


ANÁLISE DE CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

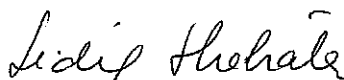
Andréa Maria Bruno

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

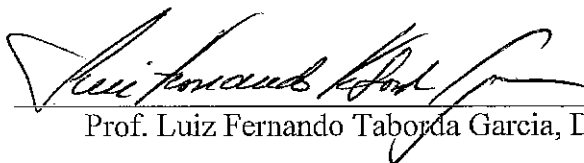
Aprovada por:



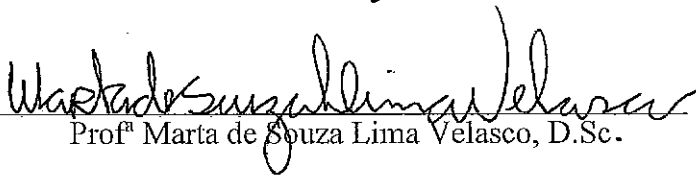
Prof. Ibrahim Abd El Malik Shehata, Ph.D.



Profª Lídia da Conceição Domingues Shehata, Ph.D.



Prof. Luiz Fernando Taborda Garcia, D.Sc.



Profª Marta de Souza Lima Velasco, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

ABRIL DE 2002

BRUNO, ANDRÉA MARIA

Análise de cisalhamento em vigas de
concreto armado [Rio de Janeiro] 2002

XX, 229 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,
M.Sc., Engenharia Civil, 2002)

Tese -- Universidade Federal do Rio de
Janeiro, COPPE

1. Cisalhamento de vigas

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Getúlio Bruno e Maria Augusta Leitão Bruno, que estiveram o tempo todo ao meu lado.

Agradecimentos

Agradeço à Prof^a Lídia Shehata pelo interesse, compreensão e constante dedicação, fundamentais para o desenvolvimento e a conclusão deste trabalho; ao Prof. Ibrahim Shehata pela orientação e desempenho e ao CNPq pelo suporte financeiro.

Aos meus pais pelo incentivo e amor sempre manifestados.

Aos amigos Odete Rebelo, Laila Manhães, Renata Ottaiano, Justino Vieira e Maurício Machado pelo apoio dispensado.

À amiga Carla Pinheiro o meu agradecimento muito especial pelo incentivo e colaboração durante todo esse tempo.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DE CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Andréa Maria Bruno

Abril/ 2002

Orientadores: Ibrahim Adb El Malik Shehata

Lídia da Conceição Domingues Shehata

Programa: Engenharia Civil

Neste trabalho são abordados os métodos mais utilizados para calcular a resistência ao cortante ou dimensionamento da armadura transversal de vigas sem força normal e de altura constante, todos eles baseados no modelo de treliça, tendo ou não parcela corretiva.

É feita análise sobre o ângulo das diagonais comprimidas com o eixo longitudinal da viga. Para os métodos de cálculo que consideram o cortante resistido apenas pela ação de treliça, foi determinado o ângulo da expressão de resistência ao cortante dada pelo modelo de treliça que leva a ter-se resistência igual à experimental. As faixas obtidas para os ângulos assim determinados são comparadas com as propostas na literatura.

Para os métodos de cálculo que admitem que apenas parte do cortante é resistida segundo a ação de treliça e a outra parte é resistida por outros mecanismos (método aditivo), foram feitas duas análises. Numa determinou-se o ângulo das diagonais comprimidas do modelo da treliça que leva à mesma resistência que a obtida por esse método, tomando-se para esta resistência a experimental. Na outra, verificou-se que ângulo, em vez do de 45° adotado no método aditivo, levaria este método a fornecer resistência ao cortante igual à experimental.

Os dois métodos da NBR 6118-01 para avaliar a resistência ao cortante ou calcular a armadura de cortante de vigas são também comentados.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

SHEAR ANALYSIS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

Andréa Maria Bruno

April/ 2002

Supervisors: Ibrahim Adb El Malik Shehata

Lídia da Conceição Domingues Shehata

Department: Civil Engineering

This work presents a study on the most commonly used methods for calculating the shear strength or designing the shear reinforcement in beams without normal force and with constant depth, all of which are based on the truss model, with or without the concrete contribution.

The influence of the strut angle on the results of the models is investigated. For the models that do not count for the concrete contribution, the strut angle that leads to an estimated shear strength equal to the experimental one is determined. The obtained ranges of this angle are compared with the ones recommended in the literature.

Two analyses are made for the models that take into consideration the concrete contribution for the shear strength. In the first, the strut angle of the truss model that leads to the same shear strength as those models is determined taking the shear strength equal to the experimental one. In the second, the strut angle for the model with concrete contribution that, if used in the place of the admitted 45° , leads to a shear strength equal to the experimental one is found.

The two methods of the NBR 6118-01 for evaluating shear strength or designing the shear reinforcement of beams are also commented.

ÍNDICE

	Pág.
NOTAÇÕES	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
ÍDICE DE TABELAS	xix
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO II – COMPORTAMENTO DE VIGAS COM RUPTURA POR CORTANTE	04
2.1 Comportamento de Vigas de Concreto Armado submetidas à Flexão Simples.....	04
2.1.1 Parâmetros que Influenciam o Comportamento.....	04
2.1.2 Tipos de Ruptura nas Vigas.....	08
2.2 Ensaios de Vigas com Armadura Transversal e Ruptura por Cortante.....	10
2.2.1 Características Gerais das Vigas.....	10
2.2.2 Vigas Ensaçadas por Clark (1951), <i>apud Russo e Puleri (1997)</i>	11
2.2.3 Vigas Ensaçadas por Bresler e Scordelis (1961), <i>apud Russo e Puleri (1997)</i>	12
2.2.4 Vigas Ensaçadas por Bresler e Scordelis (1966), <i>apud Russo e Puleri (1997)</i>	13
2.2.5 Vigas Ensaçadas por Placas e Regan (1971).....	13
2.2.6 Vigas Ensaçadas por Mattock e Wang (1984), <i>apud Russo e Puleri (1997)</i>	14
2.2.7 Vigas Ensaçadas por Mphonde e Frantz (1985).....	14
2.2.8 Vigas Ensaçadas por Elzanaty, Nilson e Slate (1986).....	16
2.2.9 Vigas Ensaçadas por Bernhardt e Fynboe (1986).....	17
2.2.10 Vigas Ensaçadas por Marro (1987).....	18
2.2.11 Vigas Ensaçadas por Levi e Marro (1989).....	19
2.2.12 Vigas Ensaçadas por Johnson e Ramirez (1989).....	21

2.2.13 Vigas Ensaaiadas por Salandra e Ahmad (1989).....	22
2.2.14 Vigas Ensaaiadas por Roller e Russell (1990).....	23
2.2.15 Vigas Ensaaiadas por Sarsam e Al-Musawi (1992).....	25
2.2.16 Vigas Ensaaiadas por Fernandes (1992).....	26
2.2.17 Vigas Ensaaiadas por Watanabe, Nishiyama e Muguruma (1993)	27
2.2.18 Vigas Ensaaiadas por Ahmad, Park e El-Dash (1995).....	28
2.2.19 Vigas Ensaaiadas por Yoon, Cook e Mitchell (1996).....	30
2.3 Resumo dos Principais Parâmetros das Vigas Ensaaiadas usadas nas Análises....	31
CAPÍTULO III – MÉTODOS DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO CORTANTE.....	39
3.1 Métodos de Cálculo de Resistência ao Cortante de Vigas com Armadura Transversal.....	39
3.1.1 Métodos baseados no Modelo de Treliça.....	39
3.1.1.1 Método que considera toda a força cortante resistida pela ação da treliça.....	41
3.1.1.2 Método que considera apenas parte da força cortante resistida pela ação da treliça.....	46
3.1.2 Outros Métodos.....	47
3.2 Métodos de Cálculo de Normas Técnicas.....	53
3.2.1 CEB-FIP MC90.....	53
3.2.2 ACI 318-99.....	55
3.2.3 NS3473-92.....	56
3.2.3.1 Método Simplificado.....	57
3.2.3.2 Método da Treliça.....	58
3.2.3.3 Método Geral.....	59
3.2.4 CSA A23.3-94.....	60
3.2.4.1 Método Simplificado.....	60
3.2.4.2 Método Geral.....	61
3.2.5 NBR 6118-2001.....	64

3.2.5.1 Modelo de Cálculo I.....	64
3.2.5.2 Modelo de Cálculo II.....	65
3.2.6 BS8110-97.....	67
3.2.7 EC2-92.....	68
3.2.7.1 Método Padrão.....	68
3.2.7.2 Método da Treliça.....	69
3.2.8 Revisão EC2-2001.....	71
CAPÍTULO IV – ANÁLISE SOBRE FAIXA DE VARIAÇÃO DO	
ÂNGULO θ	74
4.1 Determinação do Ângulo θ	74
4.1.1 Procedimento de determinação de θ para o método que considera	
$V_u = V_s \leq V_{lim}$	76
4.1.2 Procedimento de determinação de θ para o método que considera	
$V_u = V_c + V_s \leq V_{lim}$	77
4.1.2.1 Análise I.....	77
4.1.2.2 Análise II.....	78
4.2 Resultados obtidos das análises.....	78
4.2.1 Análise a partir dos modelos que consideram $V_u = V_s$	78
4.2.1.1 Análise incluindo vigas com todos valores de f_c	78
4.2.1.2 Análise incluindo vigas com valores de f_c de acordo com	
limite da norma.....	92
4.2.2 Análise a partir dos modelos que consideram $V_u = V_c + V_s$	99
4.2.2.1 Análise I.....	99
4.2.2.2 Análise II.....	105
4.3 Considerações sobre os métodos de cálculo da NBR 6118-01.....	111
CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	116
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

APÊNDICE A

Dados das vigas ensaiadas e resultados dos cálculos – Método $V_u=V_s$ 126

APÊNDICE B

Dados das vigas ensaiadas e resultados dos cálculos – Método $V_u=V_s+V_c$ 169

NOTAÇÕES

Letras Romanas

a	vão de cisalhamento
a_l	comprimento de decalagem devido ao esforço cortante
a/d	relação entre o vão de cisalhamento e a altura útil da viga
A_s	área de armadura longitudinal de tração
A_{sw}	área de armadura transversal
b	largura da mesa de viga “T”
b_w	largura da alma da seção transversal
C	força no banzo comprimido
d	altura útil da viga
d_a	dimensão máxima do agregado do concreto
E_c	módulo de elasticidade do concreto
E_s	módulo de elasticidade do aço
f_l	resistência à tração do concreto fissurado
f_2	resistência à compressão das bielas
f_{c2}	resistência à compressão das bielas
f_{cd2}	resistência à compressão de cálculo das bielas
f_c	resistência à compressão do concreto obtida de ensaios de cilindros
f_{cd}	resistência à compressão de cálculo do concreto
f_{ck}	resistência à compressão característica do concreto
f_{cn}	resistência à compressão do concreto na estrutura
f_{cu}	resistência à compressão do concreto obtida de ensaios de corpos de prova cúbicos
f_c'	resistência à compressão do concreto
f_{cr}	tensão de tração correspondente à fissuração do concreto
f_t	resistência à tração do concreto
f_{ctd}	resistência à tração de cálculo do concreto
f_{ctk}	resistência à tração característica do concreto
f_{ctm}	resistência à tração média do concreto
f_{tm}	resistência à tração do concreto na estrutura

f_y	tensão de escoamento do aço da armadura longitudinal
f_{yw}	tensão de escoamento do aço da armadura transversal
f_{ywd}	tensão de escoamento de cálculo do aço da armadura transversal
f_{ywk}	tensão de escoamento característica do aço da armadura transversal
h	altura da viga
k_l	relação entre a largura e a altura dos estribos
k_z	z/d
l	vão livre
M	momento fletor na seção analisada
M_u	momento fletor último na seção analisada
N	número total de vigas consideradas na análise
P	carga concentrada
q	carregamento distribuído
s	espaçamento da armadura transversal na direção do eixo longitudinal da viga
T	força no banzo tracionado
v	força cortante relativa
V	força cortante na seção analisada
V_c	parcela da força cortante resistida “pelo concreto” (termo corretivo)
V_s	parcela da força cortante resistida pela armadura transversal
V_u	força cortante resistente de cálculo
w	abertura das fissuras diagonais
z	braço de alavanca

Letras Gregas

α	ângulo formado pela armadura transversal com o eixo longitudinal da viga
γ_c	coeficiente de minoração da resistência do concreto
γ_m	coeficiente de minoração da resistência do concreto
γ_s	coeficiente de minoração da resistência do aço
γ_{xy}	deformação ao cortante no plano xy
δ	coeficiente de variação

ϵ_1	deformação principal de tração na alma da viga
ϵ_2	deformação principal de compressão na alma da viga
ϵ_0	deformação do concreto para o valor máximo de tensão de compressão
ϵ_{cr}	deformação do concreto quando da fissuração
ϵ_x	deformação na direção longitudinal
ϵ_y	deformação na direção transversal
θ	ângulo formado pela biela comprimida com o eixo longitudinal da viga
ν	coeficiente de Poisson
ξ	parâmetro que leva em conta a influência de d em V_c
ρ	taxa geométrica de armadura longitudinal ($A_s/b_w d$)
ρ_w	taxa geométrica de armadura transversal ($A_{sw}/b_w s$)
σ	desvio padrão
σ_c	tensão de compressão diagonal
σ_{sw}	tensão na armadura transversal
τ_{wcr}	tensão cisalhante nominal correspondente à fissuração diagonal
τ_u	tensão cisalhante nominal última calculada
τ_{wu}	tensão cisalhante nominal última experimental
ϕ	coeficiente de minoração da resistência; diâmetro das barras de aço
ϕ_c	coeficiente de minoração da resistência do concreto
ϕ_s	coeficiente de minoração da resistência do aço
ω	taxa mecânica de armadura transversal

Outros Símbolos

ΔC	variação da força no banzo comprimido devido à força cortante
ΔT	variação da força no banzo tracionado devido à força cortante

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO	
Figura 1.1 – Treliça clássica de Morsch (1902).....	01
CAPÍTULO II – COMPORTAMENTO DE VIGAS COM RUPTURA POR CORTANTE	
Figura 2.1 – Tipos de comportamento de vigas de concreto armado sem armadura transversal (DURÃO-1993).....	08
CAPÍTULO III – MÉTODOS DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO CORTANTE	
Figura 3.1 - Modelação e representação qualitativa do comportamento de elementos de concreto armado com armadura transversal [DURÃO (1993)].....	39
Figura 3.2 – Influência da variação do braço de alavanca e do ângulo das diagonais comprimidas nas forças na armadura transversal e na armadura longitudinal a ancorar no apoio [Leonhardt e Monnig (1978)].....	40
Figura 3.3 – Modelo de treliça generalizado com banzo de compressão inclinado ângulos das escoras dependendo de b/b_w [Leonhardt e Monnig (1978)].....	41
Figura 3.4 – Tensão relativa da biela em função do ângulo θ das diagonais comprimidas e do ângulo α da armadura transversal com o eixo da treliça [Garcia (1998)].....	44
Figura 3.5 – Taxa relativa de armadura transversal em função do ângulo θ das diagonais comprimidas e do ângulo α da armadura transversal com o eixo da treliça [Garcia (1998)].....	45
Figura 3.6 – Variação relativa das forças nos banzos tracionado e comprimido e decalagem horizontal relativa do diagrama de M/z para considerar o efeito do cortante na força no banzo tracionado, em função do ângulo θ das diagonais comprimidas e do ângulo α da armadura transversal com o eixo	

da treliça [Garcia (1998)]	45
Figura 3.7 - Variação de v_c com v proposta por [Ramirez e Breen (1991)].....	47
Figura 3.8 - Compatibilidade das deformações para almas fissuradas [Collins et al.(1991)].....	48
Figura 3.9 - Relação tensão-deformação para o concreto fissurado [Vecchio e Collins (1986)].....	49

CAPÍTULO IV – ANÁLISE SOBRE FAIXA DE VARIAÇÃO DO ÂNGULO θ

Figura 4.1 – Histogramas das principais variáveis das vigas estudadas.....	75
Figura 4.2-- Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90 incluindo vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, min}$	79
Figura 4.3 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90 excluindo vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, min}$	79
Figura 4.4 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90.....	80
Figura 4.5 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a CEB FIP MC90.....	82
Figura 4.6 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92.....	83
Figura 4.7 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92.....	83
Figura 4.8 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a NS3473-92	84
Figura 4.9 –Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92.....	85
Figura 4.10 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92.....	85
Figura 4.11 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a EC2-92....	86
Figura 4.12 –Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01.....	87

Figura 4.13 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01.....	87
Figura 4.14 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a EC2-01....	88
Figura 4.15 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça.....	89
Figura 4.16 – Variação de f_{cd2}/f_c em função de f_c segundo o modelo de treliça e resultados experimentais.....	90
Figura 4.17 – Resumo da distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça.....	91
Figura 4.18 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a CEB FIP MC90 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 80$ MPa.....	93
Figura 4.19 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a CEB FIP MC90 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 80$ MPa.....	93
Figura 4.20 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 94$ MPa.....	94
Figura 4.21 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 94$ MPa.....	94
Figura 4.22 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 50$ MPa.....	95
Figura 4.23 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 50$ MPa.....	95
Figura 4.24 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 90$ MPa.....	96
Figura 4.25 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 90$ MPa.....	96
Figura 4.26 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a CEB FIP MC90.....	97
Figura 4.27 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92.....	97
Figura 4.28 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92.....	98
Figura 4.29 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01.....	98

Figura 4.30 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da ACI 318-99 (Análise I).....	100
Figura 4.31 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da NS3473-92 (Análise I).....	100
Figura 4.32 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da CSA-94 (Análise I).....	101
Figura 4.33 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da NBR 6118-01 – Modelo I (Análise I).....	101
Figura 4.34 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da BS8110-97 (Análise I).....	102
Figura 4.35 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o EC2-92 (Análise I).....	102
Figura 4.36 – Resumo da distribuição relativa de θ segundo o modelo $V_u=V_s+V_c$ (Análise I).....	103
Figura 4.37 – Variação de τ_{wu}/τ_{lim} em função de f_c $\theta = 45^\circ$ segundo o modelo $V_u=V_s+V_c$ (Análise I).....	104
Figura 4.38 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da ACI 318-99 (Análise II).....	106
Figura 4.39 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o $V_u=V_s+V_c$ da NS3473-92 (Análise II).....	106
Figura 4.40 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de d segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI 318-99.....	107
Figura 4.41 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de f_c segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI 318-99.....	107
Figura 4.42 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de ρ segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI 318-99.....	108
Figura 4.43 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de ω segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI 318-99.....	108
Figura 4.44 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de d segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92.....	109
Figura 4.45 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de f_c segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92.....	109

Figura 4.46 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de ρ segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92.....	110
Figura 4.47 – Variação de $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de ω segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92.....	110
Figura 4.48 – Comparação entre as relações τ_{wu}/f_c e θ correspondentes as normas CEB-FIP MC90 ($V_u = V_s$) e NBR 6118-01 ($V_u = V_s + V_c$).....	111
Figura 4.49 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas sem estribos e qualquer valor de f_c	114
Figura 4.50 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas sem estribos e $f_c \leq 50$ MPa.....	114
Figura 4.51– Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas com estribos e qualquer valor de f_c	115
Figura 4.52 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas com estribos e $f_c \leq 50$ MPa.....	115

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
CAPÍTULO II – COMPORTAMENTO DE VIGAS COM RUPTURA POR CORTANTE	
Tabela 2.1 – Faixa de variação dos principais parâmetros das vigas em estudo.....	10
Tabela 2.2 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Clark (1951).....	11
Tabela 2.3 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Bresler e Scordelis (1961).....	12
Tabela 2.4 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Bresler e Scordelis (1966).....	13
Tabela 2.5 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Placas e Regan (1971)...	13
Tabela 2.6 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Mattock e Wang (1984).....	14
Tabela 2.7 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Mphonde e Frantz (1985).....	15
Tabela 2.8 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Elzanaty, Nilson e Slate (1986).....	16
Tabela 2.9 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Bernhardt e Fynboe (1986).....	17
Tabela 2.10 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Marro (1987).....	18
Tabela 2.11 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Levi e Marro (1989).....	19
Tabela 2.12 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Johnson e Ramirez (1989).....	21
Tabela 2.13 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Salandra e Ahmad (1989).....	22
Tabela 2.14 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Roller e Russell (1990).....	23
Tabela 2.15 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Sarsam e Al-Musawi (1992).....	25
Tabela 2.16 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Fernandes (1992).....	26

Tabela 2.17 – Dados das vigas e resultados dos ensaios Watanabe, Nishiyama e Muguruma (1993).....	27
Tabela 2.18 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Ahmad, Park e El-Dash (1995).....	29
Tabela 2.19 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Yoon, Cook e Mitchell (1996).....	30
Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas.....	32

CAPÍTULO III – MÉTODOS DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO CORTANTE

Tabela 3.1 – Faixas de variação de θ propostas.....	43
Tabela 3.2 – Resistência à tração do concreto segundo à NS3473-92.....	57
Tabela 3.3 – Valores de β e θ para seções com armadura transversal.....	63
Tabela 3.4 – Resumo das fórmulas das normas para o caso de armadura transversal perpendicular ao eixo longitudinal da viga ($\alpha = 90^\circ$)	72

CAPÍTULO IV – ANÁLISE SOBRE FAIXA DE VARIAÇÃO DO ÂNGULO θ

Tabela 4.1 – Resumo das análises para os modelos que consideram $V_u = V_s$	92
Tabela 4.2 – Faixa de variação dos principais parâmetros das vigas em estudo.....	113
Tabela 4.3 – Valores médios de τ_{wu}/τ_u , desvio padrão e coeficiente de variação.....	113

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Apesar da resistência de vigas ao cortante ter sido objeto de estudo durante os últimos cem anos, ainda não há um critério universal para o dimensionamento de vigas ao cortante.

No início do século, Ritter (1899) e Mörsch (1902) idealizaram um modelo de treliça para o dimensionamento de vigas submetidas a esforço cortante. Esse modelo considera as diagonais comprimidas a 45° com o eixo da viga e armadura transversal a 45° ou 90° com esse eixo (Figura 1.1).

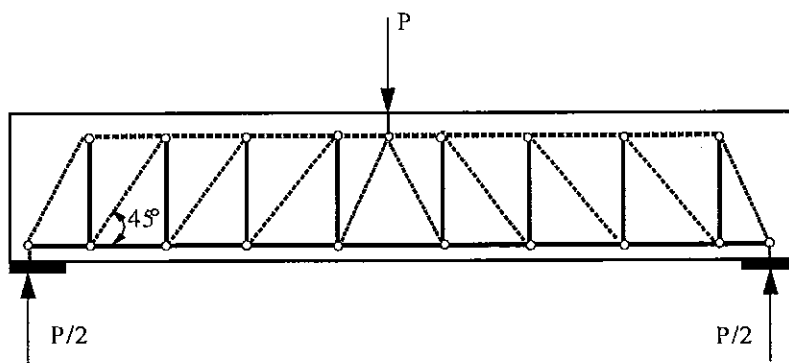


Figura 1.1 – Treliça clássica de Mörsch (1902)

Mörsch acreditava que a tensão nominal de cisalhamento última de vigas sem estribos era uma propriedade que variava somente com a resistência à compressão do concreto. Ele considerava que ocorria a ruptura das vigas quando a tensão principal de tração atingia o valor da resistência à tração do concreto, fato que se verificou depois não acontecer em vigas com fissuração de flexão, onde a ruptura pode ocorrer para força cortante bem menor que a correspondente a essa condição.

Já em 1909, Talbot, baseado em resultados de ensaios de vigas sem estribos, verificou que a resistência ao cisalhamento não dependia só da qualidade do concreto, mas também de outros parâmetros. Entretanto, não quantificou essa constatação [ASCE-ACI Committee 445 (1998); Rebeiz (1999)].

Somente na década de 50 retornou-se ao que Talbot identificara, quando diversos estudos mostraram que o cisalhamento em vigas de concreto armado é um fenômeno complexo que envolve mais do que uma variável. Foi nessa época introduzida uma expressão de resistência ao cisalhamento que incluía como variáveis a relação a/d e a taxa de armadura longitudinal, além da resistência à compressão do concreto.

Na década de 1970 surgiram vários trabalhos sobre a resistência proporcionada pelos mecanismos resistentes alternativos (engrenamento dos agregados e efeito de pino da armadura longitudinal), o que não se considerava na Treliça Clássica de Morsch [Fenwick e Paulay (1968); Taylor (1971); Rebeiz (1999)].

Como as investigações experimentais mostraram que o Modelo de Treliça Clássica conduzia a armaduras superiores às necessárias, foram, então, propostas modificações para esse modelo.

Dessas modificações, uma das duas que passaram a ser mais adotadas foi a de considerar apenas parte da força cortante como sendo resistida pela ação de treliça, e a outra parte como sendo resistida por outros mecanismos, a chamada “contribuição do concreto”. Essa segunda parte é admitida como sendo a resistência da viga sem armadura transversal. Esse método de análise tem a vantagem de fornecer também a resistência ao cortante das vigas quando a taxa de armadura transversal é nula, mas, devido aos diversos parâmetros envolvidos no comportamento das vigas sem armadura transversal e à sua interação, essa resistência é avaliada a partir de fórmulas obtidas empiricamente. Dependendo dos parâmetros envolvidos na calibração destas fórmulas e da faixa de variação desses parâmetros nas vigas ensaiadas usadas na calibração, elas podem levar a valores de cortante bem diferentes dos reais.

A outra modificação mais adotada é a de considerar para o Modelo de Treliça valor menor que o de 45° usado por Morsch para inclinação das diagonais comprimidas com relação ao eixo da viga. Ao se optar por este método, tem-se que decidir qual o ângulo a empregar, o que pode ser baseado em diferentes critérios.

Neste trabalho é feito estudo sobre as modificações do Modelo de Treliça Clássica já propostas, com base em resultados de 161 ensaios de vigas que romperam por cortante descritos na literatura, tendo como enfoque principal a definição da inclinação das diagonais comprimidas com relação ao eixo da viga.

No *capítulo 2*, é feito resumo sobre o comportamento de vigas sem e com armadura transversal submetidas a flexão simples, e apresentada coletânea de dados de ensaios de vigas que tiveram como causa principal de ruptura a força cortante.

Os diferentes métodos de cálculo da resistência ao cortante de vigas sem força normal e altura constante são abordados no *capítulo 3*, onde são também reunidos os métodos adotados por várias normas de cálculo de estruturas de concreto.

No *capítulo 4*, apresenta-se a análise realizada sobre o ângulo das diagonais comprimidas com o eixo longitudinal da viga. Para os métodos de cálculo que consideram o cortante resistido apenas pela ação de treliça, foi determinado o ângulo na expressão de resistência ao cortante dada pelo modelo de treliça que leva a ter-se resistência igual à experimental. As faixas dos ângulos obtidos são comparadas com as das propostas existentes. Para os métodos de cálculo que admitem que apenas parte do cortante é resistida segundo a ação de treliça e a outra parte é resistida por outros mecanismos (método aditivo), foram feitas duas análises. Numa determinou-se o ângulo das diagonais comprimidas do modelo da treliça que leva à mesma resistência que a obtida por esse método, sendo esta resistência a experimental. Na outra, verificou-se que ângulo, em vez do de 45° adotado no método aditivo, levaria este método a fornecer resistência ao cortante igual à experimental.

Nesse capítulo são também comentados os dois métodos de cálculo de resistência ao cortante apresentados na norma brasileira NBR 6118-01 em processo de consulta pública.

O *capítulo 5* apresenta as conclusões do estudo desenvolvido, e no apêndice constam tabelas com dados das vigas ensaiadas usados nas análises e resultados dos cálculos para elas realizados.

CAPÍTULO II

COMPORTAMENTO DE VIGAS COM RUPTURA POR CORTANTE

2.1 Comportamento de Vigas de Concreto Armado submetidas à Flexão Simples

2.1.1 Parâmetros que Influenciam o Comportamento

Numerosos estudos experimentais e teóricos têm sido realizados a fim de investigar o comportamento de vigas submetidas a esforço cortante.

Apesar disto, devido à complexidade do mecanismo resistente e à multiplicidade dos parâmetros influenciadores da resistência ao cortante, ainda não existe um modelo que represente adequadamente esse comportamento.

Nessas investigações, objetivou-se verificar a variação da resistência ao cisalhamento em função de diversas variáveis (f_c , ρ_w , ρ , d , a/d).

O estudo de vigas sem e com armadura transversal é normalmente feito através de ensaios de vigas simplesmente apoiadas com carregamento constituído de duas cargas concentradas simétricas em relação ao centro da viga que são incrementadas até a ruptura, havendo, entretanto, alguns estudos de vigas com carga distribuída.

Este tipo de modelo experimental facilita a aplicação do carregamento, além de ocasionar o surgimento de trechos da viga submetidos à flexão pura entre as forças concentradas, e trechos de flexão com cortante entre os apoios e as forças aplicadas.

Nas vigas sem estribos, a resistência à força cortante é provida pelo concreto até a carga de fissuração diagonal. A partir daí, somam-se as contribuições do concreto não fissurado na região de compressão, da resistência fornecida pelo engrenamento dos agregados ao longo da face da fissura diagonal, do efeito de pino da armadura longitudinal que atravessa as fissuras e da ação de arco

[ASCE-ACI Committee 426 (1973); Elzanaty et al. (1986); Fernandes (1992); Kim et al. (1993); Ahmad et al. (1995)].

Esses mecanismos resistentes dependem de diversos parâmetros, como o tipo de carregamento, a armadura longitudinal, a forma da seção transversal, o tipo de agregado, a resistência do concreto, a altura da viga e a relação a/d [ASCE-ACI Committee 426 (1973); Elzanaty et al. (1986); Kim et al. (1993)].

Para carregamento concentrado próximo dos apoios, a transmissão da carga é direta (ação de arco). Para maiores distâncias entre o apoio e a seção de aplicação da carga, a resistência depende mais da ação de pino, do atrito nas fissuras e da resistência do concreto. Para cargas uniformemente distribuídas, o comportamento resistente da viga é semelhante ao de vigas com carregamento concentrado, havendo, porém, sempre uma transferência direta de parte da carga ao apoio [Mphonde et al. (1984); Elzanaty et al. (1986); Thorenfeldt et al. (1990); Kim et al. (1993)].

A parcela resistida pelo concreto não fissurado depende do valor de f_c e da área da zona comprimida. Com o aumento da resistência do concreto, a contribuição na transferência de forças por atrito é menor devido à superfície das fissuras tenderem a ser mais lisas para concretos de alta resistência, quando os agregados graúdos são parâmetro limitador da resistência do concreto. No entanto, o efeito de pino é maior, caso haja aumento da resistência à tração do concreto, o qual retarda a fissuração e a ruptura. Sendo assim, ocorre uma diminuição da parcela do atrito com a utilização de concreto de alta resistência, porém um enrijecimento dos elementos de concreto da treliça, aumentando a contribuição do concreto não fissurado e melhorando a capacidade de redistribuição das forças internas devido à maior mobilização do concreto [ASCE-ACI Committee 426 (1973); Elzanaty et al. (1986); Jonhson et al. (1989); Hallgren (1994)].

O engrenamento dos agregados depende da rugosidade da superfície das fissuras, da abertura das mesmas e do tipo de agregado do concreto. Essas fissuras estão intimamente relacionadas com a rigidez do banzo tracionado, que é definida pela taxa de armadura longitudinal (ρ), de modo que quanto mais fraco for o banzo tracionado mais ele se alonga com o acréscimo de carga e mais rápido a fissura diagonal se propaga. Além disso, quanto menor for a taxa de armadura longitudinal, maior será a abertura das fissuras, ocasionando um menor desenvolvimento do atrito entre as faces das mesmas, e, portanto, uma menor capacidade resistente [ASCE-ACI Committee 426 (1973); Elzanaty et al. (1986); Kim et al. (1993)]

Com relação à aderência da armadura longitudinal com o concreto envolvente, quanto melhor for esta aderência, menores serão as aberturas das fissuras, ocasionando uma maior contribuição do atrito entre as faces das fissuras [Leonhardt e Monnig (1978); Durão (1993)].

O efeito de pino na resistência ao cortante é influenciado pela taxa de armadura longitudinal e pelo diâmetro das barras desta armadura. A resistência ao cisalhamento é aumentada para maiores valores da taxa de armadura longitudinal, devido ao fato das barras cruzarem as fissuras diagonais [ASCE-ACI Committee 426 (1973); Elzanaty et al. (1986); Thorenfeldt et al. (1990)].

A variação da relação a/d condiciona o tipo de comportamento da viga e os mecanismos envolvidos. Para baixos valores de a/d , a resistência do concreto apresenta maior influência na resistência ao cisalhamento das vigas do que nas vigas com maiores valores de a/d . Isso é devido à ação de arco nas vigas curtas como um mecanismo de transferência que leva estas vigas a resistirem a forças cortantes maiores do que a que causa a fissuração diagonal [Mphonde et al. (1984); Elzanaty et al. (1986); Thorenfeldt et al. (1990); Kim et al. (1993); Durão (1993)].

Com o incremento de a/d , a probabilidade de uma fissura de flexão se transformar numa inclinada é maior, podendo esta ser responsável pela ruptura devido à sua propagação repentina dentro da zona de compressão. Nas vigas com a/d maior que aproximadamente 3, ocorre ruptura logo após a fissuração diagonal [Mphonde et al. (1984); Elzanaty et al. (1986); Thorenfeldt et al. (1990); Rimmel et al. (1993); Ahmad et al. (1995)].

Experimentalmente, tem sido comprovado que a capacidade resistente ao esforço cortante (tensão cisalhante nominal) de vigas diminui com o aumento da altura dos elementos estruturais para um valor constante da relação a/d . Isto se dá devido ao fato das aberturas das fissuras aumentarem, ocasionando uma diminuição do atrito entre as faces das fissuras [Taylor (1971); Rimmel et al. (1993); Kim et al. (1993); Durão (1993); Ahmad et al. (1995)].

Para vigas com armadura transversal, além da contribuição direta dos estribos no mecanismo resistente, a armadura transversal restringe a abertura das fissuras diagonais, aumentando o efeito do atrito entre as faces das fissuras; envolve a armadura longitudinal, levando a ter-se maior contribuição do efeito de pino na resistência ao cortante; e limita a propagação das fissuras, aumentando assim, a contribuição do banzo comprimido [ASCE-ACI Committee 426 (1973); Elzanaty et al. (1986)].

Tendo-se armadura transversal maior que a necessária para que a viga resista a cortante maior do que o que causa a fissuração diagonal crítica, essa armadura faz com que a viga não tenha ruptura frágil. Sendo assim, um fator importante a ser considerado no dimensionamento das vigas é a utilização da armadura transversal mínima prescrita nas normas para, no caso de sobrecargas não previstas, se garanta alguma ductilidade [Johnson et al. (1989); Yoon et al. (1996)].

2.1.2 Tipos de Ruptura nas Vigas

A classificação do comportamento dos elementos de concreto sem armadura transversal (Figura 2.1) pode ser feita em função da relação a/d em quatro diferentes tipos.

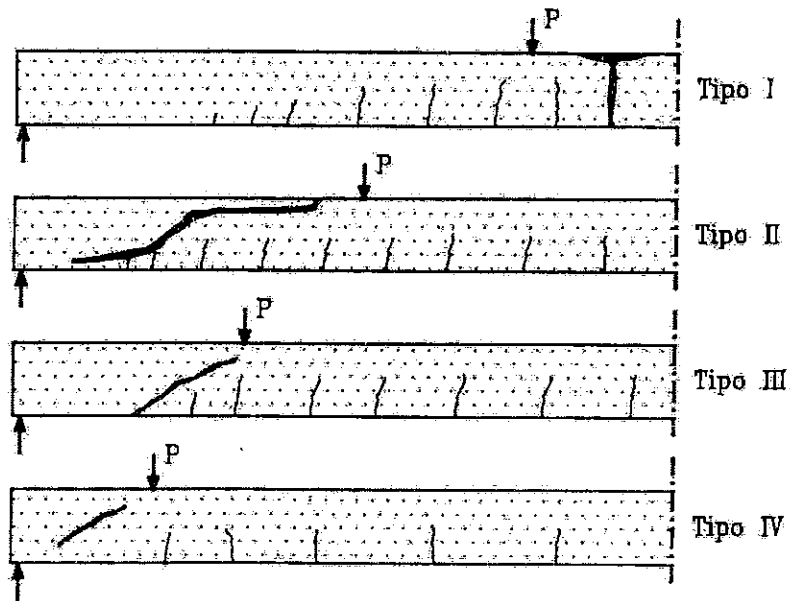


Figura 2.1 – Tipos de comportamento de vigas de concreto armado sem armadura transversal (DURÃO-1993)

O comportamento do tipo I ocorre em vigas com maiores valores de a/d , onde há ruptura por flexão, com fissuras perpendiculares ao eixo das vigas. As fissuras formam-se a partir da fibra mais tracionada, ocorrendo a ruptura por esmagamento do concreto ou pelo escoamento da armadura tracionada.

Os demais tipos de comportamento se caracterizam por modos de ruptura influenciados pela força cortante.

O tipo II, com ruptura causada pela ação combinada de momento fletor e força cortante, caracteriza-se pela formação de uma fissura inclinada a partir de uma de flexão, podendo ocorrer uma ruptura brusca, com a propagação dessa fissura em direção à zona de compressão e em direção ao apoio ao longo da armadura longitudinal; ou a ruptura ocasionada pelo prolongamento da fissura inclinada em direção ao banzo comprimido, que conduz ao esmagamento do concreto.

No comportamento do tipo III, com ruptura por cortante, o surgimento da fissura inclinada independe da fissura de flexão. Neste caso, a ruptura pode ocorrer de forma brusca, logo após o surgimento da fissura diagonal, ou ruptura por esmagamento do concreto devido à propagação desta fissura até o banzo comprimido.

O comportamento do tipo IV, também com ruptura por cortante, é caracterizado pelo esmagamento do concreto da alma nas proximidades dos apoios.

A armadura transversal assegura às vigas uma ruptura mais gradual, já que as fissuras desencadeiam uma transferência dos esforços existentes na alma da viga para a armadura de cisalhamento disponível e para as diagonais comprimidas do concreto. Em decorrência da redistribuição desses esforços internos, podem ocorrer diferentes tipos de ruptura em uma viga de concreto armado com estribos submetida à flexão simples.

Em vigas subarmadas ao cortante, a ruptura é causada pelo escoamento do aço. As fissuras de cisalhamento que se formam a partir das fissuras de flexão presentes na região de força cortante se desenvolvem rapidamente e penetram na zona de compressão, causando a ruptura desta. Ocorre, assim, o esmagamento do concreto no banzo comprimido devido à penetração das fissuras diagonais nesta região, sendo uma ruptura devido à ação combinada de força cortante e momento fletor.

Em vigas com alta taxa de armadura transversal (superarmadas ao cortante), pode ocorrer a ruptura das diagonais comprimidas do concreto (bielas de compressão) antes que a armadura da alma atinja sua tensão de escoamento. As diagonais de concreto situadas entre as fissuras de cisalhamento se rompem bruscamente ao ter-se nelas tensão igual à da resistência à compressão do concreto fissurado. Quando ocorre o esmagamento da biela diagonal de concreto (típico de almas finas com armadura transversal abundante), diz-se ter ruptura por compressão devido à força cortante.

Pode-se ainda ter uma ruptura por deficiência de ancoragem da armadura principal sobre o apoio, particularmente nos casos de vigas com baixa relação a/d , onde a armadura longitudinal é muito solicitada até o apoio. É, então, necessária uma eficiente ancoragem para que não ocorra ruptura em decorrência do deslizamento da armadura longitudinal na proximidade do apoio.

2.2 Ensaios de Vigas com Armadura Transversal e Ruptura por Cortante

A seguir são apresentados resultados de ensaios de vigas de concreto armado com estribos, as quais apresentaram ruptura por cortante. Estas vigas foram submetidas a cargas concentradas, tinham altura constante, não tinham força normal e eram de concreto de massa específica convencional, tendo concreto com resistência à compressão variando de aproximadamente 13 a 125 MPa. As 209 vigas descritas possuem armadura transversal perpendicular ao eixo longitudinal, sendo 128 delas de concreto com resistência à compressão menor ou igual a 50 MPa.

2.2.1 Características Gerais das Vigas

A *Tabela 2.1* resume as faixas de variação dos parâmetros das vigas ensaiadas, cujos resultados serão aqui analisados.

Tabela 2.1 – Faixa de variação dos principais parâmetros das vigas em estudo

Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo
f_c (MPa)	12,76	125,4
a/d	0,52	6,98
d (mm)	157	940
b_w (mm)	50	457
ρ (%)	0,98	6,98
f_y (MPa)	321	996
ρ_w (%)	0,07	2,64
f_{yw} (MPa)	269	902
$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	0,33	19,19

2.2.2 Vigas ensaiadas por Clark (1951), apud Russo e Puleri (1997)

Tabela 2.2 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Clark (1951)

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
A1-1	24,65	2,35	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,26	–	3,37
A1-2	23,65	2,35	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,26	–	3,18
A1-3	23,41	2,35	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,26	–	3,39
A1-4	24,75	2,35	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,26	–	3,71
B1-1	23,36	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,23	–	4,24
B1-2	25,37	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,23	–	3,89
B1-3	23,70	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,23	–	4,33
B1-4	23,31	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,23	–	4,07
B1-5	24,62	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,23	–	3,66
B2-1	23,24	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	2,42	–	4,59
B2-2	26,34	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	2,42	–	4,86
B2-3	24,93	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	2,42	–	5,07
B6-1	42,13	1,95	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,23	–	5,55
C1-1	25,65	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	4,10
C1-2	26,34	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	4,72
C1-3	23,96	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	3,64
C1-4	29,03	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	4,18
C2-1	23,65	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	2,28	–	4,30
C2-2	24,99	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	2,28	–	4,44
C2-3	24,13	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,95	–	4,79
C2-4	26,96	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,29	–	4,23
C3-1	14,07	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	3,43
C3-2	13,79	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	3,08
C3-3	13,93	1,56	389,9	203,2	2,07	320,6	–	–	1,13	–	2,88
C4-1	24,48	1,56	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,13	–	4,70
C6-2	45,23	1,56	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,13	–	6,19
C6-3	44,68	1,56	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,13	–	6,35
C6-4	47,58	1,56	389,9	203,2	3,10	320,6	–	–	1,13	–	6,23
D1-1	26,20	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	1,52	–	4,37
D1-2	26,13	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	1,52	–	5,18
D1-3	24,55	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	1,52	–	3,74
D2-1	23,99	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	2,02	–	4,23

Tabela 2.2 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Clark (1951) – cont.

