnica mais efetiva, visto que não existem muitos estudos específicos sobre o assunto.

Os detalhamentos das ancoragens utilizadas são mostrados nas figuras abaixo:

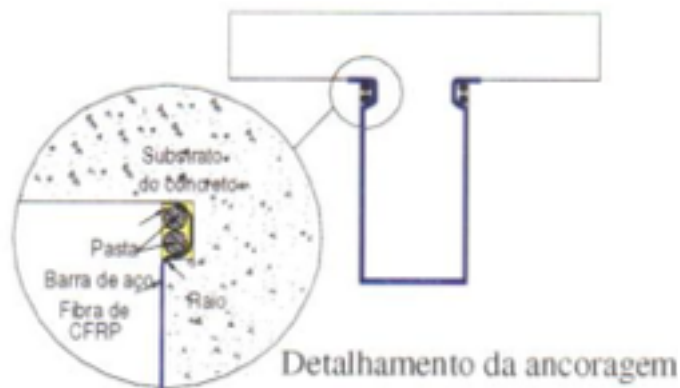


Figura 4.13- Detalhamento da ancoragem (Silva Filho, 2001)

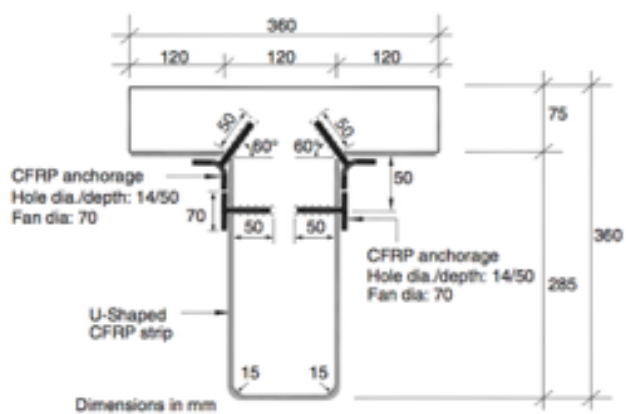


Figura 4.14- Detalhamento da ancoragem do reforço (Altin *et al.*, 2010)

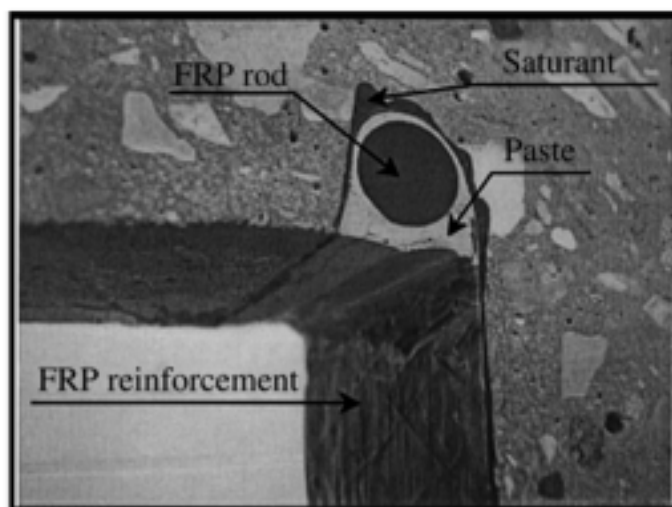


Figura 4.15- Detalhamento da ancoragem do reforço (Khalifa & Nanni, 2000)

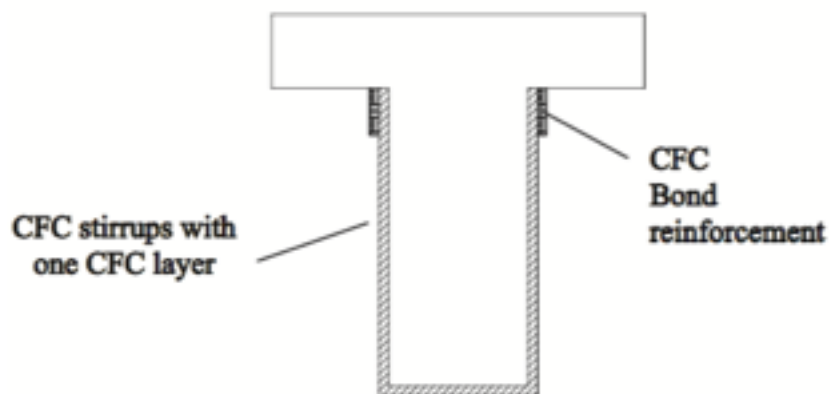


Figura 4.16- Detalhamento da ancoragem do reforço (Araújo, 2003; Gallardo, 2002; Spagnolo *et al.*, 2013)

Nas figuras pode-se verificar as técnicas de ancoragem utilizada nos estudos. Para o de SILVA FILHO, a ancoragem foi a abertura de fissuras onde o CFRP se adentrava e por cima foram posicionadas barras de aço preenchidas com epóxi. ALTIN *et al.* realizou um método de ancoragem mais elaborado com ganchos adentrando tanto a alma como a mesa da viga através de furos pré-realizados. Dentro desses furos e na ligação dos ganchos com as fibras, houve a aplicação de epóxi.

KHALIFA&NANNI propuseram uma ancoragem com a fibra adentrando na mesa sendo sobreposta uma barra de polímero reforçado com fibra de vidro preenchido com epóxi. Para os estudos de ARAÚJO, GALLARDO e SPAGNOLO *et al.*, a ancoragem foi uma faixa horizontal do mesmo CFRP utilizado como reforço ao cisalhamento. GALLARDO ainda prolongou o a fibra de carbono ao longo de toda a parte inferior da mesa da viga.

Os resultados do incremento de cada reforço com suas ancoragens foram os mostrados na tabela abaixo:

	Carga máxima de ruptura (kN)	Modo de ruptura	Porcentagem de incremento (%)
SILVA FILHO			
V REF	360,00	Cisalhamento	-
V1	420,00	Cisalhamento	16,67
V2	491,00	Cisalhamento	36,39
V3	510,00	Cisalhamento	41,67
ARAÚJO			
V REF	260	Cisalhamento	-
V1	295	Cisalhamento	13,46
V2	315	Cisalhamento	21,15
V3	300	Cisalhamento	15,38
ALTIN <i>et al.</i>			
V REF	138,08	Cisalhamento	-
V1	175,36	Flexão	27,00
V2	172,62	Flexão	25,01
V3	171,26	Flexão	24,03
V4	172,72	Flexão	25,09
V5	170,42	Flexão	23,42
V6	170,00	Flexão	23,12
GALLARDO			
V REF	89,17	Cisalhamento	-
V1	124,63	Cisalhamento	39,77
SPAGNOLO <i>et al.</i>			
V REF	407,22	Cisalhamento	-
V1	552,79	Cisalhamento	35,75
KHALIFA&NANNI			
V REF	180,00	Cisalhamento	-
V1	442,00	Flexão	145,56

Tabela 4.24 - Tabela das cargas máximas de cada viga com reforço e ancoragem com incremento de resistência

Através da comparação, é clara a superioridade do incremento de resistência da viga ancorada com o método de KHALIFA&NANNI. Até dentro do próprio estudo (KHALIFA&NANNI), a viga com este tipo de ancoragem superou bastante as outras com reforços variados porém sem ancoragem. Tal técnica pode ser aplicada utilizando outro material para barra de ancoragem, pois a fibra de vidro é mais cara e difícil de ser achada. Os outros resultados ficaram em patamares parecidos com alguns destaques pontuais. Na verdade, para se saber exatamente esses incrementos o poder compará-los com mais precisão, seria interessante um estudo experimental focado inteiramente no assunto dando aos exemplares as mesmas condições de dimensionamento, material e reforço.

5 - CONCLUSÃO

Este trabalho comprova a eficiência do uso de compósitos reforçados com fibra de carbono como elemento estrutural de reforço ao cisalhamento. A aplicação externa de mantas ou tiras de CFRP é uma opção a ser levada em conta para qualquer situação de deficiência ou esgotamento estrutural em que haja a necessidade de intervenção. Nesta pesquisa foram apresentados diversos estudos com investigações relevantes do comportamento das vigas reforçadas com variações de propriedades e condições de testes experimentais. O número de trabalhos experimentais realizados nos últimos 15 anos mostra que as técnicas de aplicação estão amadurecidas para uso em situações práticas com a segurança de serem baseadas nos resultados das inúmeras vigas testadas. Somente nesse presente trabalho, foi possível coletar 200 vigas reforçadas externamente ao cisalhamento em publicações em português e inglês. Outro aspecto estudado neste trabalho, até como objetivo principal, foram os métodos de cálculo utilizados para prever cargas de ruptura ao cisalhamento para as vigas reforçadas. Os resultados desta pesquisa também são motivos de segurança no uso de reforço de CFRP colados externamente ao informar fatores de previsão para o dimensionamento das vigas e seus reforços. Em resumo dos resultados já apresentados, pôde-se verificar que as normas da ACI 318 e ACI 440 dimensionam de maneira conservadora contando com resistências menores para esforço cortante. A NBR 6118 não possui especificações para o reforço e sua previsão para viga de concreto armado ao cisalhamento pode ser caracterizada como conservadora com valores 21% menores do que o experimental. Esta norma brasileira possui uma variação alta de resultados em relação a presença de estribo, porém em situações práticas sempre haverá o dimensionamento com estribos e, para essas situações, seus valores de previsão são mais conservadores, em média 25% menores. O modelo proposto de ZSUTTY é o que mais se aproxima dos resultados com fator de previsão, em média, de 1,08 e com menor variação. Para o dimensionamento do reforço utilizando a FIB bulletin 14, deve-se tomar cuidado pois produz resultados mais arrojados que muitas vezes ultrapassaram os valores colhidos em laboratório. Caso o objetivo seja a previsão de resistências mais próximas das experimentais, a utilização do modelo de CHEN e TENG somado ao de ZSUTTY será o mais indicado. CHEN e TENG possui um modelo de cálculo mais sofisticado que verifica um número maior de parâmetros, logo produziu resultados precisos e com menos variação entre eles.

5.1 - Sugestão para futuros trabalhos

Uma verificação interessante para o tema de reforço ao cisalhamento com CFRP seria um trabalho numérico com utilização do Método de Elementos Finitos. Durante a realização deste projeto, foi montado um modelo para simular as vigas dos estudos experimentais realizados na Universidade de Brasília (UNB). O software Sap2000 foi utilizado para a simulação e o modelo foi montado assimilando os materiais concreto (solid), armaduras transversais e longitudinais (frame) e compósitos com fibra de carbono (shell). As figuras a seguir mostram um pouco da montagem.

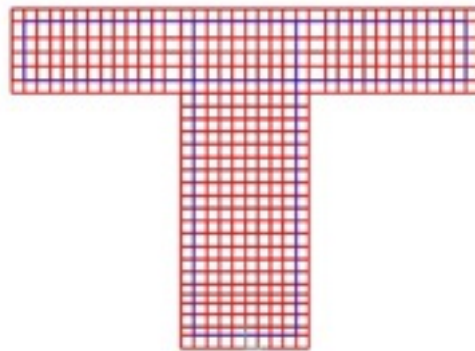


Figura 5.1- Seção transversal da viga T (Sap2000)

Com a utilização do AutoCad, a seção transversal da viga foi desenhada já dividida em diversos elementos coincidentes com as armaduras.

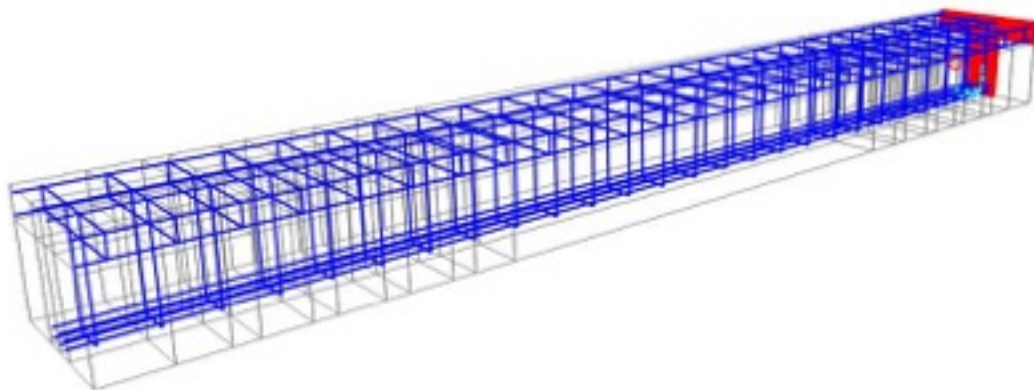


Figura 5.2- Detalhes das armaduras replicadas e extruídas (Sap2000)

Após a importação do modelo de AutoCad dxf. para o Sap2000, foram replicados os estribos e extruídos as armaduras longitudinais como mostra a figura acima.

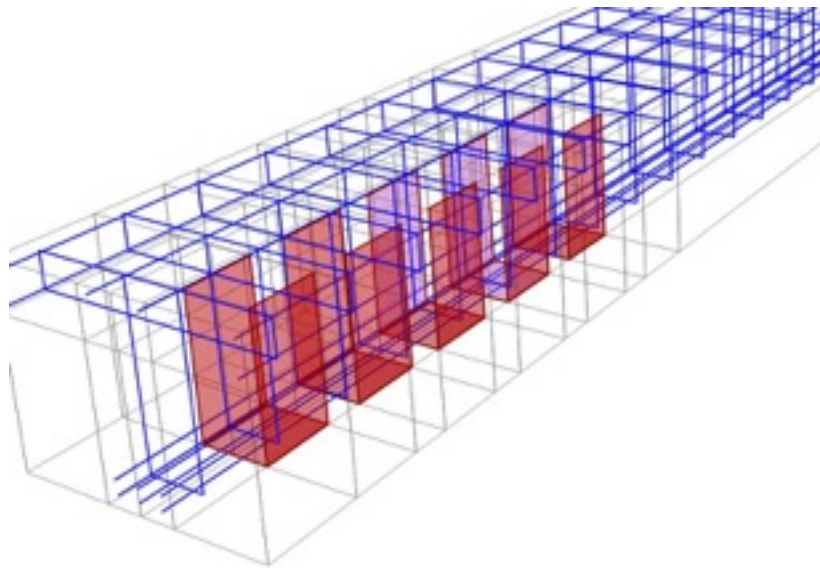


Figura 5.3 - Detalhes das armaduras replicadas e extruídas mais os reforços em tiras de CFRP (Sap2000)

Com ajuda do grid, as faixas de CFRP puderam ser montadas de acordo com os espaçamentos e larguras especificadas.



Figura 5.4 - Vista lateral da viga montada com destaque para os reforços (Sap2000)

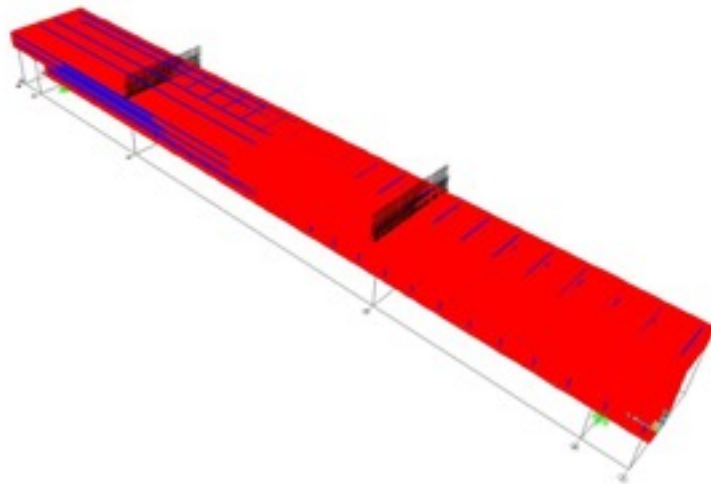


Figura 5.5 - Vista em 3D da viga montada com suportes e carregamento determinados (Sap2000)

Após a extrusão da face de concreto em diversos elementos longitudinais, o programa se torna muito pesado e lento. A especificação do carregamento e condições de contorno chegam a serem inseridos, porém a rodagem da análise do software fica inviabilizada.

Para um trabalho futuro utilizando este tipo de abordagem, o mais essencial seria um computador de preferência CPU com processador capaz de rodar o Sap2000 e softwares mais adequados para este tipo de abordagem.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Projeto de Estruturas de Concreto (NBR 6118)*. 2003.
- ACI - American Concrete Institute Committee 318. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary*. Farmington Hills, Michigan, 2011.
- ACI - American Concrete Institute Committee 440. *Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP bars*. ACI 440.1R-06, 2006.
- ACI - American Concrete Institute Committee 440. *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*. ACI 440.2R-08, 2008.
- ACI - American Concrete Institute Committee 440. *Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures*. ACI 440R-07, 2007.
- Adhikary, B. B.; Mitsuyoshi, H. *Behavior of Concrete Beams Strengthened in Shear with Carbon-Fiber Sheets*. Journal of Composites for Construction. 2004.
- Altin , S.; Anil, O.; Koprman, Y. Mertoglu, C.; Emin Kara, M. *Improving Shear Capacity and Ductility of Shear-deficient RC Beams using CFRP Strips*. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 29, n. 19. 2010.
- Araújo, A. S. *Reforço ao cisalhamento de vigas “T” de concreto armado com fibra de carbono com dois tipos de ancoragem*. Dissertação de Mestrado, Publicação E. DM. 006A/2002. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. 2002. 201 p.
- Bakis, C. E.; Bank, L. C.; Brown, V. L.; Cosenza, E.; Davalos, J. F.; Lesko, J. J.; Machida, A.; Rizkalla, S. H.; Triantafillou, T. C. *Fiber-Reinforced Polymer Composites for Construction State-of-the-art Review*. Journal of competition for construction, May 2002.
- Beber, A. J. *Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósitos de Fibra de Carbono*. Tese de Doutorado em Engenharia. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS. Porto Alegre, 2003.
- Chen, J.F.; Teng, J.G. *Shear Capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP debonding* . Construction and Building Materials 17: 27-41. 2003.
- Chen, J.F.; Teng, J.G. *Shear Capacity of FRP-strengthened RC beams: FRP rupture* . Journal of Structural Engineering ASCE. 129(5): 615-25. 2003.
- Climaco, J. T. C. S. *Estruturas de Concreto Armado - fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação*. Fundação Universidade de Brasília. 2013.
- Dias, S.; Barros, J. *Verificação experimental de uma nova técnica de reforço ao corte com CFRP para vigas de betão armado*. Revista IBRACON de Estruturas Vol.1, Numero 2, 2005.

Fédération Internationale Du Béton. *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures (bulletin 14)*. Lausanne, 2001.

Fédération Internationale Du Béton. *FRP reinforcement in RC structures (bulletin 40)*. Lausanne, 2007.

Gallardo, G. O. *Reforço ao Esforço Cortante em Vigas de Concreto Aplicando-se Folhas Flexíveis de Fibra de Carbono Pré-impregnadas*. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2002.