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
D2-2	25,89	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	1,69	–	4,53
D2-3	24,79	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	1,69	–	4,86
D2-4	24,48	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	2,02	–	4,88
D3-1	28,20	1,17	389,9	203,2	2,44	335,3	–	–	3,05	–	5,84
D4-1	23,10	1,17	389,9	203,2	1,63	335,3	–	–	4,04	–	4,56
D1-6	27,65	1,94	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,52	–	4,39
D1-7	27,99	1,94	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,52	–	4,49
D1-8	27,79	1,94	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,52	–	4,66
E1-2	30,17	2,02	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	2,42	–	5,53
D2-6	29,51	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	2,02	–	4,21
D2-7	28,41	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	2,02	–	3,94
D2-8	26,13	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	2,02	–	4,24
D4-1	27,37	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,62	–	4,23
D4-2	25,65	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,62	–	3,96
D4-3	22,06	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,62	–	4,21
D5-1	27,72	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,23	–	3,67
D5-2	29,03	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,23	–	3,93
D5-3	27,10	2,43	314,5	152,4	3,42	320,6	–	–	1,23	–	3,95

(–) valores não fornecidos

2.2.3 Vigas ensaiadas por Bresler e Scordelis (1961), apud Russo e Puleri (1997)

Tabela 2.3 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Bresler e Scordelis (1961)

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
A-1	24,06	3,92	466,1	307,3	1,80	555,0	–	–	0,33	–	1,63
A-2	24,27	4,93	464,1	304,8	2,28	555,0	–	–	0,33	–	1,73
A-3	35,03	6,91	466,1	307,3	2,73	552,3	–	–	0,33	–	1,63
B-1	24,75	3,95	461,0	231,1	2,43	555,0	–	–	0,48	–	2,09
B-2	23,17	4,91	465,6	228,6	2,43	555,0	–	–	0,48	–	1,88
B-3	38,75	6,95	460,5	231,1	3,06	552,3	–	–	0,48	–	1,69
C-1	29,58	3,95	463,6	154,9	1,80	555,0	–	–	0,65	–	2,17
C-2	23,79	4,93	464,3	152,4	3,66	555,0	–	–	0,66	–	2,29
C-3	35,03	6,98	458,7	154,9	3,63	552,3	–	–	0,65	–	1,91

(–) valores não fornecidos

2.2.4 Vigas ensaiadas por Bresler e Scordelis (1966), *apud Russo e Puleri (1997)*

Tabela 2.4 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Bresler e Scordelis (1966)

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
CRA-1	25,10	3,98	459,7	304,8	1,69	696,9	–	–	0,35	–	1,20
CRB-1	23,65	4,01	456,9	228,6	2,28	696,9	–	–	0,51	–	1,65
CRC-1	24,40	4,00	458,0	154,9	1,67	696,9	–	–	0,69	–	1,67
1WCRA-1	26,34	4,01	456,7	304,8	1,71	696,9	–	–	0,35	–	1,54
1WCRB-1	23,17	3,99	459,0	228,6	2,26	696,9	–	–	0,51	–	1,94
1WCRC-1	26,75	3,98	459,5	152,4	1,69	696,9	–	–	0,70	–	2,05
1WCA-1	25,17	3,95	462,5	304,8	1,76	663,1	–	–	0,35	–	1,56
1WCB-1	26,48	3,97	459,7	231,1	2,34	663,1	–	–	0,51	–	1,90
1WCC-1	24,89	3,97	460,0	154,9	1,75	663,1	–	–	0,69	–	2,00
2WCA-1	26,34	3,96	460,8	304,8	1,77	663,1	–	–	0,35	–	1,72
3WCA-1	26,27	3,97	460,0	304,8	1,77	663,1	–	–	0,35	–	1,48

(–) valores não fornecidos

2.2.5 Vigas ensaiadas por Placas e Regan (1971)

Tabela 2.5 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Placas e Regan (1971)

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
R8	26,68	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	0,58	–	1,92
R9	29,58	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	1,15	–	2,52
R10	29,61	3,36	272,0	152,4	0,98	620,6	–	–	0,58	–	1,82
R11	26,20	3,36	272,0	152,4	1,95	620,6	–	–	0,58	–	2,16
R12	33,92	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	0,58	–	2,83
R13	32,27	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	1,15	–	3,86
R14	29,03	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	0,38	–	2,16
R15	29,86	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	1,15	–	3,61
R16	31,58	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	1,15	–	3,61
R17	12,76	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	0,58	–	1,69
R18	31,30	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	0,58	–	2,04

Tabela 2.5 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Placas e Regan (1971) – cont.

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
R19	30,27	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	1,15	–	2,89
R20	42,46	3,36	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	0,58	–	2,17
R21	48,13	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	1,15	–	3,86
R22	29,51	4,50	272,0	152,4	1,46	620,6	–	–	0,58	–	1,92
R24	30,89	5,05	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	0,58	–	2,38
R25	30,82	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	0,58	–	2,70
R27	13,65	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	1,15	–	2,45
R28	31,58	3,60	254,0	152,4	4,16	620,6	–	–	2,25	–	4,63

(–) valores não fornecidos

2.2.6 Vigas ensaiadas por Mattock e Wang (1984), apud Russo e Puleri (1997)

Tabela 2.6 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Mattock e Wang (1984)

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
C205-D10	23,24	2,00	315,0	150,0	2,61	361,3	–	–	0,85	–	2,90
C205-D20	24,34	2,00	315,0	150,0	2,08	386,8	–	–	0,85	–	2,59
C210-C0A	27,24	2,00	315,0	150,0	2,61	361,3	–	–	1,70	–	3,73
C210-S0	22,96	2,00	315,0	150,0	2,61	361,3	–	–	1,70	–	4,15
C305-D0	25,99	3,00	315,0	150,0	2,61	361,3	–	–	0,85	–	2,28
C305-D10	24,27	3,00	315,0	150,0	2,61	359,9	–	–	1,70	–	2,80
C305-D20	24,55	3,00	315,0	150,0	2,61	359,9	–	–	1,70	–	2,96

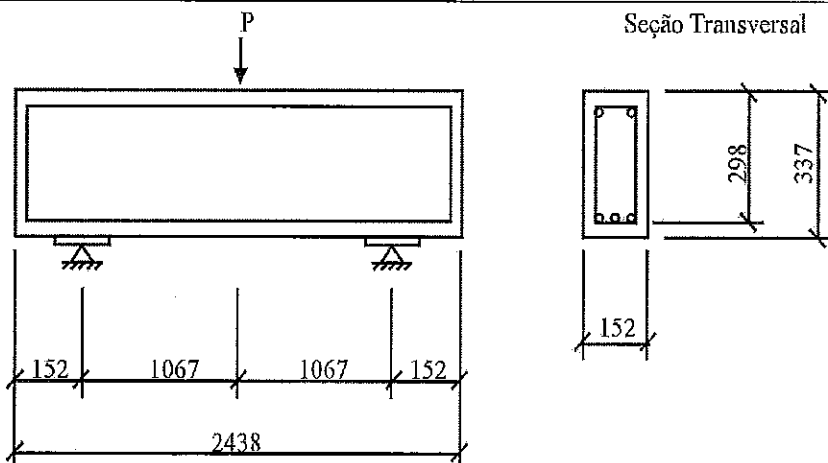
(–) valores não fornecidos

2.2.7 Vigas ensaiadas por Mphonde e Frantz (1985)

Mphonde e Frantz (1985) ensaiaram 12 vigas simplesmente apoiadas de concreto armado, carregadas no meio do vão, com seção transversal retangular e estribos de barras lisas. Os valores de ρ , f_y e a/d foram mantidos fixos.

Tabela 2.7 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Mphonde e Frantz (1985)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaio



- armadura longitudinal de tração
 $f_y = 448 \text{ MPa}$
 3 barras $\phi = 25,4 \text{ mm}$
- armadura longitudinal de compressão
 $f_y = 448 \text{ MPa}$
 2 barras $\phi = 9,53 \text{ mm}$
- armadura transversal
 $f_{yw} = 303 \text{ MPa}; \phi = 3,2 \text{ mm}$
 $f_{yw} = 269 \text{ MPa}; \phi = 4,8 \text{ mm}$

- dimensões em mm
- principais variáveis:
 $f_c; \rho_w; f_{yw}$

Vigas	f_c^* (MPa)	f_c^{**} (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
B50-3-3	24,0	22,0	3,6	298	152	3,36	448,0	0,112	303,0	0,34	89	1,67
B50-7-3	43,2	39,8	3,6	298	152	3,36	448,0	0,112	303,0	0,34	89	2,06
B50-11-3	64,9	59,7	3,6	298	152	3,36	448,0	0,112	303,0	0,34	89	2,15
B50-15-3	90,1	82,9	3,6	298	152	3,36	448,0	0,112	303,0	0,34	89	2,45
B100-3-3	30,3	27,9	3,6	298	152	3,36	448,0	0,257	269,0	0,69	89	2,10
B100-7-3	51,1	47,0	3,6	298	152	3,36	448,0	0,257	269,0	0,69	89	2,65
B100-11-3	74,5	68,5	3,6	298	152	3,36	448,0	0,257	269,0	0,69	89	3,32
B100-15-3	89,0	81,9	3,6	298	152	3,36	448,0	0,257	269,0	0,69	89	2,54
B150-3-3	31,2	28,7	3,6	298	152	3,36	448,0	0,383	269,0	1,03	89	3,05
B150-7-3	50,6	46,5	3,6	298	152	3,36	448,0	0,383	269,0	1,03	89	2,93
B150-11-3	75,5	69,5	3,6	298	152	3,36	448,0	0,383	269,0	1,03	89	3,55
B150-15-3	89,9	82,7	3,6	298	152	3,36	448,0	0,383	269,0	1,03	89	3,29

f_c^* determinada por meio de ensaios com corpos de prova cilíndricos de 76 x 152 mm

f_c^{**} resistência equivalente a cilindros de 152 x 305 mm, assumida como sendo 92% da resistência dos cilindros de 76 x 152 mm (ver item 2.3)

2.2.8 Vigas ensaiadas por Elzanaty, Nilson e Slate (1986)

Elzanaty et al. (1986) ensaiaram 3 vigas com armadura transversal de barras lisas. As relações a/d e $\rho_w f_{yw}$ foram mantidas constantes.

Tabela 2.8 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Elzanaty, Nilson e Slate (1986)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaios												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração $f_y = 434 \text{ MPa}$ G4 – 3 ϕ 25,4 mm G5/G6 – 3 ϕ 22,2 mm ▪ armadura longitudinal de compressão $f_y = 379 \text{ MPa}$ 2 ϕ 6,4 mm ▪ armadura transversal $f_{yw} = 379 \text{ MPa}$ $\phi = 6,4 \text{ mm}$ 						<ul style="list-style-type: none"> ▪ $a = l/3$ ▪ dimensões em mm ▪ agregado graúdo (calcário britado) $d_a = 12,7 \text{ mm}$ ▪ principais variáveis: $f_c; \rho$ 						
Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	$l_{\text{variável}}$ (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
G4	62,8	4,0	266	178	3192	3,30	434,0	0,17	379,0	0,65	190,5	3,11
G5	40,0	4,0	268	178	3216	2,50	434,0	0,17	379,0	0,65	190,5	2,39
G6	20,7	4,0	268	178	3216	2,50	434,0	0,17	379,0	0,65	190,5	1,64

2.2.9 Vigas ensaiadas por Bernhardt e Fynboe (1986)

Bernhardt e Fynboe (1986) estudaram o comportamento de 5 vigas de concreto de alta resistência com armadura transversal composta por barras lisas.

Tabela 2.9 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Bernhardt e Fynboe (1986)

Seções Transversais – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaios												
<ul style="list-style-type: none"> armadura longitudinal de tração S5 - $f_y = 510$ MPa 2 barras $\phi = 20$ mm S7/S8 - $f_y = 511$ MPa 4 barras $\phi = 20$ mm armadura longitudinal de compressão 2 barras $\phi = 8$ mm $f_y = 427$ MPa armadura transversal: $f_{yw} = 427$ MPa $\phi = 8$ mm 						<ul style="list-style-type: none"> $a = 400$ - S5 $a = 550$ - S7/S8 dimensões em mm principais variáveis: a/d; ρ; ρ_w 						
Vigas	f_c^* (MPa)	f_c^{**} (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
S5A	104,0	88,4	2,4	167	150	2,51	510,0	0,45	427,0	1,92	150	4,37
S7A	104,0	88,4	3,5	157	150	5,34	511,0	0,67	427,0	2,86	150	5,92
S7B	104,0	88,4	3,5	157	150	5,34	511,0	0,67	427,0	2,86	150	6,35
S8A	104,0	88,4	3,5	157	150	5,34	511,0	0,45	427,0	1,92	150	5,29
S8B	104,0	88,4	3,5	157	150	5,34	511,0	0,45	427,0	1,92	150	5,71

f_c^* determinada por meio de ensaios com corpos de prova cúbicos

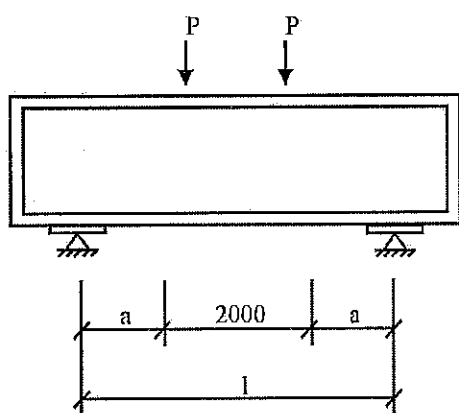
f_c^{**} resistência equivalente a cilindros de 150 x 300 mm, assumida como sendo 85% da resistência dos cubos de concreto (ver item 2.3)

2.2.10 Vigas ensaiadas por Marro (1987)

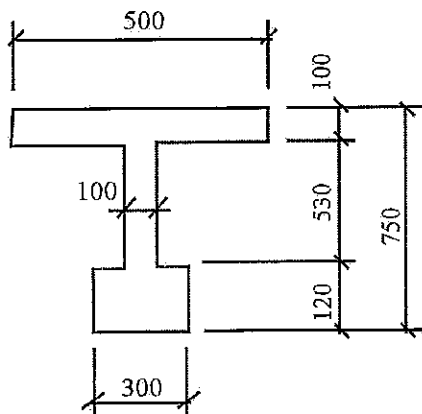
Marro (1987) ensaiou 9 vigas de concreto armado com seção transversal "I" e concreto de baixa e alta resistência à compressão.

Tabela 2.10 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Marro (1987)

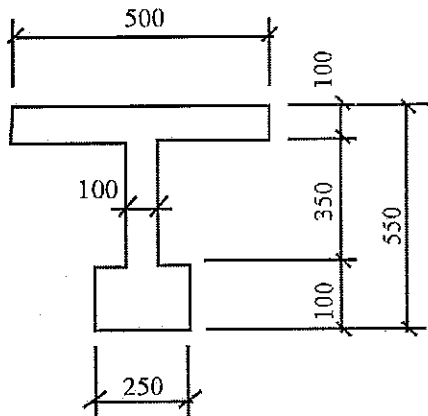
Seções Transversais – Esquema de Carregamento



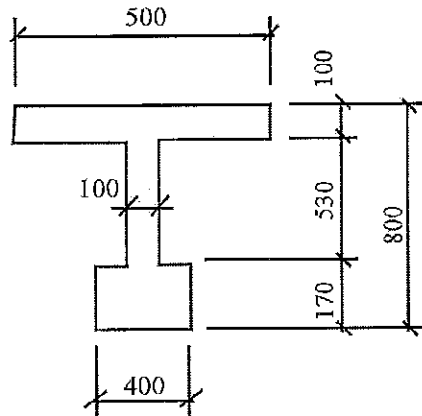
Seção Transversal - TB



Seção Transversal - TC



Seção Transversal - TE



▪ armadura transversal:

TB35/TC35	- $f_{yw} = 470$ MPa
TB70/1/2; TC70/1/2	- $f_{yw} = 450$ MPa
TB70/3	- $f_{yw} = 450$ MPa
TE120	- $f_{yw} = 480$ MPa

▪ TB/TE

$a = 1850$ $l = 5700$

TC

$a = 1750$ $l = 5500$

▪ dimensões em mm

▪ principais variáveis:

f_c ; ρ_w ; f_{yw} ; a/d ; seção transversal

Tabela 2.10 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Marro (1987) – cont.

Resultados dos Ensaios												
Vigas	f_c^* (MPa)	f_c^{**} (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
TB35/1	38,6	30,9	2,5	731	100	–	–	0,90	470,0	4,23	175	8,34
TB70/1	84,3	71,7	2,6	700	100	–	–	1,81	450,0	8,15	125	15,43
TB70/2	96,4	81,9	2,6	711	100	–	–	1,81	450,0	8,15	125	16,59
TB70/3	96,4	81,9	2,6	700	100	–	–	2,38	450,0	10,71	95	18,86
TC35/1	51,8	41,4	3,4	515	100	–	–	0,90	470,0	4,23	175	9,53
TC35/2	38,6	30,9	3,5	500	100	–	–	0,90	470,0	4,23	175	8,60
TC70/1	74,7	63,5	3,5	500	100	–	–	1,81	450,0	8,15	125	12,60
TC70/2	69,9	59,4	3,5	500	100	–	–	1,81	450,0	8,15	125	12,40
TE120/1	130,1	110,6	2,5	750	100	–	–	2,46	480,0	11,81	125	19,47

f_c^* determinada por meio de ensaios com corpos de prova cúbicos

f_c^{**} resistência equivalente a cilindros de 150 x 300 mm, assumida como sendo 80 ou 85% da resistência dos cubos de concreto (ver item 2.3)

(–) valores não fornecidos

2.2.11 Vigas ensaiadas por Levi e Marro (1989)

Foram ensaiadas por Levi e Marro (1989) 7 vigas de concreto armado com seção transversal “I”, onde foram mantidos constantes os valores de a/d.

Tabela 2.11 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Levi e Marro (1989)

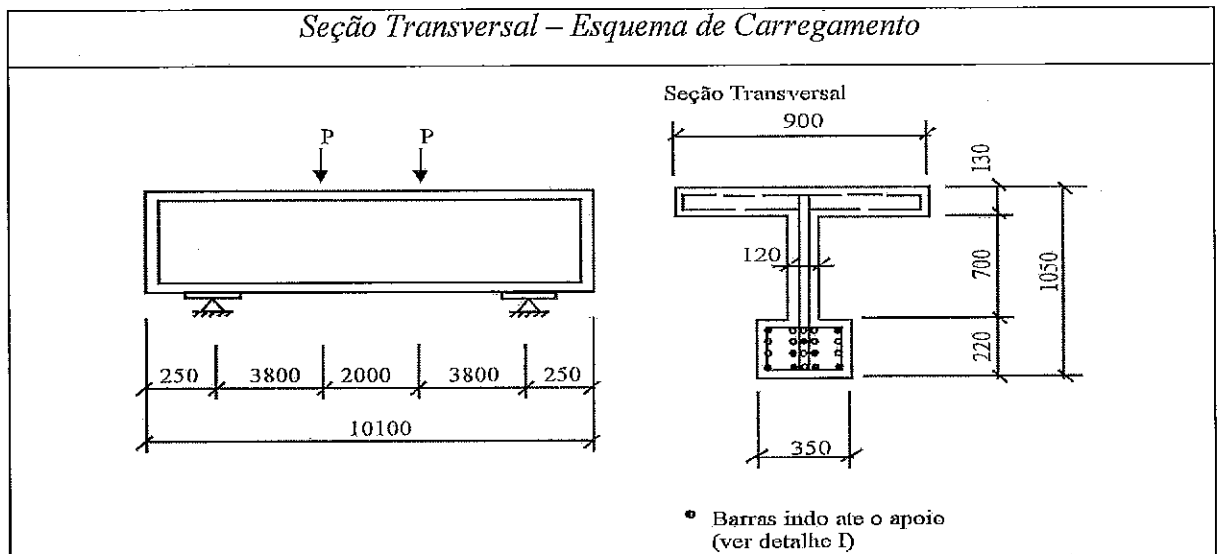
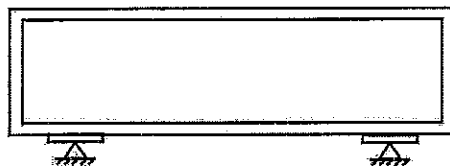
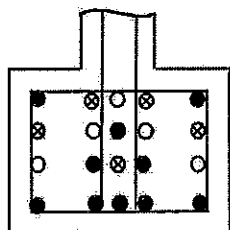


Tabela 2.11 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Levi e Marro (1989) – cont.

Seção Transversal – Resultados dos Ensaios

Detalhe I



(2800) | (2800)

(3800) | (3800)

(5050) | (5050)

⊗ 5 barras

⊙ 5 barras

● 10 barras

▪ armadura longitudinal

RC30A

$f_y = 500$ MPa

20 barras $\phi = 24$ mm

RC60A

$f_y = 450$ MPa

20 barras $\phi = 26$ mm

RC60B/70B

$f_y = 470$ MPa

20 barras $\phi = 30$ mm

▪ armadura transversal

$f_{yw} = 480$ MPa

$\phi = 12$ mm

▪ dimensões em mm

▪ principais variáveis:

f_c ; f_y ; ρ ; ρ_w

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
RC30A1	25,0	4,0	940	120	4,01	500,0	0,84	480,0	4,03	225	5,99
RC30A2	25,0	4,0	940	120	4,01	500,0	0,84	480,0	4,03	225	6,10
RC60A1	47,0	4,0	940	120	4,71	450,0	0,84	480,0	4,03	225	8,78
RC60A2	47,0	4,0	940	120	4,71	450,0	0,84	480,0	4,03	225	8,32
RC60B1	50,0	4,0	940	120	6,27	470,0	1,25	480,0	6,00	150	10,47
RC60B2	50,0	4,0	940	120	6,27	470,0	1,25	480,0	6,00	150	10,98
RC70B1	60,0	4,0	940	120	6,27	470,0	1,25	480,0	6,00	150	11,79

2.2.12 Vigas ensaiadas por Johnson e Ramirez (1989)

O estudo de Johnson e Ramirez (1989) englobou 7 vigas de concreto armado de alta resistência com seção transversal retangular. Variaram-se a resistência à compressão do concreto e a taxa ρ_w , enquanto os demais parâmetros mantiveram-se constantes.

Tabela 2.12 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Johnson e Ramirez (1989)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaios											
						<p>Seção Transversal</p>					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração $f_y = 525$ MPa 5 barras $\phi = 32,2$ mm ▪ armadura longitudinal de compressão $f_y = 540,3$ MPa 2 barras $\phi = 28,7$ mm ▪ armadura transversal $f_{yw} = 479,6$ MPa $\phi = 6,3$ mm 						<ul style="list-style-type: none"> ▪ dimensões em mm ▪ principais variáveis: f_c; ρ_w 					
Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
1	36,4	3,1	539	305	2,49	525,0	0,14	479,6	0,67	133,5	2,06
2	36,4	3,1	539	305	2,49	525,0	0,07	479,6	0,34	267,0	1,35
3	72,3	3,1	539	305	2,49	525,0	0,07	479,6	0,34	267,0	1,60
4	72,3	3,1	539	305	2,49	525,0	0,07	479,6	0,34	267,0	1,93
5	55,8	3,1	539	305	2,49	525,0	0,14	479,6	0,67	133,5	2,33
7	51,3	3,1	539	305	2,49	525,0	0,07	479,6	0,34	267,0	1,71
8	51,3	3,1	539	305	2,49	525,0	0,07	479,6	0,34	267,0	1,57

2.2.13 Vigas ensaiadas por Salandra e Ahmad (1989)

Salandra e Ahmad (1989) ensaiaram 8 vigas de concreto de alta resistência com armadura transversal, variando a resistência à compressão do concreto e a relação a/d e mantendo constante os demais parâmetros.

Tabela 2.13 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Salandra e Ahmad (1989)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaios												
<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração $f_y = 414 \text{ MPa}$ 2 barras $\phi = 12,5 \text{ mm}$ ▪ armadura longitudinal de compressão $f_y = 414 \text{ MPa}$ 2 barras $\phi = 6,25 \text{ mm}$ ▪ armadura transversal $f_{yw} = 414 \text{ MPa}$ $\phi = 6,25 \text{ mm}$ 						<ul style="list-style-type: none"> ▪ dimensões em mm ▪ agregado graúdo $d_a = 12,5 \text{ mm}$ ▪ principais variáveis: f_c; a/d 						
Vigas	f_c^* (MPa)	f_c^{**} (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
LR-WS	54,8	50,4	0,52	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	3,95
LR-WS	56,5	52,0	1,56	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	1,46
LR-WS	56,5	52,0	2,59	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	0,63
LR-WS	54,7	50,3	3,63	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	0,53
HR-WS	70,3	64,7	0,52	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	3,97
HR-WS	71,7	66,0	1,56	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	1,36
HR-WS	70,3	64,7	2,59	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	0,53
HR-WS	72,4	66,6	3,63	171	102	1,45	414,0	0,76	414,0	3,15	82,5	0,31

f_c^* determinada por meio de ensaios com corpos de prova cilíndricos de 102 x 204 mm

f_c^{**} resistência equivalente a cilindros de 150 x 300 mm, assumida como sendo 92% da resistência dos cilindros de 102 x 204 mm (ver item 2.3)

2.2.14 Vigas ensaiadas por Roller e Russell (1990)

Roller e Russell (1990) ensaiaram um total de 10 vigas de concreto armado com armadura transversal, divididas em 2 séries.

A 1ª série era composta por 5 vigas de concreto com a mesma resistência à compressão e taxa de armadura transversal variando entre as mínima e máxima permitidas para a determinação da resistência ao cortante pela norma ACI-318 (1983).

Na 2ª série foram ensaiadas mais 5 vigas, variando-se f_c e com a taxa de armadura transversal entre a mínima e a igual a três vezes a mínima indicada na norma ACI-318 (1983).

Tabela 2.14 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Roller e Russell (1990)

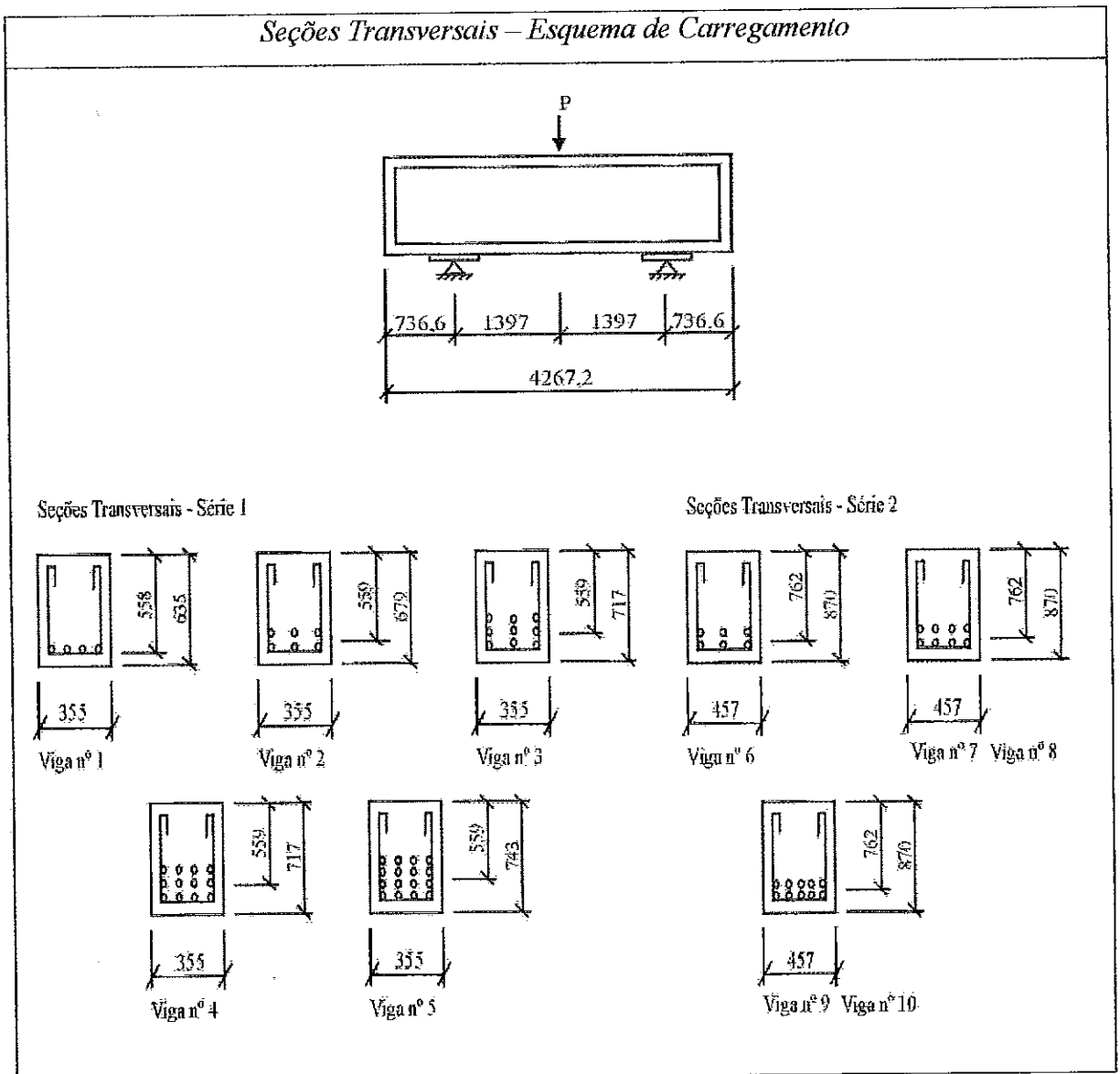


Tabela 2.14 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Roller e Russell (1990) – cont.

Características das Vigas – Resultados dos Ensaios

▪ armadura longitudinal de tração

Série 1

- V1 – 4 ϕ 32,2 mm $f_y = 427,7$ MPa
- V2 – 6 ϕ 35,8 mm $f_y = 431,3$ MPa
- V3 – 9 ϕ 35,8 mm $f_y = 431,3$ MPa
- V4 – 12 ϕ 35,8 mm $f_y = 431,3$ MPa
- V5 – 12 ϕ 32,2 mm $f_y = 427,7$ MPa
+ 4 ϕ 35,8 mm $f_y = 431,3$ MPa

Série 2

- V6 – 6 ϕ 35,8 mm $f_y = 464,4$ MPa
- V7 – 8 ϕ 32,2 mm $f_y = 483,6$ MPa
- V8 – 8 ϕ 32,2 mm $f_y = 483,6$ MPa
- V9 – 10 ϕ 32,2 mm $f_y = 483,6$ MPa
- V10 – 10 ϕ 35,8 mm $f_y = 464,4$ MPa

▪ armadura transversal

Série 1

- Taxa de armadura variada entre a mínima e a máxima indicadas na norma ACI-318 (1983).

Série 2

- Taxa de armadura variada entre a mínima e a três vezes a mínima indicada na norma ACI-318 (1983).

▪ dimensões em mm

- Série 1
 $b_w \times h = 356 \times h$ mm
h variável
- Série 2
 $b_w \times h = 457 \times h$ mm
h variável
- agregado graúdo (calcário britado)
 $d_a = 12,7$ mm
- principais variáveis:
 $\rho_w; f_c; f_{yw}; a/d; f_y$

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
Série 1											
1	120,2	2,5	559	355	1,65	427,7	0,08	407,0	0,33	216	1,50
2	120,2	2,5	559	355	3,04	431,3	0,43	448,5	1,93	165	5,53
3	120,2	2,5	559	355	4,57	431,3	0,88	458,2	4,03	127	8,34
4	120,2	2,5	559	355	6,09	431,3	1,26	458,2	5,77	89	9,77
5	120,2	2,5	559	355	6,98	427,7 431,3	1,75	458,2	8,02	63,5	11,25
Série 2											
6	72,5	3,0	762	457	1,73	464,4	0,08	445,4	0,36	381	1,91
7	72,5	3,0	762	457	1,88	483,6	0,16	445,4	0,71	197	2,26
8	125,4	3,0	762	457	1,88	483,6	0,08	445,4	0,36	381	1,39
9	125,4	3,0	762	457	2,35	483,6	0,16	445,4	0,71	197	2,15
10	125,4	3,0	762	457	2,89	464,4	0,23	445,4	1,02	133,4	3,37

2.2.15 Vigas ensaiadas por Sarsam e Al-Musawi (1992)

O estudo de Sarsam e Al-Musawi (1992) compreendeu ensaios de 14 vigas de concreto armado com estribos lisos, onde foram variados os valores de a/d , ρ , f_c e $\rho_w f_{yw}$.

Tabela 2.15 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Sarsam e Al-Musawi (1992)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaios											
<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração <ul style="list-style-type: none"> 3 ϕ 20 mm $f_y = 495$ MPa (Vigas AL/AS) 2 ϕ 25 mm $f_y = 543$ MPa + (Vigas BL/BS) 1 ϕ 16 mm $f_y = 525$ MPa 3 ϕ 25 mm $f_y = 543$ MPa (Vigas CL/CS) ▪ armadura longitudinal de compressão <ul style="list-style-type: none"> $f_y = 450$ MPa 2 ϕ 10 mm ▪ armadura transversal <ul style="list-style-type: none"> $f_{yw} = 820$ MPa $\phi = 4$ mm 						<ul style="list-style-type: none"> ▪ dimensões em mm ▪ agregado graúdo (cascalho) <ul style="list-style-type: none"> $d_a = 12$ mm ▪ principais variáveis: <ul style="list-style-type: none"> a/d; ρ; ρ_w; f_c; f_y 					
Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
AL2-N	40,4	4,0	235	180	2,23	495,0	0,09	820,0	0,76	150	2,71
AL2-H	75,3	4,0	235	180	2,23	495,0	0,09	820,0	0,76	150	2,90
AS2-N	39,0	2,5	235	180	2,23	495,0	0,09	820,0	0,76	150	4,48
AS2-H	75,5	2,5	232	180	2,26	495,0	0,09	820,0	0,76	150	4,81
AS3-N	40,2	2,5	235	180	2,23	495,0	0,14	820,0	1,14	100	4,71

Tabela 2.15 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Sarsam e AlMusawi (1992) – cont.

Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
AS3-H	71,8	2,5	235	180	2,23	495,0	0,14	820,0	1,14	100	4,71
BL2-H	75,7	4,0	233	180	2,82	525,0 543,0	0,09	820,0	0,76	150	3,30
BS2-H	73,9	2,5	233	180	2,82	525,0 543,0	0,09	820,0	0,76	150	5,33
BS3-H	73,4	2,5	233	180	2,82	525,0 543,0	0,14	820,0	1,14	100	5,44
BS4-H	80,1	2,5	233	180	2,82	525,0 543,0	0,19	820,0	1,53	75	4,93
CL2-H	70,1	4,0	233	180	3,51	543,0	0,09	820,0	0,76	150	3,51
CS2-H	70,2	2,5	233	180	3,51	543,0	0,09	820,0	0,76	150	5,89
CS3-H	74,2	2,5	233	180	3,51	543,0	0,14	820,0	1,14	100	5,89
CS4-H	75,7	2,5	233	180	3,51	543,0	0,19	820,0	1,53	75	5,26

2.2.16 Vigas ensaiadas por Fernandes (1992)

Fernandes (1992) ensaiou 6 vigas de concreto armado com seção transversal “I” e armadura transversal composta por estribos lisos.

Tabela 2.16 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Fernandes (1992)

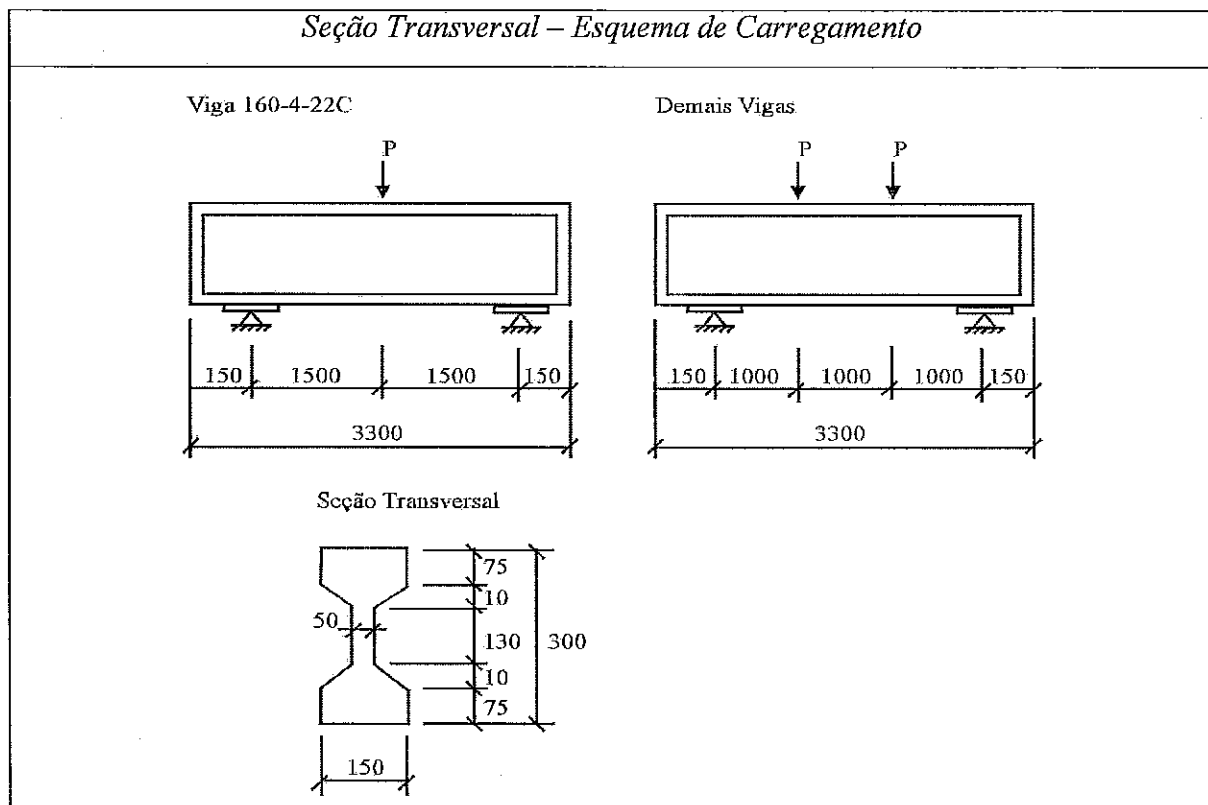


Tabela 2.16 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Fernandes (1992) – cont.

Características das Vigas – Resultados dos Ensaios											
<ul style="list-style-type: none"> armadura longitudinal 						<ul style="list-style-type: none"> dimensões em mm 					
<u>Vigas A</u> 3 barras $\phi = 16$ mm $f_y = 595$ MPa						<ul style="list-style-type: none"> agregado graúdo 					
<u>Vigas B/C</u> 3 barras $\phi = 19$ mm $f_y = 530$ MPa						uma fração de pedrisco ($d_a = 9,5$ mm) + uma fração de brita 1 ($d_a = 19$ mm)					
<ul style="list-style-type: none"> armadura transversal 						<ul style="list-style-type: none"> principais variáveis: 					
$\phi = 4,2$ mm $f_{yw} = 850$ MPa						f_c ; ρ ; ρ_w					
Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
160-4-7B	58,3	3,6	280	50	6,18	530,0	0,76	850,0	6,46	75	8,57
160-4-15A	70,7	3,6	280	50	4,10	595,0	0,38	850,0	3,23	150	7,14
160-4-15B	60,0	3,6	280	50	6,18	530,0	0,38	850,0	3,23	150	7,86
160-4-22A	60,4	3,6	280	50	4,10	595,0	0,25	850,0	2,13	225	5,00
160-4-22B	55,0	3,6	280	50	6,18	530,0	0,25	850,0	2,13	225	7,14
160-4-22C	64,3	5,4	280	50	6,18	530,0	0,25	850,0	2,13	225	5,36

2.2.17 Vigas ensaiadas por Watanabe, Nishiyama e Muguruma (1993)

Watanabe et al. (1993) ensaiaram 10 vigas de concreto de alta resistência com armadura transversal composta por estribos fechados soldados. Todas as vigas possuíam a mesma seção e a mesma relação a/d.

Tabela 2.17 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Watanabe, Nishiyama e Muguruma (1993)

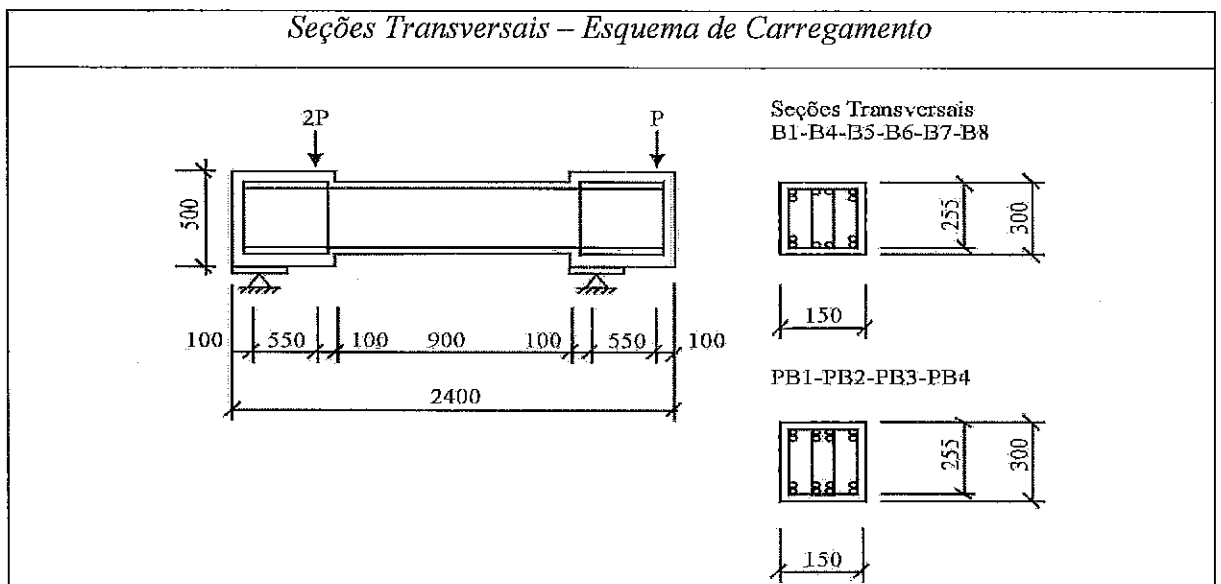


Tabela 2.17 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Watanabe, Nishiyama e Muguruma (1993) – cont.

<i>Características das Vigas – Resultados dos Ensaios</i>											
<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração e de compressão <p><u>PB-1 a PB-4</u></p> <p>$f_y = 996$ MPa 8 barras $\phi = 16$ mm</p> <p><u>B-1, B-4 a B-8</u></p> <p>$f_y = 953$ MPa 6 barras $\phi = 16$ mm</p>						<ul style="list-style-type: none"> ▪ $a/d = 550/255$ ▪ dimensões em mm ▪ principais variáveis: $f_c; \rho_w; \rho; f_{yw}; f_y$ 					
Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{vul} (MPa)
PB-1	111,0	2,15	255	150	4,08	996,0	0,85	419,0	3,56	100	9,20
PB-2	111,0	2,15	255	150	4,08	996,0	2,64	290,0	7,66	50	14,71
PB-3	111,0	2,15	255	150	4,08	996,0	0,85	784,0	6,66	100	13,49
PB-4	111,0	2,15	255	150	4,08	996,0	2,64	727,0	19,19	50	19,08
B-1	50,7	2,15	255	150	3,06	953,0	0,50	297,0	1,49	75	4,21
B-4	50,7	2,15	255	150	3,06	953,0	0,66	902,0	5,95	100	8,84
B-5	50,7	2,15	255	150	3,06	953,0	1,71	846,0	14,47	50	12,50
B-6	73,5	2,15	255	150	3,06	953,0	0,57	411,0	2,34	75	7,61
B-7	73,5	2,15	255	150	3,06	953,0	0,85	846,0	7,19	100	11,37
B-8	73,5	2,15	255	150	3,06	953,0	1,76	902,0	15,88	75	12,31

2.2.18 Vigas ensaiadas por Ahmad, Park e El-Dash (1995)

Ahmad et al. (1995) ensaiaram 16 vigas de concreto armado de alta e baixa resistência, com estribos lisos no vão de cisalhamento.

Tabela 2.18 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Ahmad, Park e El-Dash (1995)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento – Resultados dos Ensaios													
<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração $f_y = 413 \text{ MPa}$ 2 barras $\phi = 12,7 \text{ mm}$ ▪ armadura longitudinal de compressão $f_y = 413 \text{ MPa}$ 2 barras $\phi = 6,4 \text{ mm}$ ▪ armadura transversal: $f_{yw} = 413 \text{ MPa}$ $\phi = 6,4 \text{ mm}$ 							<ul style="list-style-type: none"> ▪ dimensões em mm ▪ agregado graúdo $d_a = 12,7 \text{ mm}$ ▪ principais variáveis: f_c; a/d 						
Vigas	f_c^* (MPa)	f_c^{**} (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	$l_{\text{variável}}$ (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wn} (MPa)
A1H	33,8	31,1	0,6	178	102	671	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	3,94
A2H	33,8	31,1	0,6	178	102	671	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	3,99
A3H	46,9	43,1	1,7	178	102	1062	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	3,82
A4H	49,0	45,1	1,7	178	102	1062	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	4,31
A5H	33,8	31,1	2,1	178	102	1205	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	2,96
A6H	31,7	29,2	2,1	178	102	1205	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	3,08
A7H	42,8	39,4	3,7	178	102	1774	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	1,72
A8H	42,8	39,4	3,7	178	102	1774	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	1,77
A1H	82,8	76,2	0,6	178	102	671	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	6,90
A2H	93,1	85,7	0,6	178	102	671	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	7,64
A3H	75,9	69,8	1,7	178	102	1062	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	4,95
A4H	81,4	74,9	1,7	178	102	1062	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	5,42

Tabela 2.18 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Ahmad, Park e El-Dash (1995) – cont.

Vigas	f_c^* (MPa)	f_c^{**} (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	$l_{variável}$ (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wm} (MPa)
A5H	75,9	69,8	2,1	178	102	1205	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	3,94
A6H	84,8	78,0	2,1	178	102	1205	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	3,94
A7H	76,6	70,5	3,7	178	102	1774	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	2,09
A8H	79,3	73,0	3,7	178	102	1774	1,40	413,0	0,71	413,0	2,93	89	1,97

f_c^* determinada por meio de ensaios com corpos de prova cilíndricos 102 x 204 mm

f_c^{**} resistência equivalente a cilindros de 150 x 300 mm, assumida como sendo 92% da resistência dos cilindros 102 x 204 mm (ver item 2.3)

2.2.19 Vigas ensaiadas por Yoon, Cook e Mitchell (1996)

Yoon et al. (1996) ensaiaram 6 vigas de concreto armado com baixa e alta resistência à compressão, e taxas de armadura transversal diferentes em cada uma de suas metades.

Com a ruptura de uma das metades da viga, reforçou-se este trecho externamente para que houvesse o aumento no carregamento que possibilitasse a ruptura da outra metade.

Tabela 2.19 – Dados das vigas e resultados dos ensaios de Yoon, Cook e Mitchell (1996)

Seção Transversal – Esquema de Carregamento

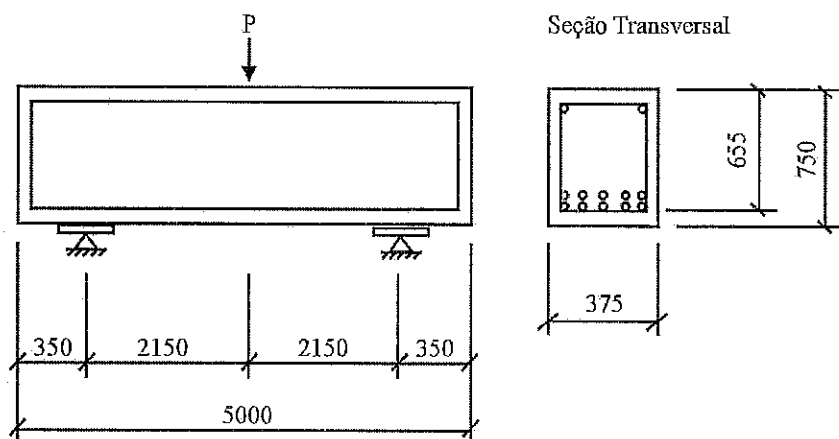


Tabela 2.19–Dados das vigas e resultados dos ensaios de Yoon, Cook e Mitchell (1996)–cont.

Características das Vigas – Resultados dos Ensaios

<ul style="list-style-type: none"> ▪ armadura longitudinal de tração $f_y = 400$ MPa 10 barras $\phi = 30$ mm ▪ armadura longitudinal de compressão $f_y = 400$ MPa 2 barras $\phi = 10$ mm ▪ armadura transversal $f_{yw} = 430$ MPa $\phi 9,5$ mm 						<ul style="list-style-type: none"> ▪ dimensões em mm ▪ agregado graúdo $d_a = 5$ a 20 mm ▪ principais variáveis: $f_c; \rho_w$ 					
Vigas	f_c (MPa)	a/d	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	f_y (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)	τ_{wu} (MPa)
N2-S	36,0	3,3	655	375	2,80	400	0,08	430	0,35	465	1,48
N2-N	36,0	3,3	655	375	2,80	400	0,12	430	0,50	325	1,97
M2-S	67,0	3,3	655	375	2,80	400	0,12	430	0,50	325	2,25
M2-N	67,0	3,3	655	375	2,80	400	0,16	430	0,70	230	2,81
H2-S	87,0	3,3	655	375	2,80	400	0,14	430	0,60	270	2,43
H2-N	87,0	3,3	655	375	2,80	400	0,23	430	1,00	160	2,94

2.3 Resumo dos Principais Parâmetros das vigas ensaiadas usadas nas análises

A Tabela 2.20 resume os parâmetros de todas as vigas usadas nas análises realizadas. Para a uniformização da resistência à compressão do concreto, o valor de f_c adotado na tabela é o correspondente à resistência à compressão do concreto obtida por meio de ensaios de corpos de prova cilíndricos de 150 x 300 mm, ou a equivalente a essa resistência.

Sendo assim, foram adotadas relações entre a resistência obtida de ensaios de cilindro-padrão (150 x 300 mm) e a resistência determinada com outros tipos de corpos de prova, conforme indicações apresentadas na literatura.

Segundo resultados experimentais, a resistência à compressão do concreto obtida através de corpos de prova cilíndricos tende a se aproximar da resistência à compressão de cubos com o aumento de f_c . As normas CEB-FIP MC90 e NS3473 sugerem para o caso de corpos de prova cúbicos valores de f_c/f_{cu} variando entre 0,8 e 0,9, para f_{cu} maior que 50 MPa. Então, para $f_{cu} \leq 50$ MPa, adotou-se $f_c/f_{cu} = 0,8$ e, para $f_{cu} > 50$ MPa, adotou-se $f_c/f_{cu} = 0,85$.

Para as resistências obtidas de ensaios com corpos de prova cilíndricos de dimensões diferentes do cilíndrico padrão (150 x 300 mm), existem na literatura valores para a relação entre essas resistências variando entre 0,8 e 1,2 para cilindros de diferentes tamanhos. Para esses casos considerou-se para f_c valor igual a 92% dessa resistência, valor usado por alguns dos autores, cujos resultados de ensaios foram analisados.

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
A1-1	24,65	389,9	203,2	3,10	–	–	1,26	–
A1-2	23,65	389,9	203,2	3,10	–	–	1,26	–
A1-3	23,41	389,9	203,2	3,10	–	–	1,26	–
A1-4	24,75	389,9	203,2	3,10	–	–	1,26	–
B1-1	25,37	389,9	203,2	3,10	–	–	1,23	–
B1-2	25,37	389,9	203,2	3,10	–	–	1,23	–
B1-3	23,70	389,9	203,2	3,10	–	–	1,23	–
B1-4	23,31	389,9	203,2	3,10	–	–	1,23	–
B1-5	24,62	389,9	203,2	3,10	–	–	1,23	–
B2-1	23,24	389,9	203,2	3,10	–	–	2,42	–
B2-2	26,34	389,9	203,2	3,10	–	–	2,42	–
B2-3	24,93	389,9	203,2	3,10	–	–	2,42	–
B6-1	42,13	389,9	203,2	3,10	–	–	1,23	–
C1-1	25,65	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–
C1-2	26,34	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–
C1-3	23,96	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–
C1-4	29,03	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–

(–) valores não fornecidos

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas – cont.

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
C2-1	23,65	389,9	203,2	2,07	–	–	2,28	–
C2-2	24,99	389,9	203,2	2,07	–	–	2,28	–
C2-3	24,13	389,9	203,2	2,07	–	–	1,95	–
C2-4	26,96	389,9	203,2	2,07	–	–	1,29	–
C3-1	14,07	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–
C3-2	13,79	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–
C3-3	13,93	389,9	203,2	2,07	–	–	1,13	–
C4-1	24,48	389,9	203,2	3,10	–	–	1,13	–
C6-2	45,23	389,9	203,2	3,10	–	–	1,13	–
C6-3	44,68	389,9	203,2	3,10	–	–	1,13	–
C6-4	47,58	389,9	203,2	3,10	–	–	1,13	–
D1-1	26,20	389,9	203,2	1,63	–	–	1,52	–
D1-2	26,13	389,9	203,2	1,63	–	–	1,52	–
D1-3	24,55	389,9	203,2	1,63	–	–	1,52	–
D2-1	23,99	389,9	203,2	1,63	–	–	2,02	–
D2-2	25,89	389,9	203,2	1,63	–	–	1,69	–
D2-3	24,79	389,9	203,2	1,63	–	–	1,69	–
D2-4	24,48	389,9	203,2	1,63	–	–	2,02	–
D3-1	28,20	389,9	203,2	2,44	–	–	3,05	–
D4-1	23,10	389,9	203,2	1,63	–	–	4,04	–
D1-6	27,65	314,5	152,4	3,42	–	–	1,52	–
D1-7	27,99	314,5	152,4	3,42	–	–	1,52	–
D1-8	27,79	314,5	152,4	3,42	–	–	1,52	–
E1-2	30,17	314,5	152,4	3,42	–	–	2,42	–
D2-6	29,51	314,5	152,4	3,42	–	–	2,02	–
D2-7	28,41	314,5	152,4	3,42	–	–	2,02	–
D2-8	26,13	314,5	152,4	3,42	–	–	2,02	–
D4-1	27,37	314,5	152,4	3,42	–	–	1,62	–
D4-2	25,65	314,5	152,4	3,42	–	–	1,62	–
D4-3	22,06	314,5	152,4	3,42	–	–	1,62	–
D5-1	27,72	314,5	152,4	3,42	–	–	1,23	–

(–) valores não fornecidos

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas – cont.

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
D5-2	29,03	314,5	152,4	3,42	–	–	1,23	–
D5-3	27,10	314,5	152,4	3,42	–	–	1,23	–
A-1	24,06	466,1	307,3	1,80	–	–	0,33	–
A-2	24,27	464,1	304,8	2,28	–	–	0,33	–
A-3	35,03	466,1	307,3	2,73	–	–	0,33	–
B-1	24,75	461,0	231,1	2,43	–	–	0,48	–
B-2	23,17	465,6	228,6	2,43	–	–	0,48	–
B-3	38,75	460,5	231,1	3,06	–	–	0,48	–
C-1	29,58	463,6	154,9	1,80	–	–	0,65	–
C-2	23,79	464,3	152,4	3,66	–	–	0,66	–
C-3	35,03	458,7	154,9	3,63	–	–	0,65	–
CRA-1	25,10	459,7	304,8	1,69	–	–	0,35	–
CRB-1	23,65	456,9	228,6	2,28	–	–	0,51	–
CRC-1	24,40	458,0	154,9	1,67	–	–	0,69	–
1WCRA-1	26,34	456,7	304,8	1,71	–	–	0,35	–
1WCRB-1	23,17	459,0	228,6	2,26	–	–	0,51	–
1WCRC-1	26,75	459,5	152,4	1,69	–	–	0,70	–
1WCA-1	25,17	462,5	304,8	1,76	–	–	0,35	–
1WCB-1	26,48	459,7	231,1	2,34	–	–	0,51	–
1WCC-1	24,89	460,0	154,9	1,75	–	–	0,69	–
2WCA-1	26,34	460,8	304,8	1,77	–	–	0,35	–
3WCA-1	26,27	460,0	304,8	1,77	–	–	0,35	–
R8	26,68	272,0	152,4	1,46	–	–	0,58	–
R9	29,58	272,0	152,4	1,46	–	–	1,15	–
R10	29,61	272,0	152,4	0,98	–	–	0,58	–
R11	26,20	272,0	152,4	1,95	–	–	0,58	–
R12	33,92	254,0	152,4	4,16	–	–	0,58	–
R13	32,27	254,0	152,4	4,16	–	–	1,15	–
R14	29,03	272,0	152,4	1,46	–	–	0,38	–
R15	29,86	254,0	152,4	4,16	–	–	1,15	–
R16	31,58	254,0	152,4	4,16	–	–	1,15	–
R17	12,76	272,0	152,4	1,46	–	–	0,58	–

(–) valores não fornecidos

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas – cont.

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
R18	31,30	272,0	152,4	1,46	–	–	0,58	–
R19	30,27	272,0	152,4	1,46	–	–	1,15	–
R20	42,46	272,0	152,4	1,46	–	–	0,58	–
R21	48,13	254,0	152,4	4,16	–	–	1,15	–
R22	29,51	272,0	152,4	1,46	–	–	0,58	–
R24	30,89	254,0	152,4	4,16	–	–	0,58	–
R25	30,82	254,0	152,4	4,16	–	–	0,58	–
R27	13,65	254,0	152,4	4,16	–	–	1,15	–
R28	31,58	254,0	152,4	4,16	–	–	2,25	–
C205-D10	23,24	315,0	150,0	2,61	–	–	0,85	–
C205-D20	24,34	315,0	150,0	2,08	–	–	0,85	–
C210-C0A	27,24	315,0	150,0	2,61	–	–	1,70	–
C210-S0	22,96	315,0	150,0	2,61	–	–	1,70	–
C305-D0	25,99	315,0	150,0	2,61	–	–	0,85	–
C305-D10	24,27	315,0	150,0	2,61	–	–	1,70	–
C305-D20	24,55	315,0	150,0	2,61	–	–	1,70	–
B50-3-3	22,0	298	152	3,36	0,112	303,0	0,34	89
B50-7-3	39,8	298	152	3,36	0,112	303,0	0,34	89
B50-11-3	59,7	298	152	3,36	0,112	303,0	0,34	89
B50-15-3	82,9	298	152	3,36	0,112	303,0	0,34	89
B100-3-3	27,9	298	152	3,36	0,257	269,0	0,69	89
B100-7-3	47,0	298	152	3,36	0,257	269,0	0,69	89
B100-11-3	68,5	298	152	3,36	0,257	269,0	0,69	89
B100-15-3	81,9	298	152	3,36	0,257	269,0	0,69	89
B150-3-3	28,7	298	152	3,36	0,383	269,0	1,03	89
B150-7-3	46,5	298	152	3,36	0,383	269,0	1,03	89
B150-11-3	69,5	298	152	3,36	0,383	269,0	1,03	89
B150-15-3	82,7	298	152	3,36	0,383	269,0	1,03	89
G4	62,8	266	178	3,30	0,17	379,0	0,65	190,5
G5	40,0	268	178	2,50	0,17	379,0	0,65	190,5
G6	20,7	266	178	2,50	0,17	379,0	0,65	190,5

(–) valores não fornecidos

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas – cont.

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
S5A	88,4	167	150	2,51	0,45	427,0	1,92	150
S7A	88,4	157	150	5,34	0,67	427,0	2,86	150
S7B	88,4	157	150	5,34	0,67	427,0	2,86	150
S8A	88,4	157	150	5,34	0,45	427,0	1,92	150
S8B	88,4	157	150	5,34	0,45	427,0	1,92	150
TB35/1	30,9	731	100	-	0,90	470,0	4,23	175
TB70/1	71,7	700	100	-	1,81	450,0	8,15	125
TB70/2	81,9	711	100	-	1,81	450,0	8,15	125
TB70/3	81,9	700	100	-	2,38	450,0	10,71	95
TC35/1	41,4	515	100	-	0,90	470,0	4,23	175
TC35/2	30,9	500	100	-	0,90	470,0	4,23	175
TC70/1	63,5	500	100	-	1,81	450,0	8,15	125
TC70/2	59,4	500	100	-	1,81	450,0	8,15	125
TE120/1	110,6	750	100	-	2,46	480,0	11,81	125
RC30A1	25,0	940	120	4,01	0,84	480,0	4,03	225
RC30A2	25,0	940	120	4,01	0,84	480,0	4,03	225
RC60A1	47,0	940	120	4,71	0,84	480,0	4,03	225
RC60A2	47,0	940	120	4,71	0,84	480,0	4,03	225
RC60B1	50,0	940	120	6,27	1,25	480,0	6,00	150
RC60B2	50,0	940	120	6,27	1,25	480,0	6,00	150
RC70B1	60,0	940	120	6,27	1,25	480,0	6,00	150
1*	36,4	539	305	2,49	0,14	479,6	0,67	133
2*	36,4	539	305	2,49	0,07	479,6	0,34	267
3*	72,3	539	305	2,49	0,07	479,6	0,34	267
4*	72,3	539	305	2,49	0,07	479,6	0,34	267
5*	55,8	539	305	2,49	0,14	479,6	0,67	133
7*	51,3	539	305	2,49	0,07	479,6	0,34	267
8*	51,3	539	305	2,49	0,07	479,6	0,34	267
LR-WS	50,4	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
LR-WS	52,0	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
LR-WS	52,0	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
LR-WS	50,3	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
HR-WS	64,7	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5

(-) valores não fornecidos

* vigas ensaiadas por Johnson e Ramirez (1989)

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas – cont.

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
HR-WS	66,0	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
HR-WS	64,7	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
HR-WS	66,6	171	102	1,45	0,76	414,0	3,15	82,5
1**	120,2	559	355	1,65	0,08	407,0	0,33	216
2**	120,2	559	355	3,04	0,43	448,5	1,93	165
3**	120,2	559	355	4,57	0,88	458,2	4,03	127
4**	120,2	559	355	6,09	1,26	458,2	5,77	89
5**	120,2	559	355	6,98	1,75	458,2	8,02	63,5
6**	72,5	762	457	1,73	0,08	445,4	0,36	381
7**	72,5	762	457	1,88	0,16	445,4	0,71	197
8**	125,4	762	457	1,88	0,08	445,4	0,36	381
9**	125,4	762	457	2,35	0,16	445,4	0,71	197
10**	125,4	762	457	2,89	0,23	445,4	1,02	133,4
AL2-N	40,4	235	180	2,23	0,09	820,0	0,76	150
AL2-H	75,3	235	180	2,23	0,09	820,0	0,76	150
AS2-N	39,0	235	180	2,23	0,09	820,0	0,76	150
AS2-H	75,5	232	180	2,26	0,09	820,0	0,76	150
AS3-N	40,2	235	180	2,23	0,14	820,0	1,14	100
AS3-H	71,8	235	180	2,23	0,14	820,0	1,14	100
BL2-H	75,7	233	180	2,82	2,82	820,0	0,76	150
BS2-H	73,9	233	180	2,82	2,82	820,0	0,76	150
BS3-H	73,4	233	180	2,82	2,82	820,0	1,14	100
BS4-H	80,1	233	180	2,82	2,82	820,0	1,53	75
CL2-H	70,1	233	180	3,51	0,09	820,0	0,76	150
CS2-H	70,2	233	180	3,51	0,09	820,0	0,76	150
CS3-H	74,2	233	180	3,51	0,14	820,0	1,14	100
CS4-H	75,7	233	180	3,51	0,19	820,0	1,53	75
160-4-7B	58,3	280	50	6,18	0,76	850,0	6,46	75
160-4-15A	70,7	280	50	4,10	0,38	850,0	3,23	150
160-4-15B	60,0	280	50	6,18	0,38	850,0	3,23	150
160-4-22A	60,4	280	50	4,10	0,25	850,0	2,13	225
160-4-22B	55,0	280	50	6,18	0,25	850,0	2,13	225
160-4-22C	64,3	280	50	6,18	0,25	850,0	2,13	225

** vigas ensaiadas por Roller e Russell (1990)

Tabela 2.20 – Resumo dos principais parâmetros das vigas – cont.

Vigas	f_c (MPa)	d (mm)	b_w (mm)	ρ (%)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	s (mm)
PB-1	111,0	255	150	4,08	0,85	419,0	3,56	100
PB-2	111,0	255	150	4,08	2,64	290,0	7,66	50
PB-3	111,0	255	150	4,08	2,85	784,0	6,66	100
PB-4	111,0	255	150	4,08	2,64	727,0	19,19	50
B-1	50,7	255	150	3,06	0,50	297,0	1,49	75
B-4	50,7	255	150	3,06	0,66	902,0	5,95	100
B-5	50,7	255	150	3,06	1,71	846,0	14,47	50
B-6	73,5	255	150	3,06	0,57	411,0	2,34	75
B-7	73,5	255	150	3,06	0,85	846,0	7,19	100
B-8	73,5	255	150	3,06	1,76	902,0	15,88	75
A1H	31,1	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A2H	31,1	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A3H	43,1	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A4H	45,1	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A5H	31,1	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A6H	29,2	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A7H	39,4	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A8H	39,4	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A1H	76,2	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A2H	85,7	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A3H	69,8	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A4H	74,9	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A5H	69,8	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A6H	78,0	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A7H	70,5	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
A8H	73,0	178	102	1,40	0,71	413,0	2,93	89
N2-S	36,0	655	375	2,80	0,08	430	0,35	465
N2-N	36,0	655	375	2,80	0,12	430	0,50	325
M2-S	67,0	655	375	2,80	0,12	430	0,50	325
M2-N	67,0	655	375	2,80	0,16	430	0,70	230
H2-S	87,0	655	375	2,80	0,14	430	0,60	270
H2-N	87,0	655	375	2,80	0,23	430	1,00	160

CAPÍTULO III

MÉTODOS DE CÁLCULO DA RESISTÊNCIA AO CORTANTE

3.1 Métodos de Cálculo de Resistência ao Cortante de Vigas com Armadura Transversal

3.1.1 Métodos baseados no Modelo de Treliça

Constatou-se experimentalmente que o Modelo de Treliça de Morsch é, em geral, muito conservador, que as tensões na armadura transversal verificadas experimentalmente podem ser significativamente inferiores àquelas a que o modelo conduz (Figura 3.1).

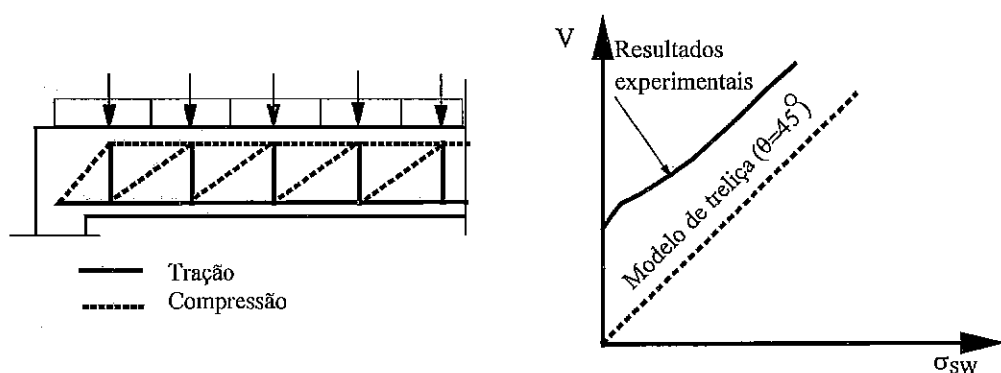
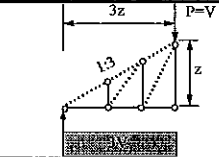
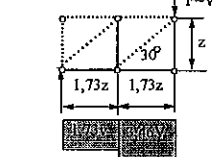
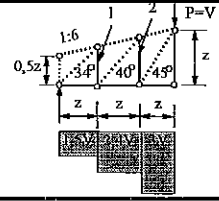
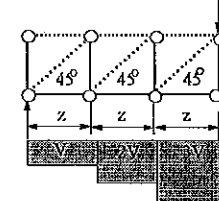
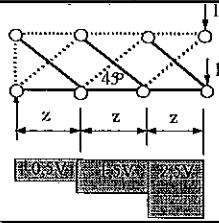
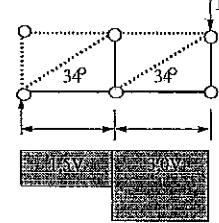


Figura 3.1 - Modelação e representação qualitativa do comportamento de elementos de concreto armado com armadura transversal [DURÃO (1993)]

Com o objetivo de chegar a um modelo que melhor representasse o comportamento real das vigas na ruptura, e levasse ao dimensionamento mais econômico, têm sido propostas modificações do modelo inicialmente concebido:

- Adoção de braço de alavanca (inclinação do banzo comprimido) da treliça variável ao longo da mesma.
- Consideração de uma parte da força cortante (V_c) sendo resistida pelo banzo comprimido, pelo efeito do engrenamento dos agregados nas faces das fissuras diagonais e pelo efeito de pino da armadura longitudinal que cruza essas fissuras, e somente a outra parte (V_s) sendo resistida pela ação de treliça.
- Adoção de ângulo das diagonais comprimidas com o eixo da viga menor que 45° .

Exemplos da influência da variação do braço de alavanca ao longo do comprimento da viga e da inclinação das diagonais comprimidas, segundo o modelo de treliça, são vistos na *Figura 3.2*.

Nº	TRELIÇAS	FORÇA DE TRAÇÃO	
		(1)	(2)
1		0	3,0V
2		0,59V	1,73V
3		$f_1=0,75V$ $f_2=0,60V$	1,5V
4		1,0V	1,0V
5		0,71V	0,5V
6		0,67V	1,5V

(1) Força de tração nos tirantes transversais

(2) Força de tração a ancorar no apoio

Figura 3.2 – Influência da variação do braço de alavanca e do ângulo das diagonais comprimidas nas forças na armadura transversal e na armadura longitudinal a ancorar no apoio [Leonhardt e Monnig (1978)]

A partir da análise de resultados experimentais, Leonhardt e Monnig (1978) sugeriram modelos de treliça com braço de alavanca variável ao longo do seu comprimento, e ângulo das diagonais comprimidas podendo variar numa faixa definida em função da relação entre a largura da mesa e a largura da alma da viga (Figura 3.3).

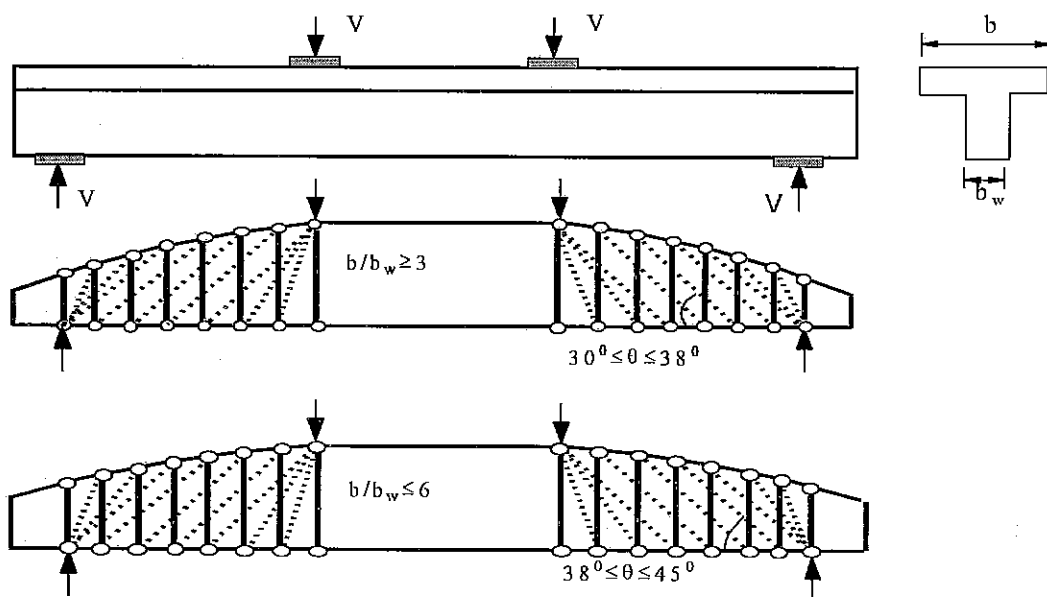


Figura 3.3 - Modelo de treliça generalizado com banço de compressão inclinado e ângulos das escoras dependendo de b/b_w [Leonhardt e Monnig (1978)]

3.1.1.1 Método que considera toda a força cortante resistida pela ação de treliça

Segundo este método, tem-se

$$V_u = V_s$$

onde V_s , força cortante resistida pela armadura transversal, é obtida a partir de equações de equilíbrio aplicadas ao modelo de treliça.

Para regiões não próximas dos apoios e de cargas concentradas, tem-se

$$V_s = f_y \cdot z \cdot A_{sw} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \text{sen}\alpha / s \quad (3.1)$$

Pelo modelo de treliça, as forças nos banzos comprimido e tracionado são, respectivamente,

$$C = (|M|/z) - \{ [|V| \cdot (\cot\theta - \cot\alpha)] / 2 \} \quad (3.2)$$

e

$$T = (|M|/z) + \{ [|V| \cdot (\cot\theta - \cot\alpha)] / 2 \} \quad (3.3)$$

enquanto a tensão nas diagonais comprimidas é

$$\sigma_c = V / [b_w \cdot z \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin^2\theta] \quad (3.4)$$

Esse método tem a vantagem de ser genérico, podendo ser aplicado em todos os elementos de eixo reto e em qualquer de suas partes, isto é, em vigas curtas e esbeltas, com furos, com apoios diretos ou indiretos, com variação brusca de dimensões, com cargas distribuídas ou concentradas aplicadas em diferentes posições ao longo da altura. Como a utilização geral do modelo de treliça leva a critérios de dimensionamento racionais e consistentes dos elementos de eixo reto de uma estrutura, ele é adotado por várias normas: CEB-FIP MC90, NS 3473-92, EC2-92 e a EC2-01.

Ao adotar-se esse modelo, tem-se que limitar as tensões nos elementos comprimidos e tracionados. Nos elementos tracionados, de aço, esse limite é a tensão de escoamento, e nos comprimidos, de concreto, os limites são a resistência do concreto não fissurado para os banzos (em torno de $0,85 f_c$ para concretos de menor resistência) e a resistência do concreto fissurado para as bielas (em torno de $0,6 f_c$ para concretos de menor resistência). Tendo-se estas tensões limites estabelecidas e a direção da armadura transversal escolhida, o único parâmetro a definir é o ângulo θ .

Diferentes faixas de valores de θ têm sido propostas por normas e pesquisadores, como mostra a *Tabela 3.1*.

Dentro de uma determinada faixa, diversos critérios podem nortear a escolha do ângulo θ . Pode-se, por exemplo, optar por:

- Aquele que leva ao menor consumo total de armaduras longitudinal e transversal.
- Dependendo do tipo de viga, aquele que leva à menor taxa de armadura longitudinal necessária nos apoios, caso desejável quando não se pode ter congestionamento de armadura na região dos apoios; ou à menor taxa de armadura transversal, no caso de vigas com alma de pequena largura, por exemplo; e/ou aquele que leva a evitar-se ruptura brusca devido à ruína das diagonais comprimidas.

Tabela 3.1 - Faixas de variação de θ propostas

Normas/ Pesquisadores	Intervalo de Variação de θ		Observações
	θ_{\min}	θ_{\max}	
CEB-FIP MC90	18,4°	45,0°	-
CSA A23.3-94	23,5°	43,0°	<i>ver Tabela 3.3 (baseado na Teoria de Campos de Compressão Modificada)</i>
NBR 6118-01	30,0°	45,0°	<i>Modelo de Cálculo II (V_c variável)</i>
EC2 -92	21,8°	68,2°	<i>vigas com armadura longitudinal com comprimento constante</i>
	26,6°	63,4°	<i>vigas com armadura longitudinal com comprimento variável</i>
EC2 - 01	21,8°	45,0°	-
NS3473-92	25,0°	60,0°	<i>vigas sujeitas à força cortante não combinada à compressão axial</i>
	45,0°	45,0°	<i>vigas sujeitas à força cortante combinada à tração axial</i>
	ângulo \geq à direção da compressão principal para concreto fissurado		<i>vigas sujeitas à força cortante combinada à compressão axial</i>
Placas e Regan (1971)	26,6°	-	<i>vigas com estribos verticais</i>
	18,3°	-	<i>vigas com estribos inclinados a 45°</i>
Grob e Thürlimann (1976)	31,0°	59,0°	-
MacGregor (1988)	25,0°	65,0°	-
Ramirez e Breen (1991)	30,0°	65,0°	<i>vigas de concreto armado</i>
	25,0°	65,0°	<i>vigas de concreto protendido</i>

Nas Figuras 3.4 a 3.6 vê-se que, quanto menor o valor de θ , maior é a tensão na diagonal comprimida, maior a quantidade de armadura longitudinal tracionada que tem que ser levada até os apoios ($\Delta T = \Delta C = V (\cot\theta - \cot \alpha)/2$) e menor a taxa de armadura transversal. Dependendo da condição desejada para as armaduras e da tensão limite para os elementos comprimidos, pode-se definir o valor de θ mais conveniente para cada caso.

A menor taxa de armadura transversal possível é dada pela condição de escoamento da armadura transversal e tensão limite (f_{c2}) nas diagonais comprimidas, atingidos simultaneamente (solução plástica que satisfaz os teoremas limites inferior e superior), que ocorre quando tem-se

$$V_s = f_y \cdot z \cdot A_{sw} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \text{sen}\alpha / s \quad (3.5)$$

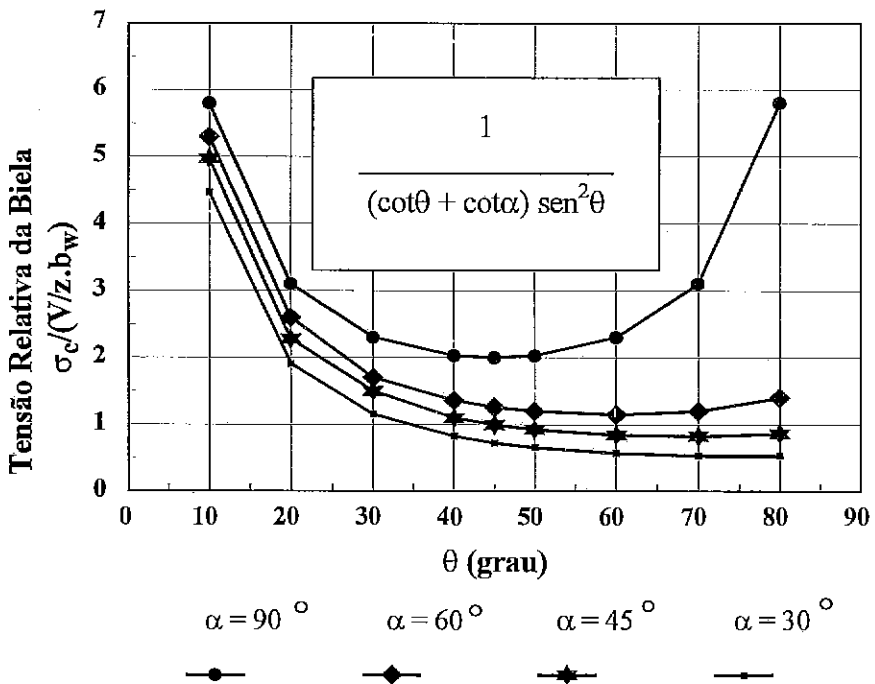


Figura 3.4 – Tensão relativa da biela em função do ângulo θ das diagonais comprimidas e do ângulo α da armadura transversal com o eixo longitudinal da viga [Garcia (1998)]

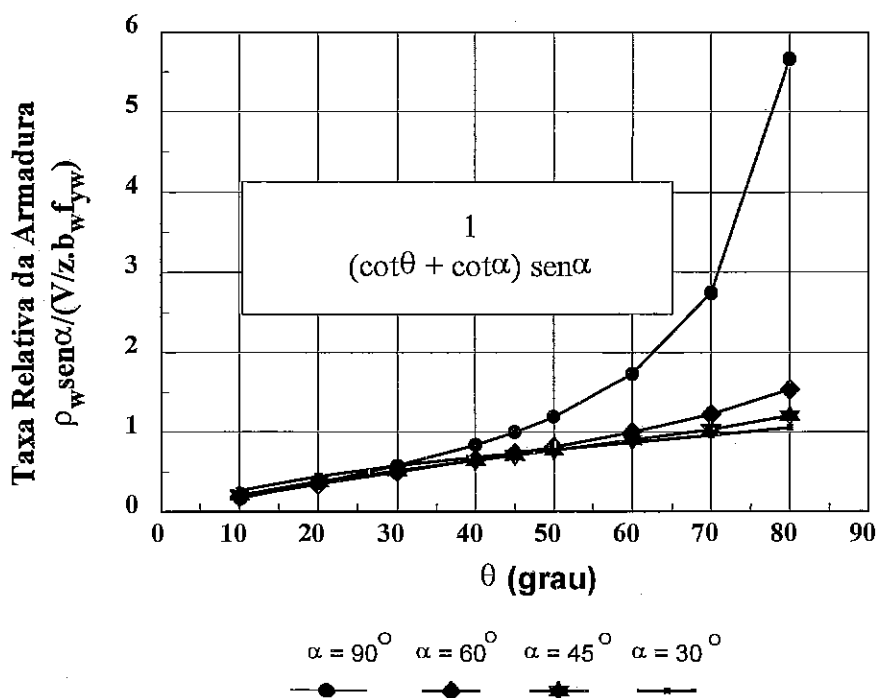


Figura 3.5 – Taxa relativa de armadura transversal em função do ângulo θ das diagonais comprimidas e do ângulo α da armadura transversal com o eixo longitudinal de viga [Garcia (1998)]

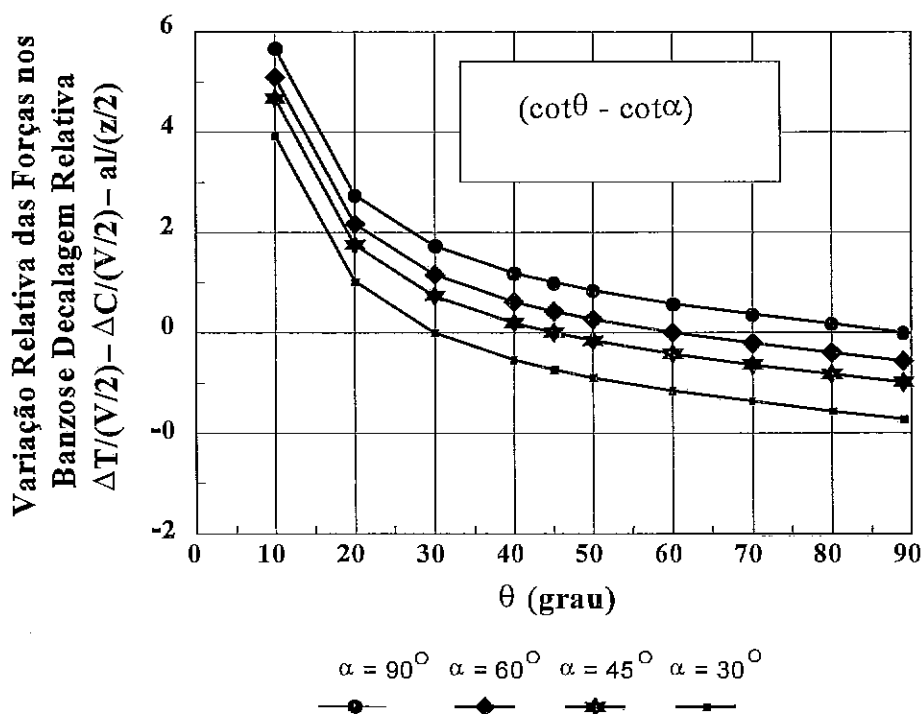


Figura 3.6 – Variação relativa das forças nos banzos tracionado e comprimido e decalagem horizontal relativa do diagrama de M/z para considerar o efeito do cortante na força no banço tracionado, em função do ângulo θ das diagonais comprimidas e do ângulo α da armadura transversal com o eixo longitudinal de viga [Garcia (1998)]

Garcia (1998) deduziu fórmulas que dão o ângulo θ que acarreta o menor consumo e/ou custo das armaduras longitudinal e transversal dimensionadas pelo modelo de treliça. Para o caso de vigas de altura constante com armadura transversal perpendicular ao eixo da viga, o ângulo que leva ao menor consumo de armadura total é dado por

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{I}{\cot\theta} = \sqrt{\frac{0,435}{I+k_1}} \quad (3.6)$$

onde k_1 é a relação entre a largura e a altura dos estribos, considerados todos iguais.