Galvez, L. E. M. *Reforço Estrutural à Força Cortante em Vigas de Concreto Armado por Meio de Colagem Externa de Mantas Flexíveis de Fibra de Carbono*. Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP. Campinas, 2003.

Jayakaprash, J.; Samad, A. A. A.; Abbasvoch, A. A.; Ali, A. A. A. *Shear Capacity of precracked and Non-precracked Reinforced Concrete Shear Beams with Externally Bonded Bi-Directional CFRP Strips*. Construction and Building Materials, Vol. 22, 2008.

Jayakaprash, J.; Samad, A. A. A.; Abbasvoch, A. A. *Investigation on Effects of Variables on Shear Capacity of precracked RC T-Beams with Externally Bonded Bi-directional CFRP Discrete Strips*. Journal of Composites Materials, Vol. 44, n.2. 2010.

Khalifa, A.; Gold, W. J.; Nanni, A. ; Aziz, M. I. A. *Contribution of Externally Bonded FRP to Shear Capacity of Flexural Members*. ASCE- Journal of Composites for Construction, Vol. 2, n. 4. Nov 1998, p. 195-203.

Khalifa, A.; Nanni, A. *Improving Shear Capacity of Existing RC T-section Beams Using CFRP Composites*. Cement and Concrete Composites, Vol. 22, n.2, July 2000, p. 165-174.

Khalifa, A.; Nanni, A. *Rehabilitation of Rectangular Simply Supported RC Beams with Shear Deficiencies using CFRC Composites*. Construction and Building Materials, Vol. 16, Apr. 2002.

Kraus, E. *Notas de aula: Patologia das estruturas*. Departamento de Engenharia Civil - UNB, 2014.

Leung, C.; Chen, Z.; Lee, S.; Ng, M.; Xu, M.; Tang, J. *Effect of Size on the Failure of Geometrically Similar Concrete Beams Strengthened in Shear with FRP Strips*. Journal of Composites for Construction, 2007.

Li, A.; Diagona, C.; Delmas, Y. *CFRP contribution to shear capacity of strengthened RC beams*. Engineering Structures, Vol. 23, 2001.

Mofidi, A.; Chaallal, M. *Shear Strengthening of RC beams with Externally Bonded FRP Composites: Effect of Strip-Width-to-Strip-Spacing Ratio*. American Society of Civil Engineers ASCE. Journal of Composites for Construction. Sep. 2011.

Mofidi, A.; Chaallal, M. *Tests and Design Provisions for Reinforced Concrete Beams Strengthened in Shear Using FRP Sheets and Strips*. International Journal of Concrete Structures and Materials. 2014.

Pellegrino, C.; Modena, C. *Fiber Reinforced Polymer Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams with Transverse Steel Reinforcement*. Journal of Composites for Construction. 2002.

Pellegrino, C.; Vasic, M. *Assessment of design procedures for the use of externally bonded FRP composites in shear strengthening of reinforced concrete beams*. Composites: Part B 45. 2013

Salles Neto, M. *Comportamento ao cisalhamento de Vigas "T" de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono*. Dissertação de Mestrado, Publicação DM 012A/00, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 219 p. 2000.

Silva Filho, J. N. *Vigas "T" em concreto armado reforçadas ao cisalhamento com compósitos de fibra de carbono*. Dissertação de Mestrado, Publicação E. DM. 005A/2001. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, 2001. 266 p.

Spagnolo Jr., L. A. *Vigas T de concreto armado reforçadas à força cortante com compósito de fibras de carbono*. Revista IBRACON de Estruturas Vol.6. 2013

Sussekind, José Carlos. *Curso de Concreto: concreto armado*. 7. ed. São Paulo: Globo, vol.1, 1993.

Taljsten, B. *Strengthening concrete beams for shear with CFRP sheets*. Construction and Building Materials, Vol. 17. 2003.

Tanarlan, H. M. *The effects of NSM CFRP reinforcements for improving the shear capacity of RC beams*. Construction and Building Materials Vol.25, 2011.

Zsutty, T. C. *Beam shear strength prediction by analysis of existing data*. ACI Journal Proceedings, Detroit, vol. 65, n.11, p. 943-951, Nov. 1968.

Zsutty, T. C. *Shear strength prediction for separate categories of simple beam tests*. ACI Journal Proceedings, Detroit, vol. 68, n.2, p.138-143, Feb. 1971.

7. ANEXOS

7.1 - Calculo a flexão

	Bitola (mm) 1ª camada	nº de barras	As (mm²) 1ª camada	Bitola (mm) 2ª camada	nº de barras	As (mm²) 2ª camada	fy (MPa) 1ª camada	fy (MPa) 2ª camada	coeficiente concreto	coeficiente aço	x (mm)	x/d	z (mm)	Mu (kNm)	Pu (kN)
Salles Neto (2000)															
1	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	54,48	0,153	333,41	302,97	566,75
2	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	54,48	0,153	333,41	302,97	566,75
3	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	54,48	0,153	333,41	302,97	566,75
4	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	60,74	0,171	330,90	300,69	562,49
5	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	60,74	0,171	330,90	300,69	562,49
6	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	60,74	0,171	330,90	300,69	562,49
7	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	60,74	0,171	330,90	300,69	562,49
8	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	568,00	619,00	1,00	1,00	60,74	0,171	330,90	300,69	562,49
Silva Filho (2001)															
9	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	59,96	0,169	331,22	311,21	582,17
10	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	59,96	0,169	331,22	311,21	582,17
11	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	59,53	0,168	331,39	311,37	582,47
12	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	55,46	0,156	333,02	312,91	585,34
13	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	54,15	0,152	333,54	313,40	586,26
14	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	57,36	0,161	332,26	312,19	584,00
15	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	55,46	0,156	333,02	312,91	585,34
16	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	620,00	589,00	1,00	1,00	55,46	0,156	333,02	312,91	585,34
Araújo (2002)															
17	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	765,00	656,00	1,00	1,00	128,15	0,361	303,94	339,41	634,91
18	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	765,00	656,00	1,00	1,00	132,70	0,374	302,12	337,37	631,10
19	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	765,00	656,00	1,00	1,00	132,70	0,374	302,12	337,37	631,10
20	20,0	3	314,16	16,0	3	201,06	765,00	656,00	1,00	1,00	132,70	0,374	302,12	337,37	631,10
21	22,0	3	380,13	22,0	3	380,13	712,00	712,00	1,00	1,00	94,19	0,270	311,62	506,06	945,90
22	22,0	3	380,13	22,0	3	380,13	712,00	712,00	1,00	1,00	95,01	0,272	311,30	505,52	944,90
23	22,0	3	380,13	22,0	3	380,13	712,00	712,00	1,00	1,00	94,80	0,271	311,38	505,66	945,15
24	22,0	3	380,13	22,0	3	380,13	712,00	712,00	1,00	1,00	93,18	0,267	312,03	506,71	947,13
Altin et. al (2010)															
25	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,15	0,222	300,74	134,63	163,19
26	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	72,57	0,220	300,97	134,74	163,32
27	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,44	0,223	300,62	134,58	163,13
28	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,74	0,223	300,50	134,53	163,07
29	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,74	0,223	300,50	134,53	163,07
30	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,15	0,222	300,74	134,63	163,19
31	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,44	0,223	300,62	134,58	163,13
32	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	73,15	0,222	300,74	134,63	163,19
33	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	72,86	0,221	300,86	134,69	163,26
34	20,0	3	314,16	0,0	0	0,00	475,00	0,00	1,00	1,00	74,34	0,225	300,26	134,42	162,94
Jayaprakash et. al (2010)															
35	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	46,72	0,151	291,31	101,43	261,76
36	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	46,72	0,151	291,31	101,43	261,76
37	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	46,72	0,151	291,31	101,43	261,76
38	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	27,55	0,089	298,98	37,42	96,56
39	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	27,55	0,089	298,98	37,42	96,56
40	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	27,55	0,089	298,98	37,42	96,56
41	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	46,72	0,151	291,31	101,43	163,60
42	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	46,72	0,151	291,31	101,43	163,60
43	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	46,72	0,151	291,31	101,43	163,60
44	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	27,55	0,089	298,98	37,42	60,35
45	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	27,55	0,089	298,98	37,42	60,35
46	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	27,55	0,089	298,98	37,42	60,35
Mofidi e Chaallal (2011)															
47	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
48	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
49	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
50	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
51	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
52	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
53	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
54	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
55	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
56	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
57	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
58	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
59	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37
60	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	91,68	0,262	313,33	307,61	442,37

	Bitola (mm) 1ª camada	nº de barras	As (mm²) 1ª camada	Bitola (mm) 2ª camada	nº de barras	As (mm²) 2ª camada	fy (MPa) 1ª camada	fy (MPa) 2ª camada	coeficiente concreto	coeficiente aço	x (mm)	x/d	z (mm)	Mu (kNm)	Pu (kN)
Beber (2003)															
61	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
62	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
63	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
64	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
65	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
66	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
67	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
68	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
69	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
70	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
71	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
72	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
73	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
74	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
75	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
76	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
77	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
78	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
79	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
80	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
81	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
82	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
83	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
84	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
85	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
86	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
87	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
88	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
89	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
90	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	630,00	630,00	1,00	1,00	151,45	0,594	194,42	151,71	410,30
Galvez (2003)															
91	12,5	3	122,72	0,0	0	0,00	602,80	602,80	1,00	1,00	57,26	0,358	137,10	30,43	121,70
92	12,5	3	122,72	0,0	0	0,00	602,80	602,80	1,00	1,00	67,78	0,424	132,89	29,49	117,96
93	12,5	3	122,72	0,0	0	0,00	602,80	602,80	1,00	1,00	61,64	0,385	135,35	30,04	120,15
94	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	539,20	539,20	1,00	1,00	62,37	0,370	143,75	77,92	311,69
95	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	539,20	539,20	1,00	1,00	62,37	0,370	143,75	77,92	311,69
96	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	539,20	539,20	1,00	1,00	57,02	0,338	145,89	79,08	316,33
97	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	539,20	539,20	1,00	1,00	52,17	0,309	147,83	80,13	320,53
Khalifa & Nanni (2002)															
98	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	591,18
99	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	591,18
100	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	591,18
101	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	591,18
102	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	591,18
103	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	443,39
104	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	443,39
105	32,0	2	804,25	0,0	0	0,00	730,00	0,00	1,00	1,00	154,83	0,612	191,07	224,35	443,39
Dias & Barros (2005)															
106	10,0	4	78,54	0,0	0	0,00	581,00	0,00	1,00	1,00	47,59	0,174	254,96	46,54	155,13
107	10,0	4	78,54	0,0	0	0,00	581,00	0,00	1,00	1,00	47,59	0,174	254,96	46,54	155,13
108	10,0	4	78,54	0,0	0	0,00	581,00	0,00	1,00	1,00	47,59	0,174	254,96	46,54	155,13
109	12,0	4	113,10	0,0	0	0,00	672,00	0,00	1,00	1,00	79,27	0,290	241,29	73,35	244,51
110	12,0	4	113,10	0,0	0	0,00	672,00	0,00	1,00	1,00	79,27	0,290	241,29	73,35	244,51
111	12,0	4	113,10	0,0	0	0,00	672,00	0,00	1,00	1,00	79,27	0,290	241,29	73,35	244,51
112	10,0	4	78,54	0,0	0	0,00	581,00	0,00	1,00	1,00	36,15	0,292	109,54	19,99	133,29
113	10,0	4	78,54	0,0	0	0,00	581,00	0,00	1,00	1,00	36,15	0,292	109,54	19,99	133,29
114	10,0	4	78,54	0,0	0	0,00	581,00	0,00	1,00	1,00	36,15	0,292	109,54	19,99	133,29
115	12,0	4	113,10	0,0	0	0,00	672,00	0,00	1,00	1,00	60,21	0,490	98,92	30,07	200,47
116	12,0	4	113,10	0,0	0	0,00	672,00	0,00	1,00	1,00	60,21	0,490	98,92	30,07	200,47
117	12,0	4	113,10	0,0	0	0,00	672,00	0,00	1,00	1,00	60,21	0,490	98,92	30,07	200,47
Täljsten (2003)															
118	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	176,19	0,401	368,52	444,58	711,32
119	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	176,19	0,401	368,52	444,58	711,32
120	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	176,19	0,401	368,52	444,58	711,32
121	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	166,32	0,379	372,47	449,34	718,95
122	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	202,30	0,461	358,08	431,98	691,17
123	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	202,30	0,461	358,08	431,98	691,17
124	16,0	4	201,06	16,0	4	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	166,32	0,379	372,47	449,34	718,95

	Bitola (mm) 1ª camada	nº de barras	As (mm²) 1ª camada	Bitola (mm) 2ª camada	nº de barras	As (mm²) 2ª camada	fy (MPa) 1ª camada	fy (MPa) 2ª camada	coeficiente concreto	coeficiente aço	x (mm)	x/d	z (mm)	Mu (kNm)	Pu (kN)
Khalifa & Nanni (2000)															
125	28,0	2	615,75	0,0	0	0,00	470,00	0,00	1,00	1,00	64,00	0,175	340,40	197,03	368,27
126	28,0	2	615,75	0,0	0	0,00	470,00	0,00	1,00	1,00	64,00	0,175	340,40	197,03	368,27
127	28,0	2	615,75	0,0	0	0,00	470,00	0,00	1,00	1,00	64,00	0,175	340,40	197,03	368,27
128	28,0	2	615,75	0,0	0	0,00	470,00	0,00	1,00	1,00	64,00	0,175	340,40	197,03	368,27
129	28,0	2	615,75	0,0	0	0,00	470,00	0,00	1,00	1,00	64,00	0,175	340,40	197,03	368,27
130	28,0	2	615,75	0,0	0	0,00	470,00	0,00	1,00	1,00	64,00	0,175	340,40	197,03	368,27
Gallardo (2002)															
131	20,0	2	314,16	20,0	2	314,16	630,80	630,80	1,00	1,00	85,72	0,206	381,51	302,42	355,79
132	20,0	2	314,16	20,0	2	314,16	630,80	630,80	1,00	1,00	84,77	0,204	381,89	302,72	356,14
133	20,0	2	314,16	20,0	2	314,16	630,80	630,80	1,00	1,00	84,05	0,202	382,18	302,95	356,41
134	20,0	2	314,16	20,0	2	314,16	630,80	630,80	1,00	1,00	83,03	0,200	382,59	303,27	356,79
135	20,0	2	314,16	20,0	2	314,16	630,80	630,80	1,00	1,00	86,12	0,207	381,35	302,29	355,64
136	20,0	2	314,16	20,0	2	314,16	630,80	630,80	1,00	1,00	86,68	0,208	381,13	302,12	355,43
Pellegrino & Modena (2002)															
137	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	548,00	548,00	1,00	1,00	117,84	0,471	202,86	115,54	308,10
138	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	548,00	548,00	1,00	1,00	117,84	0,471	202,86	115,54	308,10
139	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	548,00	548,00	1,00	1,00	117,84	0,471	202,86	115,54	308,10
140	16,0	3	201,06	16,0	2	201,06	548,00	548,00	1,00	1,00	117,84	0,471	202,86	115,54	308,10
141	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
142	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
143	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
144	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
145	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
146	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
147	20,0	3	314,16	20,0	2	314,16	630,00	630,00	1,00	1,00	185,39	0,742	175,84	191,49	510,65
Spagnolo et al. (2013)															
148	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	54,94	0,153	338,03	244,67	566,37
149	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	51,44	0,143	339,42	245,68	568,71
150	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	51,44	0,143	339,42	245,68	568,71
151	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	50,88	0,141	339,65	245,84	569,08
152	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	53,31	0,148	338,68	245,14	567,46
153	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	52,24	0,145	339,10	245,45	568,17
154	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	51,44	0,143	339,42	245,68	568,71
155	16,0	3	201,06	16,0	3	201,06	600,00	600,00	1,00	1,00	50,88	0,141	339,65	245,84	569,08
Mofidi e Chaallal (2014)															
156	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
157	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
158	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
159	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
160	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
161	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
162	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
163	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
164	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
165	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
166	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
167	25,0	2	490,87	25,0	2	490,87	500,00	500,00	1,00	1,00	98,00	0,280	310,80	305,13	435,90
Jayaprakash et. al (2008)															
168	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	155,85	0,503	247,66	86,23	222,54
169	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	155,85	0,503	247,66	86,23	222,54
170	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	155,85	0,503	247,66	86,23	222,54
171	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	155,85	0,503	247,66	86,23	222,54
172	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	56,01	0,181	287,59	35,99	92,88
173	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	56,01	0,181	287,59	35,99	92,88
174	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	56,01	0,181	287,59	35,99	92,88
175	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	255,06	0,823	207,98	72,42	116,80
176	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	255,06	0,823	207,98	72,42	116,80
177	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	255,06	0,823	207,98	72,42	116,80
178	20,0	2	314,16	0,0	0	0,00	554,17	0,00	1,00	1,00	255,06	0,823	207,98	72,42	116,80
179	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	91,67	0,296	273,33	34,21	55,17
180	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	91,67	0,296	273,33	34,21	55,17
181	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	91,67	0,296	273,33	34,21	55,17
182	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	91,67	0,296	273,33	34,21	55,17
183	16,0	2	201,06	0,0	0	0,00	311,22	0,00	1,00	1,00	91,67	0,296	273,33	34,21	55,17
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)															
184	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	62,61	0,368	144,95	43,61	171,01
185	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	53,95	0,317	148,42	44,28	173,65
186	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	57,01	0,335	147,20	44,04	172,72
187	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	60,63	0,357	145,75	43,76	171,61
188	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	61,60	0,362	145,36	43,69	171,32
189	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	56,67	0,333	147,33	44,07	172,82
190	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	55,52	0,327	147,79	44,16	173,18
191	22,0	2	380,13	13,0	2	132,73	391,00	386,00	1,00	1,00	53,95	0,317	148,42	44,28	173,65
Leung et al. (2007)															
192	20,0	2	314,16	16,0	2	201,06	500,00	500,00	1,00	1,00	80,93	0,522	122,63	40,01	178,01