Para o caso de estribos perpendiculares ao eixo da viga e valores de k_1 entre 1,2 e 1,5, o ângulo θ que leva à menor quantidade de armadura total é próximo de 30° .

3.1.1.2 Método que considera apenas parte da força cortante resistida pela ação de treliça

De acordo com este método, tem-se

$$V_u = V_c + V_s$$

As expressões que fornecem V_c são empíricas ou semi-empíricas e são função de f_c , ρ e/ou d , ou apenas de f_c , e, normalmente, para V_s usa-se a expressão dada por uma treliça com $\theta = 45^\circ$. Este é o caso dos métodos indicados por diversas normas (por exemplo, ACI 318-99; NBR 6118-78; NBR 6118-01, método I).

Em menor número são os métodos onde a parcela V_s é obtida de modelo de treliça considerando-se θ variável. Este é o caso do modelo II proposto na revisão da NBR 6118 (2001) e do modelo de RAMIREZ e BREEN (1991). Nos dois casos, o valor da parcela V_c decresce com o aumento da força cortante. Isto é exemplificado na *Figura 3.7*, onde $v_c = V_c / (b_w z)$ e $v = V / (b_w z)$.

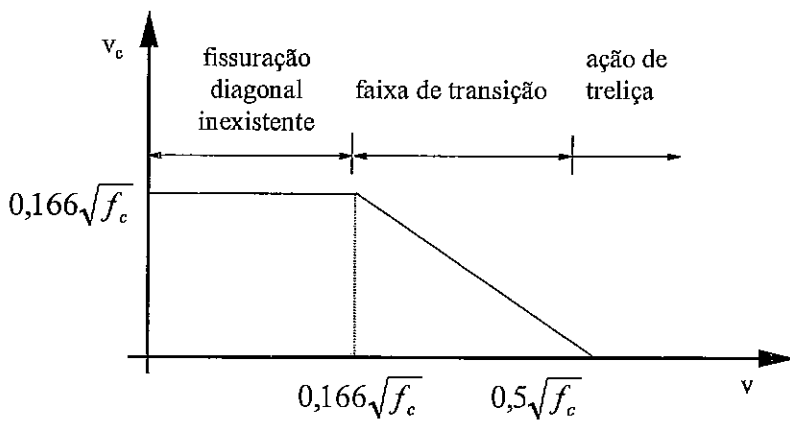


Figura 3.7- Variação de v_c com v proposta por [Ramirez e Breen (1991)]

3.1.2 Outros Métodos

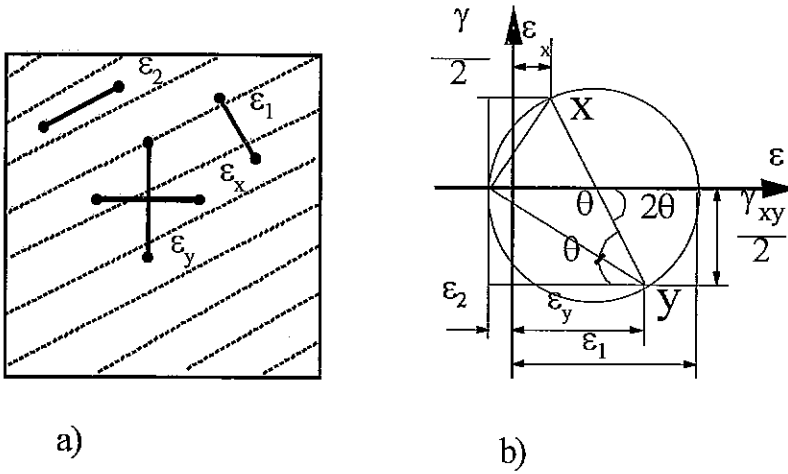
Vários outros métodos para cálculo da resistência ao cortante têm sido propostos. Resumo sobre alguns deles encontram-se em publicação do United States Department of Commerce Technology Administration (1996).

Desses métodos, uns admitem direções de tensões e deformações principais coincidentes e outros não. Exemplo do primeiro caso é o baseado na Teoria do Campo de Compressão Modificada.

A chamada Teoria do Campo de Compressão Modificada, de Vecchio e Collins (1986), satisfaz o equilíbrio, a compatibilidade de deformação e a relação tensão-deformação dos materiais. Em contraste com os outros métodos, este possibilita analisar o comportamento de elementos submetidos a cortante em diferentes fases de carregamento e considera que o concreto fissurado da alma resiste à tração.

A hipótese simplificadora da Teoria do Campo de Compressão Modificada de que as direções principais de tensões e deformações coincidem é justificada por ensaios que mostram que as direções principais de tensões e deformações diferem apenas cerca de 10° .

Para se estabelecer a compatibilidade das deformações, considera-se o concreto como um material no estado fissurado e admite-se que as deformações no concreto e no aço que o atravessa são as mesmas.



- a) deformações médias na alma;
b) círculo de Mohr de deformação.

Figura 3.8- Compatibilidade das deformações para almas fissuradas [Collins et al. (1991)]

As relações de compatibilidade das deformações médias na alma são obtidas do círculo de Mohr, apresentado na *Figura 3.8*, e levam a

$$\operatorname{tg}^2 \theta = \frac{\epsilon_x - \epsilon_2}{\epsilon_y - \epsilon_2} \quad (3.7)$$

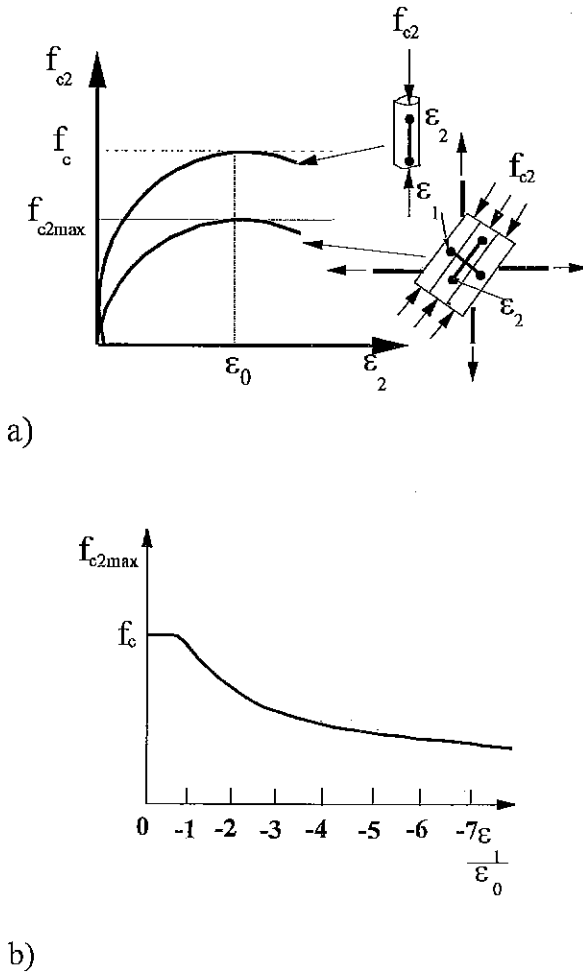
onde ϵ_x = deformação longitudinal

ϵ_y = deformação transversal

γ_{xy} = deformação de cisalhamento, e

ϵ_2 = deformação principal de compressão.

A relação tensão-deformação do concreto fissurado (Figura 3.9), proposta por Vecchio e Collins (1986), foi obtida de ensaios de painéis de concreto armado submetidos a estados de tensões bi-axiais (incluindo cisalhamento puro), e relaciona a tensão limite à compressão ($f_{c2max}=k_0f_c$) com a deformação principal de tração da seguinte forma:



- a) relação tensão-deformação para o concreto fissurado em compressão;
 b) relação entre ϵ_1/ϵ_0 e f_{c2max} proposta.

Figura 3.9-Relação tensão-deformação para o concreto fissurado [Vecchio e Collins (1986)]

$$f_{c2} = f_{c2\max} \left[2 \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0} \right) - \left(\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (3.8)$$

onde:

$$\frac{f_{c2\max}}{f_c} = \frac{1}{0,8 + 0,34 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_0}} \leq 1,0 \quad (3.9)$$

com ε_1 = deformação principal de tração, ε_0 = deformação do concreto correspondente à máxima tensão (usualmente considerada 0,002).

A relação tensão-deformação de tração do concreto usada para antes da fissuração é

$$f_i = E_c \varepsilon_1 \quad (3.10)$$

para $\varepsilon_1 \leq \varepsilon_{cr}$

onde E_c = módulo de elasticidade do concreto e ε_{cr} = deformação do concreto quando da fissuração, e, para depois da fissuração,

$$f_1 = \frac{f_{cr}}{1 + \sqrt{500} \varepsilon_1} = \frac{0,33 \sqrt{f_c}}{1 + \sqrt{500} \varepsilon_1} \leq \frac{0,18 \sqrt{f_c}}{0,3 + \frac{24w}{d_a + 16}} \quad (3.11)$$

onde f_{cr} é a tensão de tração correspondente à fissuração do concreto, w é a abertura das fissuras diagonais e d_a a dimensão máxima do agregado.

Tendo por base esta teoria, foi proposto um método de dimensionamento geral a cortante por Collins et al. (1996) que é adotado pela norma canadense e pela norma norueguesa.

Partindo das equações de compatibilidade, de equilíbrio e de tensão-deformação, chegou-se à equação abaixo, que relaciona o esforço cortante resistente ao ângulo θ e às deformações ε_x e ε_1 :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + \left[\varepsilon_x + 0,002 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{v}{f_c} (\operatorname{tg} \theta + \cot \theta) (0,8 + 170 \varepsilon_1)} \right) \right] \cot^2 \theta \quad (3.12)$$

Considerando para ε_x a deformação do banzo tracionado de uma treliça equivalente ao campo de tensões de compressão considerado, ou seja, para o caso de estribos perpendiculares ao eixo da viga,

$$\varepsilon_x = \frac{\left| \frac{M}{z} \right| + 0,5|V| \cot \theta}{E_s A_s} \quad (3.13)$$

e o valor de f_2 dado por

$$f_2 = \frac{V}{b_w z} (\operatorname{tg} \theta + \cot \theta) \quad (3.14)$$

chega-se a

$$\varepsilon_2 = -0,002 \left(1 - \sqrt{1 - \frac{f_2}{f_{c2,max}}} \right) \quad (3.15)$$

e, então, a

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_x - \varepsilon_2) \cot^2 \theta \quad (3.16)$$

O método de dimensionamento proposto admite que

$$\begin{aligned}
 V &= V_c + V_s = f_1 b_w z \cot \theta + A_{sw} f_{yw} \frac{z}{s} \cot \theta \\
 &= \beta \sqrt{f_c} b_w z + A_{sw} f_{yw} \frac{z}{s} \cot \theta
 \end{aligned}
 \tag{3.17}$$

onde

$$\beta = \frac{0,33 \cot \theta}{1 + \sqrt{500 \varepsilon_1}} \leq \frac{0,18}{0,3 + \frac{24w}{d_a + 16}}
 \tag{3.18}$$

A parcela V_s é baseada na treliça equivalente com θ variável e a V_c representa o cortante resistido pelo concreto fissurado.

Visando facilitar a utilização deste método no dimensionamento na prática, é dada na norma canadense tabela que fornece os valores de β e θ a usar, dependendo dos de v/f_c e de ε_x . Para elaboração desta tabela, assumiu-se o espaçamento entre as fissuras diagonais de 305 mm e a dimensão máxima do agregado de 19 mm, considerados adequados para a maioria das vigas com estribos. Os valores de θ indicados foram escolhidos de maneira a assegurar que a deformação dos estribos seja pelo menos 0,002 e que $f_{c2} \leq f_{c2max}$.

Os métodos que consideram as direções de tensões e de deformações principais diferentes são ainda mais complexos e nenhum deles é adotado em normas de cálculo.

3.2 Métodos de Cálculo de Normas Técnicas

3.2.1 CEB-FIP MC90

Para vigas esbeltas sem armadura transversal, a resistência ao esforço cortante é dada pela expressão abaixo:

$$V_c = 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d \quad (3.19)$$

onde existe um coeficiente de segurança embutido de 1,5,

$$\xi = 1 + (200/d)^{1/2}$$

e f_{ck} é em MPa, b_w e d em mm

Para os casos em que $50 \text{ MPa} < f_{ck} < 100 \text{ MPa}$, no boletim CEB nº 228, é sugerido que essa equação seja substituída por:

$$V_c = (1,1 - f_{ck}/500) \cdot 0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d \quad (3.20)$$

com f_{ck} em MPa

O CEB-FIP MC90 (item 6.3.3) propõe que, para as vigas com armadura transversal, a resistência à força cortante seja obtida pelo método do Modelo de Treliça, ou seja:

$$V_u = V_s$$

sendo

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot (f_{yk} / \gamma_s) \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.21)$$

onde $\gamma_s = 1,15$

Devido à limitação da tensão na diagonal comprimida, tem-se:

$$V_u \leq 0,9 \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot b_w \cdot d \quad (3.22)$$

sendo

$$f_{cd2} = 0,6 \cdot (f_{ck} / \gamma_c) \cdot [(1 - (f_{ck} / 250))] \quad (3.23)$$

com f_{ck} em MPa e $\gamma_c = 1,5$

Segundo esta norma, os seguintes limites devem ser obedecidos:

- $f_{ck} \leq 80$ MPa
- $s \leq \begin{cases} 0,7d \text{ ou } 300\text{mm} & \text{se } V \leq 0,2 V_u \\ 0,6d \text{ ou } 300\text{mm} & \text{se } 0,2 V_u \leq V \leq 0,66 V_u \\ 0,3d \text{ ou } 200\text{mm} & \text{se } 0,66 V_u \leq V \end{cases}$

onde V_u é a força cortante última correspondente à ruptura da diagonal comprimida dada pela expressão (3.22).

- $\rho_{w, \min} = (0,2 \cdot f_{ctm} / f_{yw}) \cdot \text{sen } \alpha \quad (3.24)$

onde $f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}$

com f_{ck} e f_{ctm} em MPa

- $18,4^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$
- $\alpha \geq 45^\circ$ para estribos
 $\alpha \geq 30^\circ$ para barras dobradas

3.2.2 ACI 318-99

Nesta norma (capítulo 11), a resistência ao cortante das vigas é dada por:

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

onde $\phi = 0,85$ (fator de redução de resistência)

A parcela V_c é o cortante para o qual ocorre a fissuração diagonal, dada por:

$$V_c = [0,16 \cdot (f_c')^{1/2} + 17 \cdot \rho \cdot (V \cdot d / M)] \cdot b_w \cdot d \leq 0,29 \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.25)$$

com f_c' em MPa, b_w e d em mm, V_c em N

sendo

M = momento que ocorre simultaneamente com V na seção considerada

$$V \cdot d / M \leq 1$$

A norma apresenta também uma simplificação dessa fórmula, onde se considera a segunda parcela igual a $0,01 \cdot (f_c')^{1/2}$:

$$V_c = 0,17 \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.26)$$

f_c' em MPa, b_w e d em mm, V_c em N

A parcela resistente correspondente aos estribos V_s é obtida considerando-se uma treliça com diagonais comprimidas a 45° com o eixo das vigas (admitindo-se $z \cong d$) e para ela é dado limite superior:

$$V_s = A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sen \alpha / s \leq 0,664 \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.27)$$

com f_{yw} e f_c' em MPa, A_{sw} em mm^2 , s , b_w e d em mm

Segundo esta norma deve-se ter:

- quando $f_c' \geq 69$ MPa, para o cálculo de V_c , $(f_c')^{1/2} = 8,3$ MPa, a menos que $\rho_w \geq 0,01 \cdot f_c' / f_{yw}$ e não necessariamente maior que $1,035 / f_{yw}$ (f_{yw} em MPa), quando podem ser considerados maiores valores de f_c' .

$$\bullet \quad s \leq \begin{cases} d/2 \text{ ou } 610\text{mm} \\ d/4 \text{ ou } 305\text{mm} \quad \text{se } V_s > 0,33 \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \end{cases}$$

com f_c' em MPa, b_w e d em mm, V_c em N

- $\rho_{w, \min} = (0,345 / f_{yw}) \cdot \text{sen } \alpha$ (3.28)
com f_{yw} em MPa, quando $V > 0,5 \cdot \phi \cdot V_c$

sendo ϕ o fator de redução da resistência

- $f_{yw} \leq 414$ MPa
- $\alpha \geq 45^\circ$ para estribos
 $\alpha \geq 30^\circ$ para barras dobradas

3.2.3 NS3473-92

A norma norueguesa apresenta 3 métodos para a determinação da resistência ao cortante de vigas.

3.2.3.1 Método Simplificado (item 12.3.2)

A resistência à força cortante é dada por:

$$V_u = V_c + V_s$$

onde

$$V_c = (0,33 / \gamma_c) \cdot [f_{tm} + (100 \cdot \rho)] \cdot b_w \cdot d \leq 0,66 \cdot (f_{tm} / \gamma_c) \cdot b_w \cdot d \quad (3.29)$$

com b_w e d em mm, V_c em N, $\gamma_c = 1,4$ e f_{tm} de acordo com a Tabela 3.2

Tabela 3.2 – Resistência à tração do concreto segundo a NS3473-92

f_{ck} (MPa)	12	20	28	36	44	54	64	74	84	94
f_{tm} (MPa)	1,00	1,40	1,70	2,00	2,25	2,50	2,60	2,70	2,70	2,70

A contribuição da armadura transversal é dada pelo modelo de treliça com $\theta=45^\circ$:

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot (f_{ywk} / \gamma_s) \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sen \alpha / s \quad (3.30)$$

onde $\gamma_s = 1,25$

Visando limitar a tensão na biela a $0,5 \cdot f_{cd}$, considera-se:

$$V_u \leq 0,225 \cdot f_{cd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot b_w \cdot d \quad (3.31)$$

sendo

$$f_{cd} = f_{cn} / \gamma_c, \quad \gamma_c = 1,4$$

$$f_{cn} = 0,70 f_{ck} + 2,80 \text{ MPa} \quad \text{se } f_{ck} \leq 44 \text{ MPa}$$

$$f_{cn} = 0,56 f_{ck} + 8,96 \text{ MPa} \quad \text{se } f_{ck} > 44 \text{ MPa}$$

3.2.3.2 Método da Treliça (item 12.3.3)

Este método é baseado no modelo de treliça com o ângulo das diagonais comprimidas variável. A resistência à força cortante é dada por:

$$V_u = V_s$$

sendo

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot (f_{yw}/\gamma_s) \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.32)$$

com $\gamma_s = 1,25$

e a resistência à compressão de cálculo das bielas dada por:

$$f_{cd2} = \begin{cases} f_{cd} / (0,8 + 100 \varepsilon_1) \leq f_{cd} & \text{se } 25^\circ \leq \theta \leq 60^\circ & (3.33) \\ \text{onde} \\ \varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_x - \varepsilon_2) \cot^2 \theta, \text{ podendo-se assumir} \\ \varepsilon_2 = -0,002 \text{ e } \varepsilon_x = 0,002 \\ 0,6 f_{cd} & \text{se } 30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ & (3.34) \end{cases}$$

onde

ε_1 = deformação principal de tração

ε_2 = deformação principal de compressão

ε_x = deformação longitudinal

e f_{cd} como definido no *item 3.2.3.1*.

Devido à limitação da tensão na diagonal comprimida, tem-se:

$$V_u \leq 0,9 \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \theta \cdot b_w \cdot d \quad (3.35)$$

3.2.3.3 Método Geral (itens 12.5 e A.12.5)

Este método é baseado na Teoria de Campos de Compressão Modificada que satisfaz as condições de equilíbrio e de compatibilidade na região a ser dimensionada.

O método de dimensionamento considera:

$$V_u = V_c + V_s$$

$$V_c = 0,9 \cdot \beta \cdot (f_c)^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.36)$$

onde

$$\beta = (0,33 \cdot \cot \theta) / [1 + (50 \cdot \varepsilon_l)^{1/2}] \leq 0,18 / (0,3 + 24 \cdot w / d_a + 16) \quad (3.37)$$

A parcela V_s é baseada na treliça com θ variável, sendo:

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.38)$$

Devido à limitação da tensão na diagonal comprimida, tem-se:

$$V_u \leq 0,9 \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \theta \cdot b_w \cdot d \quad (3.39)$$

com

$$f_{cd2} = f_{cd} / (0,8 + 100 \varepsilon_1) \leq f_{cd} \quad (3.40)$$

e f_{cd} e ε_1 definidos no item anterior.

Para a aplicação desta norma, deve-se ter:

- $f_{ck} \leq 94 \text{ MPa}$

- $s \leq \begin{cases} 0,6d \\ 500 \text{ mm} \end{cases}$

- $\rho_{w, \min} = 0,2 \cdot (f_{ctk} / f_{ywk}) \cdot \text{sen } \alpha \geq (0,51 / f_{ywk}) \cdot \text{sen } \alpha \quad (3.41)$

$$f_{ctk} = 0,343 \cdot (f_{ck})^{0,6} \quad \text{se } f_{ck} \leq 44 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0,3 \cdot (f_{ck} + 11)^{0,6} \quad \text{se } f_{ck} > 44 \text{ MPa}$$

- $25^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ *para vigas sem compressão axial*
 $\theta = 45^\circ$ *para vigas com tração axial*
 $\theta \geq \theta_1$ *para vigas com compressão axial, sendo θ_1 a direção da tensão de compressão principal*
- $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

3.2.4 CSA A23.3-94

Para determinação da resistência à força cortante, a norma canadense apresenta dois métodos.

3.2.4.1 Método Simplificado (item 11.3)

Segundo este método, a resistência à força cortante da viga é dada por:

$$V_u = V_c + V_s$$

Para concretos com massa específica convencional, tem-se:

$$V_c = 0,2 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.42)$$

se $\rho_w \geq \rho_{w,min}$ quando $V > 0,5 V_c$, ou $d \leq 300$ mm

ou, nos outros casos,

$$V_c = [260 / (1000 + d)] \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \geq 0,1 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.43)$$

f_c' em MPa, b_w e d em mm, V_c em N

onde $\phi_c = 0,6$ (fator de redução de resistência)

A contribuição da armadura transversal é dada pelo modelo de treliça com $\theta = 45^\circ$, a ela dando-se um limite:

$$V_s = \phi_s \cdot A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \leq 0,8 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \quad (3.44)$$

f_c' e f_{yw} em MPa, A_{sw} em mm², s e d em mm

onde $\phi_s = 0,85$ (fator de redução de resistência)

3.2.4.2 Método Geral (item 11.4)

Este método, que é baseado na Teoria de Campo de Compressão, considera:

$$V_u = V_c + V_s \leq 0,25 \cdot \phi_c \cdot f_c' \cdot b_w \cdot d \quad (3.45)$$

onde $\phi_c = 0,6$ (fator de redução de resistência)

A parcela de resistência atribuída ao “concreto” é dada por:

$$V_c = 1,3 \cdot \phi_c \cdot \beta \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot z \quad (3.46)$$

onde β é um fator que leva em consideração a capacidade de transmissão de tensão do concreto fissurado diagonalmente, que diminui com o aumento da abertura das fissuras, e pode ser variável ao longo do comprimento da viga.

A contribuição da armadura transversal é dada por:

$$V_s = \phi_s \cdot A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot z \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.47)$$

onde $\phi_s = 0,85$ e $\phi_c = 0,6$

Nas expressões acima z não precisa ser considerado menor que $0,9d$.

Para as vigas com pelo menos $\rho_{w,min}$, os valores de β e de θ são os dados na *Tabela 3.3*, como função da deformação ϵ_x e da tensão cisalhante nominal relativa ($V / b_w \cdot z \cdot \phi_c \cdot f_c'$).

O valor de ϵ_x é determinado considerando que esta deformação é igual à do banzo tracionado da treliça equivalente, ou seja, para $\alpha = 90^\circ$,

$$\epsilon_x = (0,5 \cdot V \cdot \cot \theta + M/z) / (E_s \cdot A_s) \quad (3.48)$$

onde A_s é a área da seção da armadura longitudinal tracionada e E_s é o módulo de elasticidade do aço.

Como ϵ_x depende de θ , para usar a *Tabela 3.3* arbitra-se inicialmente um valor para θ e, por um processo iterativo, chega-se aos valores de β e θ procurados.

Tabela 3.3 – Valores de β e θ para seções com armadura transversal

$V / b_w \cdot z \cdot \phi_c \cdot f_c'$		Deformação Longitudinal ($\epsilon_x \cdot 1000$)						
		$\leq 0,000$	$\leq 0,250$	$\leq 0,500$	$\leq 0,750$	$\leq 1,000$	$\leq 1,500$	$\leq 2,000$
$\leq 0,050$	β	0,405	0,290	0,208	0,197	0,185	0,162	0,143
	θ	27,0°	28,5°	29,0°	33,0°	36,0°	41,0°	43,0°
$\leq 0,075$	β	0,405	0,250	0,205	0,194	0,179	0,158	0,137
	θ	27,0°	27,5°	30,0°	33,5°	36,0°	40,0°	42,0°
$\leq 0,100$	β	0,271	0,211	0,200	0,189	0,174	0,143	0,120
	θ	23,5°	26,5°	30,5°	34,0°	36,0°	38,0°	39,0°
$\leq 0,125$	β	0,216	0,208	0,197	0,181	0,167	0,133	0,112
	θ	23,5°	28,0°	31,5°	34,0°	36,0°	37,0°	38,0°
$\leq 0,150$	β	0,212	0,203	0,189	0,171	0,160	0,125	0,103
	θ	25,0°	29,0°	32,0°	34,0°	36,0°	36,5°	37,0°
$\leq 0,200$	β	0,203	0,194	0,174	0,151	0,131	0,100	0,083
	θ	27,5°	31,0°	33,0°	34,0°	34,5°	35,0°	36,0°
$\leq 0,250$	β	0,191	0,167	0,136	0,126	0,116	0,108	0,104
	θ	30,0°	32,0°	33,0°	34,0°	35,5°	38,5°	41,5°

Nas expressões dessa norma devem ser considerados:

- $f_{ck} \leq 80$ MPa
- $f_{yw} \leq 500$ MPa
- $\rho_{w, \min} = 0,06 \cdot (f_c')^{1/2} / f_{yw}$ quando $V > 0,5 \cdot V_c$ (3.49)
- $s \leq \begin{cases} 0,7d \text{ ou } 600 \text{ mm} & \text{se } V / b_w \cdot d < 0,1 \cdot \phi_c \cdot f_c' \\ 0,35d \text{ ou } 300 \text{ mm} & \text{se } V / b_w \cdot d \geq 0,1 \cdot \phi_c \cdot f_c' \end{cases}$

3.2.5 NBR 6118-2001 (proposta de revisão)

A norma admite para o cálculo da resistência à força cortante dois modelos.

3.2.5.1 Modelo de Cálculo I (item 17.3.2.1)

Neste modelo, tem-se:

$$V_u = V_c + V_s$$

As diagonais comprimidas do modelo de treliça para o cálculo de V_s formam um ângulo de 45° com o eixo longitudinal da viga, ou seja:

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot (f_{ywlc} / \gamma_s) \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sen \alpha / s \quad (3.50)$$

$$\text{com } \gamma_s = 1,15$$

e o valor de V_c é dado por:

$$V_c = 0,6 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d = 0,6 \cdot (f_{ctk, inf} / \gamma_c) \cdot b_w \cdot d = (0,126 / \gamma_c) \cdot (f_{ck})^{3/4} \cdot b_w \cdot d \quad (3.51)$$

f_{ck} em MPa, b_w e d em mm e $\gamma_c = 1,4$

Tendo em vista a limitação da tensão na biela

$$f_{cd2} = 0,6 \cdot f_{cd} \cdot [1 - (f_{ck} / 250)] \quad (3.52)$$

tem-se:

$$V_u \leq 0,27 \cdot f_{cd} \cdot [1 - (f_{ck} / 250)] \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot b_w \cdot d \quad (3.53)$$

sendo $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$

3.2.5.2 Modelo de Cálculo II (item 17.3.2.2)

As diagonais de compressão do modelo de treliça têm ângulo que pode variar entre 30° e 45° (valor arbitrado livremente) e V_c diminui à medida que a força cortante aumenta.

$$V_u = V_c + V_s$$

Considera-se que a parcela da força cortante relativa ao “concreto” é dada por:

$$V_c = V_c' = (0,126 / \gamma_c) \cdot (f_{ck})^{2/3} \cdot b_w \cdot d \quad (3.54)$$

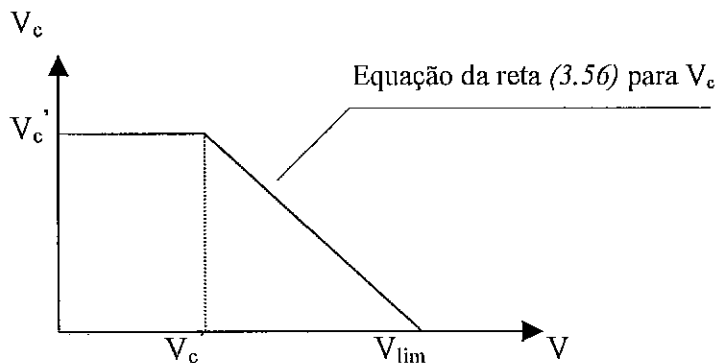
para $V \leq V_c'$

com b_w e d em mm, f_{ck} em MPa, V_c em N, $\gamma_c = 1,4$ e f_{cd2} como definido no item anterior.

Para valores de $V > V_c'$, faz-se a interpolação linear mostrada no esquema abaixo para obter V_c , sendo:

$$V_{lim} = 0,9 \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \text{sen}^2 \theta \cdot b_w \cdot d \quad (3.55)$$

que é o cortante correspondente ao esgotamento da capacidade das diagonais comprimidas.



Tem-se, então,

$$V_c = (V_{lim} - V) / [(V_{lim} / V_c') - 1] \quad (3.56)$$

A parcela resistida pela armadura transversal é:

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot (f_{ywk} / \gamma_s) \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.57)$$

com $\gamma_s = 1,15$

Com a limitação da tensão na biela tem-se:

$$V_u \leq 0,9 \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin^2 \theta \cdot b_w \cdot d \quad (3.58)$$

com f_{cd2} definido no item anterior.

Nesta norma são considerados:

- $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
- $\rho_{w, \min} = 0,2 \cdot (f_{ctm} / f_{ywk}) \cdot \sin \alpha \quad (3.59)$

onde

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot f_{ck}^{2/3}, \quad f_{ck} \text{ em MPa}$$

- $f_{ywd} \leq 435 \text{ MPa}$
- $45^\circ < \alpha < 90^\circ$
- $s \leq \begin{cases} 0,6d \text{ ou } 300 \text{ mm} & \text{quando } V \leq 0,67 V_u \\ 0,3d \text{ ou } 200 \text{ mm} & \text{quando } V > 0,67 V_u \end{cases}$

onde V_u é a força cortante última correspondente à ruptura da diagonal comprimida dada pela expressão (3.53) ou (3.58).

3.2.6 BS8110-97

Por esta norma (item 3.4.5), a resistência à força cortante é determinada por:

$$V_u = V_c + V_s \leq \begin{cases} 0,8 \cdot (f_{cu})^{1/2} \cdot b_w \cdot d & \text{(MPa)} & (3.60) \\ 5 \cdot b_w \cdot d & \text{(MPa)} & (3.61) \end{cases}$$

onde

$$V_c = 0,79 \cdot (100 \cdot \rho)^{1/3} \cdot (400/d)^{1/4} \cdot b_w \cdot d / \gamma_m \quad (3.62)$$

ou

$$V_c = 0,79 \cdot (100 \cdot \rho)^{1/3} \cdot (400/d)^{1/4} \cdot (f_{cu}/25)^{1/4} \cdot b_w \cdot d / \gamma_m \quad (3.63)$$

para vigas onde $f_{cu} \geq 25$ MPa

com f_{cu} em MPa, V_c em N, b_w e d em mm, $\gamma_m = 1,25$

$$e \quad 1,5\% \leq \rho \leq 3\%$$

$$400/d \geq 1$$

$$f_{cu} \leq 40 \text{ MPa}$$

A parcela resistida pela armadura transversal é:

$$V_s = 0,95 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{yw} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.64)$$

Deve-se ter:

- $f_{yw} \leq 460 \text{ MPa}$

- $s \leq \begin{cases} 0,75d \\ 0,5d \end{cases} \quad \text{quando } V > 1,8 V_c$

- $\alpha \geq 45^\circ$

- $\rho_{w, \min} = 0,4 \cdot \text{sen } \alpha / 0,95f_{ywk} \quad (3.65)$

3.2.7 EC2-92

A norma apresenta dois métodos de cálculo para a resistência à força cortante de vigas.

3.2.7.1 Método Padrão (item 4.3.2.4.3)

Por este método, a resistência à força cortante é dada por:

$$V_u = V_c + V_s$$

onde a parcela V_c é determinada por:

$$V_c = [0,0525 \cdot (f_{ck}^{3/2} / \gamma_c) \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho)] \cdot b_w \cdot d \quad (3.66)$$

com $\gamma_c = 1,5$, f_{ck} em MPa, b_w e d em mm, $\rho \leq 0,02$ e

$$\left\{ \begin{array}{l} k = 1 \text{ para vigas com mais de 50\% da armadura longitudinal variável ao longo do vão} \\ \text{ou} \\ k = 1,6 - d \geq 1, \text{ } d \text{ em m.} \end{array} \right.$$

A contribuição dos estribos é obtida através da treliça com $\theta = 45^\circ$ e $z = 0,9d$:

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \text{sen } \alpha / s \quad (3.67)$$

Como a resistência de cálculo das bielas é definida por:

$$f_{cd2} = v \cdot (f_{ck} / \gamma_c) \quad (3.68)$$

onde

$$v = [0,7 - (f_{ck}/200)] \geq 0,5, \text{ } f_{ck} \text{ em MPa} \quad (3.69)$$

tem-se :

$$V_u \leq 0,45 \cdot f_{cd2} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot b_w \cdot d \quad (3.70)$$

3.2.7.2 Método da Treliça (item 4.3.2.4.4)

Este método é baseado no modelo de treliça com o ângulo das diagonais comprimidas variável:

$$V_u = V_s$$

e considera-se

$21,8^\circ \leq \theta \leq 68,2^\circ$ para vigas com armadura longitudinal com comprimento constante
e

$26,6^\circ \leq \theta \leq 63,4^\circ$ para vigas com armadura longitudinal com comprimento variável

$$V_s = 0,9 \cdot d \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha / s \quad (3.71)$$

$$\text{com } A_{sw} \cdot f_{ywd} / s \leq 0,5 \cdot f_{cd2} \cdot b_w \cdot \sin \alpha / (1 - \cos \alpha) \quad (3.72)$$

Devido à limitação da tensão na diagonal comprimida, tem-se:

$$V_u \leq 0,9 \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin^2 \theta \cdot b_w \cdot d \quad (3.73)$$

com f_{cd2} definido no item anterior.

Nesta norma consideram-se:

- $f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$
- $f_{yw} \leq 460 \text{ MPa}$
- $\rho_{w, \min} = 0,06 \cdot (f_{ck})^{2/3} / f_{yw} \quad (3.74)$
- $\alpha \geq 45^\circ$
- $s \leq \begin{cases} 0,8d \text{ ou } 300 \text{ mm} & \text{quando } V \leq 0,20 V_u \\ 0,6d \text{ ou } 300 \text{ mm} & \text{quando } 0,20 V_u \leq V \leq 0,67 V_u \\ 0,3d \text{ ou } 200 \text{ mm} & \text{quando } V > 0,67 V_u \end{cases}$

onde V_u é a força cortante última correspondente à ruptura da diagonal comprimida dada pela expressão (3.73).

3.2.8 Revisão EC2-2001

Segundo esta norma, vigas onde $V > V_c$ necessitam de armadura transversal, sendo

$$V_c = [0,12 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_{ck})^{1/2}] \cdot b_w \cdot d \quad (3.75)$$

onde existe um coeficiente de segurança embutido de 1,5,

com f_{ck} em MPa, b_w e d em mm,

$$\rho \leq 0,02 \quad e$$

$$\xi = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

Para vigas com armadura transversal a norma se baseia no Modelo da Treliça ($V_u = V_s$) conforme o item 3.2.7.2, podendo θ variar entre $21,8^\circ$ e 45° .

Consideram-se:

- $f_{ck} \leq 90$ MPa
- $\rho_{w, \min} = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin \alpha) \geq 0,08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yw}$ (3.76)
com f_{ck} e f_{yw} em MPa
- $s_{\max} = 0,75d \leq 400$ mm
- $\alpha \geq 45^\circ$

Tabela 3.4 – Resumo das fórmulas das normas para o caso de armadura transversal perpendicular ao eixo longitudinal da viga ($\alpha=90^\circ$)

Método	$V_u = V_s$ $V_s = z \cdot \rho_w f_{yv} \cdot b_w \cdot \cot\theta$ $\tau_u \leq k_z \cdot f_{cd2} \cdot (\cot\theta / (1 + \cot^2\theta))$	$V_u = V_s + V_c$ ($\theta = 45^\circ$) $V_s = z \cdot \rho_w f_{yv} \cdot b_w$	OBSERVAÇÕES
Norma	f_{cd2} (MPa)	V_u	Gerais $\rho_{w, \min}$
CEB-FIP MC90	$0,6 \cdot (f_{ck}/\gamma_c) \cdot [1 - (f_{ck}/250)]$		$k_z = z/d = 0,9$ $\gamma_s = 1,15$ $\gamma_c = 1,5$ $f_{ck} \leq 80 \text{ MPa}$
ACI 318-99		$\phi [z \cdot \rho_w f_{yv} \cdot b_w + 0,17 \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d]$ se $f_c' \geq 69 \text{ MPa}$ e $\rho_w < 0,01 f_c' / f_{yv} \Rightarrow (f_c')^{1/2} = 83 \text{ MPa}$	$k_z = z/d = 1$ $\phi = 0,85$ $f_{yv} \leq 414 \text{ MPa}$ (¹) <i>Fórmula Simplificada</i>
NS3473-92	$f_{cd} / (0,8 + 100 \cdot \varepsilon_1) \leq f_{cd}$ se $25^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ ou $0,6 f_{cd}$ se $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ $f_{cd} = f_{cm} / \gamma_c$ $f_{cm} = 0,70 f_{ck} + 280$ ($f_{ck} \leq 44 \text{ MPa}$) $f_{cm} = 0,56 f_{ck} + 896$ ($f_{ck} > 44 \text{ MPa}$) $\varepsilon_1 = \varepsilon_x + (\varepsilon_x - \varepsilon_2) \cot^2\theta$ $\varepsilon_2 = -0,002; \varepsilon_x = 0,002$	$\leq 0,225 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$ $f_{cd} = f_{cm} / \gamma_c$ $f_{cm} = 0,70 f_{ck} + 280$ ($f_{ck} \leq 44 \text{ MPa}$) $f_{cm} = 0,56 f_{ck} + 896$ ($f_{ck} > 44 \text{ MPa}$)	$0,2 \cdot f_{ck} / f_{yv} \geq 0,51 / f_{yv}$ $0,51 / f_{yv}$ $f_{ck} = 0,343 \cdot (f_{ck})^{0,6}$ se $f_{ck} \leq 44 \text{ MPa}$ $f_{ck} = 0,3 \cdot (f_{ck} + 11)^{0,6}$ se $f_{ck} > 44 \text{ MPa}$
CSA A233-94	$0,2 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d$ se $\rho_w > \rho_{w, \min}$ quando $V > 0,5 V_c$ ou $d \leq 300 \text{ mm}$ ou $[260(1000+d)] \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d \geq 0,1 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d$	$0,2 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d + \phi_s \cdot z \cdot \rho_w f_{yv} \cdot b_w$ ou $[260(1000+d)] \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d + \phi_s \cdot z \cdot \rho_w f_{yv} \cdot b_w$ $\phi_s \cdot z \cdot \rho_w f_{yv} \cdot b_w \leq 0,8 \cdot \phi_c \cdot (f_c')^{1/2} \cdot b_w \cdot d$	$k_z = z/d = 1$ $\phi_c = 0,6$ $\phi_s = 0,85$ $f_{ck} \leq 80 \text{ MPa}$ $f_{yv} \leq 500 \text{ MPa}$

Tabela 3.4 – Resumo das fórmulas das normas para o caso de armadura transversal perpendicular ao eixo longitudinal da viga ($\alpha=90^\circ$) – cont.

Método	$V_u = V_s$ $V_s = Z \cdot \rho_w f_{ywd} \cdot b_w \cdot \cot\theta$ $\tau_u \leq k_z \cdot f_{cd2} \cdot (\cot\theta / (1 + \cot^2\theta))$	$V_u = V_s + V_c$ $(\theta = 45^\circ)$ $V_s = Z \cdot \rho_w f_{ywd} \cdot b_w$	OBSERVAÇÕES
Norma	f_{cd2} (MPa)	V_c	V_u
NBR6118-01 (Modelo I)		$(0,126/\gamma_c) \cdot (f_{ck})^{3/4} \cdot b_w \cdot d$	$\leq 0,27 \cdot (f_{ck}/\gamma_c) \cdot [1 - (f_{ck}/250)] \cdot b_w \cdot d$
BS8110-97		$0,79 \cdot (100 \cdot \rho)^{1/4} \cdot (400/d)^{1/4} \cdot b_w \cdot d / \gamma_m$ quando $f_{cu} \leq 25$ MPa ou $0,79 \cdot (100 \cdot \rho)^{1/4} \cdot (400/d)^{1/4} \cdot (f_{cu}/25)^{1/4} \cdot b_w \cdot d / \gamma_m$ $1,5\% \leq \rho \leq 3\%$ $400/d \geq 1$	$k_z = z/d = 0,95$ $\gamma_m = 1,25$ $f_{cu} \leq 40$ MPa $f_{yw} \leq 460$ MPa
EC2-92	$v \cdot (f_{ck}/\gamma_c)$ sendo $v = [0,7 - (f_{ck}/200)] \geq 0,5$ (*) $\rho_w f_{ywd} \leq 0,5 \cdot f_{cd2}$	$[0,0525 \cdot (f_{ck}^{3/4} / \gamma_c) \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho)] \cdot b_w \cdot d$ $\rho \leq 0,02$ $k = 1$ para vigas com mais de 50% da armadura longitudinal variável ao longo do vão ou $k = 1,6 - d \geq 1$ (d em m)	$k_z = z/d = 0,9$ $\gamma_c = 1,5$ $f_{ck} \leq 50$ MPa $f_{yw} \leq 460$ MPa
EC2-01	sendo $v = [0,7 - (f_{ck}/200)] \geq 0,5$ (*) $\rho_w f_{ywd} \leq 0,5 \cdot f_{cd2}$		$k_z = z/d = 0,9$ $\gamma_c = 1,5$ $f_{ck} \leq 90$ MPa $f_{yw} \leq 460$ MPa

CAPÍTULO IV

ANÁLISE SOBRE FAIXA DE VARIAÇÃO DO ÂNGULO θ

4.1 Determinação do Ângulo θ

Foi calculado o valor de θ com base nas equações das normas técnicas apresentadas no *item 3.2* e nos resultados experimentais dos ensaios descritos em *2.2*.

Os histogramas das variáveis relevantes das vigas ensaiadas consideradas ($a/d \geq 2$), todas com estribos perpendiculares ao seu eixo longitudinal, são mostrados na *Figura 4.1*. Neles verifica-se que cerca de 80% das vigas têm d menor que aproximadamente 550 mm; cerca de 50% têm f_c menor que 50 MPa e 90% têm f_c menor que 90 MPa; 90% têm ρ menor que 0,05 e 90% têm ω menor que 0,10.

As vigas com valor da tensão cisalhante nominal última obtida no ensaio (τ_{wu}) menor que 1,3 vezes a tensão cisalhante nominal que, segundo cada norma, corresponde à resistência das vigas sem armadura transversal (τ_c) não foram consideradas nas análises. Isto se deve à incerteza das fórmulas para avaliação de τ_c e ao comportamento parecido de vigas com pequena taxa de armadura transversal com o de vigas sem esta armadura.

Com este procedimento, pôde-se incluir na análise vigas com $\rho_w < \rho_{w,min}$. Em princípio $\rho_{w,min}$ deveria ser a taxa de armadura suficiente para que a viga fosse capaz de resistir à tensão cisalhante pelo menos igual a τ_c , mas este critério nem sempre é o considerado e existe grande diferença entre as taxas de armadura transversal mínima estipuladas nas normas.

Nos cálculos utilizaram-se coeficientes de segurança iguais a 1 e não foram considerados os limites de f_{yw} indicados por cada uma das normas. Em algumas análises também não se considerou limite para f_c e em outras se consideraram apenas as vigas que tinham valores de f_c menores ou iguais ao limite estabelecido nas normas.

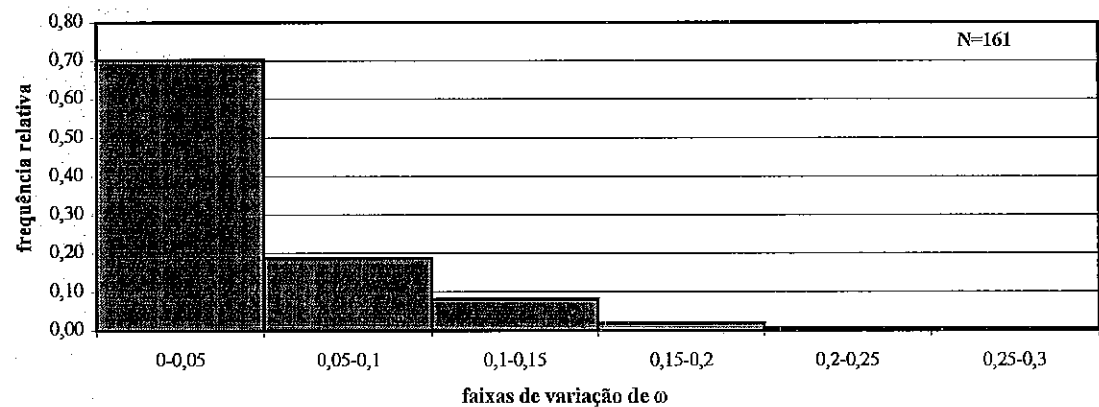
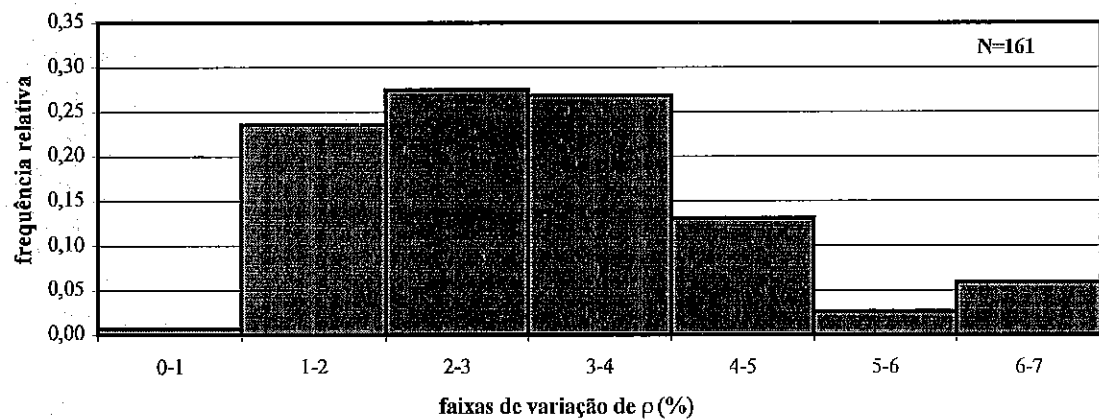
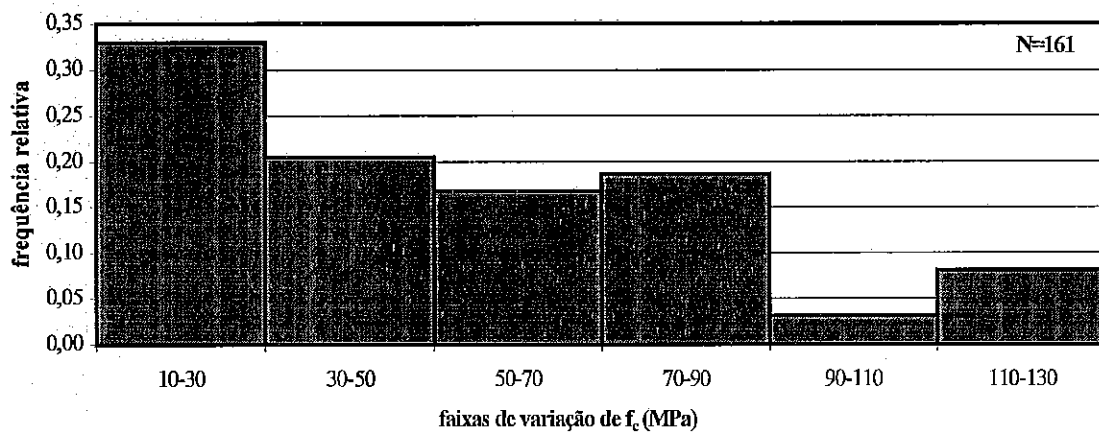
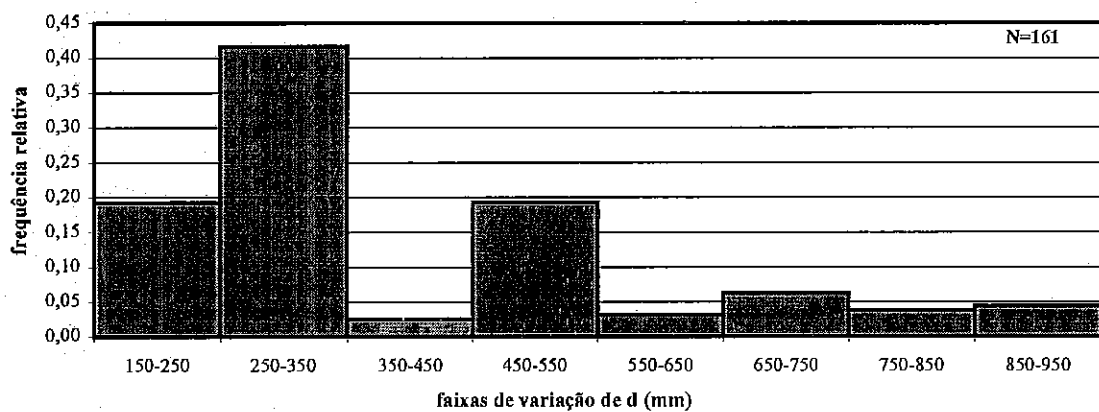


Figura 4.1 – Histogramas das principais variáveis das vigas estudadas

4.1.1 Procedimento de determinação de θ para o método que considera

$$V_u = V_s \leq V_{lim}$$

A análise das vigas com ruptura por cortante pelo método da treliça de ângulo de inclinação das bielas variável abrange 3 possíveis tipos de ruptura da peça estrutural: por escoamento da armadura transversal, por esgotamento da capacidade resistente da diagonal comprimida ou pela ocorrência simultânea do escoamento da armadura transversal e do esmagamento da biela. Então, para a determinação de θ correspondente à ruptura das vigas, considerou-se:

$$V_u = V_s = z \cdot \rho_w \cdot f_{yw} \cdot b_w \cdot \cot \theta \leq V_{lim} = f_{cd2} \cdot b_w \cdot z \cdot (\cot \theta / 1 + \cot^2 \theta) \quad (4.1)$$

com valores de z em função de d prescritos em cada norma e coeficientes de segurança unitários.

Para a obtenção do valor de θ correspondente ao escoamento do aço fez-se:

$$V_u / b_w \cdot d = k_z \cdot \rho_w \cdot f_{yw} \cdot \cot \theta \quad (4.2)$$

$$\cot \theta = \tau_u / (k_z \cdot \rho_w \cdot f_{yw}) \quad (4.3)$$

O valor de θ correspondente ao limite de tensão na biela foi calculado a partir da expressão (4.6):

$$\sigma_c = V_u / b_w \cdot z \cdot (\cot \theta / 1 + \cot^2 \theta) \leq f_{cd2} \quad (4.4)$$

$$V_u / b_w \cdot d = k_z \cdot f_{cd2} \cdot (\cot \theta / 1 + \cot^2 \theta) \quad (4.5)$$

$$\cot \theta = 0,5 \cdot \{ (k_z \cdot f_{cd2} / \tau_u) \pm [(k_z \cdot f_{cd2} / \tau_u)^2 - 4]^{1/2} \} \quad (4.6)$$

sendo $k_z = z/d$

$\tau_u = V_u / b_w \cdot d$ a tensão cisalhante nominal última obtida no ensaio (τ_{vu}).

Para as vigas que possuíam $k_z \cdot f_{cd2} / \tau_u < 2$ considerou-se $\theta = 45^\circ$, ângulo este que, para o caso de estribos verticais, leva à menor tensão na biela. Desta forma, admite-se que o valor de f_{cd2} é maior que o adotado pela norma e igual a:

$$\sigma_c = \tau_u (1 + \cot^2 \theta) / k_z \cdot \cot \theta = 2,22 \cdot \tau_u \quad (4.7)$$

O valor de θ de ruptura da viga foi o maior entre os determinados pelas expressões (4.3) e (4.6).

4.1.2 Procedimento de determinação de θ para o método que considera

$$V_u = V_c + V_s \leq V_{lim}$$

Realizaram-se dois tipos de análise para este modelo.

4.1.2.1 Análise I

Foi determinado o valor de θ para o qual, pelo método da treliça, obtém-se para a mesma tensão cisalhante última a mesma armadura transversal calculada pelo método $\tau_u = \tau_c + \tau_s$ que considera $\theta = 45^\circ$.

Sendo

$$\tau_u = \tau_c + k_z \cdot \rho_w \cdot f_{yw} \cdot \cot 45^\circ \quad (4.8)$$

ou

$$\tau_u = k_z \cdot \rho_w \cdot f_{yw} \cdot \cot \theta \quad (4.9)$$

obtém-se:

$$\tau_u / (k_z \cdot \cot \theta) = (\tau_u - \tau_c) / (k_z \cdot \cot 45^\circ) \quad (4.10)$$

$$\cot \theta = \tau_u / (\tau_u - \tau_c) \quad (4.11)$$

onde $k_z = z/d$

Quando $\tau_u > \tau_{lim}$ o ângulo θ foi considerado igual a 45° e $\tau_u = \tau_{lim}$.

4.1.2.2 Análise II

Determinou-se o valor de θ que, em vez do de 45° adotado nas normas, deveria ser utilizado na expressão (4.8) para chegar-se ao valor de τ_u obtido nos ensaios, ou seja:

$$\cot \theta = (\tau_u - \tau_c) / k_z \cdot \rho_w \cdot f_{yw} \quad (4.12)$$

sendo $k_z = z/d$

Quando $\tau_u > \tau_{lim}$ o ângulo θ foi considerado igual a 45° e $\tau_u = \tau_{lim}$.

4.2 Resultados obtidos das Análises

4.2.1 Análise a partir dos modelos que consideram $V_u = V_s$

4.2.1.1 Análise incluindo vigas com todos valores de f_c

As expressões V_s de todas as normas usadas na análise (CEB-FIP MC90, NS3473-92, EC2-92 e EC2-01) são as mesmas, variando de norma para norma a resistência das vigas sem armadura transversal usada como base para eliminar algumas delas da análise, a tensão limite a considerar para as bielas e o valor da taxa de armadura transversal mínima.

Nas *Figuras 4.2 e 4.3* são mostrados os gráficos que relacionam τ_{wu}/f_c , ω e θ , de acordo com o que é definido no CEB-FIP MC90. Na *Figura 4.2* são incluídas todas as vigas consideradas e na *4.3* foram eliminadas as com $\rho_w < \rho_{w, min}$. Nesses gráficos é indicada a faixa de θ segundo essa norma.

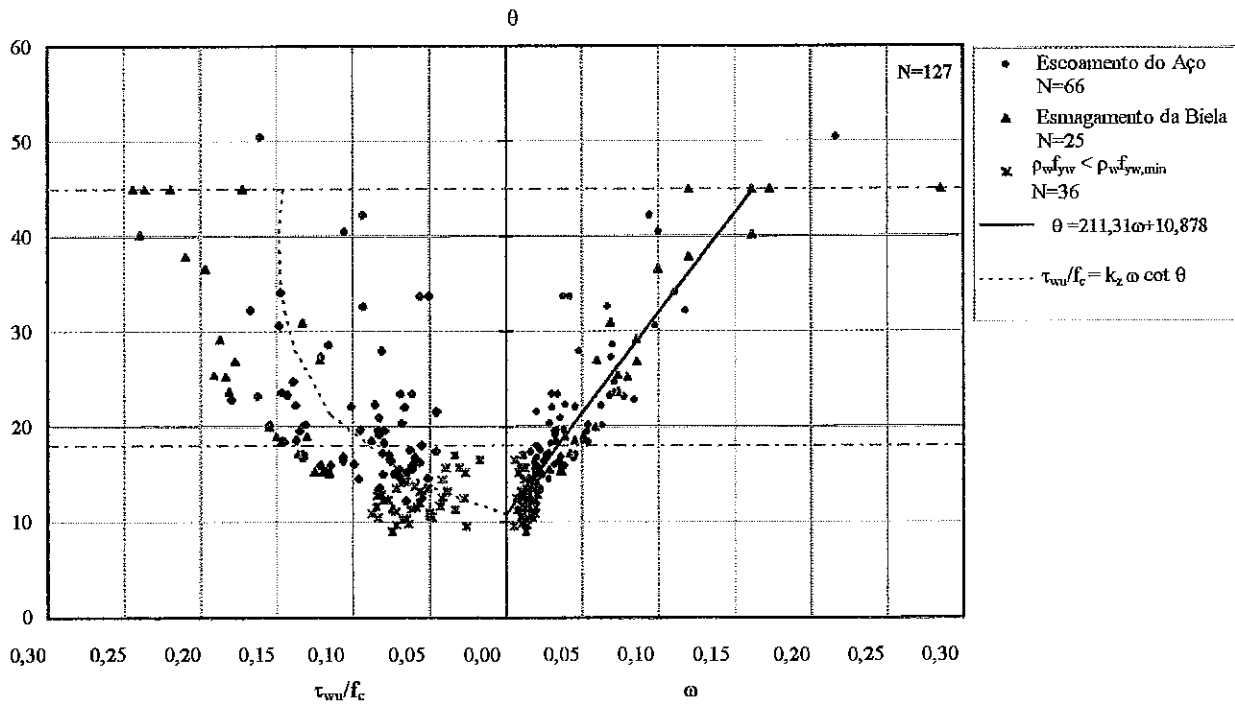


Figura 4.2– Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90 incluindo vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$

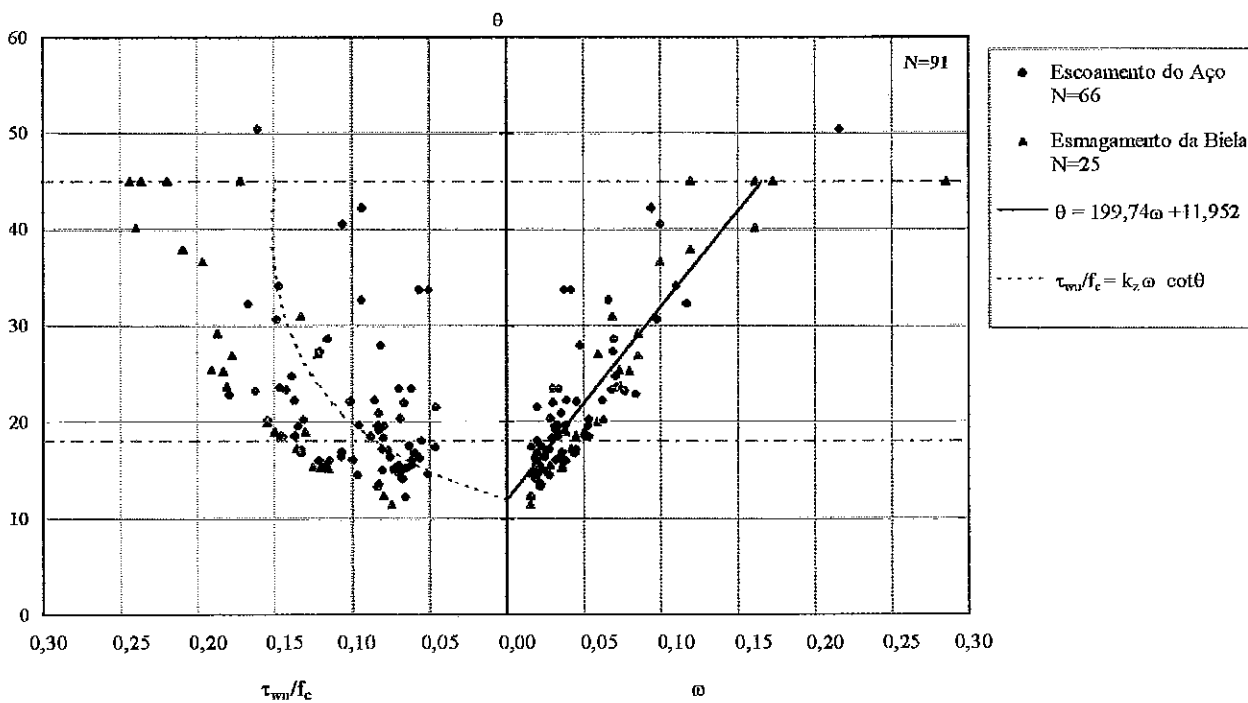


Figura 4.3 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90 excluindo vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$

Aos pontos do gráfico que relacionam ω e θ , foi ajustada uma reta. As retas resultantes do ajuste, com θ dado em graus, foram:

$$\theta = 211 \omega + 11 \quad (4.13)$$

$$\theta = 200 \omega + 12 \quad (4.14)$$

Tendo-se estas retas, a partir da expressão $\tau_{wu}/f_c = k_z \cdot \omega \cdot \cot \theta$, chegou-se às curvas que relacionam τ_{wu}/f_c e θ mostradas nas Figuras 4.2 e 4.3.

Observando-se essas duas figuras, verifica-se que há pouca diferença entre essas relações ao se considerar ou não as vigas com $\rho_w < \rho_{w, \min}$.

Nas Figuras 4.2 e 4.3 pode-se verificar que, em termos de cálculo de resistência, valores de ângulo menores que o mínimo de $18,4^\circ$ definido na norma poderiam ser usados.

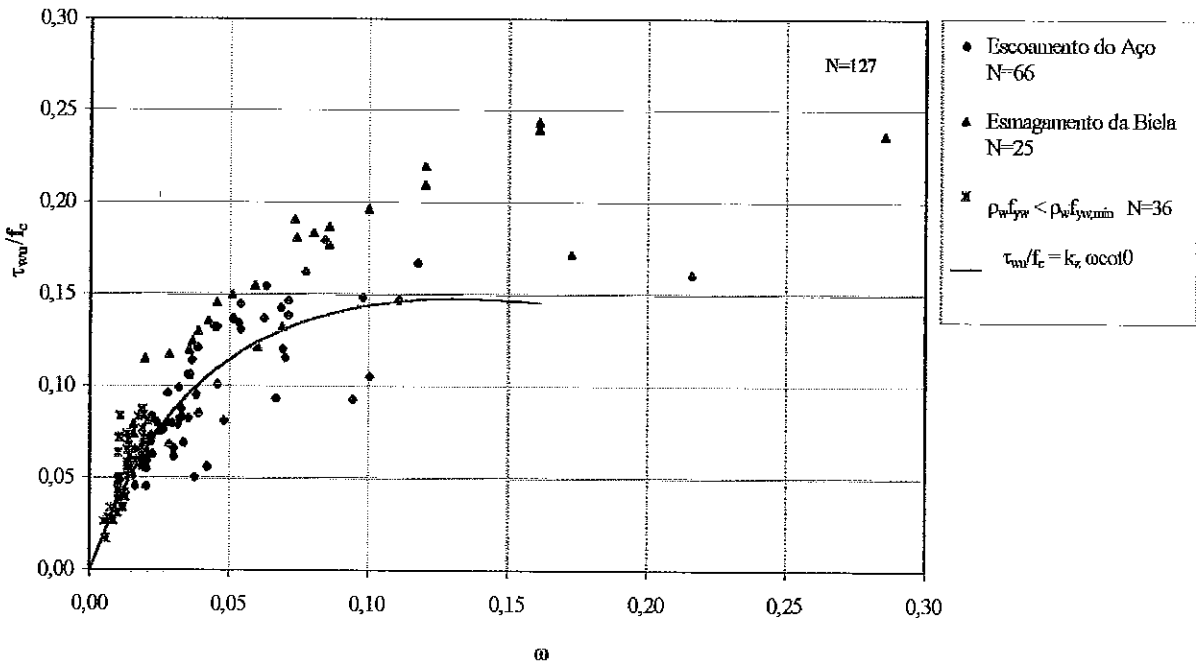


Figura 4.4 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90

Na *Figura 4.4* constata-se que a relação entre τ_{wu}/f_c e ω (definida a partir da reta que consta na *Figura 4.2*) expressa razoavelmente a tendência mostrada pelos pontos plotados, ficando mais conservadora para os casos que, segundo o modelo de treliça, a ruptura é regida pelo esgotamento da capacidade resistente da biela.

A *Figura 4.5* apresenta os histogramas que mostram, para as vigas com $\rho_w < \rho_{w,min}$ e para as vigas que, segundo o modelo de treliça, tiveram o cortante último definido pelo escoamento da armadura transversal ou pela ruptura da biela, a frequência relativa dos valores de θ determinados. No histograma que inclui todas as vigas, verifica-se que cerca de 75% dos resultados ficam entre os valores de 10° e 25° .

Os mesmos tipos de gráficos foram feitos considerando-se o que é definido nas outras normas. Eles se encontram nas *Figuras 4.6 a 4.14*. Neles se constata tendências semelhantes para todas as normas. Para a norma EC2-92 verifica-se maior concentração de valores de θ entre 10° e 25° .

As demais retas obtidas para relacionar ω e θ , considerando-se todas as vigas, são:

$$\theta = 224 \omega + 11 \quad (4.15)$$

(*Figura 4.6 - NS3473-1992*)

$$\theta = 195 \omega + 11 \quad (4.16)$$

(*Figura 4.9 - EC2-1992*)

$$\theta = 191 \omega + 11 \quad (4.17)$$

(*Figura 4.12 - EC2-2001*)

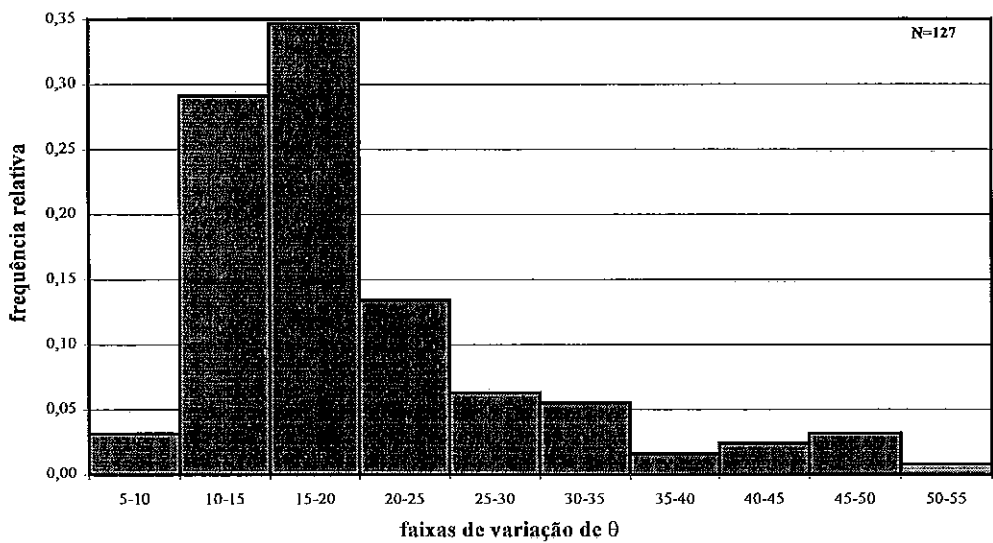
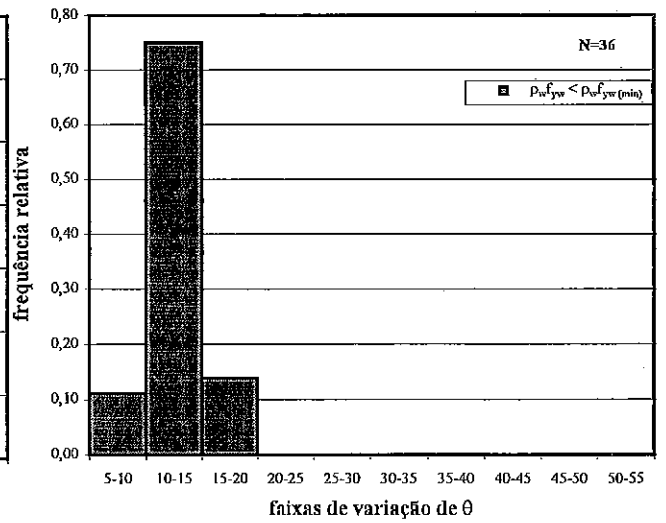
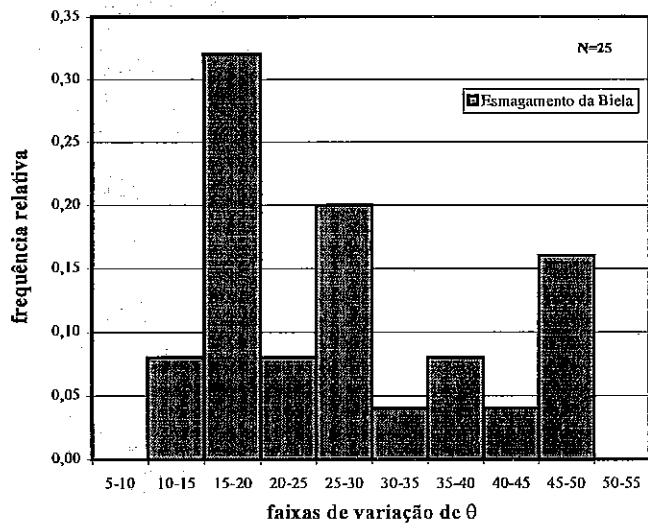
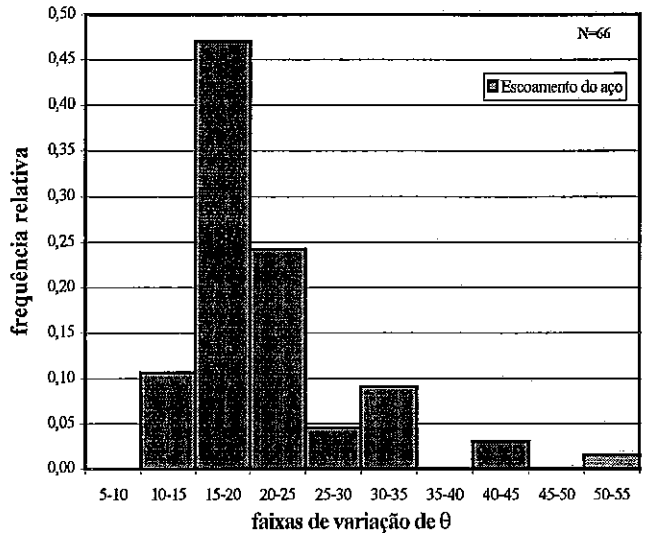
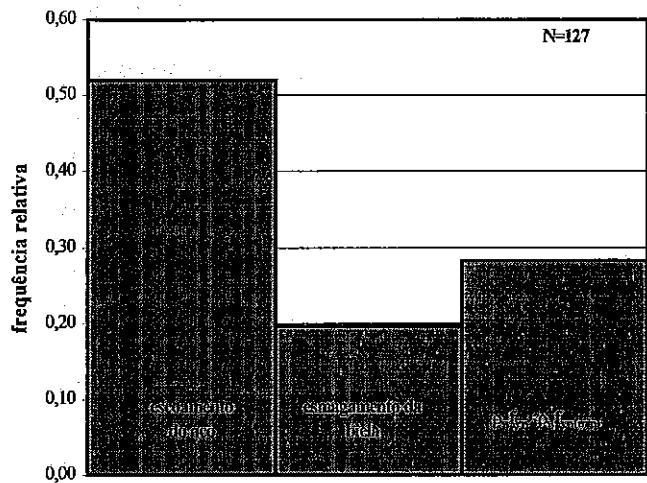


Figura 4.5 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de trelça e a CEB-FIP MC90