7.2 - Calculo NBR 6118

	α_v	θ (graus)	α (graus)	Vrd2 (kN)	Vc0 (kN)	Asw/s (cm ² /m)	coeficiente aço	Vsw (kN)	Vrd3(kN)	Vu(kN)	Pu(kN)
Salles Neto (2000)											
1	0,82	45	90	527,14	84,43	0	1,00	0,00	84,43	84,43	168,86
2	0,82	45	90	527,14	84,43	0	1,00	0,00	84,43	84,43	168,86
3	0,82	45	90	527,14	84,43	0	1,00	0,00	84,43	84,43	168,86
4	0,84	45	90	483,36	78,52	1,68	1,00	41,51	120,03	120,03	240,07
5	0,84	45	90	483,36	78,52	1,68	1,00	41,51	120,03	120,03	240,07
6	0,84	45	90	483,36	78,52	1,68	1,00	41,51	120,03	120,03	240,07
7	0,84	45	90	483,36	78,52	1,68	1,00	41,51	120,03	120,03	240,07
8	0,84	45	90	483,36	78,52	1,68	1,00	41,51	120,03	120,03	240,07
Silva Filho (2001)											
9	0,83	45	90	358,38	80,99	1,68	1,00	41,30	122,29	122,29	244,57
10	0,83	45	90	358,38	80,99	1,68	1,00	41,30	122,29	122,29	244,57
11	0,83	45	90	360,43	81,37	1,68	1,00	41,30	122,67	122,67	245,34
12	0,82	45	90	381,13	85,31	1,68	1,00	41,30	126,61	126,61	253,22
13	0,81	45	90	388,29	86,69	1,68	1,00	41,30	127,99	127,99	255,97
14	0,82	45	90	371,21	83,42	1,68	1,00	41,30	124,72	124,72	249,43
15	0,82	45	90	381,13	85,31	1,68	1,00	41,30	126,61	126,61	253,22
16	0,82	45	90	381,13	85,31	1,68	1,00	41,30	126,61	126,61	253,22
Araújo (2002)											
17	0,91	45	90	217,10	54,77	1,68	1,00	41,41	96,17	96,17	192,35
18	0,91	45	90	210,39	53,50	1,68	1,00	41,41	94,91	94,91	189,82
19	0,91	45	90	210,39	53,50	1,68	1,00	41,41	94,91	94,91	189,82
20	0,91	45	90	210,39	53,50	1,68	1,00	41,41	94,91	94,91	189,82
21	0,82	45	90	379,93	84,88	1,68	1,00	40,72	125,60	125,60	251,20
22	0,82	45	90	377,37	84,39	1,68	1,00	40,72	125,11	125,11	250,21
23	0,82	45	90	378,01	84,51	1,68	1,00	40,72	125,23	125,23	250,46
24	0,81	45	90	383,11	85,49	1,68	1,00	40,72	126,21	126,21	252,42
Altin et. al (2010)											
25	0,90	45	90	171,84	42,66	1,885	1,00	15,40	58,06	58,06	116,11
26	0,90	45	90	173,06	42,89	1,885	1,00	15,40	58,28	58,28	116,57
27	0,90	45	90	171,22	42,55	1,885	1,00	15,40	57,94	57,94	115,88
28	0,90	45	90	170,61	42,43	1,885	1,00	15,40	57,83	57,83	115,66
29	0,90	45	90	170,61	42,43	1,885	1,00	15,40	57,83	57,83	115,66
30	0,90	45	90	171,84	42,66	1,885	1,00	15,40	58,06	58,06	116,11
31	0,90	45	90	171,22	42,55	1,885	1,00	15,40	57,94	57,94	115,88
32	0,90	45	90	171,84	42,66	0	1,00	0,00	42,66	42,66	85,32
33	0,90	45	90	172,45	42,77	0	1,00	0,00	42,77	42,77	85,55
34	0,90	45	90	169,39	42,20	0	1,00	0,00	42,20	42,20	84,41
Jayaprakash et. al (2010)											
35	0,89	45	90	175,03	42,60	6,28	1,00	87,61	130,21	130,21	260,41
36	0,89	45	90	175,03	42,60	6,28	1,00	87,61	130,21	130,21	260,41
37	0,89	45	90	175,03	42,60	6,28	1,00	87,61	130,21	130,21	260,41
38	0,93	45	90	111,81	30,62	6,28	1,00	87,61	118,23	111,81	223,61
39	0,93	45	90	111,81	30,62	6,28	1,00	87,61	118,23	111,81	223,61
40	0,93	45	90	111,81	30,62	6,28	1,00	87,61	118,23	111,81	223,61
41	0,89	45	90	175,03	42,60	6,28	1,00	87,61	130,21	130,21	260,41
42	0,89	45	90	175,03	42,60	6,28	1,00	87,61	130,21	130,21	260,41
43	0,89	45	90	175,03	42,60	6,28	1,00	87,61	130,21	130,21	260,41
44	0,93	45	90	111,81	30,62	6,28	1,00	87,61	118,23	111,81	223,61
45	0,93	45	90	111,81	30,62	6,28	1,00	87,61	118,23	111,81	223,61
46	0,93	45	90	111,81	30,62	6,28	1,00	87,61	118,23	111,81	223,61
Mofidi e Chaallal (2011)											
47	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
48	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
49	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
50	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
51	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
52	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
53	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
54	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
55	0,88	45	90	293,28	69,63	0	1,00	0,00	69,63	69,63	105,14
56	0,88	45	90	293,28	69,63	5,745	1,00	97,72	167,35	167,35	252,70
57	0,88	45	90	293,28	69,63	5,745	1,00	97,72	167,35	167,35	252,70
58	0,88	45	90	293,28	69,63	5,745	1,00	97,72	167,35	167,35	252,70
59	0,88	45	90	293,28	69,63	5,745	1,00	97,72	167,35	167,35	252,70
60	0,88	45	90	293,28	69,63	5,745	1,00	97,72	167,35	167,35	252,70

	α -2	θ (graus)	α (graus)	Vrd2 (kN)	Vc0 (kN)	Asw/s (cm ² /m)	coeficiente aço	Vsw (kN)	Vrd3(kN)	Vu(kN)	Pu(kN)
Beber (2003)											
61	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
62	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
63	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
64	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
65	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
66	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
67	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
68	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
69	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
70	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
71	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
72	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
73	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
74	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
75	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
76	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
77	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
78	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
79	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
80	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
81	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
82	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
83	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
84	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
85	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
86	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
87	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
88	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
89	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
90	0,87	45	-	210,21	49,38	0	1,00	0,00	49,38	49,38	98,77
Galvez (2003)											
91	0,85	45	90	149,15	34,18	2,3	1,00	25,63	59,81	59,81	119,62
92	0,87	45	90	129,50	30,54	2,3	1,00	25,63	56,17	56,17	112,34
93	0,86	45	90	140,32	32,54	2,3	1,00	25,63	58,17	58,17	116,34
94	0,66	45	90	274,09	61,74	1,85	1,00	22,45	84,18	84,18	168,37
95	0,66	45	90	274,09	61,74	1,85	1,00	22,45	84,18	84,18	168,37
96	0,63	45	90	285,28	65,54	1,85	1,00	22,45	87,99	87,99	175,98
97	0,59	45	90	294,56	69,54	1,85	1,00	22,45	91,99	91,99	183,98
Khalifa & Nanni (2002)											
98	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
99	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
100	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
101	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
102	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
103	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
104	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
105	0,89	45	90	179,13	43,56	0	1,00	0,00	43,56	43,56	87,13
Dias & Barros (2005)											
106	0,85	45	90	253,21	58,12	0	1,00	0,00	58,12	58,12	116,24
107	0,85	45	90	253,21	58,12	1,88	1,00	25,03	83,16	83,16	166,31
108	0,85	45	90	253,21	58,12	0	1,00	0,00	58,12	58,12	116,24
109	0,85	45	90	252,29	57,91	0	1,00	0,00	57,91	57,91	115,82
110	0,85	45	90	252,29	57,91	3,77	1,00	50,02	107,93	107,93	215,86
111	0,85	45	90	252,29	57,91	0	1,00	0,00	57,91	57,91	115,82
112	0,80	45	90	142,41	31,60	0	1,00	0,00	31,60	31,60	63,19
113	0,80	45	90	142,41	31,60	3,77	1,00	22,72	54,31	54,31	108,63
114	0,80	45	90	142,41	31,60	0	1,00	0,00	31,60	31,60	63,19
115	0,80	45	90	141,26	31,34	0	1,00	0,00	31,34	31,34	62,68
116	0,80	45	90	141,26	31,34	7,54	1,00	45,07	76,41	76,41	152,83
117	0,80	45	90	141,26	31,34	0	1,00	0,00	31,34	31,34	62,68
Täljsten (2003)											
118	0,78	45	90	661,75	145,63	0	1,00	0,00	145,63	145,63	291,26
119	0,78	45	90	661,75	145,63	0	1,00	0,00	145,63	145,63	291,26
120	0,78	45	90	661,75	145,63	0	1,00	0,00	145,63	145,63	291,26
121	0,76	45	90	689,03	151,34	0	1,00	0,00	151,34	151,34	302,68
122	0,81	45	90	597,78	132,81	0	1,00	0,00	132,81	132,81	265,63
123	0,81	45	90	597,78	132,81	0	1,00	0,00	132,81	132,81	265,63
124	0,76	45	90	689,03	151,34	0	1,00	0,00	151,34	151,34	302,68
Khalifa & Nanni (2000)											
125	0,86	45	90	318,69	74,02	0	1,00	0,00	74,02	74,02	148,03
126	0,86	45	90	318,69	74,02	0	1,00	0,00	74,02	74,02	148,03
127	0,86	45	90	318,69	74,02	0	1,00	0,00	74,02	74,02	148,03
128	0,86	45	90	318,69	74,02	0	1,00	0,00	74,02	74,02	148,03
129	0,86	45	90	318,69	74,02	0	1,00	0,00	74,02	74,02	148,03
130	0,86	45	90	318,69	74,02	0	1,00	0,00	74,02	74,02	148,03

	α_v2	θ (graus)	α (graus)	Vrd2 (kN)	Vc0 (kN)	Asw/s (cm ² /m)	coeficiente aço	Vsw (kN)	Vrd3(kN)	Vu(kN)	Pa(kN)
Gallardo (2002)											
131	0,82	45	90	357,11	79,93	0,924	1,00	23,58	103,51	103,51	207,01
132	0,82	45	90	360,23	80,53	0,924	1,00	23,58	104,10	104,10	208,21
133	0,82	45	90	362,60	80,98	0,924	1,00	23,58	104,56	104,56	209,12
134	0,81	45	90	366,04	81,65	0,924	1,00	23,58	105,22	105,22	210,45
135	0,82	45	90	355,82	79,68	0,924	1,00	23,58	103,26	103,26	206,52
136	0,82	45	90	354,03	79,34	0,924	1,00	23,58	102,92	102,92	205,83
Pellegrino & Modena (2002)											
137	0,89	45	90	177,01	43,05	0	1,00	0,00	43,05	43,05	86,10
138	0,89	45	90	177,01	43,05	0	1,00	0,00	43,05	43,05	86,10
139	0,89	45	90	177,01	43,05	0	1,00	0,00	43,05	43,05	86,10
140	0,89	45	90	177,01	43,05	0	1,00	0,00	43,05	43,05	86,10
141	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
142	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
143	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
144	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
145	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
146	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
147	0,87	45	90	198,57	47,03	5,03	1,00	62,02	109,05	109,05	218,10
Spagnolo et al. (2013)											
148	0,81	45	90	406,72	90,41	3,93	1,00	75,89	166,30	166,30	332,61
149	0,79	45	90	427,26	94,46	3,93	1,00	75,89	170,35	170,35	340,70
150	0,79	45	90	427,26	94,46	3,93	1,00	75,89	170,35	170,35	340,70
151	0,79	45	90	430,72	95,16	3,93	1,00	75,89	171,04	171,04	342,09
152	0,80	45	90	416,07	92,25	1,965	1,00	37,94	130,19	130,19	260,38
153	0,80	45	90	422,41	93,50	1,965	1,00	37,94	131,44	131,44	262,89
154	0,79	45	90	427,26	94,46	1,965	1,00	37,94	132,41	132,41	264,81
155	0,79	45	90	430,72	95,16	1,965	1,00	37,94	133,10	133,10	266,20
Mofidi e Chaallal (2014)											
156	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
157	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
158	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
159	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
160	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
161	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
162	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
163	0,88	45	90	263,03	63,27	0	1,00	0,00	63,27	63,27	94,91
164	0,88	45	90	263,03	63,27	5,74	1,00	97,64	160,91	160,91	241,36
165	0,88	45	90	263,03	63,27	5,74	1,00	97,64	160,91	160,91	241,36
166	0,88	45	90	263,03	63,27	5,74	1,00	97,64	160,91	160,91	241,36
167	0,88	45	90	263,03	63,27	5,74	1,00	97,64	160,91	160,91	241,36
Jayaprakash et. al (2008)											
168	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
169	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
170	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
171	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
172	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
173	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
174	0,89	45	90	244,89	42,58	0	1,00	0,00	42,58	42,58	85,16
175	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
176	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
177	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
178	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
179	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
180	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
181	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
182	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
183	0,93	45	90	156,79	30,66	0	1,00	0,00	30,66	30,66	61,32
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)											
184	0,88	45	90	184,37	31,36	0	1,00	0,00	31,36	31,36	62,73
185	0,86	45	90	209,22	34,64	0	1,00	0,00	34,64	34,64	69,28
186	0,87	45	90	199,74	33,39	0	1,00	0,00	33,39	33,39	66,78
187	0,87	45	90	189,55	32,05	0	1,00	0,00	32,05	32,05	64,09
188	0,88	45	90	186,97	31,71	0	1,00	0,00	31,71	31,71	63,41
189	0,87	45	90	200,75	33,52	0	1,00	0,00	33,52	33,52	67,04
190	0,86	45	90	204,25	33,98	0	1,00	0,00	33,98	33,98	67,97
191	0,86	45	90	209,22	34,64	0	1,00	0,00	34,64	34,64	69,28
Leung et al. (2007)											
192	0,89	45	90	76,58	13,31	2,09	1,00	14,58	27,89	27,89	55,78
193	0,89	45	90	76,58	13,31	2,09	1,00	14,58	27,89	27,89	55,78
194	0,89	45	90	76,58	13,31	2,09	1,00	14,58	27,89	27,89	55,78
195	0,89	45	90	76,58	13,31	2,09	1,00	14,58	27,89	27,89	55,78
196	0,89	45	90	76,58	13,31	2,09	1,00	14,58	27,89	27,89	55,78
197	0,89	45	90	301,36	52,39	4,19	1,00	57,51	109,90	109,90	219,80
198	0,89	45	90	301,36	52,39	4,19	1,00	57,51	109,90	109,90	219,80
199	0,89	45	90	301,36	52,39	4,19	1,00	57,51	109,90	109,90	219,80
200	0,89	45	90	301,36	52,39	4,19	1,00	57,51	109,90	109,90	219,80
201	0,89	45	90	301,36	52,39	4,19	1,00	57,51	109,90	109,90	219,80

7.3 - Calculo ACI 318

	fc' (Mpa)	d (mm)	bw (mm)	As long- (mm ²)	ρ	Vc (kN)	Asw/s (cm ² /m)	fyd (MPa)	Vs (kN)	Vu (kN)	Pu(kN)
Salles Neto (2000)											
1	44,6	355,2	150	1545,66	0,0290	65,66	0	773	0,00	65,66	131,32
2	44,6	355,2	150	1545,66	0,0290	65,66	0	773	0,00	65,66	131,32
3	44,6	355,2	150	1545,66	0,0290	65,66	0	773	0,00	65,66	131,32
4	40	355,2	150	1545,66	0,0290	62,65	1,68	773	46,13	108,77	217,55
5	40	355,2	150	1545,66	0,0290	62,65	1,68	773	46,13	108,77	217,55
6	40	355,2	150	1545,66	0,0290	62,65	1,68	773	46,13	108,77	217,55
7	40	355,2	150	1545,66	0,0290	62,65	1,68	773	46,13	108,77	217,55
8	40	355,2	150	1545,66	0,0290	62,65	1,68	773	46,13	108,77	217,55
Silva Filho (2001)											
9	41,9	355,2	150	1545,66	0,0290	63,91	1,68	769	45,89	109,80	219,60
10	41,9	355,2	150	1545,66	0,0290	63,91	1,68	769	45,89	109,80	219,60
11	42,2	355,2	150	1545,66	0,0290	64,11	1,68	769	45,89	110,00	219,99
12	45,3	355,2	150	1545,66	0,0290	66,11	1,68	769	45,89	112,00	223,99
13	46,4	355,2	150	1545,66	0,0290	66,80	1,68	769	45,89	112,69	225,38
14	43,8	355,2	150	1545,66	0,0290	65,15	1,68	769	45,89	111,04	222,07
15	45,3	355,2	150	1545,66	0,0290	66,11	1,68	769	45,89	112,00	223,99
16	45,3	355,2	150	1545,66	0,0290	66,11	1,68	769	45,89	112,00	223,99
Araújo (2002)											
17	23,3	355,2	150	1545,66	0,0290	49,88	1,68	771	46,01	95,89	191,77
18	22,5	355,2	150	1545,66	0,0290	49,17	1,68	771	46,01	95,17	190,35
19	22,5	355,2	150	1545,66	0,0290	49,17	1,68	771	46,01	95,17	190,35
20	22,5	355,2	150	1545,66	0,0290	49,17	1,68	771	46,01	95,17	190,35
21	46,1	349,3	150	2280,80	0,0435	69,80	1,68	771	45,24	115,05	230,09
22	45,7	349,3	150	2280,80	0,0435	69,55	1,68	771	45,24	114,80	229,60
23	45,8	349,3	150	2280,80	0,0435	69,62	1,68	771	45,24	114,86	229,72
24	46,6	349,3	150	2280,80	0,0435	70,11	1,68	771	45,24	115,35	230,71
Altin et. al (2010)											
25	25	330	120	942,48	0,0238	34,88	1,885	275	17,11	51,99	103,98
26	25,2	330	120	942,48	0,0238	35,01	1,885	275	17,11	52,12	104,23
27	24,9	330	120	942,48	0,0238	34,82	1,885	275	17,11	51,93	103,85
28	24,8	330	120	942,48	0,0238	34,76	1,885	275	17,11	51,86	103,73
29	24,8	330	120	942,48	0,0238	34,76	1,885	275	17,11	51,86	103,73
30	25	330	120	942,48	0,0238	34,88	1,885	275	17,11	51,99	103,98
31	24,9	330	120	942,48	0,0238	34,82	1,885	275	17,11	51,93	103,85
32	25	330	120	942,48	0,0238	34,88	0	275	0,00	34,88	69,77
33	25,1	330	120	942,48	0,0238	34,95	0	275	0,00	34,95	69,90
34	24,6	330	120	942,48	0,0238	34,63	0	275	0,00	34,63	69,26
Jayaprakash et. al (2010)											
35	27,4	310	120	628,32	0,0169	35,43	6,28	660,82	97,34	132,77	265,54
36	27,4	310	120	628,32	0,0169	35,43	6,28	660,82	97,34	132,77	265,54
37	27,4	310	120	628,32	0,0169	35,43	6,28	660,82	97,34	132,77	265,54
38	16,7	310	120	402,12	0,0108	27,06	6,28	620,31	97,34	124,40	248,80
39	16,7	310	120	402,12	0,0108	27,06	6,28	620,31	97,34	124,40	248,80
40	16,7	310	120	402,12	0,0108	27,06	6,28	620,31	97,34	124,40	248,80
41	27,4	310	120	628,32	0,0169	33,83	6,28	660,82	97,34	131,17	262,33
42	27,4	310	120	628,32	0,0169	33,83	6,28	660,82	97,34	131,17	262,33
43	27,4	310	120	628,32	0,0169	33,83	6,28	660,82	97,34	131,17	262,33
44	16,7	310	120	402,12	0,0108	26,03	6,28	620,31	97,34	123,37	246,74
45	16,7	310	120	402,12	0,0108	26,03	6,28	620,31	97,34	123,37	246,74
46	16,7	310	120	402,12	0,0108	26,03	6,28	620,31	97,34	123,37	246,74
Mofidi e Chaallal (2011)											
47	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
48	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
49	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
50	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
51	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
52	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
53	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
54	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
55	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	0	540	0,00	61,01	92,13
56	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	5,745	540	108,58	169,59	256,09
57	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	5,745	540	108,58	169,59	256,09
58	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	5,745	540	108,58	169,59	256,09
59	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	5,745	540	108,58	169,59	256,09
60	31	350	160	1963,50	0,0351	61,01	5,745	540	108,58	169,59	256,09

	fc' (Mpa)	d (mm)	bw (mm)	As long- (mm ²)	ρ	Vc (kN)	Asw/s (cm ² /m)	f _{yd} (MPa)	Vs (kN)	Vu (kN)	Pu(kN)
Beber (2003)											
61	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
62	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
63	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
64	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
65	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
66	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
67	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
68	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
69	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
70	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
71	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
72	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
73	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
74	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
75	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
76	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
77	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
78	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
79	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
80	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
81	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
82	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
83	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
84	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
85	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
86	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
87	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
88	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
89	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
90	32,80	255	150	1206,37	0,0315	42,12	0	747	0	42,12	84,24
Galvez (2003)											
91	38,00	160	150	368,16	0,0153	25,67	2,3	773,8	28,48	54,15	108,30
92	32,10	160	150	368,16	0,0153	23,76	2,3	773,8	28,48	52,23	104,47
93	35,30	160	150	368,16	0,0153	24,82	2,3	773,8	28,48	53,29	106,59
94	85,20	168,7	150	1005,31	0,0397	43,14	1,85	799,2	24,94	68,08	136,16
95	85,20	168,7	150	1005,31	0,0397	43,14	1,85	799,2	24,94	68,08	136,16
96	93,20	168,7	150	1005,31	0,0397	44,85	1,85	799,2	24,94	69,80	139,59
97	101,86	168,7	150	1005,31	0,0397	46,63	1,85	799,2	24,94	71,57	143,14
Khalifa & Nanni (2002)											
98	27,50	253	150	1608,50	0,0424	40,96	0	530	0,00	40,96	81,91
99	27,50	253	150	1608,50	0,0424	40,96	0	530	0,00	40,96	81,91
100	27,50	253	150	1608,50	0,0424	40,96	0	530	0,00	40,96	81,91
101	27,50	253	150	1608,50	0,0424	40,96	0	530	0,00	40,96	81,91
102	27,50	253	150	1608,50	0,0424	40,96	0	530	0,00	40,96	81,91
103	27,50	253	150	1608,50	0,0424	38,68	0	530	0,00	38,68	77,36
104	27,50	253	150	1608,50	0,0424	38,68	0	530	0,00	38,68	77,36
105	27,50	253	150	1608,50	0,0424	38,68	0	530	0,00	38,68	77,36
Dias & Barros (2005)											
106	37,60	274	150	314,16	0,0076	42,76	0	694	0,00	42,76	85,52
107	37,60	274	150	314,16	0,0076	42,76	1,88	694	27,82	70,58	141,16
108	37,60	274	150	314,16	0,0076	42,76	0	694	0,00	42,76	85,52
109	37,60	273	150	452,39	0,0110	43,68	0	694	0,00	43,68	87,35
110	37,60	273	150	452,39	0,0110	43,68	3,77	694	55,58	99,25	198,51
111	37,60	273	150	452,39	0,0110	43,68	0	694	0,00	43,68	87,35
112	49,50	124	150	314,16	0,0169	23,15	0	694	0,00	23,15	46,29
113	49,50	124	150	314,16	0,0169	23,15	3,77	694	25,24	48,39	96,78
114	49,50	124	150	314,16	0,0169	23,15	0	694	0,00	23,15	46,29
115	49,50	123	150	452,39	0,0245	23,92	0	694	0,00	23,92	47,84
116	49,50	123	150	452,39	0,0245	23,92	7,54	694	50,08	74,00	148,01
117	49,50	123	150	452,39	0,0245	23,92	0	694	0,00	23,92	47,84
Täljsten (2003)											
118	55,94	439	180	2412,74	0,0305	108,97	0	500	0,00	108,97	217,93
119	55,94	439	180	2412,74	0,0305	108,97	0	500	0,00	108,97	217,93
120	55,94	439	180	2412,74	0,0305	108,97	0	500	0,00	108,97	217,93
121	59,26	439	180	2412,74	0,0305	111,73	0	500	0,00	111,73	223,47
122	48,72	439	180	2412,74	0,0305	102,65	0	500	0,00	102,65	205,31
123	48,72	439	180	2412,74	0,0305	102,65	0	500	0,00	102,65	205,31
124	59,26	439	180	2412,74	0,0305	111,73	0	500	0,00	111,73	223,47
Khalifa & Nanni (2000)											
125	35,00	366	150	1231,50	0,0224	59,13	0	530	0,00	59,13	118,26
126	35,00	366	150	1231,50	0,0224	59,13	0	530	0,00	59,13	118,26
127	35,00	366	150	1231,50	0,0224	59,13	0	530	0,00	59,13	118,26
128	35,00	366	150	1231,50	0,0224	59,13	0	530	0,00	59,13	118,26
129	35,00	366	150	1231,50	0,0224	59,13	0	530	0,00	59,13	118,26
130	35,00	366	150	1231,50	0,0224	59,13	0	530	0,00	59,13	118,26

	fc' (Mpa)	d (mm)	bw (mm)	As long. (mm ²)	ρ	Vc (kN)	Asw/s (cm ² /m)	f _{yd} (MPa)	Vs (kN)	Vu (kN)	Pu(kN)
Gallardo (2002)											
131	45,33	415,8	120	1256,64	0,0252	58,98	0,924	681,9	26,20	85,17	170,35
132	45,84	415,8	120	1256,64	0,0252	59,28	0,924	681,9	26,20	85,48	170,95
133	46,23	415,8	120	1256,64	0,0252	59,51	0,924	681,9	26,20	85,70	171,41
134	46,80	415,8	120	1256,64	0,0252	59,84	0,924	681,9	26,20	86,04	172,08
135	45,12	415,8	120	1256,64	0,0252	58,85	0,924	681,9	26,20	85,05	170,10
136	44,83	415,8	120	1256,64	0,0252	58,68	0,924	681,9	26,20	84,88	169,75
Pellegrino & Modena (2002)											
137	27,50	250	150	1005,31	0,0268	37,16	0	548	0,00	37,16	74,32
138	27,50	250	150	1005,31	0,0268	37,16	0	548	0,00	37,16	74,32
139	27,50	250	150	1005,31	0,0268	37,16	0	548	0,00	37,16	74,32
140	27,50	250	150	1005,31	0,0268	37,16	0	548	0,00	37,16	74,32
141	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
142	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
143	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
144	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
145	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
146	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
147	31,40	250	150	1570,80	0,0419	42,52	5,03	548	68,91	111,43	222,87
Spagnolo et al. (2013)											
148	48,44	360	150	1206,37	0,0223	68,68	3,93	596	84,32	153,00	306,00
149	51,73	360	150	1206,37	0,0223	70,69	3,93	596	84,32	155,01	310,02
150	51,73	360	150	1206,37	0,0223	70,69	3,93	596	84,32	155,01	310,02
151	52,30	360	150	1206,37	0,0223	71,03	3,93	596	84,32	155,35	310,70
152	49,92	360	150	1206,37	0,0223	69,59	1,965	596	42,16	111,75	223,50
153	50,94	360	150	1206,37	0,0223	70,21	1,965	596	42,16	112,37	224,74
154	51,73	360	150	1206,37	0,0223	70,69	1,965	596	42,16	112,85	225,70
155	52,30	360	150	1206,37	0,0223	71,03	1,965	596	42,16	113,19	226,38
Mofidi e Chaallal (2014)											
156	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
157	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
158	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
159	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
160	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
161	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
162	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
163	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	0	540	0,00	56,96	85,45
164	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	5,74	540	108,49	165,45	248,18
165	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	5,74	540	108,49	165,45	248,18
166	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	5,74	540	108,49	165,45	248,18
167	29,00	350	152	1963,50	0,0369	56,96	5,74	540	108,49	165,45	248,18
Jayaprakash et al (2008)											
168	27,38	310	120	628,32	0,0169	35,42	0	0	0,00	35,42	70,83
169	27,38	310	120	628,32	0,0169	35,42	0	0	0,00	35,42	70,83
170	27,38	310	120	628,32	0,0169	35,42	0	0	0,00	35,42	70,83
171	27,38	310	120	628,32	0,0169	35,42	0	0	0,00	35,42	70,83
172	27,38	310	120	402,12	0,0108	33,88	0	0	0,00	33,88	67,76
173	27,38	310	120	402,12	0,0108	33,88	0	0	0,00	33,88	67,76
174	27,38	310	120	402,12	0,0108	33,88	0	0	0,00	33,88	67,76
175	16,73	310	120	628,32	0,0169	27,02	0	0	0,00	27,02	54,03
176	16,73	310	120	628,32	0,0169	27,02	0	0	0,00	27,02	54,03
177	16,73	310	120	628,32	0,0169	27,02	0	0	0,00	27,02	54,03
178	16,73	310	120	628,32	0,0169	27,02	0	0	0,00	27,02	54,03
179	16,73	310	120	402,12	0,0108	26,05	0	0	0,00	26,05	52,11
180	16,73	310	120	402,12	0,0108	26,05	0	0	0,00	26,05	52,11
181	16,73	310	120	402,12	0,0108	26,05	0	0	0,00	26,05	52,11
182	16,73	310	120	402,12	0,0108	26,05	0	0	0,00	26,05	52,11
183	16,73	310	120	402,12	0,0108	26,05	0	0	0,00	26,05	52,11
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)											
184	30,50	170	150	760,27	0,0298	26,84	0	0	0,00	26,84	53,68
185	35,40	170	150	760,27	0,0298	28,58	0	0	0,00	28,58	57,17
186	33,50	170	150	760,27	0,0298	27,92	0	0	0,00	27,92	55,85
187	31,50	170	150	760,27	0,0298	27,21	0	0	0,00	27,21	54,41
188	31,00	170	150	760,27	0,0298	27,02	0	0	0,00	27,02	54,05
189	33,70	170	150	760,27	0,0298	27,99	0	0	0,00	27,99	55,99
190	34,40	170	150	760,27	0,0298	28,24	0	0	0,00	28,24	56,48
191	35,40	170	150	760,27	0,0298	28,58	0	0	0,00	28,58	57,17
Leung et al. (2007)											
192	27,40	155	75	628,32	0,0540	13,42	2,09	500	16,20	29,62	59,23
193	27,40	155	75	628,32	0,0540	13,42	2,09	500	16,20	29,62	59,23
194	27,40	155	75	628,32	0,0540	13,42	2,09	500	16,20	29,62	59,23
195	27,40	155	75	628,32	0,0540	13,42	2,09	500	16,20	29,62	59,23
196	27,40	155	75	628,32	0,0540	13,42	2,09	500	16,20	29,62	59,23
197	27,40	305	150	2010,62	0,0439	49,90	4,19	500	63,90	113,80	227,60
198	27,40	305	150	2010,62	0,0439	49,90	4,19	500	63,90	113,80	227,60
199	27,40	305	150	2010,62	0,0439	49,90	4,19	500	63,90	113,80	227,60
200	27,40	305	150	2010,62	0,0439	49,90	4,19	500	63,90	113,80	227,60
201	27,40	305	150	2010,62	0,0439	49,90	4,19	500	63,90	113,80	227,60

4.4 - Calculo Zsutty

	bw (mm)	d (mm)	f'c (MPa)	As long. (mm²)	ρ	a/d	Vc (kN)	fyw (MPa)	Asw/s (cm²/m)	Vs (kN)	Vu (kN)	Pu (kN)
Salles Neto (2000)												
1	150	355,2	44,6	1545,66	0,0290	3,01	92,48	773,00	0,00	0,00	92,48	184,97
2	150	355,2	44,6	1545,66	0,0290	3,01	92,48	773,00	0,00	0,00	92,48	184,97
3	150	355,2	44,6	1545,66	0,0290	3,01	92,48	773,00	0,00	0,00	92,48	184,97
4	150	355,2	40	1545,66	0,0290	3,01	89,19	773,00	1,68	46,13	135,32	270,63
5	150	355,2	40	1545,66	0,0290	3,01	89,19	773,00	1,68	46,13	135,32	270,63
6	150	355,2	40	1545,66	0,0290	3,01	89,19	773,00	1,68	46,13	135,32	270,63
7	150	355,2	40	1545,66	0,0290	3,01	89,19	773,00	1,68	46,13	135,32	270,63
8	150	355,2	40	1545,66	0,0290	3,01	89,19	773,00	1,68	46,13	135,32	270,63
Silva Filho (2001)												
9	150	355,2	41,9	1545,66	0,0290	3,01	90,58	769,00	1,68	45,89	136,47	272,93
10	150	355,2	41,9	1545,66	0,0290	3,01	90,58	769,00	1,68	45,89	136,47	272,93
11	150	355,2	42,2	1545,66	0,0290	3,01	90,79	769,00	1,68	45,89	136,68	273,37
12	150	355,2	45,3	1545,66	0,0290	3,01	92,97	769,00	1,68	45,89	138,85	277,71
13	150	355,2	46,4	1545,66	0,0290	3,01	93,71	769,00	1,68	45,89	139,60	279,20
14	150	355,2	43,8	1545,66	0,0290	3,01	91,93	769,00	1,68	45,89	137,82	275,63
15	150	355,2	45,3	1545,66	0,0290	3,01	92,97	769,00	1,68	45,89	138,85	277,71
16	150	355,2	45,3	1545,66	0,0290	3,01	92,97	769,00	1,68	45,89	138,85	277,71
Araújo (2002)												
17	150	355,2	23,3	1545,66	0,0290	3,01	74,49	771,00	1,68	46,01	120,49	240,99
18	150	355,2	22,5	1545,66	0,0290	3,01	73,62	771,00	1,68	46,01	119,63	239,26
19	150	355,2	22,5	1545,66	0,0290	3,01	73,62	771,00	1,68	46,01	119,63	239,26
20	150	355,2	22,5	1545,66	0,0290	3,01	73,62	771,00	1,68	46,01	119,63	239,26
21	150	349,3	46,1	2280,80	0,0435	3,01	105,28	771,00	1,68	45,24	150,52	301,04
22	150	349,3	45,7	2280,80	0,0435	3,01	104,97	771,00	1,68	45,24	150,21	300,43
23	150	349,3	45,8	2280,80	0,0435	3,01	105,05	771,00	1,68	45,24	150,29	300,58
24	150	349,3	46,6	2280,80	0,0435	3,01	105,65	771,00	1,68	45,24	150,90	301,80
Alfin et. al (2010)												
25	120	330	25	942,48	0,0238	5	44,80	275,00	1,885	17,11	61,91	123,81
26	120	330	25,2	942,48	0,0238	5	44,92	275,00	1,885	17,11	62,02	124,05
27	120	330	24,9	942,48	0,0238	5	44,74	275,00	1,885	17,11	61,85	123,69
28	120	330	24,8	942,48	0,0238	5	44,68	275,00	1,885	17,11	61,79	123,57
29	120	330	24,8	942,48	0,0238	5	44,68	275,00	1,885	17,11	61,79	123,57
30	120	330	25	942,48	0,0238	5	44,80	275,00	1,885	17,11	61,91	123,81
31	120	330	24,9	942,48	0,0238	5	44,74	275,00	1,885	17,11	61,85	123,69
32	120	330	25	942,48	0,0238	5	44,80	275,00	0,00	0,00	44,80	89,60
33	120	330	25,1	942,48	0,0238	5	44,86	275,00	0,00	0,00	44,86	89,72
34	120	330	24,6	942,48	0,0238	5	44,56	275,00	0,00	0,00	44,56	89,12
Jayaprakash et. al (2010)												
35	120	310	27,4	628,32	0,0169	2,5	48,76	660,82	6,28	128,65	177,41	354,82
36	120	310	27,4	628,32	0,0169	2,5	48,76	660,82	6,28	128,65	177,41	354,82
37	120	310	27,4	628,32	0,0169	2,5	48,76	660,82	6,28	128,65	177,41	354,82
38	120	310	16,7	402,12	0,0108	2,5	35,63	620,31	6,28	120,76	156,39	312,78
39	120	310	16,7	402,12	0,0108	2,5	35,63	620,31	6,28	120,76	156,39	312,78
40	120	310	16,7	402,12	0,0108	2,5	35,63	620,31	6,28	120,76	156,39	312,78
41	120	310	27,4	628,32	0,0169	4	41,69	660,82	6,28	128,65	170,34	340,68
42	120	310	27,4	628,32	0,0169	4	41,69	660,82	6,28	128,65	170,34	340,68
43	120	310	27,4	628,32	0,0169	4	41,69	660,82	6,28	128,65	170,34	340,68
44	120	310	16,7	402,12	0,0108	4	30,46	620,31	6,28	120,76	151,22	302,45
45	120	310	16,7	402,12	0,0108	4	30,46	620,31	6,28	120,76	151,22	302,45
46	120	310	16,7	402,12	0,0108	4	30,46	620,31	6,28	120,76	151,22	302,45
Mofidi e Chaallal (2011)												
47	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
48	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
49	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
50	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
51	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
52	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
53	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
54	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
55	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	0,00	0,00	91,82	138,65
56	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	5,75	108,58	200,40	302,61
57	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	5,75	108,58	200,40	302,61
58	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	5,75	108,58	200,40	302,61
59	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	5,75	108,58	200,40	302,61
60	160	350	31	1963,50	0,0351	3	91,82	540,00	5,75	108,58	200,40	302,61