θ

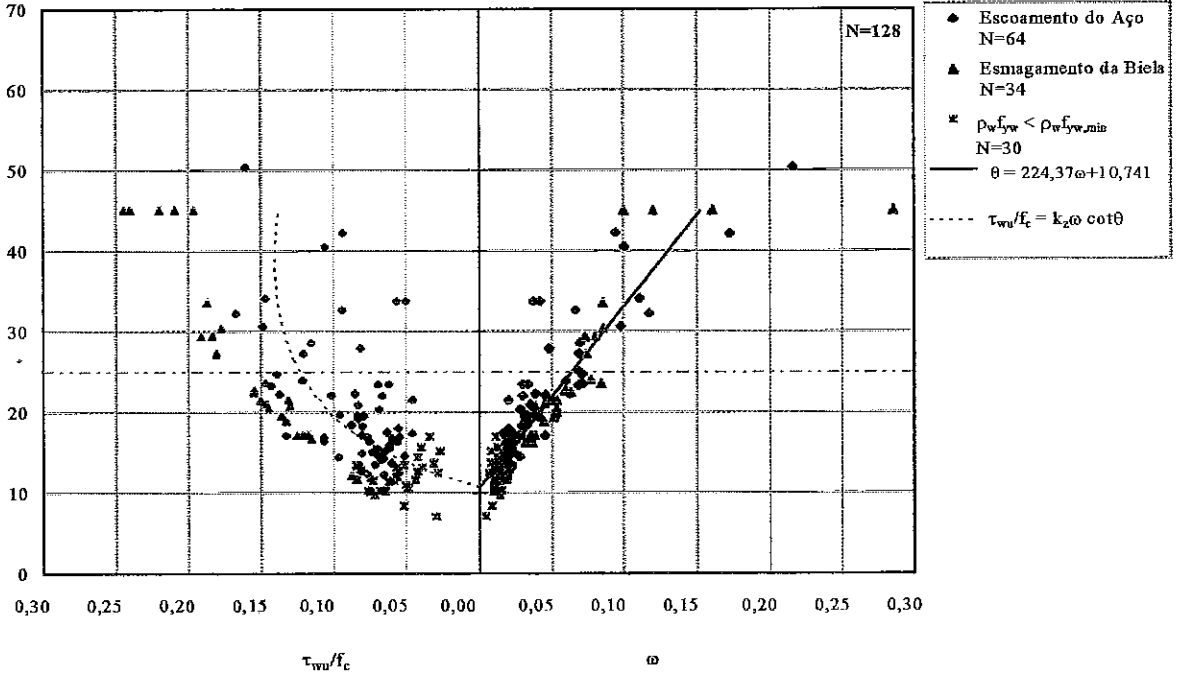


Figura 4.6 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92

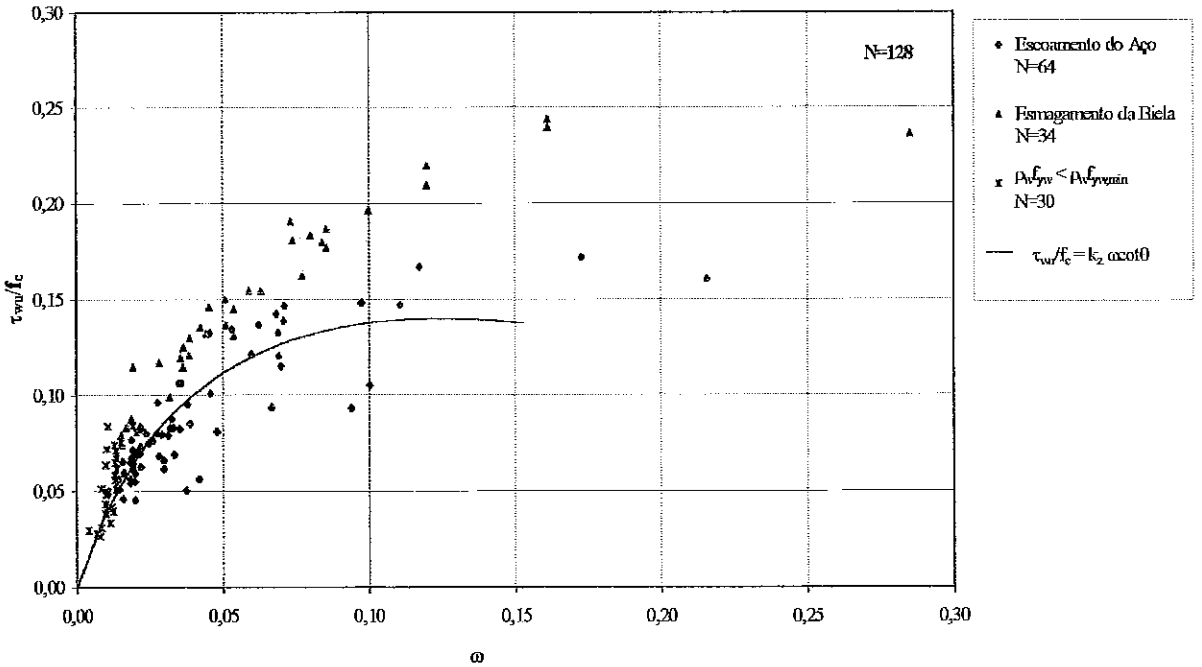


Figura 4.7 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92

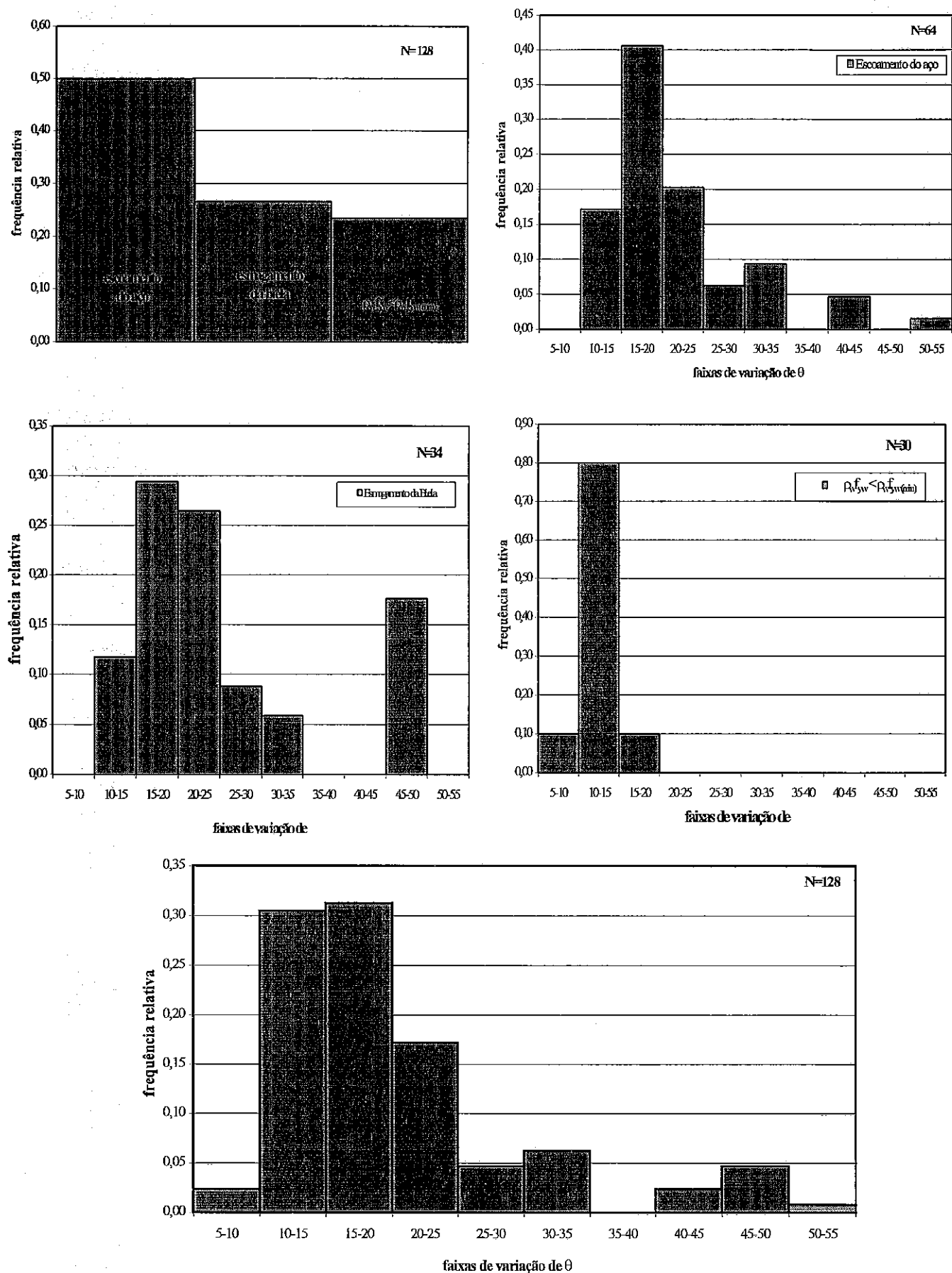


Figura 4.8 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a NS3473-92

θ

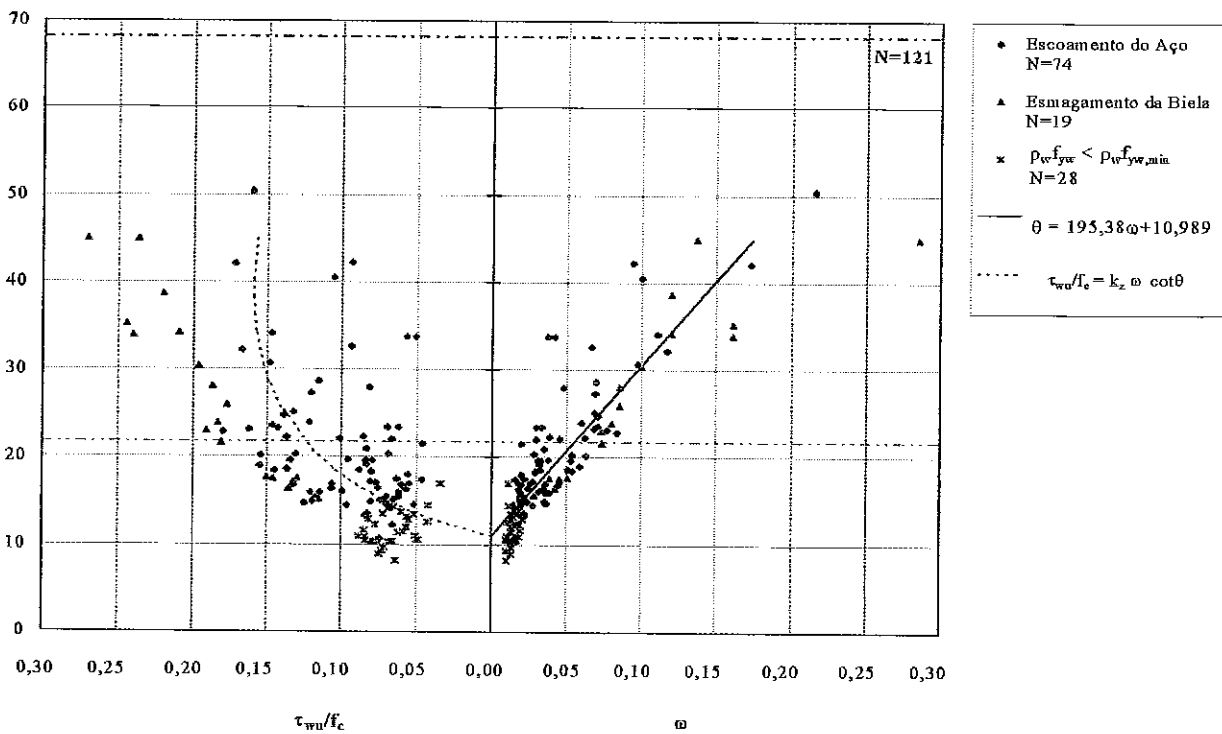


Figura 4.9 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92

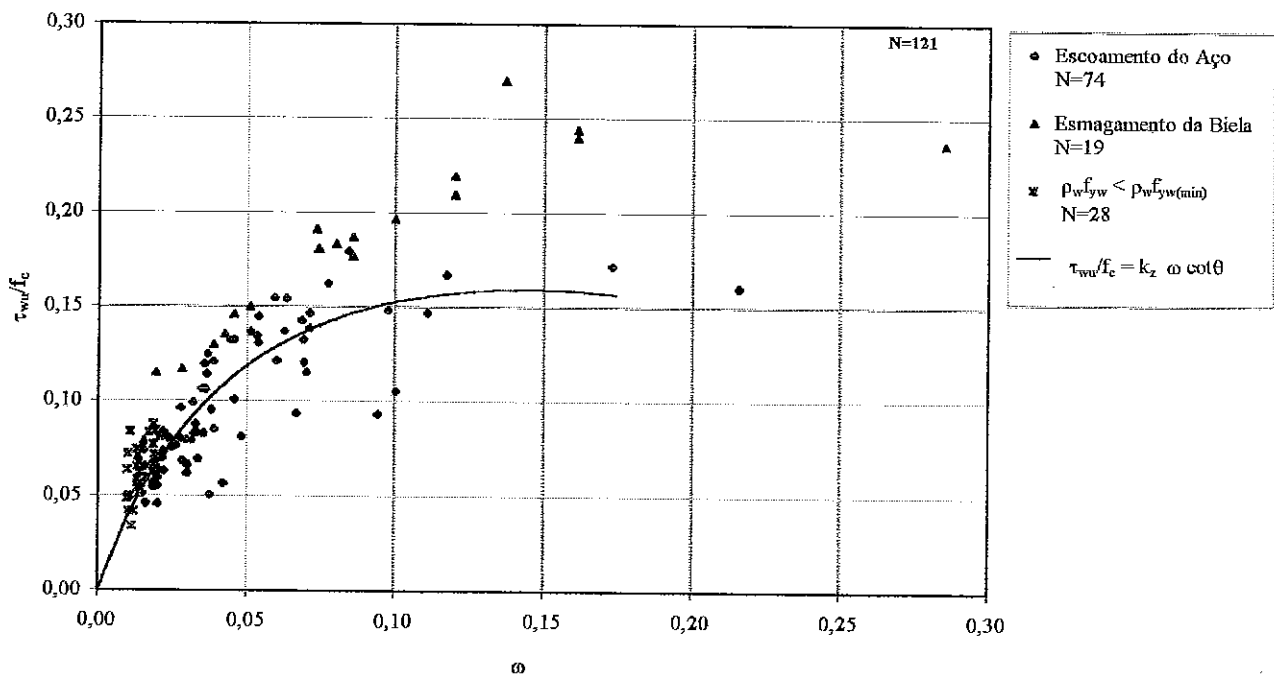


Figura 4.10 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92

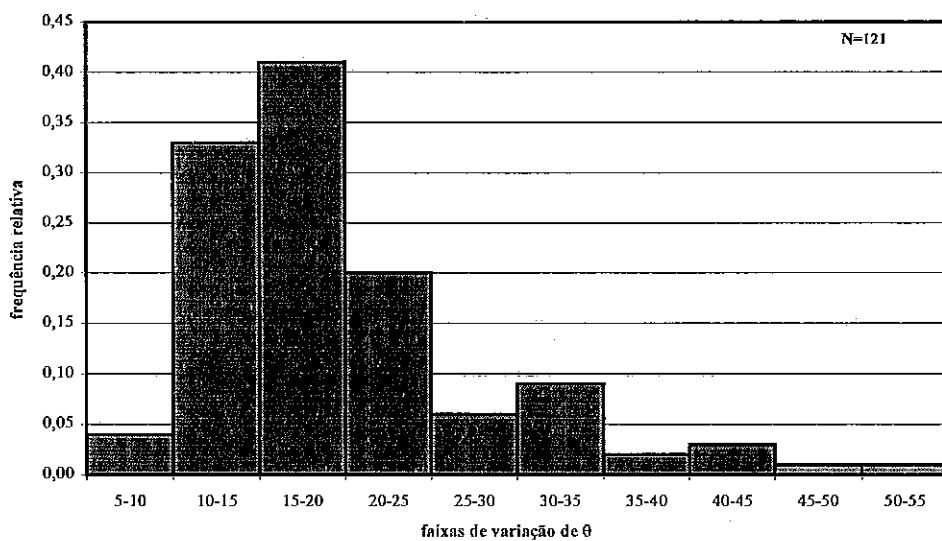
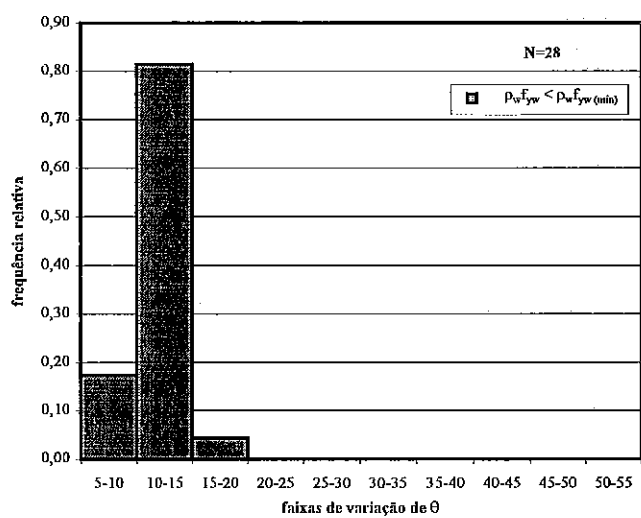
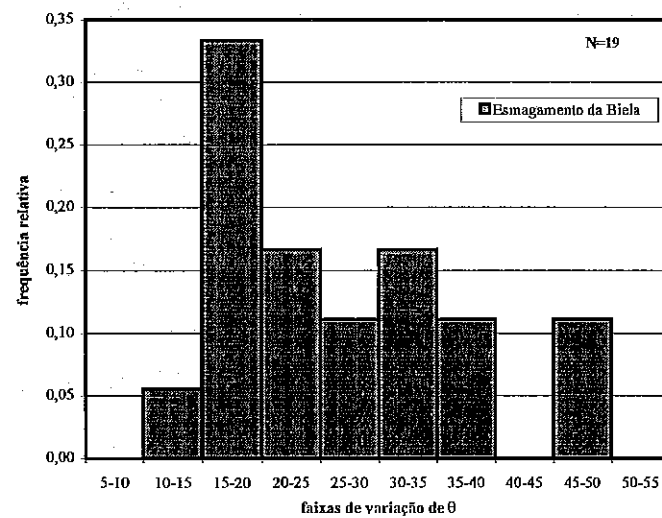
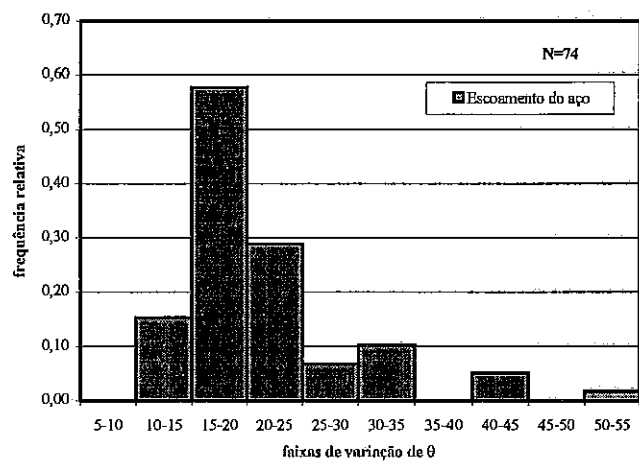
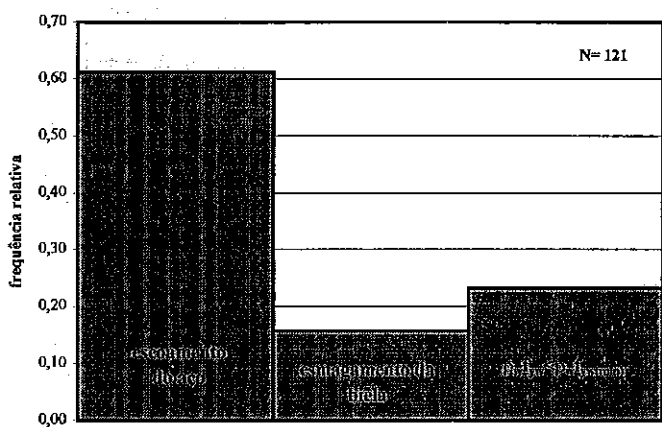


Figura 4.11 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a EC2-92

θ

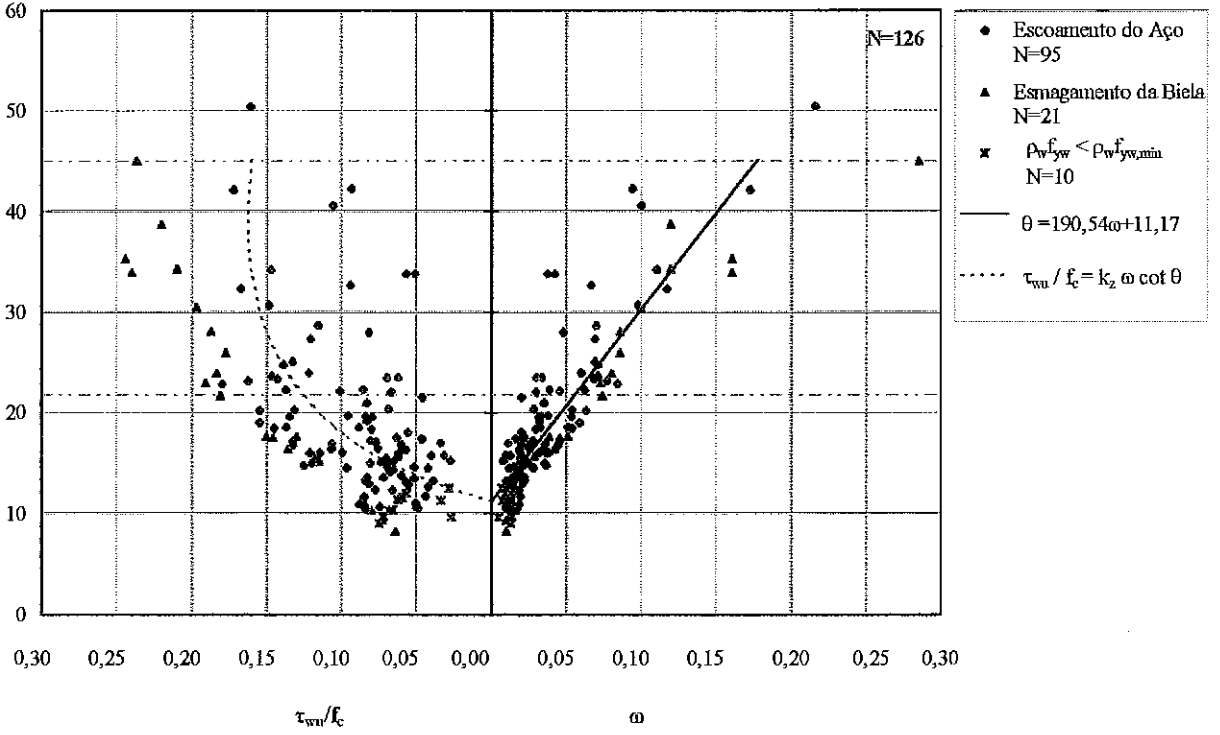


Figura 4.12 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01

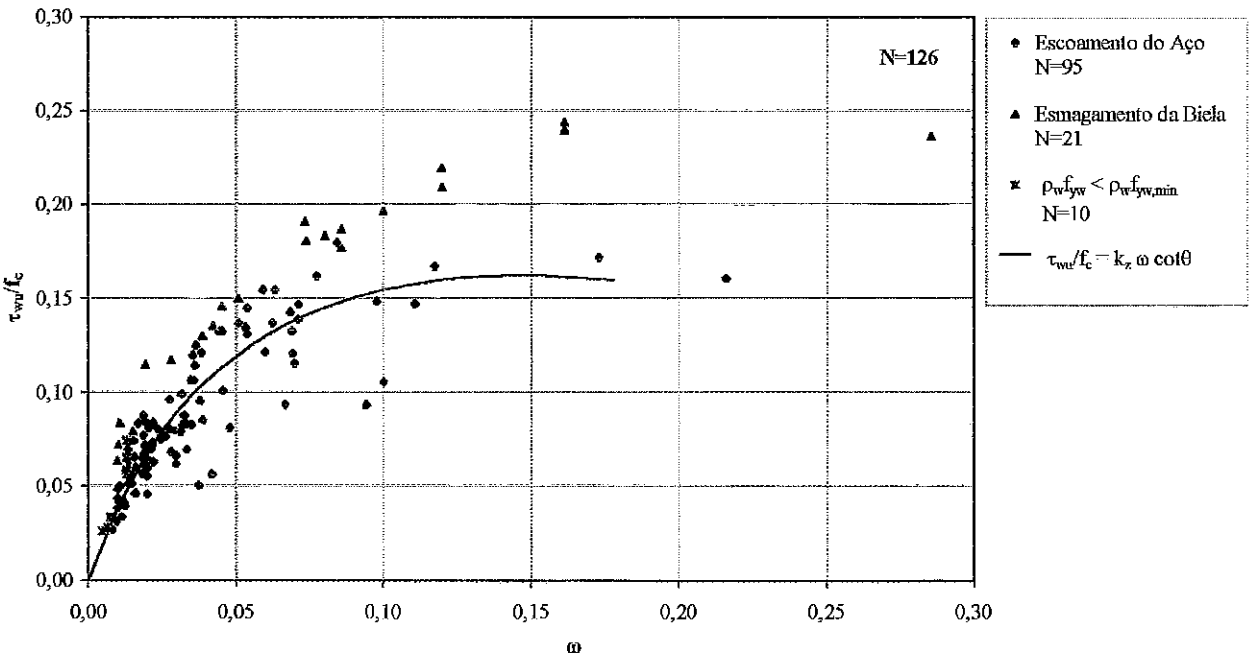


Figura 4.13 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01

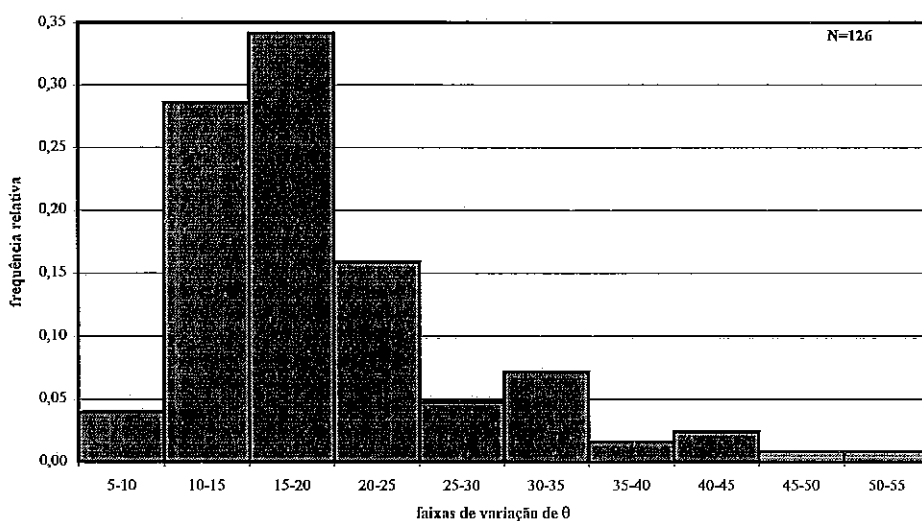
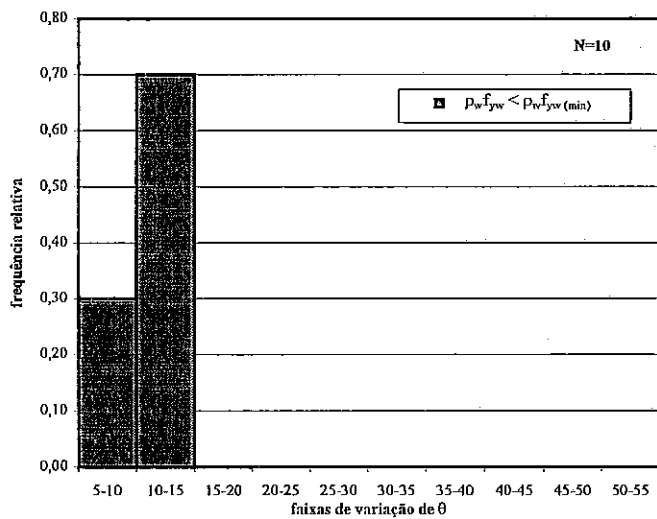
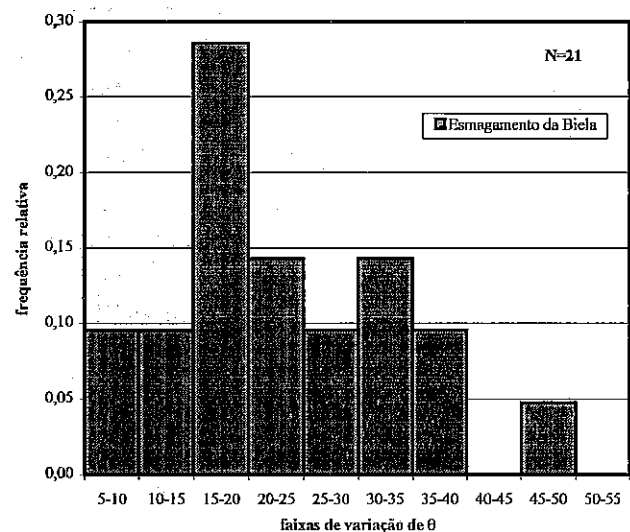
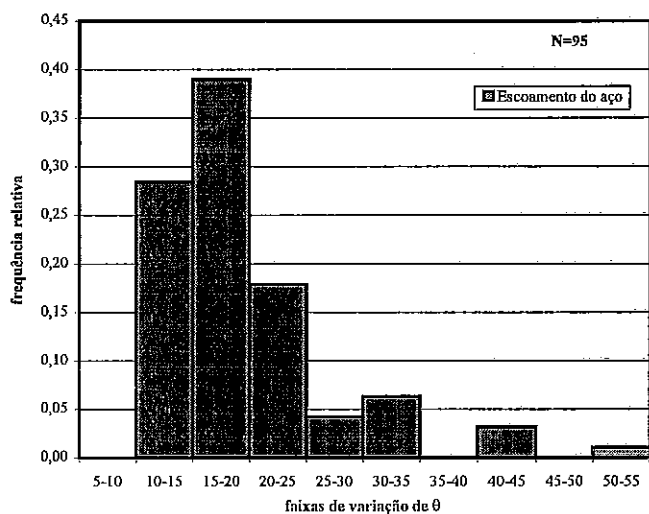
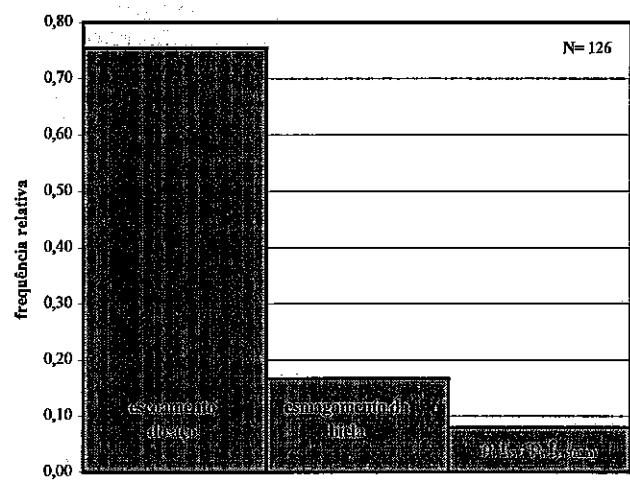


Figura 4.14 – Distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça e a EC2-01

Na *Figura 4.15*, onde se comparam todas as relações entre τ_{wu}/f_c e ω obtidas, nota-se que a diferença entre elas aumenta à medida que aumenta ω .

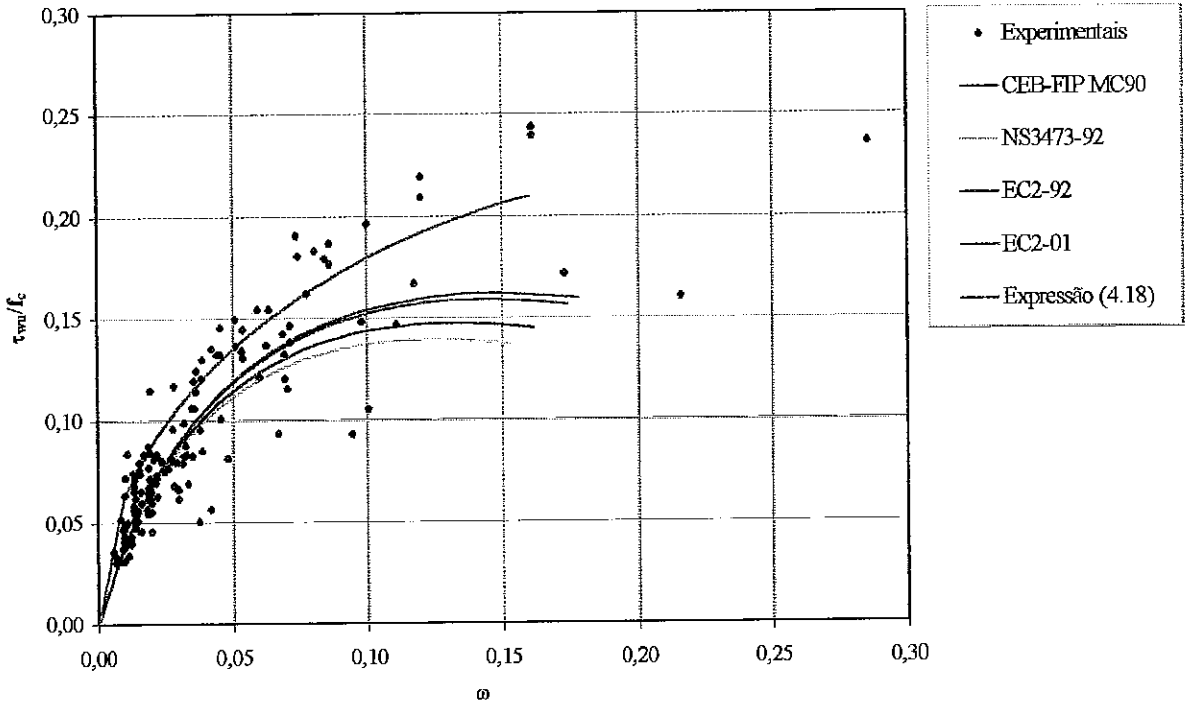


Figura 4.15 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça

Nessa figura consta também a relação dada por

$$\tau_{wu}/f_c = 0,45 \cdot \{(\omega/0,5) \cdot [1 - (\omega/0,5)]\}^{1/2} \quad (4.18)$$

Esta expressão é obtida quando na expressão de $\tau_{wu} = k_z \rho_v f_{yv} \cot \theta$ considera-se para θ o valor da expressão (3.5) com $\alpha = 90^\circ$, $k_z = 0,9$ e $f_{c2} = 0,5f_c$. Verifica-se na *Figura 4.15* que a expressão (4.18) se ajusta melhor aos dados que, segundo o modelo de treliça, correspondem ao esgotamento da capacidade resistente das diagonais comprimidas, mas não aos demais dados. Sendo as demais expressões representadas nessa figura mais conservadoras, são elas mais adequadas para uso no dimensionamento da armadura transversal.

Para as vigas que tinham $k_z \cdot f_{cd2} / \tau_{wu} < 2$ (ver item 4.1.1), a Figura 4.16 compara a tensão na biela relativa verificada no ensaio ($2,2 \tau_{wu} / f_c$) e a prescrita por cada norma.

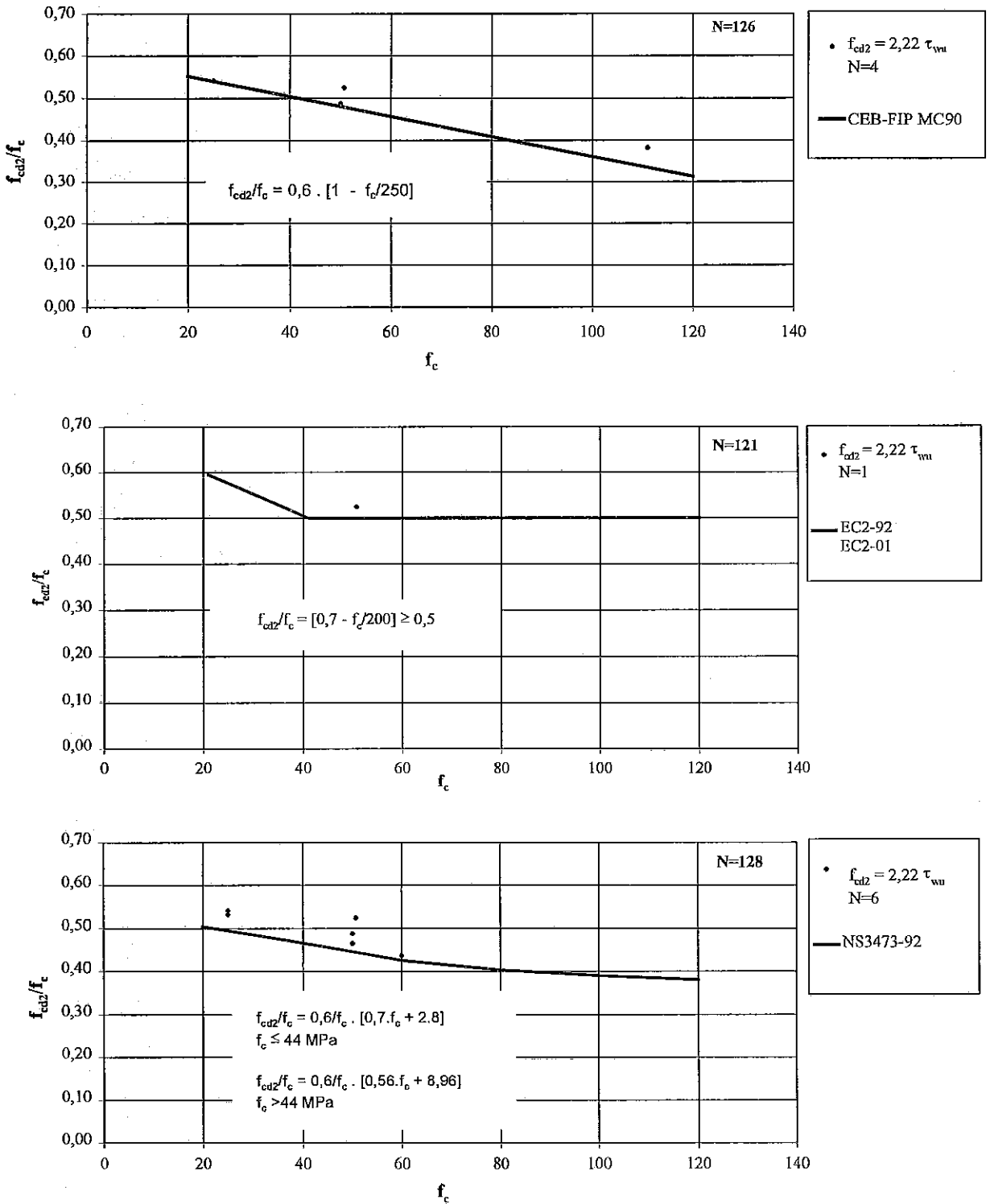


Figura 4.16 – Variação de f_{cd2}/f_c em função de f_c segundo o modelo de treliça e resultados experimentais

A título de comparação, na *Figura 4.17* são reunidos os histogramas gerais de θ de acordo com as 4 normas consideradas.

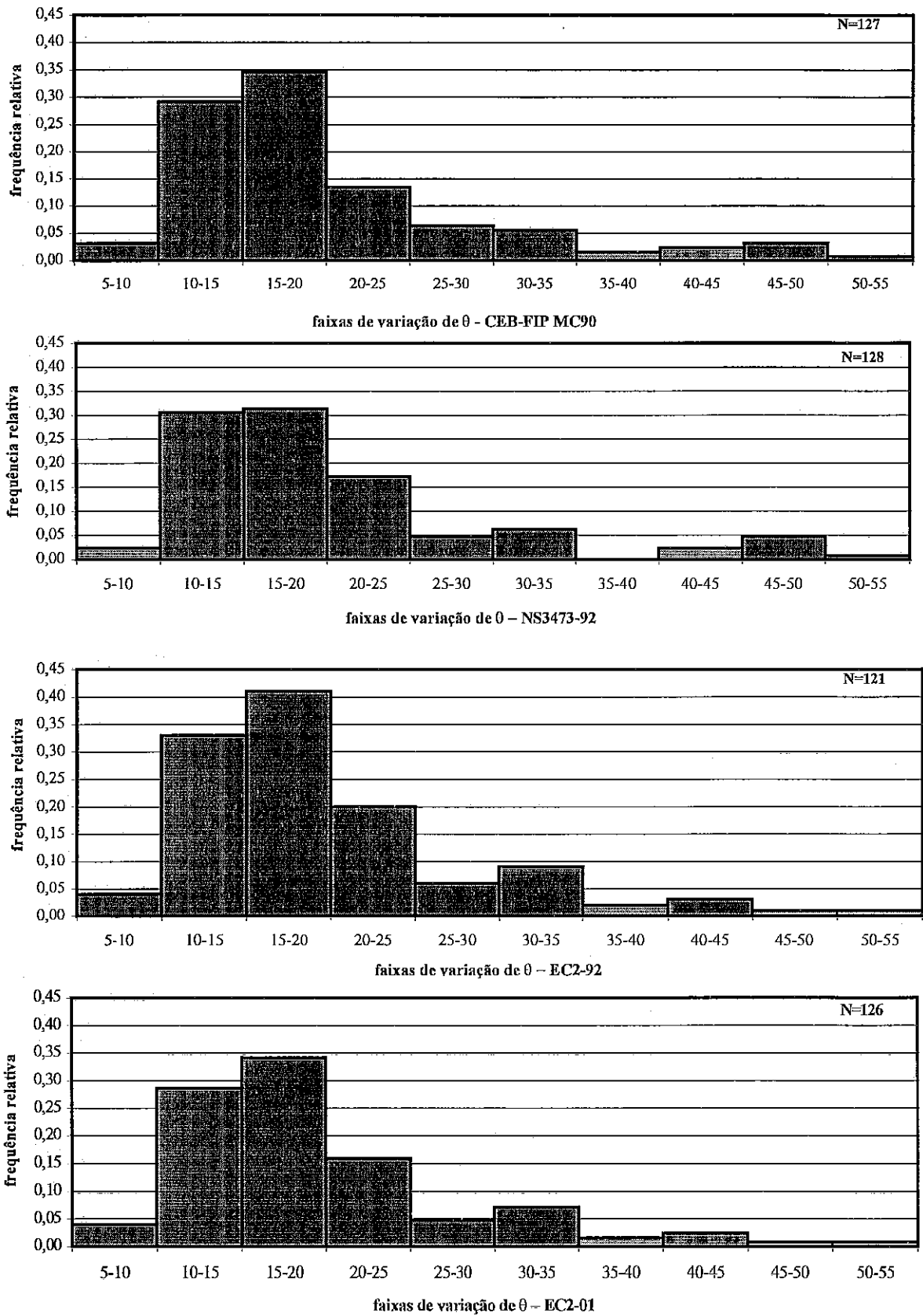


Figura 4.17 – Resumo da distribuição relativa de θ segundo o modelo de treliça

4.2.1.2 Análise incluindo vigas com valores de f_c de acordo com limite da norma

Visando comparação com a feita no item anterior, onde não foi considerado limite para f_c das vigas usadas, foi também feita análise incluindo apenas as vigas com valores de f_c de acordo com o limite das normas.

Os resultados dessa análise encontram-se nas *Figuras 4.18 a 4.25*. Comparação entre esses resultados e os obtidos na análise do *item 4.2.1.1* é feita nas *Figuras 4.26 a 4.29*.

Nestas figuras observa-se que, ao se excluir as vigas com f_c maior que o limite considerado por cada norma, houve menor diferença nas relações entre τ_{wu}/f_c e ω com relação às obtidas considerando todas as vigas para as normas CEB FIP MC90 e EC2-92 do que para as normas NS3473-92 e EC2-01.

A *Tabela 4.1* resume as considerações de cada análise e os resultados obtidos.

Tabela 4.1 – Resumo das análises para os modelos que consideram $V_u = V_s$

NORMA	Limites para f_c	Análise item 4.2.1.1		Análise item 4.2.1.2	
		20 MPa $\leq f_c \leq$ 125 MPa		f_c limitado pela norma	
		N	θ	N	θ
CEB FIP MC90	≤ 80 MPa	127	211 $\omega + 11$	111	215 $\omega + 10$
NS3473-92	≤ 94 MPa	128	224 $\omega + 11$	114	197 $\omega + 10$
EC2-92	≤ 50 MPa	121	195 $\omega + 11$	73	203 $\omega + 10$
EC2-01	≤ 90 MPa	126	191 $\omega + 11$	112	170 $\omega + 11$

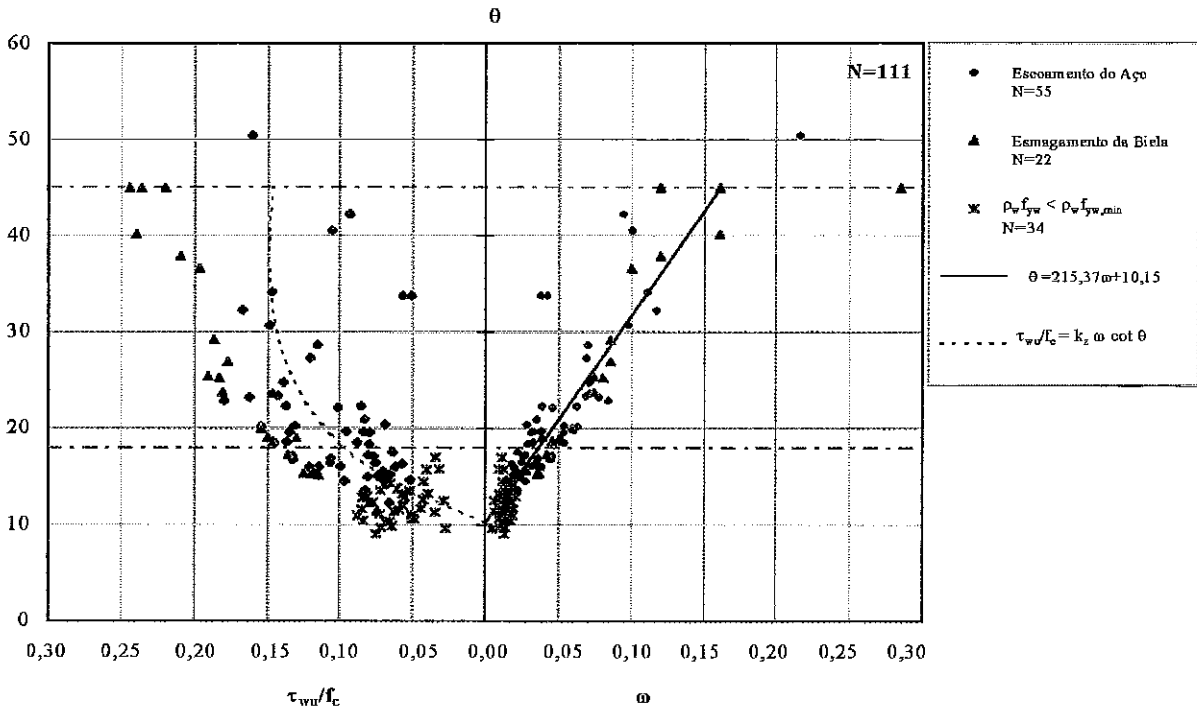


Figura 4.18 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 80$ MPa

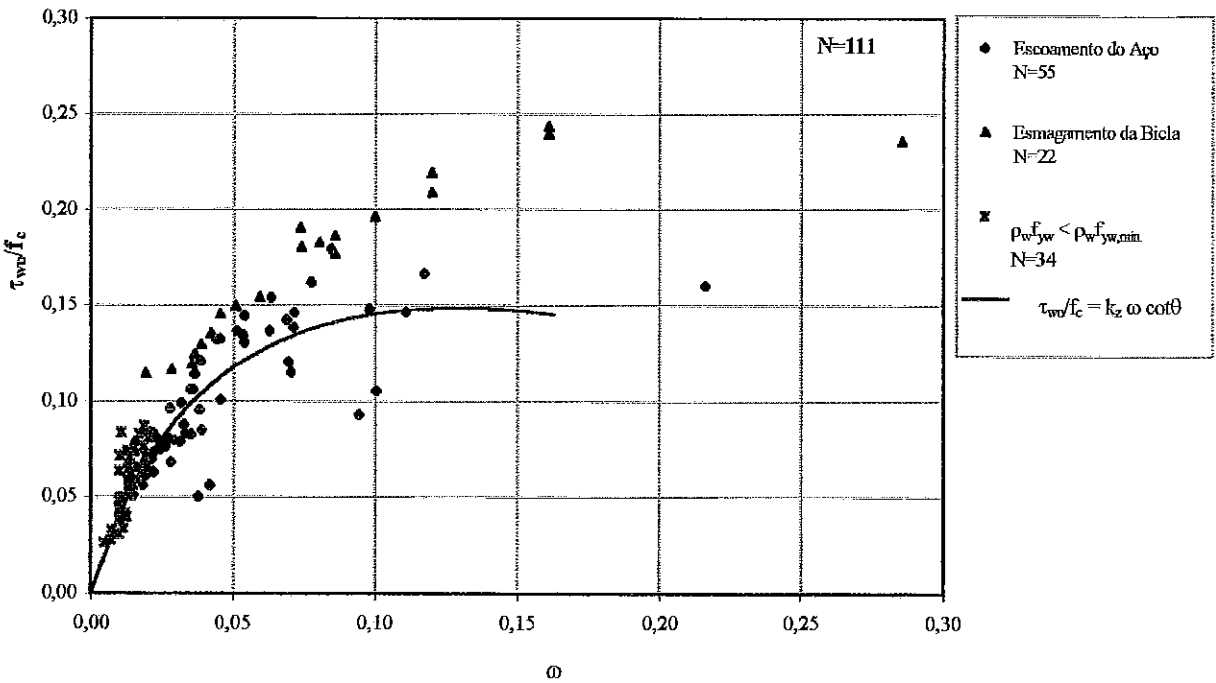


Figura 4.19 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 80$ MPa

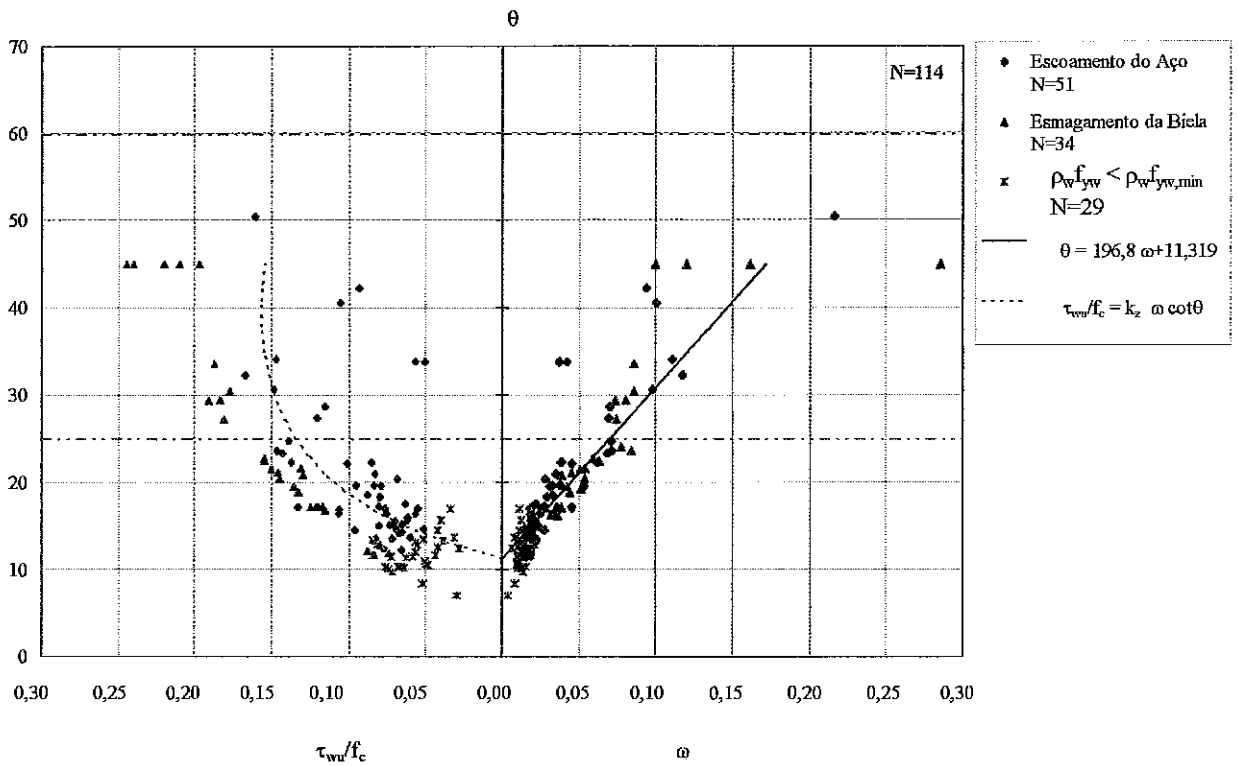


Figura 4.20 – Variação de θ em função de τ_{wu} / f_c e ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 94$ MPa