	bw (mm)	d (mm)	f _c (MPa)	As long. (mm ²)	ρ	a/d	Vc (kN)	f _w (MPa)	Asw/s (cm ² /m)	V _s (kN)	V _u (kN)	P _u (kN)
Beber (2003)												
61	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
62	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
63	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
64	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
65	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
66	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
67	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
68	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
69	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
70	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
71	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
72	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
73	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
74	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
75	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
76	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
77	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
78	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
79	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
80	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
81	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
82	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
83	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
84	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
85	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
86	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
87	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
88	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
89	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
90	150	255	32,8	1206,37	0,0315	2,9	62,39	747,00	0,00	0,00	62,39	124,79
Galvez (2003)												
91	150	160	38,0	368,16	0,0153	3,125	31,54	773,80	2,30	28,48	60,02	120,03
92	150	160	32,1	368,16	0,0153	3,125	29,81	773,80	2,30	28,48	58,29	116,58
93	150	160	35,3	368,16	0,0153	3,125	30,77	773,80	2,30	28,48	59,25	118,50
94	150	168,7	85,2	1005,31	0,0397	2,964	60,84	799,20	1,85	24,94	85,78	171,56
95	150	168,7	85,2	1005,31	0,0397	2,964	60,84	799,20	1,85	24,94	85,78	171,56
96	150	168,7	93,2	1005,31	0,0397	2,964	62,68	799,20	1,85	24,94	87,63	175,25
97	150	168,7	101,9	1005,31	0,0397	2,964	64,57	799,20	1,85	24,94	89,51	179,02
Khalifa & Nanni (2002)												
98	150	253	27,5	1608,50	0,0424	3,000	63,69	530,00	0,00	0,00	63,69	127,38
99	150	253	27,5	1608,50	0,0424	3,000	63,69	530,00	0,00	0,00	63,69	127,38
100	150	253	27,5	1608,50	0,0424	3,000	63,69	530,00	0,00	0,00	63,69	127,38
101	150	253	27,5	1608,50	0,0424	3,000	63,69	530,00	0,00	0,00	63,69	127,38
102	150	253	27,5	1608,50	0,0424	3,000	63,69	530,00	0,00	0,00	63,69	127,38
103	150	253	27,5	1608,50	0,0424	4,000	57,87	530,00	0,00	0,00	57,87	115,73
104	150	253	27,5	1608,50	0,0424	4,000	57,87	530,00	0,00	0,00	57,87	115,73
105	150	253	27,5	1608,50	0,0424	4,000	57,87	530,00	0,00	0,00	57,87	115,73
Dias & Barros (2005)												
106	150	274	37,6	314,16	0,0076	2,19	48,04	540,00	0,00	0,00	48,04	96,08
107	150	274	37,6	314,16	0,0076	2,19	48,04	540,00	1,88	27,82	75,86	151,71
108	150	274	37,6	314,16	0,0076	2,19	48,04	540,00	0,00	0,00	48,04	96,08
109	150	273	37,6	452,39	0,0110	2,20	54,05	540,00	0,00	0,00	54,05	108,10
110	150	273	37,6	452,39	0,0110	2,20	54,05	540,00	3,77	55,58	109,63	219,26
111	150	273	37,6	452,39	0,0110	2,20	54,05	540,00	0,00	0,00	54,05	108,10
112	150	124	49,5	314,16	0,0169	2,42	30,02	540,00	0,00	0,00	30,02	60,04
113	150	124	49,5	314,16	0,0169	2,42	30,02	540,00	3,77	25,24	55,26	110,53
114	150	124	49,5	314,16	0,0169	2,42	30,02	540,00	0,00	0,00	30,02	60,04
115	150	123	49,5	452,39	0,0245	2,44	33,63	540,00	0,00	0,00	33,63	67,25
116	150	123	49,5	452,39	0,0245	2,44	33,63	540,00	7,54	50,08	83,71	167,42
117	150	123	49,5	452,39	0,0245	2,44	33,63	540,00	0,00	0,00	33,63	67,25
Täljsten (2003)												
118	180	439	55,94	2412,74	0,0305	2,847	153,28	500,00	0,00	0,00	153,28	306,56
119	180	439	55,94	2412,74	0,0305	2,847	153,28	500,00	0,00	0,00	153,28	306,56
120	180	439	55,94	2412,74	0,0305	2,847	153,28	500,00	0,00	0,00	153,28	306,56
121	180	439	59,26	2412,74	0,0305	2,847	156,25	500,00	0,00	0,00	156,25	312,51
122	180	439	48,72	2412,74	0,0305	2,847	146,38	500,00	0,00	0,00	146,38	292,76
123	180	439	48,72	2412,74	0,0305	2,847	146,38	500,00	0,00	0,00	146,38	292,76
124	180	439	59,26	2412,74	0,0305	2,847	156,25	500,00	0,00	0,00	156,25	312,51
Khalifa & Nanni (2000)												
125	150	366	35	1231,50	0,0224	2,923	81,47	530,00	0,00	0,00	81,47	162,93
126	150	366	35	1231,50	0,0224	2,923	81,47	530,00	0,00	0,00	81,47	162,93
127	150	366	35	1231,50	0,0224	2,923	81,47	530,00	0,00	0,00	81,47	162,93
128	150	366	35	1231,50	0,0224	2,923	81,47	530,00	0,00	0,00	81,47	162,93
129	150	366	35	1231,50	0,0224	2,923	81,47	530,00	0,00	0,00	81,47	162,93
130	150	366	35	1231,50	0,0224	2,923	81,47	530,00	0,00	0,00	81,47	162,93

	bw (mm)	d (mm)	f_c' (MPa)	As long (mm ²)	ρ	a/d	Vc (kN)	f _{yw} (MPa)	Asw/s (cm ² /m)	Vs (kN)	Vu (kN)	Pu (kN)
Gallardo (2002)												
131	120	415,8	45,33	1256,64	0,0252	4,089	75,01	681,90	0,92	26,20	101,21	202,42
132	120	415,8	45,84	1256,64	0,0252	4,089	75,29	681,90	0,92	26,20	101,49	202,98
133	120	415,8	46,23	1256,64	0,0252	4,089	75,50	681,90	0,92	26,20	101,70	203,40
134	120	415,8	46,8	1256,64	0,0252	4,089	75,81	681,90	0,92	26,20	102,01	204,02
135	120	415,8	45,12	1256,64	0,0252	4,089	74,89	681,90	0,92	26,20	101,09	202,18
136	120	415,8	44,83	1256,64	0,0252	4,089	74,73	681,90	0,92	26,20	100,93	201,86
Pellegrino & Modena (2002)												
137	150	250	27,5	1005,31	0,0268	3	54,02	548,00	0,00	0,00	54,02	108,05
138	150	250	27,5	1005,31	0,0268	3	54,02	548,00	0,00	0,00	54,02	108,05
139	150	250	27,5	1005,31	0,0268	3	54,02	548,00	0,00	0,00	54,02	108,05
140	150	250	27,5	1005,31	0,0268	3	54,02	548,00	0,00	0,00	54,02	108,05
141	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
142	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
143	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
144	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
145	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
146	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
147	150	250	31,4	1570,80	0,0419	3	65,52	548,00	5,03	68,91	134,43	268,87
Spagnolo et al. (2013)												
148	150	360	48,44	1206,37	0,0223	2,4	95,24	596,00	3,93	84,32	179,56	359,12
149	150	360	51,73	1206,37	0,0223	2,4	97,35	596,00	3,93	84,32	181,67	363,34
150	150	360	51,73	1206,37	0,0223	2,4	97,35	596,00	3,93	84,32	181,67	363,34
151	150	360	52,30	1206,37	0,0223	2,4	97,70	596,00	3,93	84,32	182,03	364,05
152	150	360	49,92	1206,37	0,0223	2,4	96,20	596,00	1,97	42,16	138,36	276,72
153	150	360	50,94	1206,37	0,0223	2,4	96,85	596,00	1,97	42,16	139,01	278,02
154	150	360	51,73	1206,37	0,0223	2,4	97,35	596,00	1,97	42,16	139,51	279,02
155	150	360	52,30	1206,37	0,0223	2,4	97,70	596,00	1,97	42,16	139,87	279,73
Mofidi e Chaallal (2014)												
156	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
157	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
158	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
159	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
160	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
161	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
162	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
163	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	0,00	0,00	86,78	130,18
164	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	5,74	108,49	195,27	292,90
165	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	5,74	108,49	195,27	292,90
166	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	5,74	108,49	195,27	292,90
167	152	350	29	1963,50	0,0369	3,0	86,78	540,00	5,74	108,49	195,27	292,90
Jayaprakash et. al (2008)												
168	120	310	27,38	628,32	0,0169	2,5	48,75	0,00	0,00	0,00	48,75	97,50
169	120	310	27,38	628,32	0,0169	2,5	48,75	0,00	0,00	0,00	48,75	97,50
170	120	310	27,38	628,32	0,0169	2,5	48,75	0,00	0,00	0,00	48,75	97,50
171	120	310	27,38	628,32	0,0169	2,5	48,75	0,00	0,00	0,00	48,75	97,50
172	120	310	27,38	402,12	0,0108	2,5	42,01	0,00	0,00	0,00	42,01	84,02
173	120	310	27,38	402,12	0,0108	2,5	42,01	0,00	0,00	0,00	42,01	84,02
174	120	310	27,38	402,12	0,0108	2,5	42,01	0,00	0,00	0,00	42,01	84,02
175	120	310	16,73	628,32	0,0169	4,0	35,37	0,00	0,00	0,00	35,37	70,74
176	120	310	16,73	628,32	0,0169	4,0	35,37	0,00	0,00	0,00	35,37	70,74
177	120	310	16,73	628,32	0,0169	4,0	35,37	0,00	0,00	0,00	35,37	70,74
178	120	310	16,73	628,32	0,0169	4,0	35,37	0,00	0,00	0,00	35,37	70,74
179	120	310	16,73	402,12	0,0108	4,0	30,48	0,00	0,00	0,00	30,48	60,96
180	120	310	16,73	402,12	0,0108	4,0	30,48	0,00	0,00	0,00	30,48	60,96
181	120	310	16,73	402,12	0,0108	4,0	30,48	0,00	0,00	0,00	30,48	60,96
182	120	310	16,73	402,12	0,0108	4,0	30,48	0,00	0,00	0,00	30,48	60,96
183	120	310	16,73	402,12	0,0108	4,0	30,48	0,00	0,00	0,00	30,48	60,96
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)												
184	150	170	30,5	760,27	0,0298	3,0	39,40	0,00	0,00	0,00	39,40	78,80
185	150	170	35,4	760,27	0,0298	3,0	41,40	0,00	0,00	0,00	41,40	82,81
186	150	170	33,5	760,27	0,0298	3,0	40,65	0,00	0,00	0,00	40,65	81,30
187	150	170	31,5	760,27	0,0298	3,0	39,82	0,00	0,00	0,00	39,82	79,65
188	150	170	31	760,27	0,0298	3,0	39,61	0,00	0,00	0,00	39,61	79,22
189	150	170	33,7	760,27	0,0298	3,0	40,73	0,00	0,00	0,00	40,73	81,46
190	150	170	34,4	760,27	0,0298	3,0	41,01	0,00	0,00	0,00	41,01	82,02
191	150	170	35,4	760,27	0,0298	3,0	41,40	0,00	0,00	0,00	41,40	82,81
Leung et al. (2007)												
192	75	155	27,4	628,32	0,0540	2,9	21,37	500,00	2,09	16,20	37,57	75,14
193	75	155	27,4	628,32	0,0540	2,9	21,37	500,00	2,09	16,20	37,57	75,14
194	75	155	27,4	628,32	0,0540	2,9	21,37	500,00	2,09	16,20	37,57	75,14
195	75	155	27,4	628,32	0,0540	2,9	21,37	500,00	2,09	16,20	37,57	75,14
196	75	155	27,4	628,32	0,0540	2,9	21,37	500,00	2,09	16,20	37,57	75,14
197	150	305	27,4	2010,62	0,0439	2,95	78,06	500,00	4,19	63,90	141,95	283,91
198	150	305	27,4	2010,62	0,0439	2,95	78,06	500,00	4,19	63,90	141,95	283,91
199	150	305	27,4	2010,62	0,0439	2,95	78,06	500,00	4,19	63,90	141,95	283,91
200	150	305	27,4	2010,62	0,0439	2,95	78,06	500,00	4,19	63,90	141,95	283,91
201	150	305	27,4	2010,62	0,0439	2,95	78,06	500,00	4,19	63,90	141,95	283,91

7.5 - Calculo ACI 440

n	tf (mm)	wf (mm)	Av (mm ²)	Er (MPa)	efu	ete	frc (MPa)	kv	Le (mm)	k1	k2	α	dsv (mm)	sf (mm)	Vr (kN)	Par (kN)	
Salles Neto (2000)																	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,004	912,00	0,28	51,71	1,397	0,797	90	255,2	230	50,09	100,18
3	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,004	912,00	0,28	51,71	1,397	0,797	45	255,2	230	70,84	141,68
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,004	912,00	0,26	51,71	1,300	0,797	90	255,2	230	50,09	100,18
6	2	0,165	150	99	228000	0,017	0,0033	744,62	0,19	34,60	1,300	0,864	90	255,2	200	94,06	188,13
7	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,004	912,00	0,26	51,71	1,300	0,797	45	255,2	230	70,84	141,68
8	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,004	912,00	0,26	51,71	1,300	0,797	45	255,2	180	90,52	181,03
Silva Filho (2001)																	
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0040	912,00	0,293	51,71	1,340	0,85	90	355,2	230	69,72	139,44
11	2	0,165	150	99	228000	0,017	0,0040	912,00	0,208	34,60	1,347	0,90	90	355,2	200	160,35	320,70
12	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0040	912,00	0,308	51,71	1,412	0,85	45	355,2	200	113,39	226,77
13	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0040	912,00	0,313	51,71	1,435	0,85	45	355,2	230	98,60	197,19
14	3	0,165	150	148,5	228000	0,017	0,0028	645,83	0,167	27,35	1,381	0,89	90	255,2	200	122,38	244,75
15	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0040	912,00	0,288	51,71	1,412	0,80	90	255,2	230	50,09	100,18
16	2	0,165	150	99	228000	0,017	0,0035	809,02	0,209	34,60	1,412	0,86	90	255,2	200	102,20	204,40
Araújo (2002)																	
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0031	699,63	0,181	51,71	0,886	0,80	90	255,2	230	38,43	76,85
19	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0031	699,63	0,181	51,71	0,886	0,80	90	255,2	230	38,43	76,85
20	2	0,165	150	99	228000	0,017	0,0022	507,40	0,131	34,60	0,886	0,86	90	255,2	200	64,10	128,19
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0040	912,00	0,309	51,71	1,420	0,85	90	349,3	230	68,56	137,12
23	2	0,165	150	99	228000	0,017	0,0040	912,00	0,219	34,60	1,422	0,90	90	349,3	200	157,69	315,38
24	1	0,165	150	49,5	228000	0,017	0,0040	912,00	0,313	51,71	1,439	0,85	45	349,3	325	68,62	137,23
Altin et. al (2010)																	
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00376	867,44	0,221	61,74	0,955	0,76	90	255	125	21,23	42,47
27	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00373	860,54	0,219	61,74	0,947	0,76	90	255	150	17,55	35,11
28	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00372	858,23	0,219	61,74	0,945	0,76	90	255	200	13,13	26,26
29	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00372	858,23	0,219	61,74	0,945	0,76	90	255	125	21,01	42,02
30	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00374	862,84	0,220	61,74	0,950	0,76	90	255	150	17,60	35,20
31	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00373	860,54	0,219	61,74	0,947	0,76	90	255	200	13,17	26,33
32	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00374	862,84	0,220	61,74	0,950	0,76	90	255	125	21,12	42,24
33	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00375	865,14	0,220	61,74	0,953	0,76	90	255	150	17,65	35,30
34	1	0,12	50	12	231000	0,017	0,00370	853,61	0,217	61,74	0,940	0,76	90	255	200	13,06	26,12
Jayaprakash et. al (2010)																	
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00400	920,00	0,245	73,13	1,010	0,65	90	210	150	18,55	37,09
37	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00400	920,00	0,245	73,13	1,010	0,65	90	210	200	13,91	27,82
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00291	668,75	0,176	73,13	0,726	0,65	90	210	150	13,48	26,96
40	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00291	668,75	0,176	73,13	0,726	0,65	90	210	200	10,11	20,22
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00400	920,00	0,245	73,13	1,010	0,65	90	210	150	18,55	37,09
43	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00400	920,00	0,245	73,13	1,010	0,65	45	210	150	26,23	52,46
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00291	668,75	0,176	73,13	0,726	0,65	90	210	150	13,48	26,96
46	1	0,09	80	14,4	230000	0,017	0,00291	668,75	0,176	73,13	0,726	0,65	45	210	150	19,07	38,13
Mofidi e Chaallal (2011)																	
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	1	0,11	40	8,8	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	115	17,46	26,36
49	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	175	25,10	37,90
50	1	0,11	1000	220	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	1000	50,20	75,79
51	1	0,11	53	11,66	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	87,5	30,40	45,91
52	1	0,11	30	6,6	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	50	30,12	45,48
53	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	125	35,14	53,06
54	1	0,11	1000	220	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	1000	50,20	75,79
55	1	0,11	1000	220	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	1000	50,20	75,79
56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	175	25,10	37,90
58	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	175	25,10	37,90
59	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	125	35,14	53,06
60	1	0,11	1000	220	230000	0,015	0,00400	920,00	0,295	65,09	1,096	0,74	90	248	1000	50,20	75,79

	n	tf (mm)	wf (mm)	Atv (mm²)	Er (MPa)	etu	etc	fie (MPa)	kv	Le (mm)	k1	k2	α	dfv (mm)	sf (mm)	Vr (kN)	Puf (kN)	
Beber (2003)																		
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	90	255	100	19,67	39,33	
64	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	90	255	100	19,67	39,33	
65	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	90	255	100	19,67	39,33	
66	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
67	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
68	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
69	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
70	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
71	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
72	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
73	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
74	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	100	25,81	51,61	
75	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	45	255	141,4	19,67	39,34	
76	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	45	255	141,4	19,67	39,34	
77	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	45	255	141,4	19,67	39,34	
78	1	0,11	50	11	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	45	255	141,4	19,67	39,34	
79	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	90	255	655	39,33	78,66	
80	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	90	255	655	39,33	78,66	
81	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	655	51,61	103,22	
82	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	655	51,61	103,22	
83	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	655	51,61	103,22	
84	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0040	920,00	0,313	65,09	1,1	0,74	90	255	655	51,61	103,22	
85	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	45	255	655	55,62	111,25	
86	1	0,11	655	144,1	230000	0,0148	0,0030	701,10	0,206	65,09	1,1	0,49	45	255	655	55,62	111,25	
87	1	1,4	50	140	205000	0,0122	0,0013	273,17	0,109	15,91	1,1	0,88	90	255	100	97,52	195,04	
88	1	1,4	50	140	205000	0,0122	0,0013	273,17	0,109	15,91	1,1	0,88	90	255	100	97,52	195,04	
89	1	1,4	50	140	205000	0,0122	0,0013	273,17	0,109	15,91	1,1	0,88	45	255	141,4	97,54	195,07	
90	1	1,4	50	140	205000	0,0122	0,0013	273,17	0,109	15,91	1,1	0,88	45	255	141,4	97,54	195,07	
Galvez (2003)																		
91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	1	0,117	500	117	240000	0,0155	0,0014	324,61	0,087	61,28	1,1	0,23	90	160	500	12,15	24,31	
93	1	0,117	500	117	240000	0,0155	0,0014	345,85	0,093	61,28	1,2	0,23	45	160	500	18,31	36,62	
94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	1	0,117	750	175,5	240000	0,0155	0,0030	727,31	0,196	61,28	2,2	0,27	90	168,7	750	28,71	57,42	
96	1	0,117	50	11,7	240000	0,0155	0,0040	960,00	0,483	61,28	2,3	0,64	90	168,7	150	12,63	25,26	
97	1	0,117	50	11,7	240000	0,0155	0,0040	960,00	0,513	61,28	2,4	0,64	90	168,7	150	12,63	25,26	
Khalifa & Nanni (2002)																		
98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	1	0,165	50	16,5	228000	0,0166	0,0035	798,00	0,211	51,71	1,0	0,80	90	253	125	26,65	53,30	
100	1	0,165	75	24,75	228000	0,0166	0,0035	798,00	0,211	51,71	1,0	0,80	90	253	125	39,98	79,95	
101	1	0,165	1525	503,25	228000	0,0166	0,0035	798,00	0,211	51,71	1,0	0,80	90	253	1525	66,63	133,25	
102	1	0,165	1525	503,25	228000	0,0166	0,0035	798,00	0,211	51,71	1,0	0,80	90	253	1525	66,63	133,25	
103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
104	1	0,165	50	16,5	228000	0,0166	0,0035	798,00	0,211	51,71	1,0	0,80	90	253	125	26,65	53,30	
105	1	0,165	1525	503,25	228000	0,0166	0,0035	798,00	0,211	51,71	1,0	0,80	90	253	1525	66,63	133,25	
Dias & Barros (2005)																		
106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
108	2	0,167	25	16,7	390000	0,008	0,0024	933,96	0,299	25,16	1,2	0,91	90	274	190	22,49	44,99	
109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	2	0,167	25	16,7	390000	0,008	0,0024	933,62	0,299	25,16	1,2	0,91	90	273	95	44,80	89,61	
112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	2	0,167	25	16,7	390000	0,008	0,0025	984,63	0,316	25,16	1,5	0,80	90	124	80	25,49	50,97	
115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	2	0,167	25	16,7	390000	0,008	0,0025	982,60	0,315	25,16	1,5	0,80	90	123	40	50,46	100,92	
Täljsten (2003)																		
118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
119	1	0,11	2000	440	234000	0,019	0,0040	936,00	0,395	64,45	1,63	0,85	45	439	2000	127,84	255,69	
120	1	0,07	2000	280	234000	0,019	0,0040	936,00	0,487	83,76	1,63	0,81	45	439	2000	81,35	162,71	
121	1	0,11	2000	440	234000	0,019	0,0040	936,00	0,411	64,45	1,69	0,85	45	439	2000	127,84	255,69	
122	1	0,11	2000	440	234000	0,019	0,0040	936,00	0,360	64,45	1,48	0,85	90	439	2000	90,40	180,80	
123	1	0,11	2000	440	234000	0,019	0,0040	936,00	0,360	64,45	1,48	0,85	0	439	2000	90,40	180,80	
124	1	0,165	2000	660	234000	0,019	0,0040	936,00	0,336	50,94	1,69	0,88	45	439	2000	191,76	383,53	
Khalifa & Nanni (2000)																		
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
126	1	0,165	1070	353,1	228000	0,0166	0,0040	912,00	0,250	51,71	1,19	0,81	90	266	1070	80,06	160,11	
127	1	0,165	1070	353,1	228000	0,0166	0,0040	912,00	0,250	51,71	1,19	0,81	90	266	1070	80,06	160,11	
128	1	0,165	50	16,5	228000	0,0166	0,0040	912,00	0,250	51,71	1,19	0,81	90	266	125	32,02	64,04	
129	1	0,165	50	16,5	228000	0,0166	0,0032	719,94	0,190	51,71	1,19	0,61	90	266	125	25,28	50,56	
130	1	0,165	1070	353,1	228000	0,0166	0,0040	912,00	0,250	51,71	1,19	0,81	90	266	1070	80,06	160,11	

	n	tf (mm)	wf (mm)	A _f (mm ²)	E _f (MPa)	e _{fa}	e _{fe}	f _{ic} (MPa)	k _v	L _e (mm)	k ₁	k ₂	α	d _f (mm)	s _f (mm)	V _r (kN)	P _{af} (kN)
Gallardo (2002)																	
131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
132	1	0,117	50	11,7	288000	0,0080	0,0040	1152,00	0,535	55,13	1,42	0,65	90	315,8	150	28,38	56,75
133	1	0,117	50	11,7	288000	0,0080	0,0040	1152,00	0,538	55,13	1,43	0,65	90	315,8	150	28,38	56,75
134	1	0,117	50	11,7	288000	0,0080	0,0040	1152,00	0,688	55,13	1,44	0,83	90	315,8	150	28,38	56,75
135	2	0,117	50	23,4	288000	0,0080	0,0039	1110,07	0,480	36,88	1,41	0,88	90	315,8	150	54,69	109,37
136	2	0,117	50	23,4	288000	0,0080	0,0038	1105,31	0,478	36,88	1,40	0,88	90	315,8	150	54,45	108,91
Pellegrino & Modena (2002)																	
137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	1	0,165	750	247,5	233600	0,0152	0,0026	599,94	0,169	50,99	1,01	0,59	90	250	750	49,50	98,99
139	3	0,165	750	742,5	233600	0,0152	0,0018	420,23	0,118	26,96	1,01	0,78	90	250	750	104,01	208,01
140	3	0,165	750	742,5	233600	0,0152	0,0018	420,23	0,118	26,96	1,01	0,78	90	250	750	104,01	208,01
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	2	0,165	750	495	233600	0,0152	0,0023	538,44	0,152	34,11	1,11	0,73	90	250	750	88,84	177,69
143	3	0,165	750	742,5	233600	0,0152	0,0020	459,08	0,129	26,96	1,11	0,78	90	250	750	113,62	227,24
144	3	0,165	750	742,5	233600	0,0152	0,0020	459,08	0,129	26,96	1,11	0,78	90	250	750	113,62	227,24
145	1	0,165	750	247,5	233600	0,0152	0,0028	655,40	0,185	50,99	1,11	0,59	90	250	750	54,07	108,14
146	2	0,165	750	495	233600	0,0152	0,0023	538,44	0,152	34,11	1,11	0,73	90	250	750	88,84	177,69
147	2	0,165	750	495	233600	0,0152	0,0023	538,44	0,152	34,11	1,11	0,73	90	250	750	88,84	177,69
Spagnolo et al. (2013)																	
148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
149	1	0,122	100	24,4	255000	0,1160	0,0040	1020,00	0,051	57,74	1,54	0,79	90	280	225	30,97	61,94
150	2	0,122	100	48,8	255000	0,1160	0,0040	1020,00	0,037	38,63	1,54	0,86	90	280	225	61,94	123,89
151	3	0,122	100	73,2	255000	0,1160	0,0036	905,78	0,031	30,53	1,55	0,89	90	280	225	82,51	165,02
152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	1	0,122	100	24,4	255000	0,1160	0,0040	1020,00	0,051	57,74	1,53	0,79	90	280	225	30,97	61,94
154	2	0,122	100	48,8	255000	0,1160	0,0040	1020,00	0,037	38,63	1,54	0,86	90	280	225	61,94	123,89
155	3	0,122	100	73,2	255000	0,1160	0,0036	905,78	0,031	30,53	1,55	0,89	90	280	225	82,51	165,02
Mofidi e Chaallal (2014)																	
156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	1	0,11	40	8,8	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	115	17,46	26,19
158	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	175	25,10	37,65
159	1	0,11	30	6,6	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	50	30,12	45,18
160	1	0,11	53	11,66	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	87,5	30,40	45,61
161	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	125	35,14	52,70
162	1	0,11	1050	231	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	1050	50,20	75,29
163	2	0,11	1050	462	230000	0,0150	0,0032	727,72	0,211	43,55	1,05	0,82	90	248	1050	79,41	119,11
164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	175	25,10	37,65
166	1	0,11	87,5	19,25	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	125	35,14	52,70
167	1	0,11	1050	231	230000	0,0150	0,0040	920,00	0,282	65,09	1,05	0,74	90	248	1050	50,20	75,29
Jayaprakash et. al (2008)																	
168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
169	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0040	920,00	0,287	73,13	1,01	0,76	90	310	150	27,38	54,76
170	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0040	920,00	0,287	73,13	1,01	0,76	90	310	150	27,38	54,76
171	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0040	920,00	0,287	73,13	1,01	0,76	90	310	200	20,53	41,07
172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0040	920,00	0,287	73,13	1,01	0,76	90	310	150	27,38	54,76
174	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0040	920,00	0,287	73,13	1,01	0,76	90	310	200	20,53	41,07
175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
176	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	90	310	150	23,36	46,72
177	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	45	310	150	33,04	66,07
178	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	45	310	150	33,04	66,07
179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	90	310	200	17,52	35,04
181	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	45	310	150	33,04	66,07
182	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	45	310	150	33,04	66,07
183	1	0,09	80	14,4	230000	0,0165	0,0034	784,95	0,207	73,13	0,73	0,76	90	310	150	23,36	46,72
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)																	
184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
185	1	0,167	510	170,34	230000	0,0150	0,0014	319,50	0,093	51,09	1,20	0,27	90	70	510	7,47	14,94
186	2	0,167	510	340,68	230000	0,0150	0,0014	328,25	0,095	34,18	1,15	0,43	90	120	510	26,31	52,63
187	1	0,167	510	170,34	230000	0,0150	0,0007	162,43	0,047	51,09	1,11	0,15	90	120	510	6,51	13,02
188	2	0,167	510	340,68	230000	0,0150	0,0014	311,71	0,090	34,18	1,10	0,43	90	120	510	24,99	49,97
189	2	0,167	510	340,68	230000	0,0150	0,0020	457,88	0,133	34,18	1,16	0,60	90	170	510	52,00	103,99
190	1	0,167	510	170,34	230000	0,0150	0,0029	666,44	0,193	51,09	1,18	0,57	90	120	510	26,71	53,42
191	1	0,167	510	170,34	230000	0,0150	0,0036	827,44	0,240	51,09	1,20	0,70	90	170	510	46,98	93,96
Leung et al. (2007)																	
192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	1	0,11	20	4,4	235000	0,0180	0,0032	750,31	0,177	64,29	1,01	0,59	90	155	60	8,53	17,06
194	1	0,11	20	4,4	235000	0,0180	0,0032	750,31	0,177	64,29	1,01	0,59	90	155	60	8,53	17,06
195	1	0,11	20	4,4	235000	0,0180	0,0040	940,00	0,177	64,29	1,01	0,59	90	155	60	10,68	21,37
196	1	0,11	20	4,4	235000	0,0180	0,0040	940,00	0,177	64,29	1,01	0,59	90	155	60	10,68	21,37
197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	2	0,11	40	17,6	235000	0											

7.6 - Calculo Fib bulletin 14

	tf (mm)	wf (mm)	sf (mm)	bw (mm)	pf (taxa de reforço de FRP)	fc' (MPa)	Er (Gpa)	efu	efe	d (mm)	θ (graus)	α (graus)	Vr (kN)	Par (kN)
Salles Neto (2000)														
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,165	150	230	150	0,00143	44,6	228	0,017	0,00502	355,2	45	90	78,70	157,39
3	0,165	150	230	150	0,00143	44,6	228	0,017	0,00502	355,2	45	45	111,29	222,58
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	0,165	150	230	150	0,00143	40	228	0,017	0,00482	355,2	45	90	75,56	151,12
6	0,33	150	200	150	0,00330	40	228	0,017	0,00302	355,2	45	90	109,01	218,02
7	0,165	150	230	150	0,00143	40	228	0,017	0,00482	355,2	45	45	106,86	213,72
8	0,165	150	180	150	0,00183	40	228	0,017	0,00420	355,2	45	45	119,03	238,06
Silva Filho (2001)														
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0,165	150	230	150	0,00143	41,9	228	0,017	0,006	355,2	45	90	94,12	188,24
11	0,33	150	200	150	0,00330	42,2	228	0,017	0,006	355,2	45	90	216,47	432,95
12	0,165	150	200	150	0,00165	45,3	228	0,017	0,006	355,2	45	45	153,07	306,14
13	0,165	150	230	150	0,00143	46,4	228	0,017	0,006	355,2	45	45	133,10	266,21
14	0,495	150	200	150	0,00495	43,8	228	0,017	0,00249	355,2	45	90	134,79	269,58
15	0,165	150	230	150	0,00143	45,3	228	0,017	0,00505	355,2	45	90	79,15	158,31
16	0,33	150	200	150	0,00330	45,3	228	0,017	0,00317	355,2	45	90	114,19	228,38
Araújo (2002)														
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	0,165	150	230	150	0,00143	22,5	228	0,017	0,00389	355,2	45	90	60,96	121,91
19	0,165	150	230	150	0,00143	22,5	228	0,017	0,00389	355,2	45	90	60,96	121,91
20	0,33	150	200	150	0,00330	22,5	228	0,017	0,00244	355,2	45	90	87,94	175,87
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	0,165	150	230	150	0,00143	45,7	228	0,017	0,006	349,3	45	90	92,56	185,11
23	0,33	150	200	150	0,00330	45,8	228	0,017	0,006	349,3	45	90	212,88	425,76
24	0,165	150	325	150	0,00102	46,6	228	0,017	0,006	349,3	45	45	92,63	185,27
Altin et. al (2010)														
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	0,12	50	125	120	0,0008	25,2	231	0,017	0,0056	330	45	90	36,76	73,52
27	0,12	50	150	120	0,0007	24,9	231	0,017	0,006	330	45	90	32,93	65,86
28	0,12	50	200	120	0,0005	24,8	231	0,017	0,006	330	45	90	24,70	49,40
29	0,12	50	125	120	0,0008	24,8	231	0,017	0,0055	330	45	90	36,54	73,08
30	0,12	50	150	120	0,0007	25	231	0,017	0,006	330	45	90	32,93	65,86
31	0,12	50	200	120	0,0005	24,9	231	0,017	0,006	330	45	90	24,70	49,40
32	0,12	50	125	120	0,0008	25	231	0,017	0,0056	330	45	90	36,65	73,30
33	0,12	50	150	120	0,0007	25,1	231	0,017	0,006	330	45	90	32,93	65,86
34	0,12	50	200	120	0,0005	24,6	231	0,017	0,006	330	45	90	24,70	49,40
Jayaprakash et. al (2010)														
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	0,09	80	150	120	0,0008	27,4	230	0,017	0,0058	310	45	90	35,56	71,12
37	0,09	80	200	120	0,0006	27,4	230	0,017	0,0068	310	45	90	31,33	62,67
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	0,09	80	150	120	0,0008	16,7	230	0,017	0,0048	310	45	90	29,56	59,12
40	0,09	80	200	120	0,0006	16,7	230	0,017	0,0056	310	45	90	26,05	52,09
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	0,09	80	150	120	0,0008	27,4	230	0,017	0,0058	310	45	90	35,56	71,12
43	0,09	80	150	120	0,0008	27,4	230	0,017	0,0058	310	45	45	50,29	100,58
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	0,09	80	150	120	0,0008	16,7	230	0,017	0,0048	310	45	90	29,56	59,12
46	0,09	80	150	120	0,0008	16,7	230	0,017	0,0048	310	45	45	41,80	83,61
Mofidi e Chaallal (2011)														
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	0,11	40	115	160	0,00048	31	230	0,015	0,0060	350	45	90	33,26	50,23
49	0,11	87,5	175	160	0,00069	31	230	0,015	0,0060	350	45	90	47,82	72,20
50	0,11	1000	1000	160	0,00138	31	230	0,015	0,0045	350	45	90	71,14	107,43
51	0,11	53	87,5	160	0,00083	31	230	0,015	0,0059	350	45	90	57,06	86,16
52	0,11	30	50	160	0,00083	31	230	0,015	0,0059	350	45	90	56,82	85,80
53	0,11	87,5	125	160	0,00096	31	230	0,015	0,0055	350	45	90	60,81	91,82
54	0,11	1000	1000	160	0,00138	31	230	0,015	0,0045	350	45	90	71,14	107,43
55	0,11	1000	1000	160	0,00138	31	230	0,015	0,0045	350	45	90	71,14	107,43
56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	0,11	87,5	175	160	0,00069	31	230	0,015	0,0060	350	45	90	47,82	72,20
58	0,11	87,5	175	160	0,00069	31	230	0,015	0,0060	350	45	90	47,82	72,20
59	0,11	87,5	125	160	0,00096	31	230	0,015	0,0055	350	45	90	60,81	91,82
60	0,11	1000	1000	160	0,00138	31	230	0,015	0,0045	350	45	90	71,14	107,43