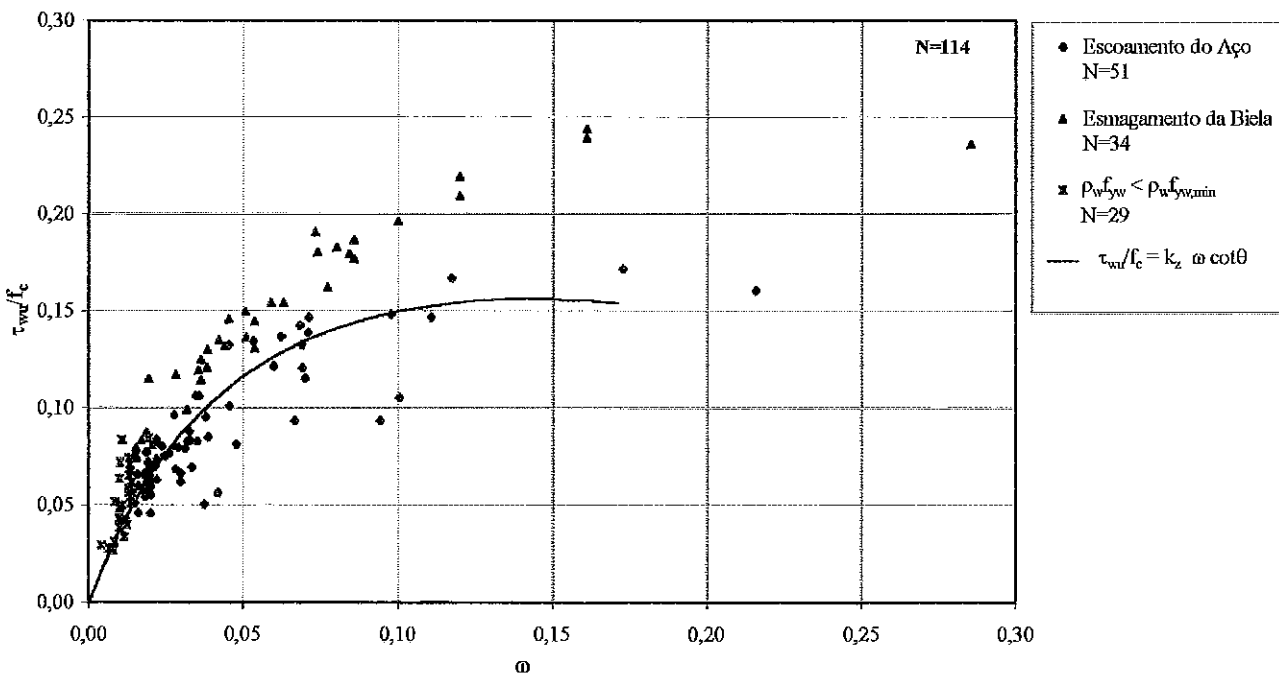


Figura 4.21– Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 94$ MPa

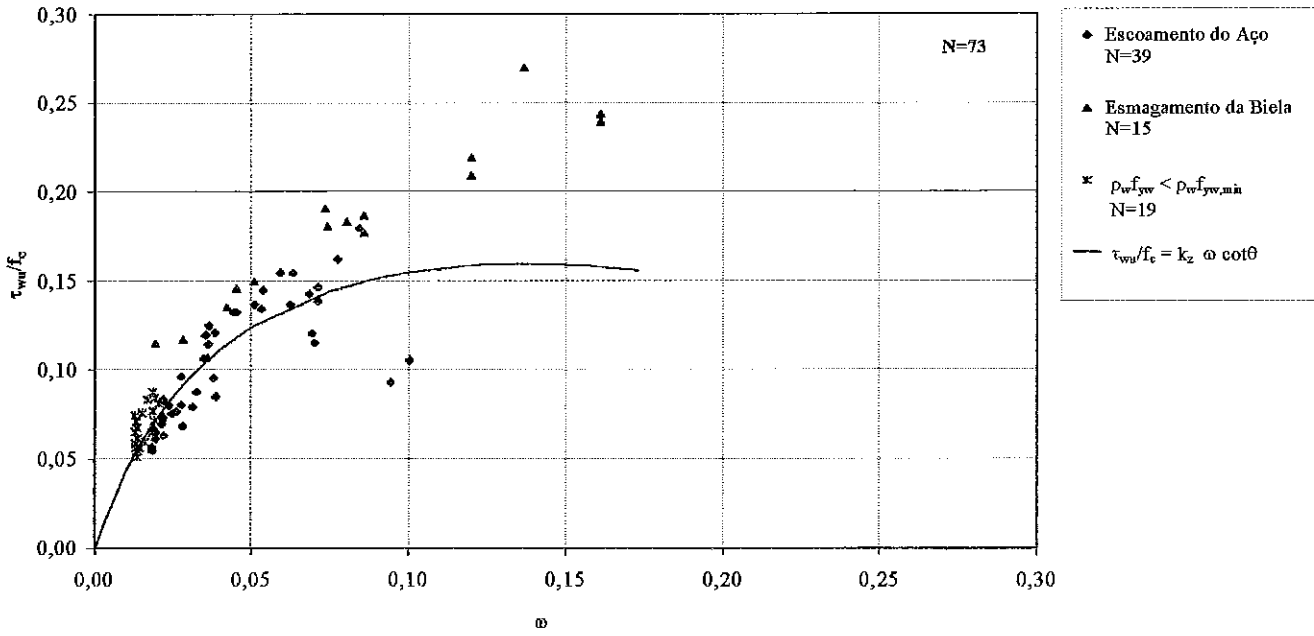


Figura 4.22—Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, min}$ e $f_c \leq 50$ MPa

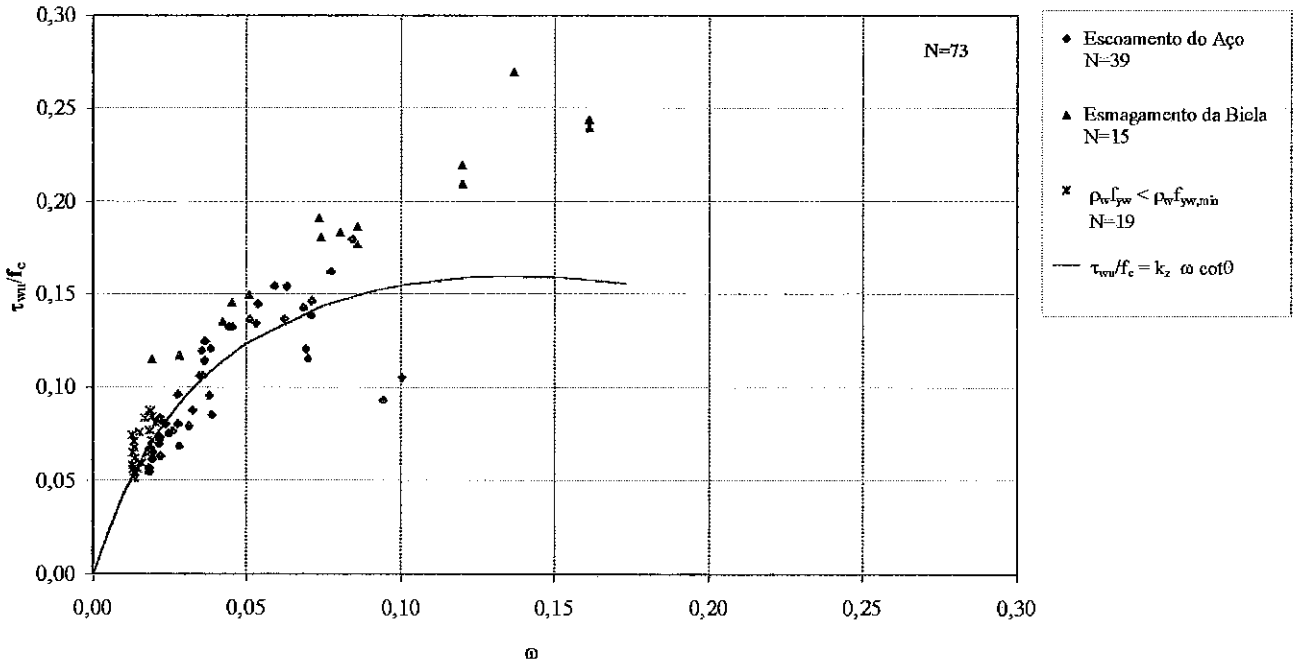


Figura 4.23 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, min}$ e $f_c \leq 50$ MPa

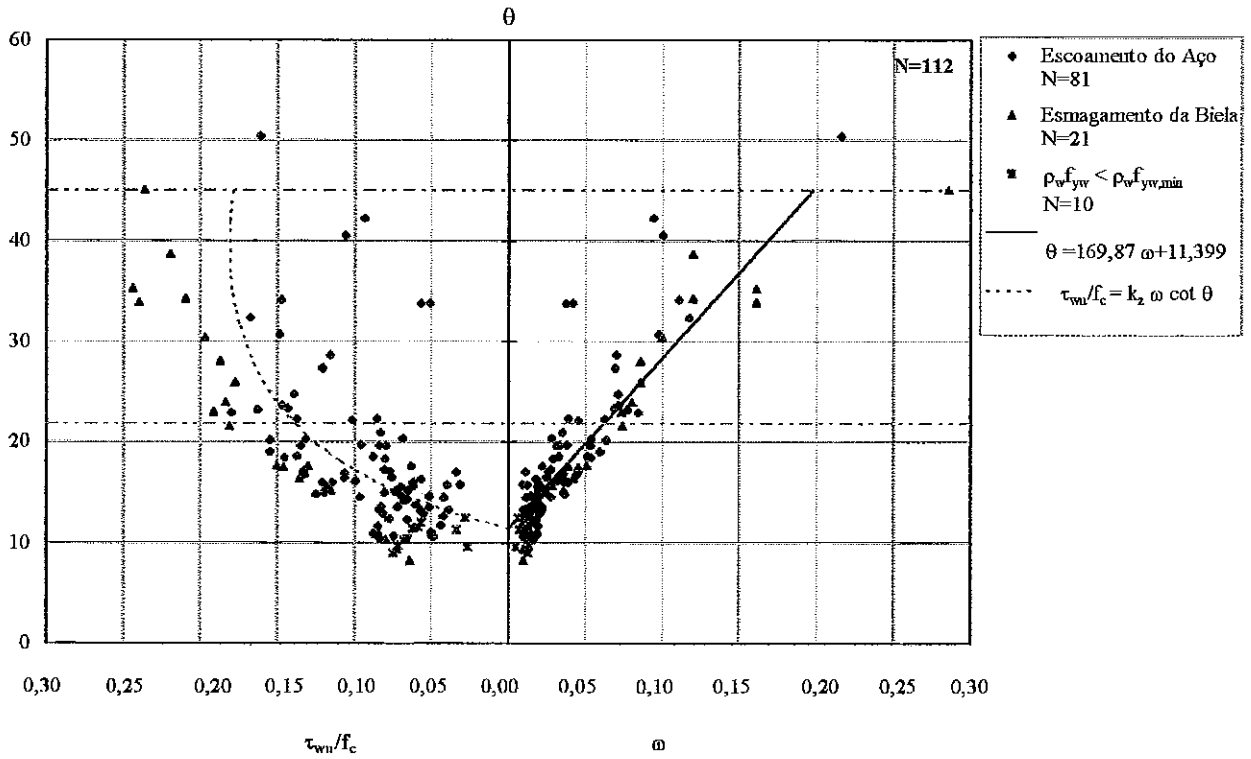


Figura 4.24 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 90$ MPa

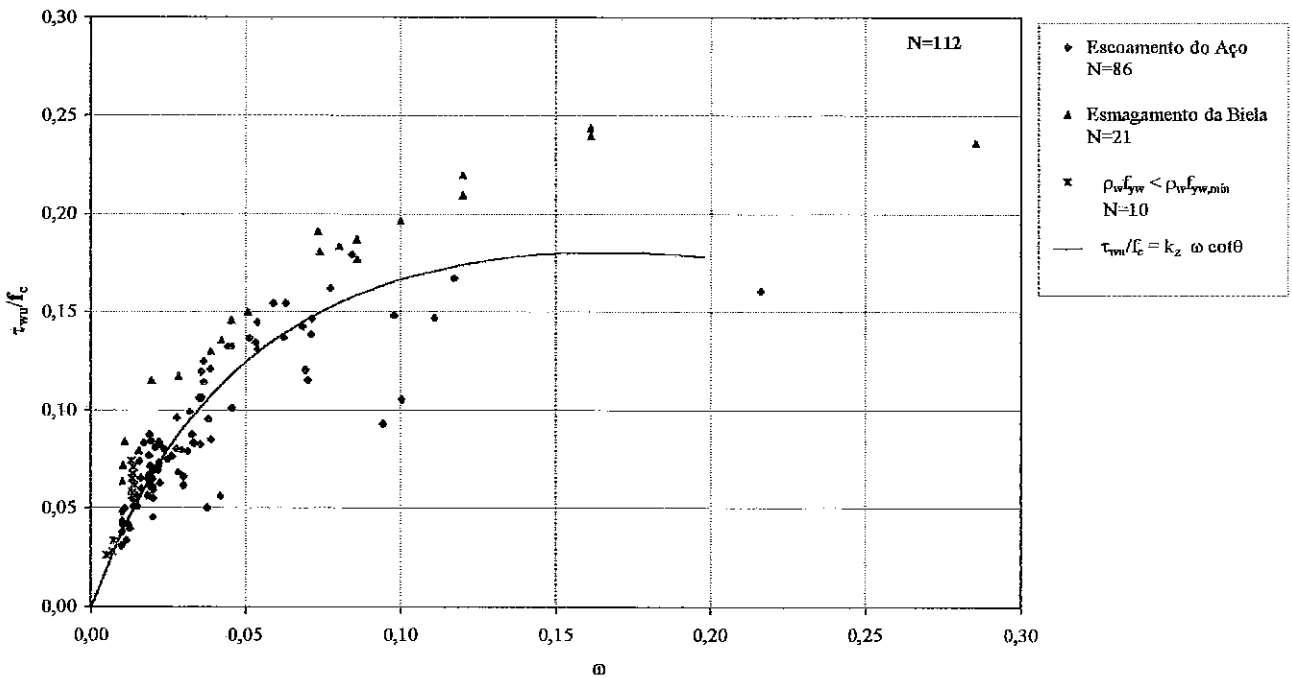


Figura 4.25 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01 considerando vigas com $\rho_w f_{yw} < \rho_w f_{yw, \min}$ e $f_c \leq 90$ MPa

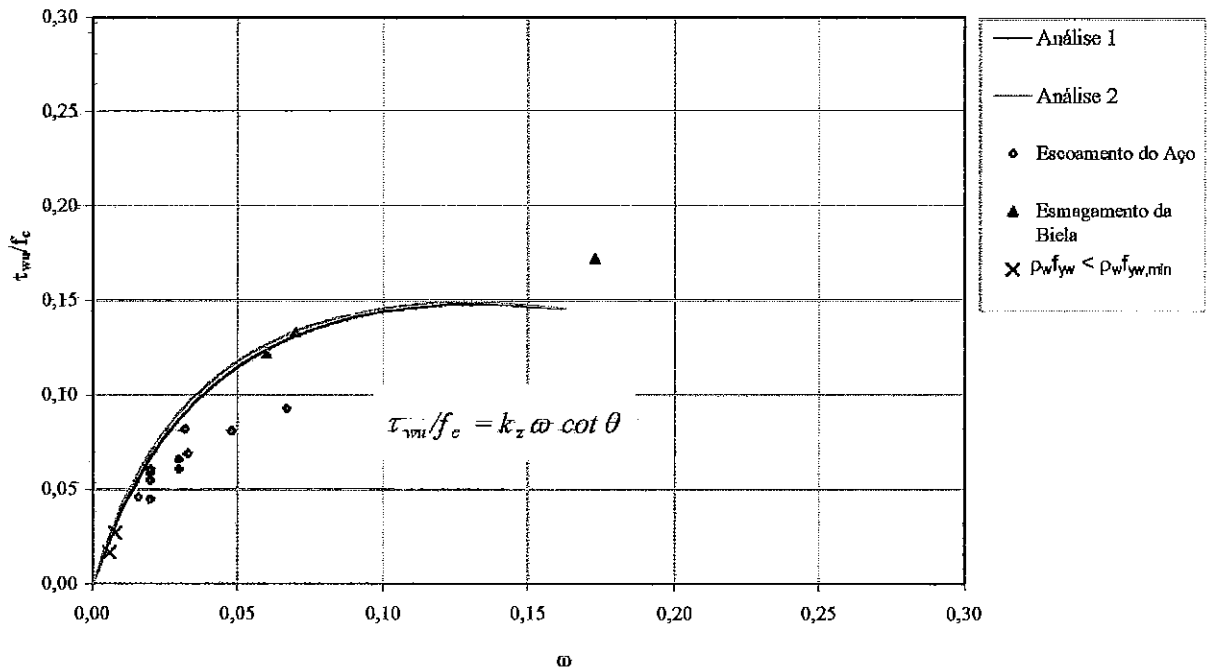


Figura 4.26 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a CEB-FIP MC90

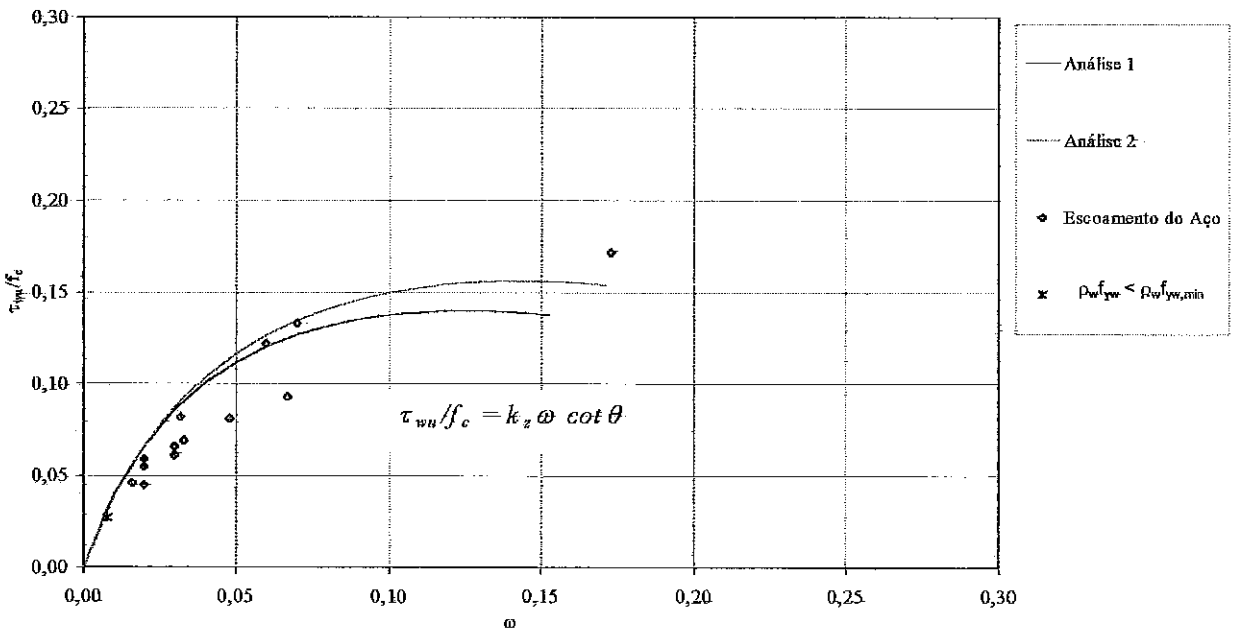


Figura 4.27 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a NS3473-92

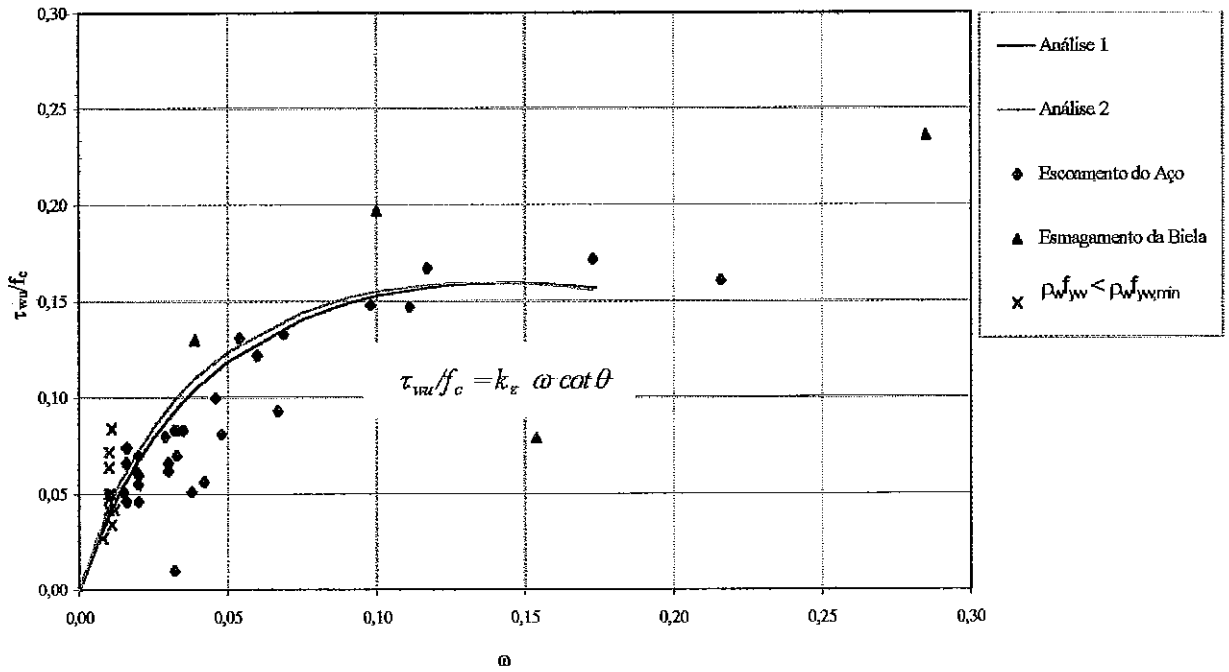


Figura 4.28 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-92

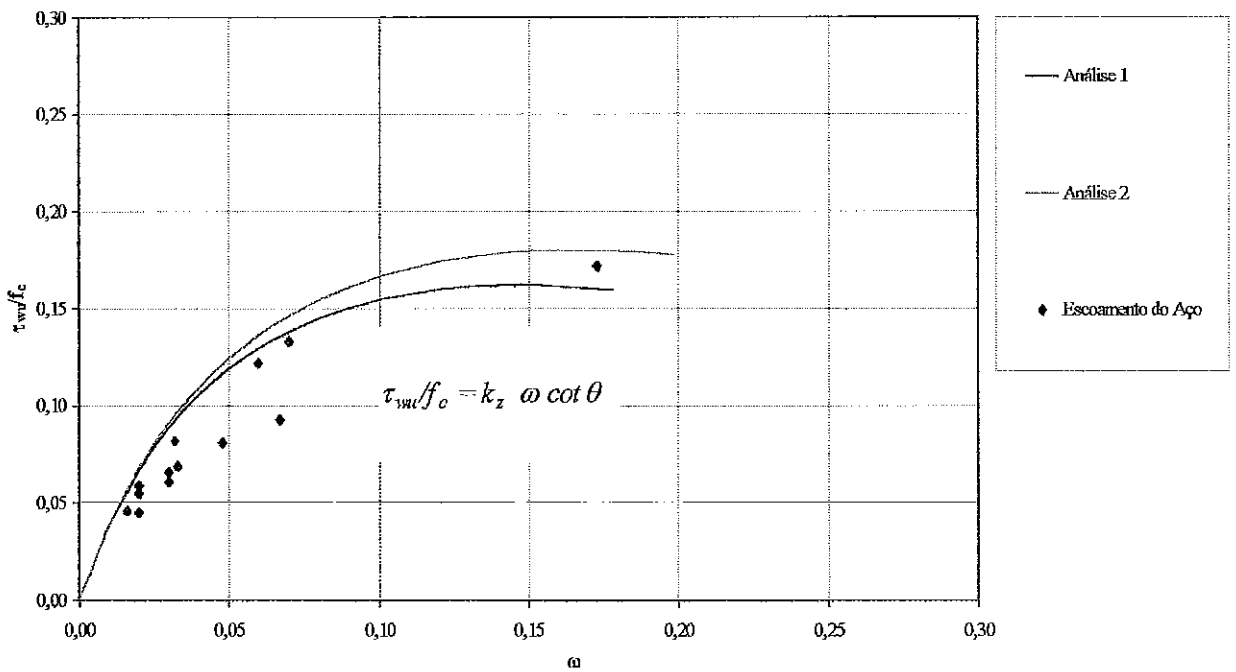


Figura 4.29 – Variação de τ_{wu}/f_c em função de ω segundo o modelo de treliça e a EC2-01

4.2.2 Análise a partir dos modelos que consideram $V_u = V_c + V_s$

As normas consideradas nesta análise são as ACI 318-99, BS8110-97, CSA-94, EC2-92, NS3473-92 e NBR 6118-01 (Modelo I).

4.2.2.1 – Análise I

As Figuras 4.30 a 4.35 mostram os valores de θ que, se usados no modelo de treliça, levam à mesma resistência ou armadura transversal obtida a partir do método aditivo considerado por cada norma.

Nelas verifica-se que o valor de θ tende a aumentar com o aumento de τ_{vm}/f_c , tendo isto ficado menos evidente para o caso da norma BS8110-97, quando maior dispersão de resultados foi constatada.

Os histogramas dos valores de θ obtidos para todas as normas são reunidos na Figura 4.36. Nela se constata que grande parte dos valores de θ se situa entre 15° e 40°.

A relação entre a tensão cisalhante nominal última verificada no ensaio e a tensão cisalhante nominal limite dada por cada norma, para as vigas cujo valor de θ foi 45°, é mostrada na Figura 4.37.

Nela observa-se que, a menos dos casos das normas NS3473-92 e da EC2-92 (um ponto apenas), há uma certa tendência de aumento desta relação com o aumento de f_c , e que os maiores valores da relação ocorrem para as normas ACI 318-99 e BS8110-97.

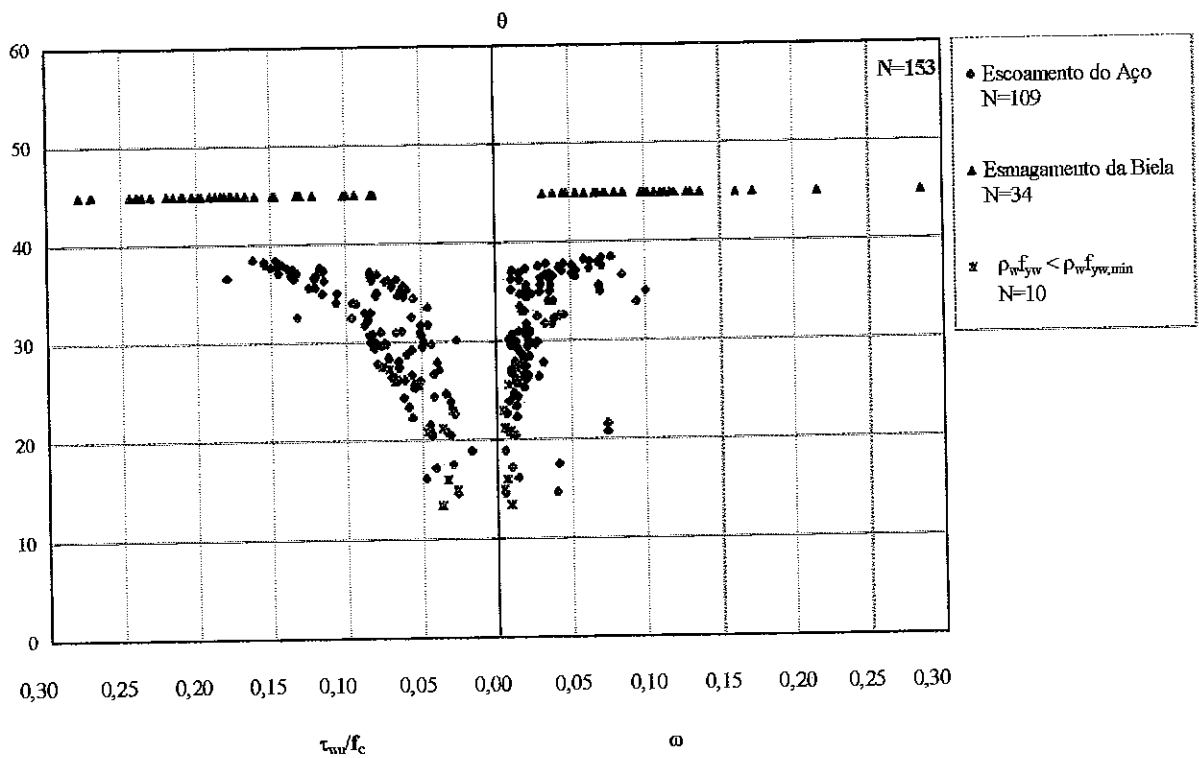


Figura 4.30 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de $V_u = V_s + V_c$ da ACI 318-99 (Análise I)

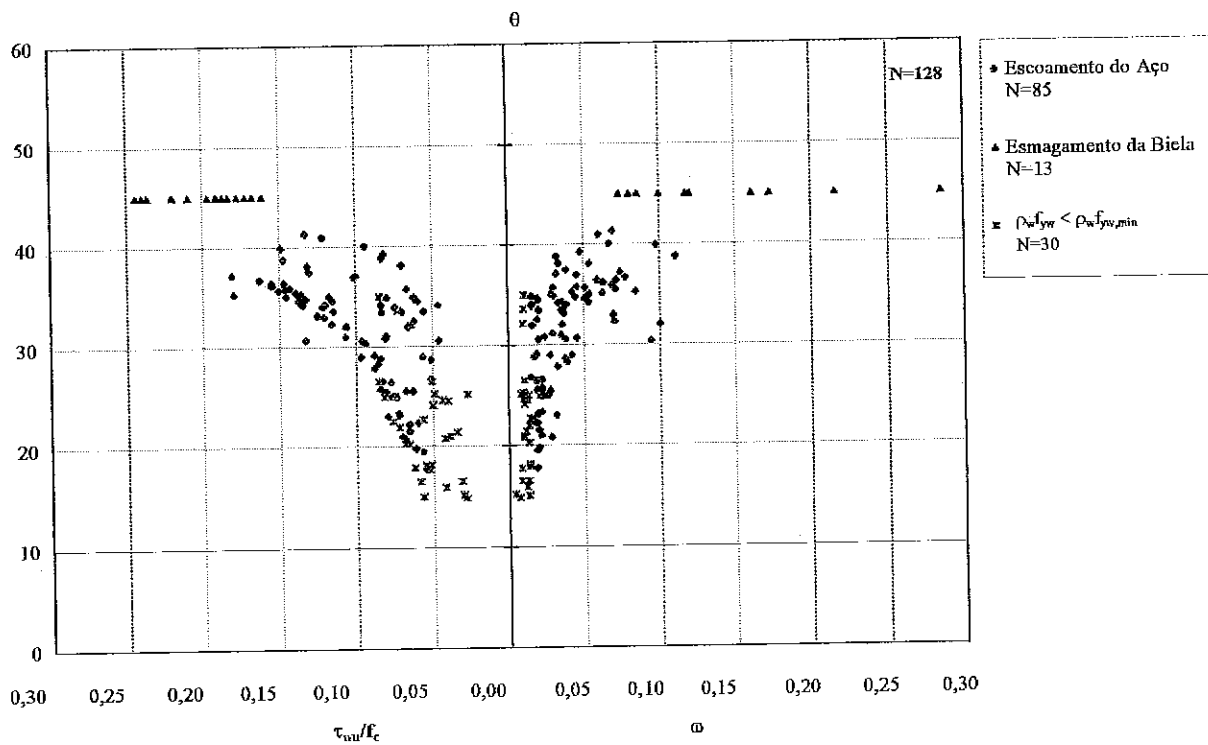


Figura 4.31 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de $V_u = V_s + V_c$ da NS3473-92 (Análise I)

θ

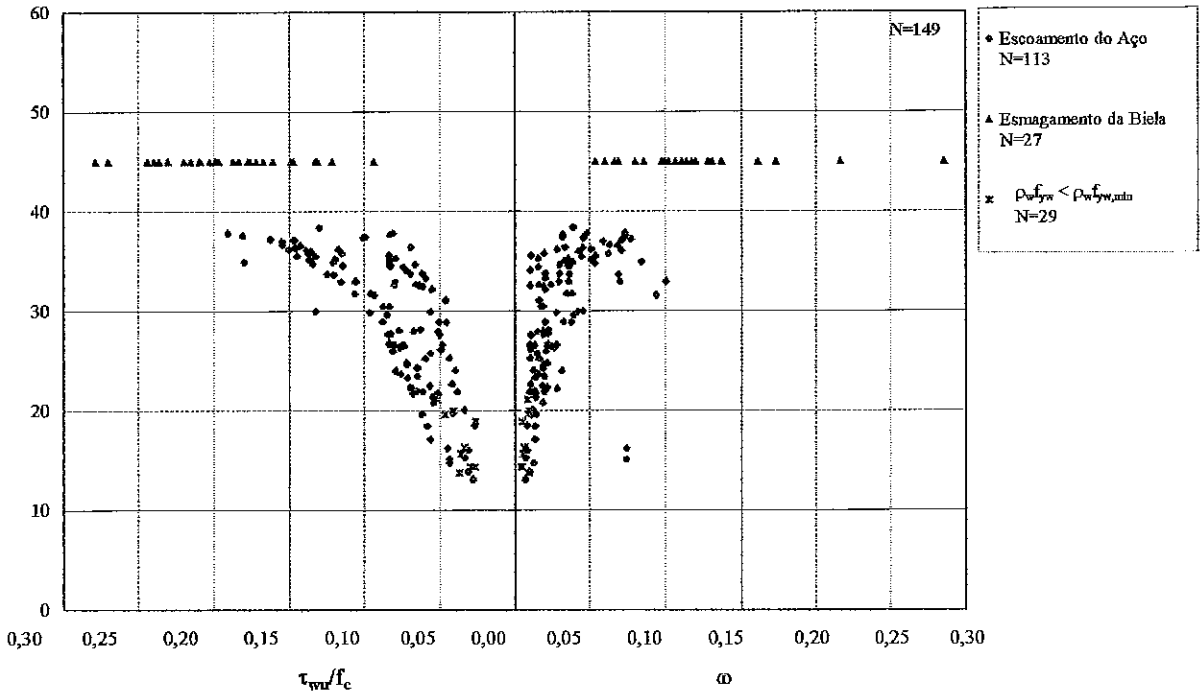


Figura 4.32 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de $V_u=V_s+V_c$ da CSA-94 (Análise I)

θ

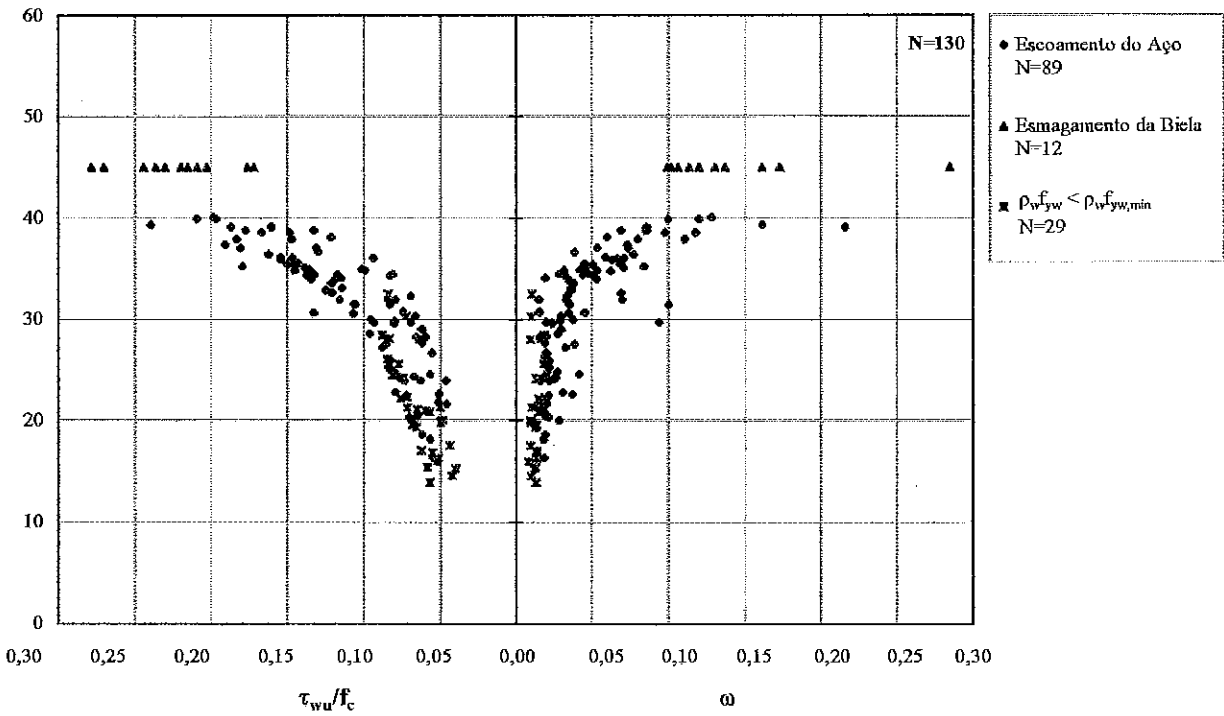


Figura 4.33 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de $V_u=V_s+V_c$ da NBR 6118-01-Modelo I (Análise I)

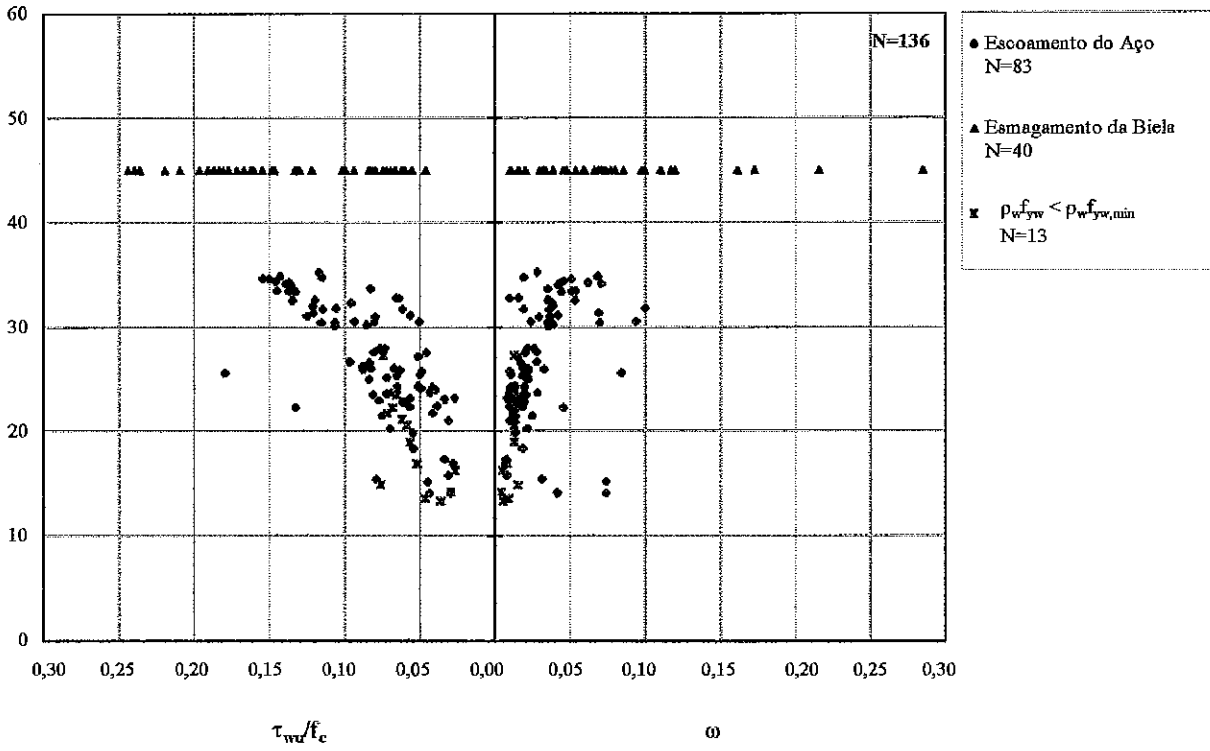
θ 

Figura 4.34 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de $V_u=V_s+V_c$ da BS8110-97 (Análise I)