	tf (mm)	wf (mm)	sf (mm)	bw (mm)	pf (taxa de reforço de FRP)	f _c ' (MPa)	Er (Gpa)	ε _{fu}	ε _{fc}	d (mm)	θ(graus)	α (graus)	Vr (kN)	Pur (kN)
Beber (2003)														
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
64	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
65	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
66	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
67	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
68	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
69	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
70	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
71	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
72	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
73	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
74	0,11	50	100	150	0,00073	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	34,84	69,68
75	0,11	50	141,4	150	0,00052	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	45	34,84	69,69
76	0,11	50	141,4	150	0,00052	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	45	34,84	69,69
77	0,11	50	141,4	150	0,00052	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	45	34,84	69,69
78	0,11	50	141,4	150	0,00052	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	45	34,84	69,69
79	0,11	655	655	150	0,00147	32,8	230	0,0148	0,0044	255	45	90	51,06	102,12
80	0,11	655	655	150	0,00147	32,8	230	0,0148	0,0044	255	45	90	51,06	102,12
81	0,11	655	655	150	0,00147	32,8	230	0,0148	0,0044	255	45	90	51,06	102,12
82	0,11	655	655	150	0,00147	32,8	230	0,0148	0,0044	255	45	90	51,06	102,12
83	0,11	655	655	150	0,00147	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	69,68	139,35
84	0,11	655	655	150	0,00147	32,8	230	0,0148	0,006	255	45	90	69,68	139,35
85	0,11	655	655	150	0,00104	32,8	230	0,0148	0,0053	255	45	45	61,99	123,99
86	0,11	655	655	150	0,00104	32,8	230	0,0148	0,0053	255	45	45	61,99	123,99
87	1,4	50	100	150	0,00933	32,8	205	0,0122	0,0017	255	45	90	109,57	219,14
88	1,4	50	100	150	0,00933	32,8	205	0,0122	0,0017	255	45	90	109,57	219,14
89	1,4	50	141,4	150	0,00660	32,8	205	0,0122	0,0020	255	45	45	133,05	266,10
90	1,4	50	141,4	150	0,00660	32,8	205	0,0122	0,0020	255	45	45	133,05	266,10
Galvez (2003)														
91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	0,117	500	500	150	0,00156	32,1	240	0,0155	0,00411	160	45	90	33,27	66,54
93	0,117	500	500	150	0,00110	35,3	240	0,0155	0,00518	160	45	45	41,86	83,71
94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	0,117	750	750	150	0,00156	85,2	240	0,0155	0,00592	168,7	45	90	50,50	101,01
96	0,117	50	150	150	0,00052	93,2	240	0,0155	0,006	168,7	45	90	17,05	34,11
97	0,117	50	150	150	0,00052	101,9	240	0,0155	0,006	168,7	45	90	17,05	34,11
Khalifa & Nanni (2002)														
98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	0,165	50	125	150	0,00088	27,5	228	0,0166	0,00551	253	45	90	37,74	75,48
100	0,165	75	125	150	0,00132	27,5	228	0,0166	0,00439	253	45	90	45,11	90,22
101	0,165	1525	1525	150	0,00220	27,5	228	0,0166	0,00330	253	45	90	56,48	112,96
102	0,165	1525	1525	150	0,00220	27,5	228	0,0166	0,00330	253	45	90	56,48	112,96
103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
104	0,165	50	125	150	0,00088	27,5	228	0,0166	0,00551	253	45	90	37,74	75,48
105	0,165	1525	1525	150	0,00220	27,5	228	0,0166	0,00330	253	45	90	56,48	112,96
Dias & Barros (2005)														
106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
108	0,334	25	190	150	0,00059	37,6	390	0,008	0,00437	274	45	90	36,98	73,95
109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	0,334	25	95	150	0,00117	37,6	390	0,008	0,00355	273	45	90	59,85	119,70
112	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	0,334	25	80	150	0,00139	49,5	390	0,008	0,00357	124	45	90	32,39	64,78
115	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	0,334	25	40	150	0,00278	49,5	390	0,008	0,00266	123	45	90	48,03	96,05
Täljsten (2003)														
118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
119	0,11	2000	2000	180	0,00086	55,94	234	0,019	0,00600	439	45	45	122,04	244,08
120	0,07	2000	2000	180	0,00055	55,94	234	0,019	0,00600	439	45	45	77,66	155,32
121	0,11	2000	2000	180	0,00086	59,26	234	0,019	0,00600	439	45	45	122,04	244,08
122	0,11	2000	2000	180	0,00122	48,72	234	0,019	0,00559	439	45	90	113,70	227,41
123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
124	0,165	2000	2000	180	0,00130	59,26	234	0,019	0,00582	439	45	45	177,54	355,08
Khalifa & Nanni (2000)														
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
126	0,165	1070	1070	150	0,00220	35	228	0,0166	0,00361	366	45	90	89,40	178,80
127	0,165	1070	1070	150	0,00220	35	228	0,0166	0,00361	366	45	90	89,40	178,80
128	0,165	50	125	150	0,00088	35	228	0,0166	0,00600	366	45	90	59,48	118,96
129	0,165	50	125	150	0,00088	35	228	0,0166	0,00600	366	45	90	59,48	118,96
130	0,165	1070	1070	150	0,00220	35	228	0,0166	0,00361	366	45	90	89,40	178,80

	tf (mm)	wf (mm)	sf (mm)	bw (mm)	pf (taxa de reforço de FRP)	fc ³ (MPa)	Ef (Gpa)	εfu	εfe	d (mm)	θ(graus)	α (graus)	Vf (kN)	Puf (kN)
Gallardo (2002)														
131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
132	0,117	50	150	120	0,00065	45,84	288	0,0080	0,00485	415,8	45	90	40,74	81,48
133	0,117	50	150	120	0,00065	46,23	288	0,0080	0,00485	415,8	45	90	40,81	81,62
134	0,117	50	150	120	0,00065	46,8	288	0,0080	0,00487	415,8	45	90	40,91	81,82
135	0,234	50	150	120	0,00130	45,12	288	0,0080	0,00392	415,8	45	90	65,97	131,94
136	0,234	50	150	120	0,00130	44,83	288	0,0080	0,00392	415,8	45	90	65,89	131,77
Pellegrino & Modena (2002)														
137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	0,165	750	750	150	0,00220	27,5	233,6	0,0152	0,00325	250	45	90	56,41	112,81
139	0,495	750	750	150	0,00660	27,5	233,6	0,0152	0,00176	250	45	90	91,47	182,93
140	0,495	750	750	150	0,00660	27,5	233,6	0,0152	0,00176	250	45	90	91,47	182,93
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	0,33	750	750	150	0,00440	31,4	233,6	0,0152	0,00232	250	45	90	80,41	160,81
143	0,495	750	750	150	0,00660	31,4	233,6	0,0152	0,00185	250	45	90	96,11	192,22
144	0,495	750	750	150	0,00660	31,4	233,6	0,0152	0,00185	250	45	90	96,11	192,22
145	0,165	750	750	150	0,00220	31,4	233,6	0,0152	0,00342	250	45	90	59,27	118,54
146	0,33	750	750	150	0,00440	31,4	233,6	0,0152	0,00232	250	45	90	80,41	160,81
147	0,33	750	750	150	0,00440	31,4	233,6	0,0152	0,00232	250	45	90	80,41	160,81
Spagnolo et al. (2013)														
148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
149	0,122	100	225	150	0,00072	51,73	255	0,1160	0,00600	360	45	90	53,76	107,52
150	0,244	100	225	150	0,00145	51,73	255	0,1160	0,00496	360	45	90	88,86	177,71
151	0,366	100	225	150	0,00217	52,30	255	0,1160	0,00397	360	45	90	106,65	213,29
152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	0,122	100	225	150	0,00072	50,94	255	0,1160	0,00600	360	45	90	53,76	107,52
154	0,244	100	225	150	0,00145	51,73	255	0,1160	0,00496	360	45	90	88,86	177,71
155	0,366	100	225	150	0,00217	52,30	255	0,1160	0,00397	360	45	90	106,65	213,29
Mofidi e Chaallal (2014)														
156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	0,11	40	115	152	0,00050	29	230	0,0150	0,00600	350	45	90	33,26	49,90
158	0,11	87,5	175	152	0,00072	29	230	0,0150	0,00600	350	45	90	47,82	71,73
159	0,11	30	50	152	0,00087	29	230	0,0150	0,00563	350	45	90	53,86	80,78
160	0,11	53	87,5	152	0,00088	29	230	0,0150	0,00560	350	45	90	54,08	81,12
161	0,11	87,5	125	152	0,00101	29	230	0,0150	0,00517	350	45	90	57,64	86,45
162	0,11	1050	1050	152	0,00145	29	230	0,0150	0,00423	350	45	90	67,43	101,14
163	0,22	1050	1050	152	0,00289	29	230	0,0150	0,00287	350	45	90	91,47	137,21
164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	0,11	87,5	175	152	0,00072	29	230	0,0150	0,00600	350	45	90	47,82	71,73
166	0,11	87,5	125	152	0,00101	29	230	0,0150	0,00517	350	45	90	57,64	86,45
167	0,11	1050	1050	152	0,00145	29	230	0,0150	0,00423	350	45	90	67,43	101,14
Jayaprakash et. al (2008)														
168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
169	0,09	80	150	120	0,00080	27,38	230	0,0165	0,00577	310	45	90	35,55	71,10
170	0,09	80	150	120	0,00080	27,38	230	0,0165	0,00577	310	45	90	35,55	71,10
171	0,09	80	200	120	0,00060	27,38	230	0,0165	0,00600	310	45	90	27,72	55,44
172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	0,09	80	150	120	0,00080	27,38	230	0,0165	0,00577	310	45	90	35,55	71,10
174	0,09	80	200	120	0,00060	27,38	230	0,0165	0,00600	310	45	90	27,72	55,44
175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
176	0,09	80	150	120	0,00080	16,73	230	0,0165	0,00480	310	45	90	29,58	59,16
177	0,09	80	150	120	0,00080	16,73	230	0,0165	0,00480	310	45	45	41,83	83,66
178	0,09	80	150	120	0,00080	16,73	230	0,0165	0,00480	310	45	45	41,83	83,66
179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
180	0,09	80	200	120	0,00060	16,73	230	0,0165	0,00564	310	45	90	26,06	52,13
181	0,09	80	150	120	0,00080	16,73	230	0,0165	0,00480	310	45	45	41,83	83,66
182	0,09	80	150	120	0,00080	16,73	230	0,0165	0,00480	310	45	45	41,83	83,66
183	0,09	80	150	120	0,00080	16,73	230	0,0165	0,00480	310	45	90	29,58	59,16
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)														
184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
185	0,167	510	510	150	0,00223	35,4	230	0,0150	0,00358	70	45	90	17,33	34,66
186	0,334	510	510	150	0,00445	33,5	230	0,0150	0,00238	120	45	90	39,48	78,96
187	0,167	510	510	150	0,00223	31,5	230	0,0150	0,00343	120	45	90	28,44	56,88
188	0,334	510	510	150	0,00445	31	230	0,0150	0,00231	120	45	90	38,35	76,70
189	0,334	510	510	150	0,00445	33,7	230	0,0150	0,00238	170	45	90	56,05	112,10
190	0,167	510	510	150	0,00223	34,4	230	0,0150	0,00354	120	45	90	29,39	58,78
191	0,167	510	510	150	0,00223	35,4	230	0,0150	0,00358	170	45	90	42,08	84,17
Leung et al. (2007)														
192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	0,11	20	60	75	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00510	155	45	90	12,25	24,51
194	0,11	20	60	75	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00510	155	45	90	12,25	24,51
195	0,11	20	60	75	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00600	155	45	90	14,42	28,85
196	0,11	20	60	75	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00600	155	45	90	14,42	28,85
197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	0,22	40	120	150	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00510	305	45	90	48,23	96,45
199	0,22	40	120	150	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00510	305	45	90	48,23	96,45
200	0,22	40	120	150	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00600	305	45	90	56,77	113,53
201	0,22	40	120	150	0,00098	27,4	235	0,0180	0,00600	305	45	90	56,77	113,53

7.7 - Calculo Chen e Teng

	f_c' (MPa)	t_f (mm)	w_f (mm)	s_f (mm)	b_w (mm)	β (graus)	B_w	h (mm)	d (mm)	d_{frp} (mm)	$d_{frp,t}$ (mm)	z_b	z_t	$h_{frp,c}$ (mm)	E_r (MPa)	L_e (mm)	L_{max} (mm)	λ	β_t	ϵ_{max}	ϵ_{fu}	f_{frp} (MPa)	D_{frp}	tensão max.	f_e (MPa)	V_f (kN)	P_{uf} (kN)	
Salles Neto (2000)																												
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	44,6	0,165	150	230	150	90	0,903	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	75,05	219,68	2,93	1	0,015	0,017	3876	0,876	1171,59	1026,14	48,51	97,03	
3	44,6	0,165	150	230	150	45	0,749	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	75,05	310,67	4,14	1	0,015	0,017	3876	0,912	971,23	885,97	59,24	118,48	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	40	0,165	150	230	150	90	0,903	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	77,12	219,68	2,85	1	0,015	0,017	3876	0,872	1140,14	994,68	47,03	94,06	
6	40	0,33	150	200	150	90	0,845	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	109,07	219,68	2,01	1	0,015	0,017	3876	0,820	754,38	618,27	67,23	134,46	
7	40	0,165	150	230	150	45	0,749	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	77,12	310,67	4,03	1	0,015	0,017	3876	0,910	945,15	859,89	57,49	114,99	
8	40	0,165	150	180	150	45	0,614	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	77,12	310,67	4,03	1	0,015	0,017	3876	0,910	775,16	705,23	60,25	120,50	
Silva Filho (2001)																												
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	41,9	0,165	150	230	150	90	0,903	400	355,2	400	0	319,68	0	319,68	228000	76,24	319,68	4,19	1	0,015	0,017	3480	0,91	2736,00	2498,91	171,93	343,85	
11	42,2	0,33	150	200	150	90	0,845	400	355,2	400	0	319,68	0	319,68	228000	107,62	319,68	2,97	1	0,015	0,017	3480	0,88	2736,00	2401,30	379,99	759,97	
12	45,3	0,165	150	200	150	45	0,675	400	355,2	400	0	319,68	0	319,68	228000	74,76	452,10	6,05	1	0,015	0,017	3480	0,94	2736,00	2571,59	287,74	575,49	
13	46,4	0,165	150	230	150	45	0,749	400	355,2	400	0	319,68	0	319,68	228000	74,32	452,10	6,08	1	0,015	0,017	3480	0,94	2736,00	2572,57	250,31	500,62	
14	43,8	0,495	150	200	150	90	0,845	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	130,59	219,68	1,68	1	0,015	0,017	3480	0,78	630,08	493,98	80,57	161,15	
15	45,3	0,165	150	230	150	90	0,903	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	74,76	219,68	2,94	1	0,015	0,017	3480	0,88	1176,16	1030,71	48,73	97,46	
16	45,3	0,33	150	200	150	90	0,845	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	105,73	219,68	2,08	1	0,015	0,017	3480	0,83	778,21	642,11	69,82	139,65	
Araújo (2002)																												
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	22,5	0,165	150	230	150	90	0,903	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	89,06	219,68	2,47	1	0,015	0,017	3480	0,85	987,39	841,94	39,81	79,61	
19	22,5	0,165	150	230	150	90	0,903	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	89,06	219,68	2,47	1	0,015	0,017	3480	0,85	987,39	841,94	39,81	79,61	
20	22,5	0,33	150	200	150	90	0,845	400	355,2	400	100	319,68	100	219,68	228000	125,94	219,68	1,74	1	0,015	0,017	3480	0,79	653,31	517,21	56,24	112,48	
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	45,7	0,165	150	230	150	90	0,903	400	349,3	400	0	314,37	0	314,37	228000	74,60	314,37	4,21	1	0,015	0,017	3480	0,91	2736,00	2500,08	169,15	338,30	
23	45,8	0,33	150	200	150	90	0,845	400	349,3	400	0	314,37	0	314,37	228000	105,44	314,37	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	2736,00	2402,54	373,87	747,73	
24	46,6	0,165	150	325	150	45	0,903	400	349,3	400	0	314,37	0	314,37	228000	74,24	444,59	5,99	1	0,015	0,017	3480	0,94	2736,00	2569,99	174,02	348,05	
Altin et. al (2010)																												
25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	25,2	0,12	50	125	120	90	1,069	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,31	222	2,99	1	0,015	0,017	3480	0,88	1419,02	1246,42	26,56	53,13	
27	24,9	0,12	50	150	120	90	1,118	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,53	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1479,61	1299,10	23,07	46,14	
28	24,8	0,12	50	200	120	90	1,183	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,61	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1564,30	1373,27	18,29	36,58	
29	24,8	0,12	50	125	120	90	1,069	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,61	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1413,36	1240,76	26,44	52,89	
30	25	0,12	50	150	120	90	1,118	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,46	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1481,10	1300,59	23,10	46,20	
31	24,9	0,12	50	200	120	90	1,183	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,53	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1565,88	1374,84	18,31	36,63	
32	25	0,12	50	125	120	90	1,069	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,46	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1416,20	1243,60	26,50	53,01	
33	25,1	0,12	50	150	120	90	1,118	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,38	222	2,98	1	0,015	0,017	3480	0,88	1482,58	1302,06	23,12	46,25	
34	24,6	0,12	50	200	120	90	1,183	360	330	360	75	297	75	222	231000	74,76	222	2,97	1	0,015	0,017	3480	0,88	1561,14	1370,10	18,25	36,50	
Jayaprakash et. al (2010)																												
35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	27,4	0,09	80	150	120	90	0,978	340	310	340	100	279	100	179	230000	62,89	179,00	2,85	1	0,015	0,017	3480	0,87	1527,410	1332,420	22,90	45,79	
37	27,4	0,09	80	200	120	90	1,069	340	310	340	100	279	100	179	230000	62,89	179,00	2,85	1	0,015	0,017	3480	0,87	1669,568	1456,431	18,77	37,54	
38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	16,7	0,09	80	150	120	90	0,978	340	310	340	100	279	100	179	230000	71,17	179,00	2,52	1	0,015	0,017	3480	0,86	1349,575	1154,586	19,84	39,68	
40	16,7	0,09	80	200	120	90	1,069	340	310	340	100	279	100	179	230000	71,17	179,00	2,52	1	0,015	0,017	3480	0,86	1475,182	1262,045	16,27	32,53	
41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	27,4	0,09	80	150	120	90	0,978	340	310	340	100	279	100	179	230000	62,89	179,00	2,85	1	0,015	0,017	3480	0,87	1527,410	1332,420	22,90	45,79	
43	27,4	0,09	80	150	120	45	0,843	340	310	340	100	279	100	179	230000	62,89	253,14	4,03	1	0,015	0,017	3480	0,91	1316,069	1197,268	29,10	58,19	
44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	16,7	0,09	80	150	120	90	0,978	340	310	340	100	279	100	179	230000	71,17	179,00	2,52	1	0,015	0,017	3480	0,86	1349,575	1154,586	19,84	39,68	
46	16,7	0,09	80	150	120	45	0,843	340	310	340	100	279	100	179	230000	71,17	253,14	3,56	1	0,015	0,017	3480	0,90	1162,841	1044,040	25,37	50,74	
Mofidi e Chaall (2011)																												
47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	31	0,11	40	115	160	90	1,107	406	350	406	102	315	102	213	230000	67,41	213	3,16	1	0,015	0,015	3480	0,88	1613,046	1427,54	23,27	35,13	
49	31	0,11	87,5	175	160	90	1,000	406	350	406	102	315	102	213	230000	67,41	213	3,16	1	0,015	0,015	3480	0,88	1456,921	1289,37	30,21	45,62	
50	3																											

f_c (MPa)	τ (mm)	w_r (mm)	s (mm)	b_w (mm)	β (graus)	b_w	h (mm)	d (mm)	d_{tr} (mm)	d_{frost} (mm)	z_b	z_t	b_{hrpc} (mm)	E_r (MPa)	E_c (MPa)	L_c (mm)	L_{max} (mm)	λ	B_L	ϵ_m	ϵ_n	f_{br} (MPa)	Drp	tensio max.	f_c (MPa)	V_r (kN)	Per (kN)	
Beber (2003)																												
61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	114.75	1.73	1	0.015	0.0148	3400	0.79	1477.62	1166.62	29.45	58.90	
64	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	114.75	1.73	1	0.015	0.0148	3400	0.79	1477.62	1166.62	29.45	58.90	
65	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	114.75	1.73	1	0.015	0.0148	3400	0.79	1477.62	1166.62	29.45	58.90	
66	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
67	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
68	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
69	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
70	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
71	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
72	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
73	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
74	32.8	0.11	50	100	150	90	1	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1477.62	1322.12	33.38	66.75	
75	32.8	0.11	50	141.4	150	45	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	162.28	2.44	1	0.015	0.0148	3400	0.85	1477.55	1257.65	31.75	63.51	
76	32.8	0.11	50	141.4	150	45	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	162.28	2.44	1	0.015	0.0148	3400	0.85	1477.55	1257.65	31.75	63.51	
77	32.8	0.11	50	141.4	150	45	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	324.56	4.88	1	0.015	0.0148	3400	0.93	1477.55	1367.60	34.53	69.06	
78	32.8	0.11	50	141.4	150	45	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	324.56	4.88	1	0.015	0.0148	3400	0.93	1477.55	1367.60	34.53	69.06	
79	32.8	0.11	655	655	150	90	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	114.75	1.73	1	0.015	0.0148	3400	0.79	1044.84	824.93	41.65	83.30	
80	32.8	0.11	655	655	150	90	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	114.75	1.73	1	0.015	0.0148	3400	0.79	1044.84	824.93	41.65	83.30	
81	32.8	0.11	655	655	150	90	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1044.84	934.88	47.20	94.40	
82	32.8	0.11	655	655	150	90	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1044.84	934.88	47.20	94.40	
83	32.8	0.11	655	655	150	90	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1044.84	934.88	47.20	94.40	
84	32.8	0.11	655	655	150	90	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	229.50	3.45	1	0.015	0.0148	3400	0.89	1044.84	934.88	47.20	94.40	
85	32.8	0.11	655	655	150	45	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	162.28	2.44	1	0.015	0.0148	3400	0.85	1044.84	889.34	63.50	127.00	
86	32.8	0.11	655	655	150	45	0.71	300	255	300	0	229.5	0	229.5	230000	66.5	162.28	2.44	1	0.015	0.0148	3400	0.85	1044.84	889.34	63.50	127.00	
87	32.8	1.4	50	100	150	90	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	205000	223.9	114.75	0.51	0.72	0.015	0.0122	2500	0.53	281.92	149.10	47.91	95.81	
88	32.8	1.4	50	100	150	90	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	205000	223.9	114.75	0.51	0.72	0.015	0.0122	2500	0.53	281.92	149.10	47.91	95.81	
89	32.8	1.4	50	141.4	150	45	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	205000	223.9	162.28	0.72	0.91	0.015	0.0122	2500	0.56	355.07	199.58	64.14	128.27	
90	32.8	1.4	50	141.4	150	45	1.00	300	255	300	0	229.5	0	229.5	205000	223.9	162.28	0.72	0.91	0.015	0.0122	2500	0.56	355.07	199.58	64.14	128.27	
Galvez (2003)																												
91	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	32.1	0.117	500	500	150	90	0.71	200	160	200	0	144	0	144	240000	70.4	72.00	1.02	1	0.0155	0.0155	3720	0.64	1029.32	663.60	22.36	44.72	
93	35.3	0.117	500	500	150	45	0.71	200	160	200	0	144	0	144	240000	68.7	101.82	1.48	1	0.0155	0.0155	3720	0.75	1054.07	795.46	37.91	75.81	
94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
95	85.2	0.117	750	750	150	90	0.71	200	168.7	200	0	151.83	0	151.83	240000	55.2	75.92	1.38	1	0.0155	0.0155	3720	0.74	1313.82	966.96	34.35	68.71	
96	93.2	0.117	50	150	150	90	1.12	200	168.7	200	0	151.83	0	151.83	240000	53.9	151.83	2.82	1	0.0155	0.0155	3720	0.87	2124.46	1850.25	21.91	43.82	
97	101.9	0.117	50	150	150	90	1.12	200	168.7	200	0	151.83	0	151.83	240000	52.7	151.83	2.82	1	0.0155	0.0155	3720	0.87	2172.18	1897.96	22.48	44.95	
Khalifa & Nanni (2002)																												
98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	27.5	0.165	50	125	150	90	1.07	305	253	305	0	227.7	0	227.7	228000	84.70	227.70	2.69	1	0.0166	0.0166	3784.8	0.86	1228.80	1062.71	31.94	63.88	
100	27.5	0.165	75	125	150	90	0.94	305	253	305	0	227.7	0	227.7	228000	84.70	227.70	2.69	1	0.0166	0.0166	3784.8	0.86	1075.20	929.87	41.92	83.85	
101	27.5	0.165	1525	1525	150	90	0.71	305	253	305	0	227.7	0	227.7	228000	84.70	227.70	2.69	1	0.0166	0.0166	3784.8	0.86	812.78	702.92	52.82	105.64	
102	27.5	0.165	1525	1525	150	90	0.71	305	253	305	0	227.7	0	227.7	228000	84.70	227.70	2.69	1	0.0166	0.0166	3784.8	0.86	812.78	702.92	52.82	105.64	
103	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
104	27.5	0.165	50	125	150	90	1.07	305	253	305	0	227.7	0	227.7	228000	84.70	227.70	2.69	1	0.0166	0.0166	3784.8	0.86	1228.80	1062.71	31.94	63.88	
105	27.5	0.165	1525	1525	150	90	0.71	305	253	305	0	227.7	0	227.7	228000	84.70	227.70	2.69	1	0.0166	0.0166	3784.8	0.86	812.78	702.92	52.82	105.64	
Dias & Barros (2005)																												
106	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
107	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
108	37.6	0.334	25	190	150	90	1.28	300	274	300	0	246.6	0	246.6	390000	145.75	246.60	1.69	1	0.008	0.008	3120	0.79	1468.18	1152.86	24.99	49.98	
109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
110	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	37.6	0.334	25	95	150	90	1.17	300	273</																			

f _c (MPa)	r (mm)	w (mm)	s (mm)	bw (mm)	β (graus)	β _w	h (mm)	d (mm)	d _{brp} (mm)	z _b	z _t	h _{brp} (mm)	E _r (MPa)	L _{max} (mm)	λ	β _L	ε _{mx}	ε _{tu}	f _{brp} (MPa)	D _{brp}	tensão max.	f _c (MPa)	V _r (kN)	P _{cr} (kN)			
																									Täljsten (2003)		
118	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
119	55,94	0,11	2000	2000	180	45	0,71	500	439	500	0	395,1	0	395,1	234000	58,66	279,38	4,76	1	0,019	0,019	4446	0,92	1204,36	1112,46	136,75	273,50
120	55,94	0,17	2000	2000	180	45	0,71	500	439	500	0	395,1	0	395,1	234000	46,80	279,38	5,97	1	0,019	0,019	4446	0,94	1509,74	1417,84	110,91	221,82
121	59,26	0,11	2000	2000	180	45	0,71	500	439	500	0	395,1	0	395,1	234000	57,82	279,38	4,83	1	0,019	0,019	4446	0,92	1221,84	1129,95	138,90	277,80
122	48,72	0,11	2000	2000	180	90	0,71	500	439	500	0	395,1	0	395,1	234000	60,73	197,55	3,25	1	0,019	0,019	4446	0,89	1163,46	1033,50	89,83	179,67
123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
124	59,26	0,165	2000	2000	180	45	0,71	500	439	500	0	395,1	0	395,1	234000	70,82	279,38	3,94	1	0,019	0,019	4446	0,91	997,63	905,73	167,01	334,02
Khalifa & Nanni (2000)																											
125	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
126	35	0,165	1070	1070	150	90	0,71	405	366	405	100	329,4	100	229,4	228000	79,74	229,40	2,88	1	0,0166	0,0166	3790	0,87	863,29	754,24	57,10	114,19
127	35	0,165	1070	1070	150	90	0,71	405	366	405	100	329,4	100	229,4	228000	79,74	229,40	2,88	1	0,0166	0,0166	3790	0,87	863,29	754,24	57,10	114,19
128	35	0,165	50	125	150	90	1,07	405	366	405	100	329,4	100	229,4	228000	79,74	229,40	2,88	1	0,0166	0,0166	3790	0,87	1305,17	1140,30	34,53	69,06
129	35	0,165	50	125	150	90	1,07	405	366	405	100	329,4	100	229,4	228000	79,74	114,70	1,44	1	0,0166	0,0166	3790	0,75	1305,17	975,44	29,54	59,07
130	35	0,165	1070	1070	150	90	0,71	405	366	405	100	329,4	100	229,4	228000	79,74	229,40	2,88	1	0,0166	0,0166	3790	0,87	863,29	754,24	57,10	114,19
Gallardo (2002)																											
131	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
132	45,84	0,117	50	150	120	90	1,12	460	415,8	460	100	374,22	100	274,22	288000	70,55	137,11	1,94	1	0,008	0,0080	2310,9	0,81	1848,72	1503,07	32,15	64,30
133	46,23	0,117	50	150	120	90	1,12	460	415,8	460	100	374,22	100	274,22	288000	70,40	137,11	1,95	1	0,008	0,0080	2310,9	0,81	1848,72	1503,80	32,16	64,33
134	46,8	0,117	50	150	120	90	1,12	460	415,8	460	100	374,22	100	274,22	288000	70,18	274,22	3,91	1	0,008	0,0080	2310,9	0,91	1848,72	1676,79	35,87	71,73
135	45,12	0,234	50	150	120	90	1,12	460	415,8	460	100	374,22	100	274,22	288000	100,16	274,22	2,74	1	0,008	0,0080	2310,9	0,87	1372,66	1190,47	50,93	101,85
136	44,83	0,234	50	150	120	90	1,12	460	415,8	460	100	374,22	100	274,22	288000	100,33	274,22	2,73	1	0,008	0,0080	2310,9	0,87	1370,45	1188,26	50,83	101,66
Pellegrini & Modena (2002)																											
137	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
138	27,5	0,165	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	85,73	112,50	1,31	1	0,015	0,0152	3550	0,72	822,70	594,88	44,17	88,34
139	27,5	0,495	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	148,49	112,50	0,76	0,93	0,015	0,0152	3550	0,57	440,97	250,81	55,87	111,74
140	27,5	0,495	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	148,49	112,50	0,76	0,93	0,015	0,0152	3550	0,57	440,97	250,81	55,87	111,74
141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
142	31,4	0,33	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	117,29	112,50	0,96	1,00	0,015	0,0152	3550	0,62	600,11	373,54	55,47	110,94
143	31,4	0,495	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	143,65	112,50	0,78	0,94	0,015	0,0152	3550	0,57	462,79	265,79	59,20	118,41
144	31,4	0,495	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	143,65	112,50	0,78	0,94	0,015	0,0152	3550	0,57	462,79	265,79	59,20	118,41
145	31,4	0,165	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	82,94	112,50	1,36	1	0,015	0,0152	3550	0,73	850,43	622,61	46,23	92,46
146	31,4	0,33	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	117,29	112,50	0,96	1,00	0,015	0,0152	3550	0,62	600,11	373,54	55,47	110,94
147	31,4	0,33	750	750	150	90	0,71	285	250	285	0	225	0	225	233600	117,29	112,50	0,96	1,00	0,015	0,0152	3550	0,62	600,11	373,54	55,47	110,94
Spagnolo et al. (2013)																											
148	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
149	51,73	0,122	100	225	150	90	1,04	400	360	400	80	324	80	244	255000	65,77	244,00	3,71	1	2,55	0,1160	29580	0,90	1718,09	1549,81	41,01	82,02
150	51,73	0,244	100	225	150	90	1,04	400	360	400	80	324	80	244	255000	93,01	244,00	2,62	1	2,55	0,1160	29580	0,86	1214,87	1046,59	55,39	110,77
151	52,30	0,366	100	225	150	90	1,04	400	360	400	80	324	80	244	255000	113,60	244,00	2,15	1	2,55	0,1160	29580	0,83	994,66	826,38	65,60	131,20
152	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
153	50,94	0,122	100	225	150	90	1,04	400	360	400	80	324	80	244	255000	66,02	244,00	3,70	1	2,55	0,1160	29580	0,90	1711,49	1543,21	40,83	81,67
154	51,73	0,244	100	225	150	90	1,04	400	360	400	80	324	80	244	255000	93,01	244,00	2,62	1	2,55	0,1160	29580	0,86	1214,87	1046,59	55,39	110,77
155	52,30	0,366	100	225	150	90	1,04	400	360	400	80	324	80	244	255000	113,60	244,00	2,15	1	2,55	0,1160	29580	0,83	994,66	826,38	65,60	131,20
Mofidi e Chaalal (2014)																											
156	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
157	29	0,11	40	115	152	90	1,11	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1586,38	1400,87	22,83	34,25
158	29	0,11	87,5	175	152	90	1,00	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1432,83	1265,28	29,65	44,47
159	29	0,11	30	50	152	90	0,94	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1340,29	1183,56	33,28	49,92
160	29	0,11	53	87,5	152	90	0,93	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1335,17	1179,04	33,47	50,20
161	29	0,11	87,5	125	152	90	0,87	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1252,97	1106,46	36,29	54,44
162	29	0,11	1050	1050	152	90	0,71	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1013,16	894,69	41,93	62,89
163	29	0,22	1050	1050	152	90	0,71	406	350	406	102	315	102	213	230000	98,93	213,00	2,20	1	0,0150	0,0150	3450	0,83	716,42	597,94	56,04	84,06
164	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	29	0,11	87,5	175	152	90	1,00	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1432,83	1265,28	29,65	44,47
166	29	0,11	87,5	125	152	90	0,87	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150	0,0150	3450	0,88	1252,97	1106,46	36,29	54,44
167	29	0,11	1050	1050	152	90	0,71	406	350	406	102	315	102	213	230000	68,54	213,00	3,11	1	0,0150							

	f_c (MPa)	t_f (mm)	w_f (mm)	s_f (mm)	b_w (mm)	β (graus)	b_w	h (mm)	d (mm)	d_{rip} (mm)	$d_{rip,t}$ (mm)	z_b	z_t	$b_{rip,c}$ (mm)	E_r (MPa)	L_{max} (mm)	λ	b_L	e_{max}	e_{tu}	f_{rip} (MPa)	D_{rip}	tensão max.	f_{te} (MPa)	V_r (kN)	P_{uf} (kN)		
Jayaprakash et. al (2008)																												
168	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
169	27,38	0,09	80	150	120	90	0,98	340	310	340	0	279	0	279	230000	279,00	4,44	1	0,015	0,0165	3795	0,92	-	1402,03	37,55	75,10		
170	27,38	0,09	80	150	120	90	0,98	340	310	340	0	279	0	279	230000	279,00	4,44	1	0,015	0,0165	3795	0,92	-	1402,03	37,55	75,10		
171	27,38	0,09	80	200	120	90	1,07	340	310	340	0	279	0	279	230000	279,00	4,44	1	0,015	0,0165	3795	0,92	-	1532,52	30,79	61,57		
172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
173	27,38	0,09	80	150	120	90	0,98	340	310	340	0	279	0	279	230000	279,00	4,44	1	0,015	0,0165	3795	0,92	-	1402,03	37,55	75,10		
174	27,38	0,09	80	200	120	90	1,07	340	310	340	0	279	0	279	230000	279,00	4,44	1	0,015	0,0165	3795	0,92	-	1532,52	30,79	61,57		
175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
176	16,73	0,09	80	150	120	90	0,98	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	279,00	3,92	1	0,015	0,0165	3795	0,91	-	1225,08	32,81	65,63	
177	16,73	0,09	80	150	120	45	0,84	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	394,57	5,55	1	0,015	0,0165	3795	0,93	-	1087,14	41,18	82,36	
178	16,73	0,09	80	150	120	45	0,84	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	394,57	5,55	1	0,015	0,0165	3795	0,93	-	1087,14	41,18	82,36	
179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
180	16,73	0,09	80	200	120	90	1,07	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	279,00	3,92	1	0,015	0,0165	3795	0,91	-	1339,10	26,90	53,80	
181	16,73	0,09	80	150	120	45	0,84	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	394,57	5,55	1	0,015	0,0165	3795	0,93	-	1087,14	41,18	82,36	
182	16,73	0,09	80	150	120	45	0,84	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	394,57	5,55	1	0,015	0,0165	3795	0,93	-	1087,14	41,18	82,36	
183	16,73	0,09	80	150	120	90	0,98	340	310	340	0	279	0	279	230000	71,14	279,00	3,92	1	0,015	0,0165	3795	0,91	-	1225,08	32,81	65,63	
Adhikary e Mitsuyoshi (2004)																												
184	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
185	35,4	0,167	510	510	150	90	0,71	200	170	200	100	153	100	53	230000	80,35	26,50	0,33	0,50	0,015	0,0150	3450	0,51	-	218,93	3,88	7,75	
186	33,5	0,334	510	510	150	90	0,71	200	170	200	50	153	50	103	230000	115,21	51,50	0,45	0,65	0,015	0,0150	3450	0,52	-	389,33	203,08	13,97	
187	31,5	0,167	510	510	150	90	0,71	200	170	200	50	153	50	103	230000	82,73	51,50	0,62	0,83	0,015	0,0150	3450	0,54	-	378,76	13,03	26,06	
188	31	0,334	510	510	150	90	0,71	200	170	200	50	153	50	103	230000	117,46	51,50	0,44	0,64	0,015	0,0150	3450	0,52	-	375,74	13,46	26,92	
189	33,7	0,334	510	510	150	90	0,71	200	170	200	0	153	0	153	230000	115,03	76,50	0,67	0,86	0,015	0,0150	3450	0,55	-	522,02	287,66	29,40	
190	34,4	0,167	510	510	150	90	0,71	200	170	200	50	153	50	103	230000	80,92	103,00	1,27	1	0,015	0,0150	3450	0,71	-	613,14	21,09	42,19	
191	35,4	0,167	510	510	150	90	0,71	200	170	200	0	153	0	153	230000	80,35	153,00	1,90	1	0,015	0,0150	3450	0,81	-	699,38	35,74	71,48	
Leung et al. (2007)																												
192	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
193	27,4	0,11	20	60	75	90	1,12	180	155	180	0	139,5	0	139,5	235000	70,27	139,50	1,99	1	0,015	0,0180	4230	0,82	-	1304,22	13,34	26,68	
194	27,4	0,11	20	60	75	90	1,12	180	155	180	0	139,5	0	139,5	235000	70,27	139,50	1,99	1	0,015	0,0180	4230	0,82	-	1304,22	13,34	26,68	
195	27,4	0,11	20	60	75	90	1,12	180	155	180	0	139,5	0	139,5	235000	70,27	139,50	1,99	1	0,015	0,0180	4230	0,82	-	2303,79	23,57	47,14	
196	27,4	0,11	20	60	75	90	1,12	180	155	180	0	139,5	0	139,5	235000	70,27	139,50	1,99	1	0,015	0,0180	4230	0,82	-	2303,79	23,57	47,14	
197	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
198	27,4	0,22	40	120	150	90	1,12	360	305	360	0	274,5	0	274,5	235000	99,38	274,50	2,76	1	0,015	0,0180	4230	0,87	-	980,35	39,47	78,94	
199	27,4	0,22	40	120	150	90	1,12	360	305	360	0	274,5	0	274,5	235000	99,38	274,50	2,76	1	0,015	0,0180	4230	0,87	-	980,35	39,47	78,94	
200	27,4	0,22	40	120	150	90	1,12	360	305	360	0	274,5	0	274,5	235000	99,38	274,50	2,76	1	0,015	0,0180	4230	0,87	-	2449,00	98,60	197,19	
201	27,4	0,22	40	120	150	90	1,12	360	305	360	0	274,5	0	274,5	235000	99,38	274,50	2,76	1	0,015	0,0180	4230	0,87	-	2449,00	98,60	197,19	