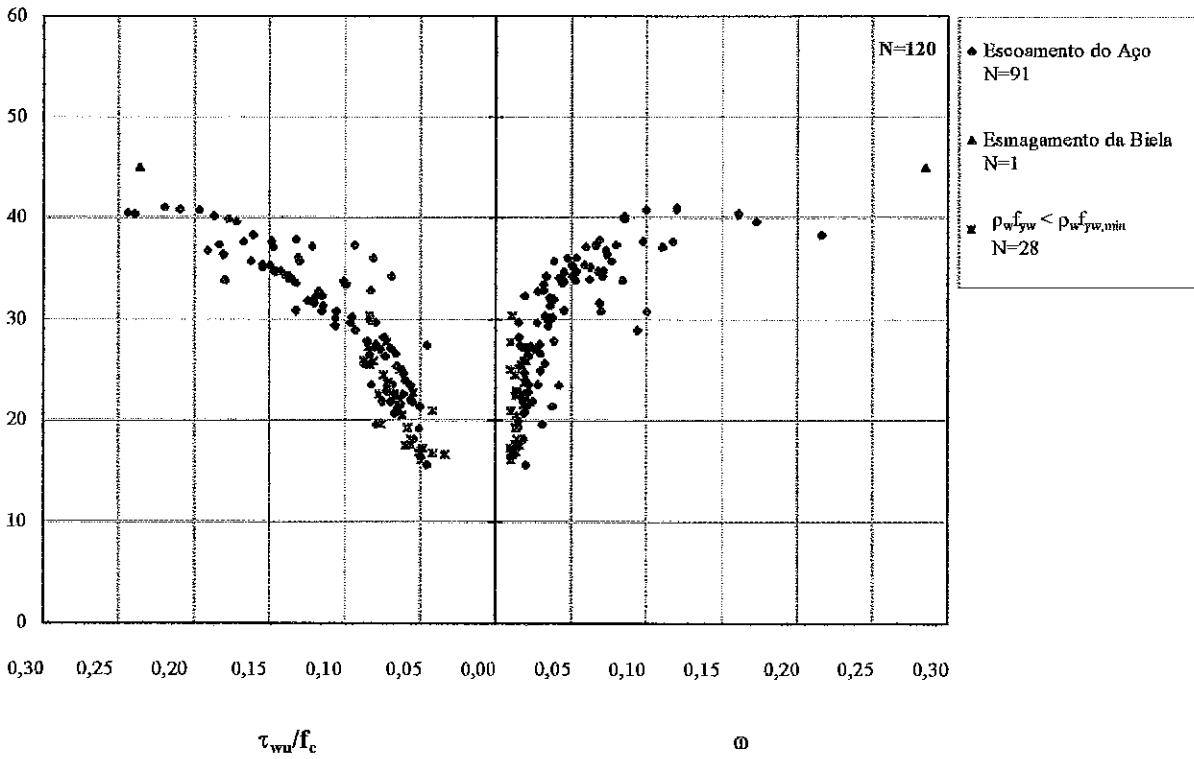
 θ 

Figura 4.35 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo de $V_u=V_s+V_c$ da EC2-92 (Análise I)

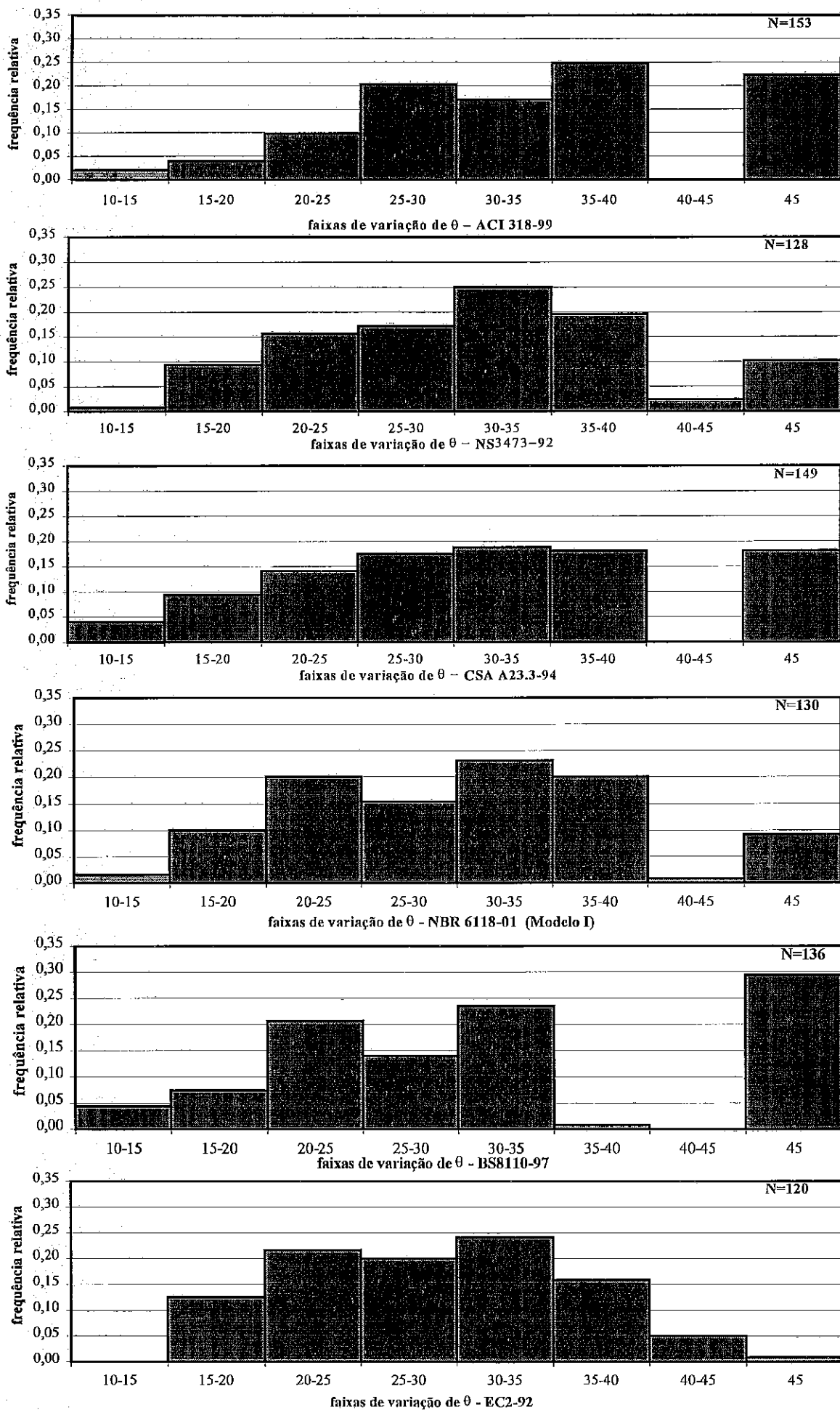


Figura 4.36 – Resumo da distribuição relativa de θ segundo o modelo $V_u=V_s+V_c$ (Análise I)

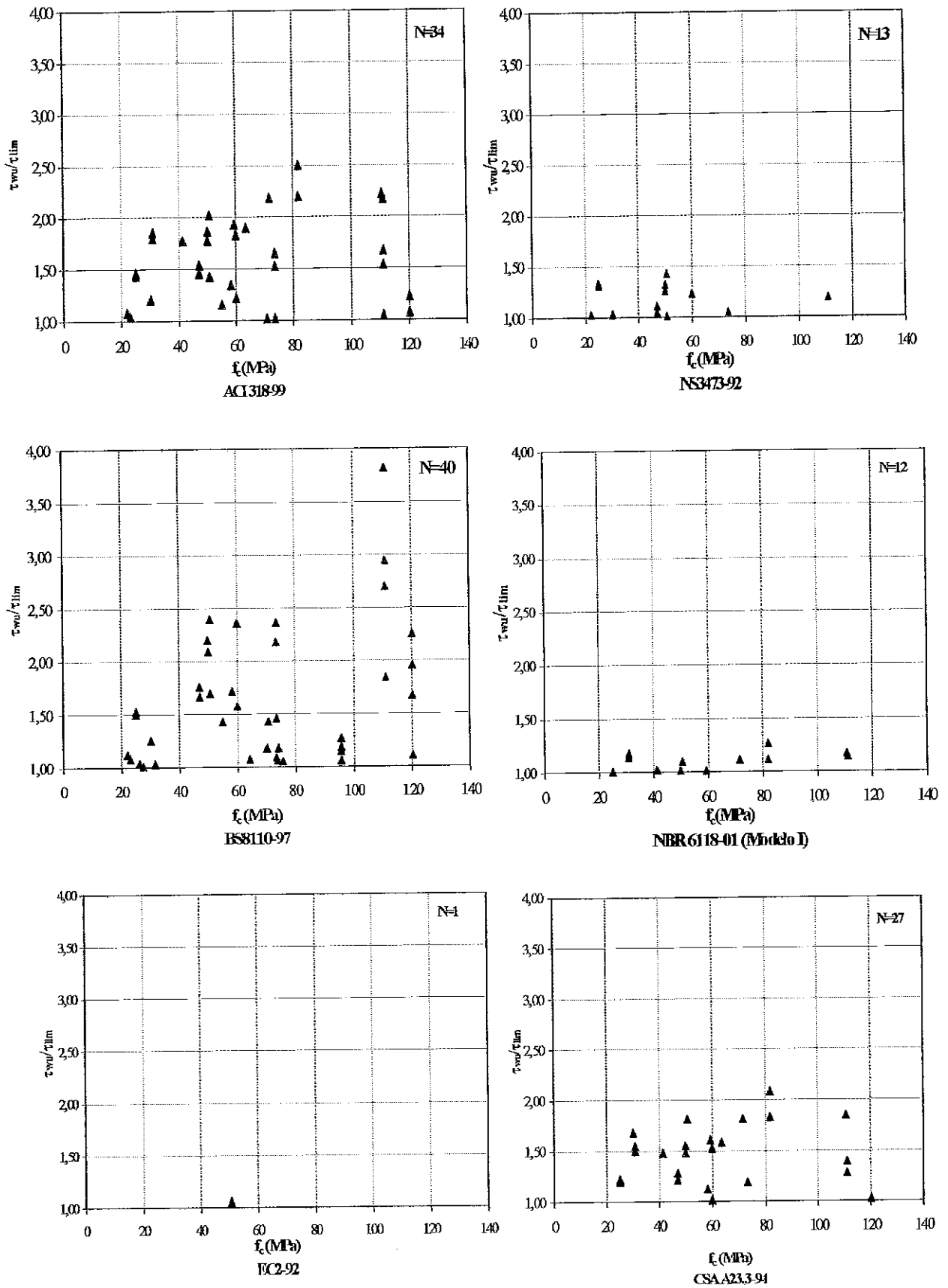


Figura 4.37 – Variação de τ_{wu}/τ_{lim} em função de f_c para $\theta = 45^\circ$ segundo o modelo $V_u = V_s + V_c$ (Análise I)

4.2.2.2 Análise II

Ao traçarem-se os gráficos que relacionam τ_{wu}/f_c , ω e θ , de acordo com o que é prescrito em cada uma das normas, não foi constatada tendência de haver uma relação entre essas grandezas, havendo grande dispersão de resultados.

Como exemplo, as *Figuras 4.38 e 4.39* apresentam os gráficos referentes às normas ACI 318-99 e NS3473-92. A norma ACI 318-99 inclui apenas o parâmetro f_c na sua expressão simplificada da parcela V_c , que não foi calibrada para concretos de maior resistência, enquanto essa parcela da norma NS3473-92 inclui mais parâmetros relevantes e foi calibrada considerando também concretos de maior resistência.

Essa dispersão de resultados, também constatada para as outras normas, pode ser creditada às incertezas da parcela V_c e do próprio método aditivo. Nas *Figuras 4.40 a 4.43* são apresentados gráficos de $\tau_{c,exp}/\tau_c$, em função das variáveis d , f_c , ρ e ω , respectivamente, segundo a ACI 318-99. O valor de $\tau_{c,exp}/f_c$ foi obtido considerando-se:

$$\tau_{c, exp} = \tau_{wu} - k_z \rho_w f_{yw}$$

sendo $k_z = z/d$

Nesses gráficos nota-se uma grande dispersão de resultados, o mesmo acontecendo nos das *Figuras 4.44 a 4.47*, para os quais o valor de τ_c foi calculado segundo a norma NS3473-92.

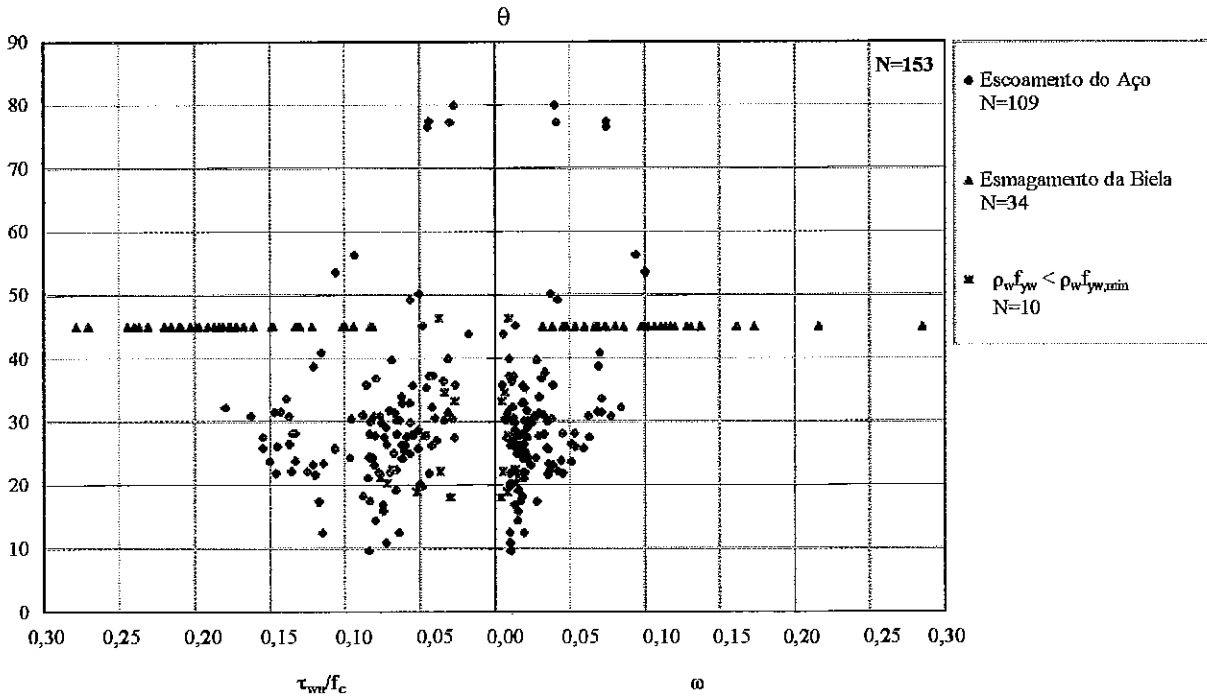


Figura 4.38 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω segundo o modelo $V_u=V_s+V_c$ da ACI 318-99 (Análise II)

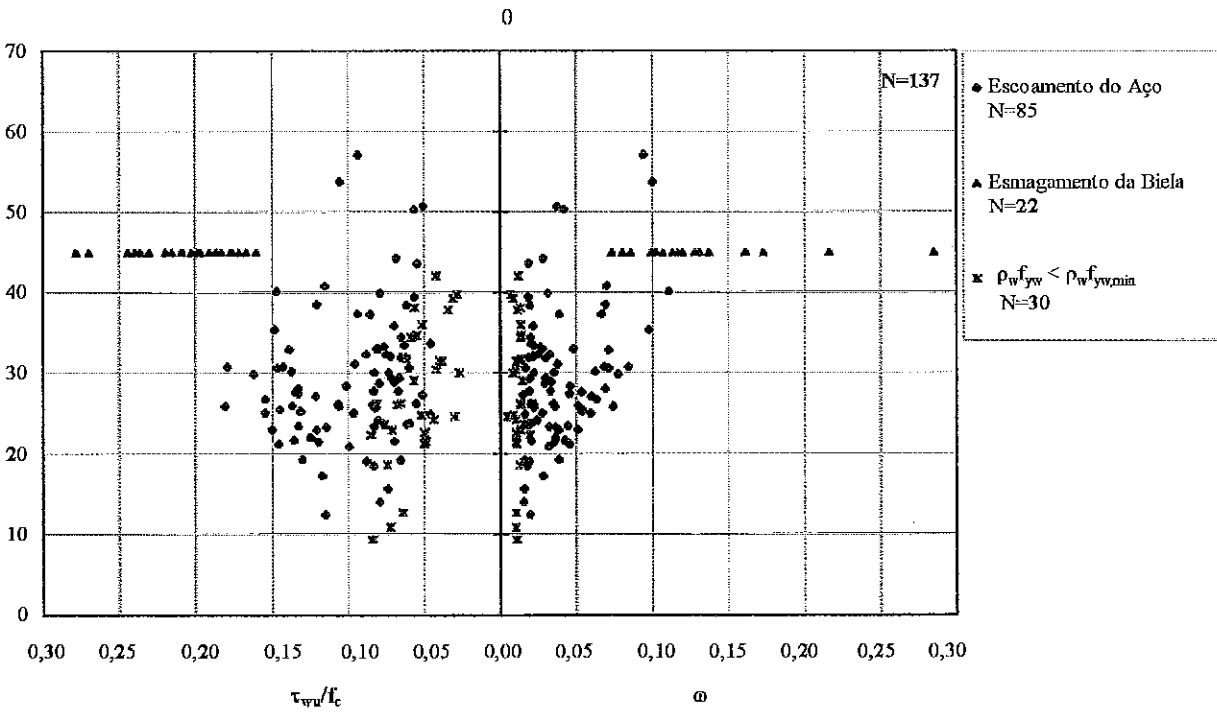


Figura 4.39 – Variação de θ em função de τ_{wu}/f_c e ω , segundo o modelo $V_u=V_s+V_c$ da NS3473-92 (Análise II)

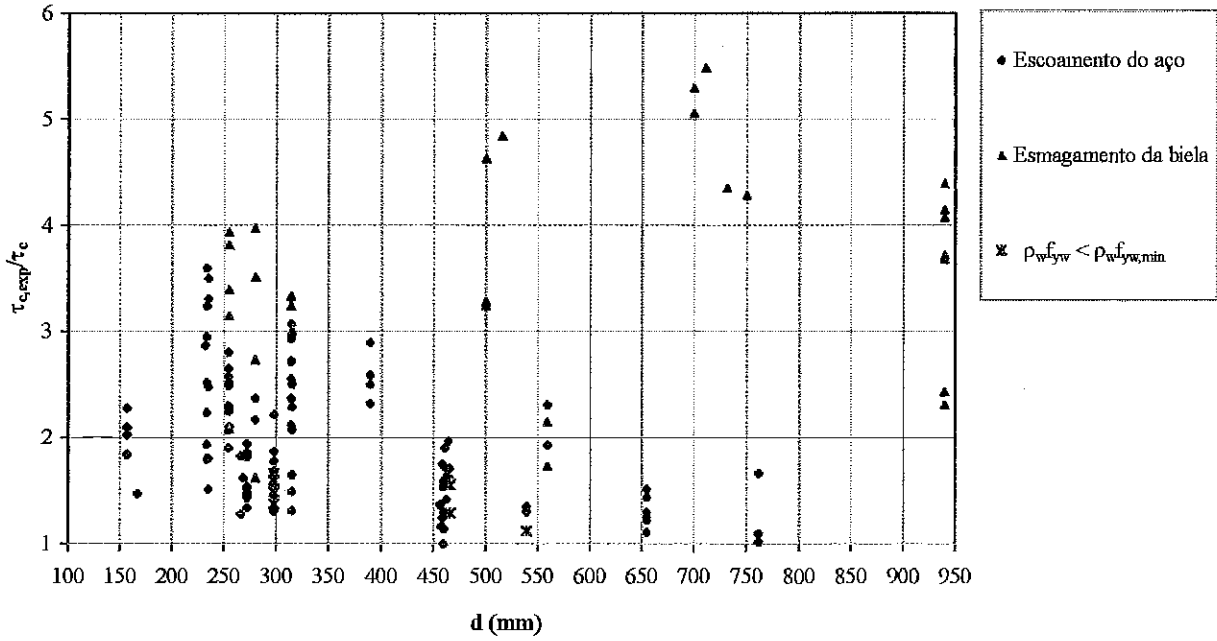


Figura 4.40 – Variação $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de d segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI318-99

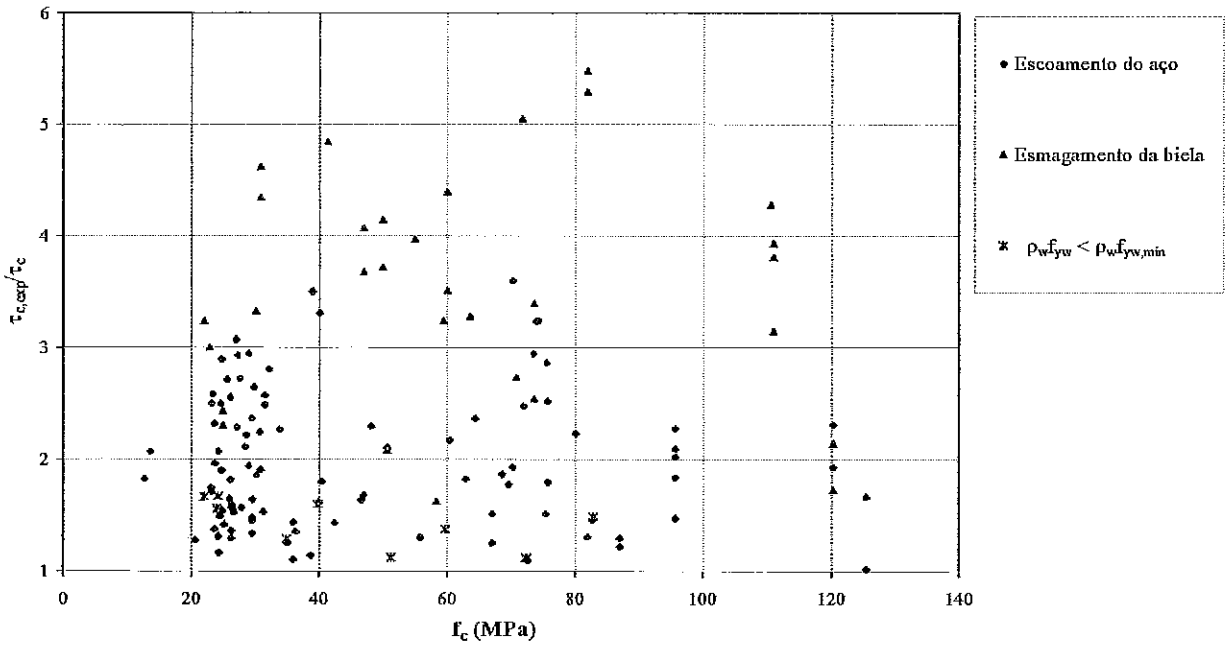


Figura 4.41 – Variação $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de f_c segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI318-99

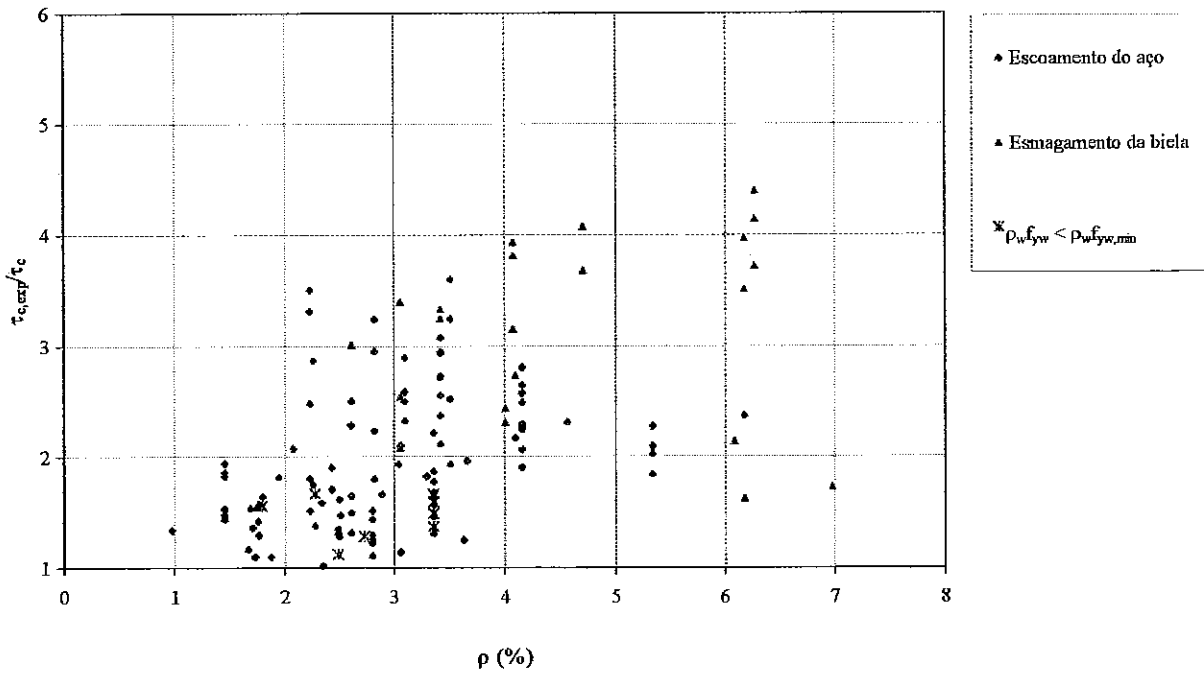


Figura 4.42 – Variação $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de ρ segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI318-99

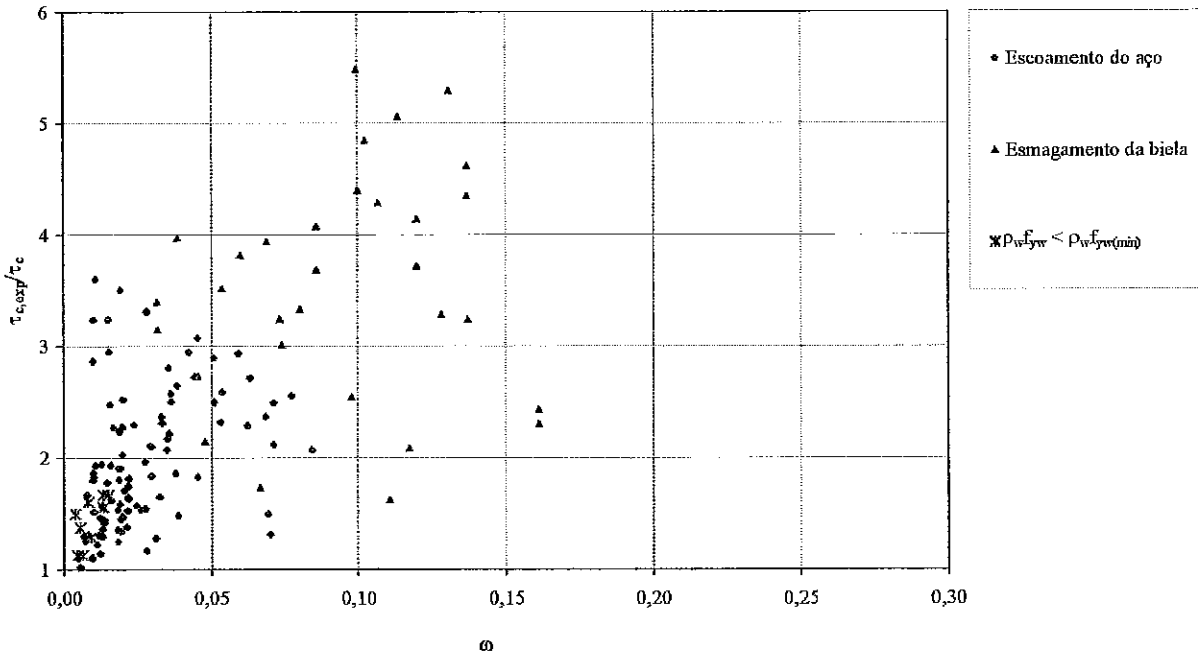


Figura 4.43 – Variação $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de ω segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da ACI318-99

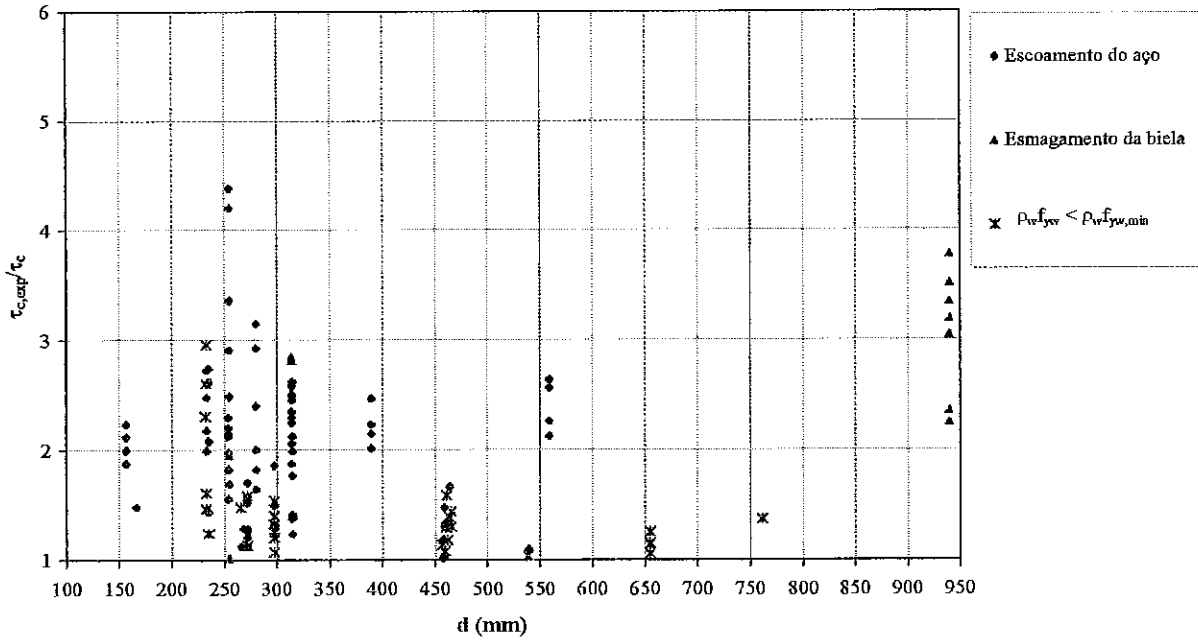


Figura 4.44 – Variação $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de d segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92

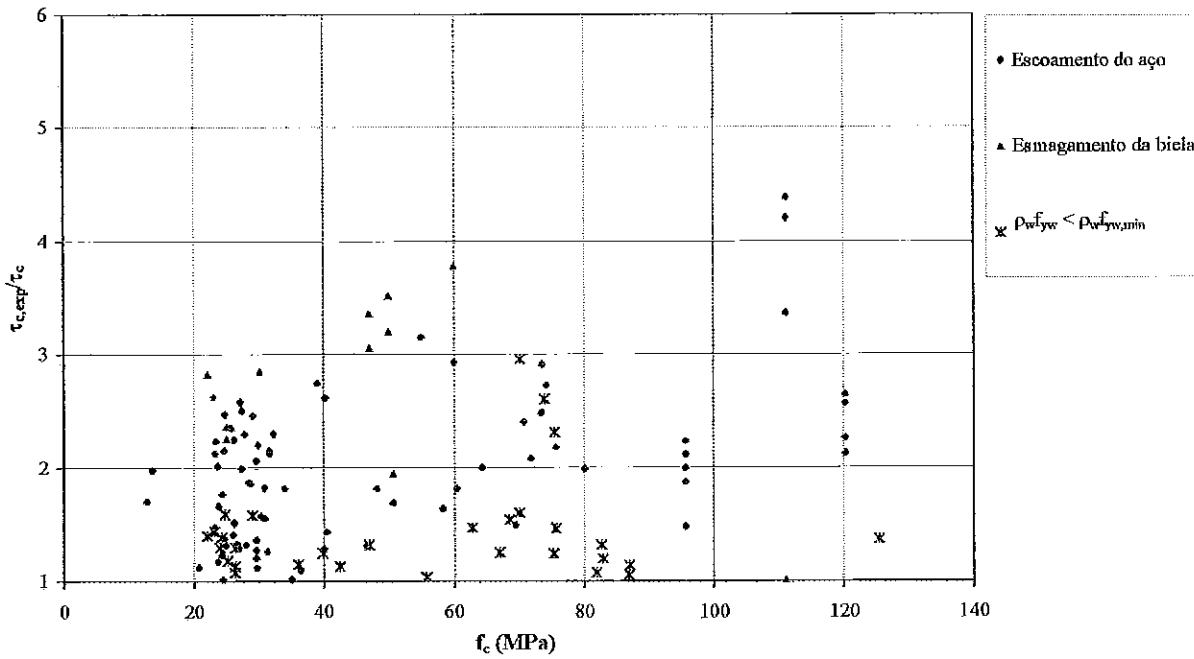


Figura 4.45 – Variação $\tau_{c,exp}/\tau_c$ em função de f_c segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92

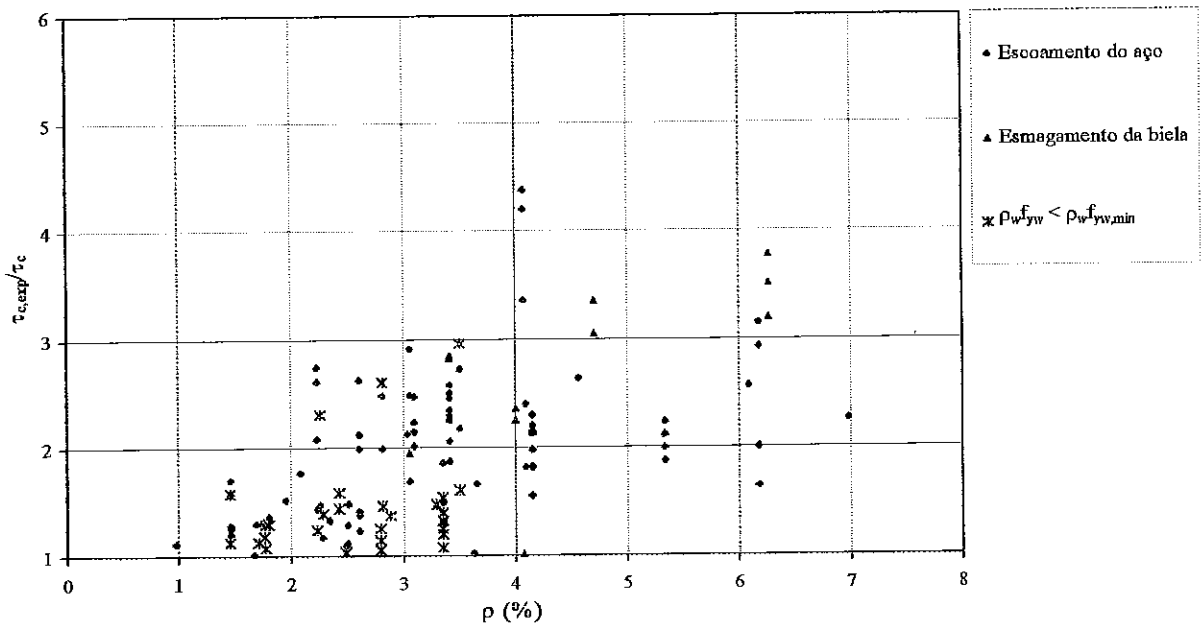


Figura 4.46 – Variação $\tau_{c, \text{exp}}/\tau_c$ em função de ρ segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92

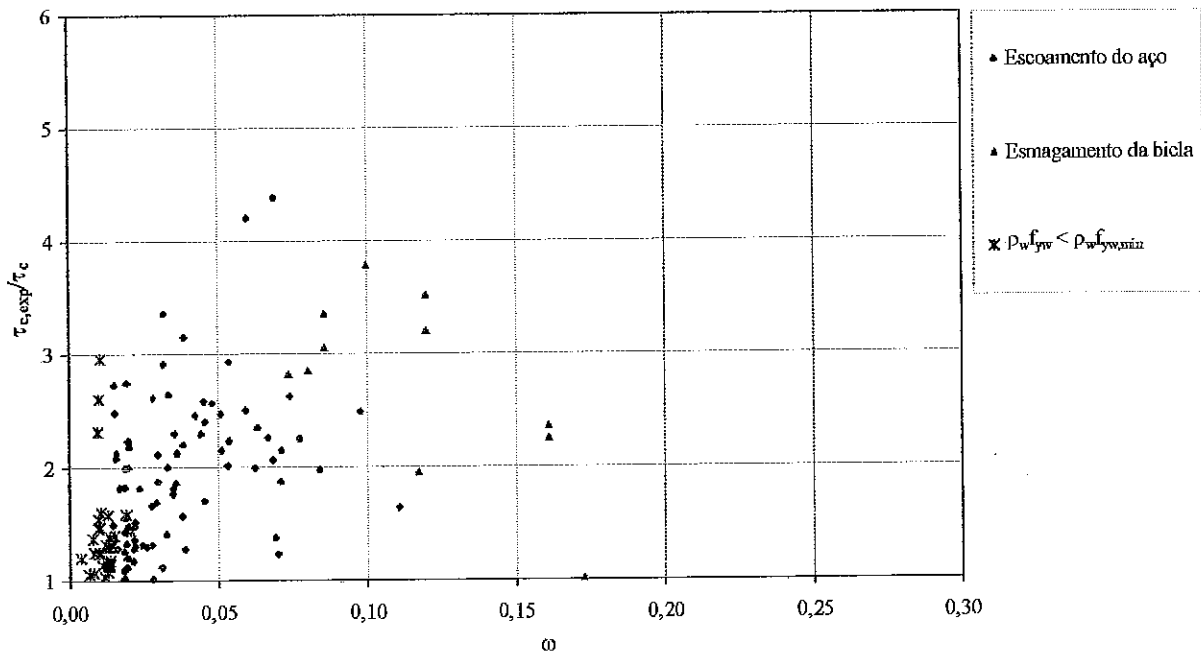


Figura 4.47 – Variação $\tau_{c, \text{exp}}/\tau_c$ em função de ω segundo o modelo $V_u=V_c+V_s$ da NS3473-92

4.3 Considerações sobre os métodos de cálculo da NBR 6118-01

Na *Figura 4.48* compara-se a relação entre τ_{wu}/f_c e θ segundo o modelo de treliça com θ variável e as prescrições do CEB-FIP MC90 com a relação entre τ_{wu}/f_c e θ obtida da análise I do Método de Cálculo I da NBR 6118-01. Estas duas normas adotam os mesmos valores de $\rho_{v,min}$ e de f_{cd2} , mas tipos de métodos diferentes baseados no modelo de treliça.

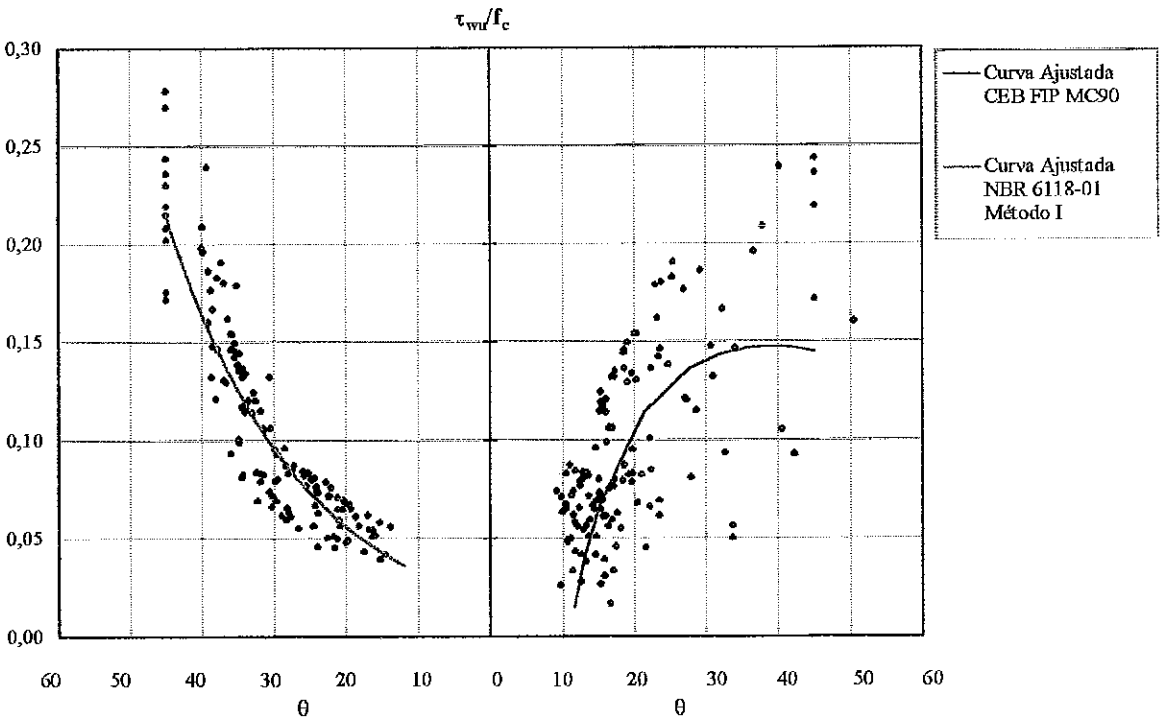


Figura 4.48– Comparação entre as relações τ_{wu}/f_c e θ correspondentes as normas CEB-FIP MC90 ($V_u = V_s$) e NBR 6118-01 ($V_u = V_s + V_c$)

Vê-se nessa figura que, para os mesmos valores de τ_{wu}/f_c , os valores de θ relativos à NBR 6118-01 são maiores que os da CEB FIP MC90 que adota o modelo de treliça sem parcela corretiva.

Os valores de θ da NBR 6118-01 mostrados na *Figura 4.48* são os que esta norma adota na definição da decalagem longitudinal do diagrama M/z para ter-se a força na armadura longitudinal tracionada, como é mostrado a seguir.

Para o caso de inclinação α da armadura transversal com relação ao eixo da viga e Método de Cálculo I, na NBR 6118-01 tem-se:

$$a_1 = d \cdot \{ [V / (2 \cdot (V - V_c))] \cdot (1 + \cot\alpha) - \cot\alpha \} \quad (4.19)$$

A partir da expressão da força no banzo da treliça dada por

$$T = (|M| / z) + [|V| \cdot (\cot\theta - \cot\alpha)] / 2 \quad (4.20)$$

e fazendo-se $z \approx d$, chega-se a

$$a_1 = (d/2) \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) \quad (4.21)$$

Substituindo nesta expressão $\cot\theta$ pela cotangente do ângulo que, no modelo de treliça ($V_u = V_s$) leva à mesma armadura que quando se usa o método $V_u = V_s + V_c$ e $\theta = 45^\circ$, ou seja,

$$\cot\theta = \{ [V / (V - V_c)] \cdot (1 + \cot\alpha) \} - \cot\alpha \quad (4.22)$$

obtem-se a expressão (4.19). Para o caso particular de $\alpha = 90^\circ$, chega-se à expressão (4.11) adotada na análise I deste trabalho.

Pode-se constatar, assim, que há inconsistência no procedimento adotado na NBR 6118-01. A força a ser resistida pela armadura longitudinal de tração é obtida a partir do ângulo definido em (4.22), enquanto a tensão na diagonal comprimida é calculada com $\theta = 45^\circ$. Além disto, na expressão (4.19) ou (4.22) tem-se que estabelecer limite para que não se tenha ângulo θ muito pequeno.

Ao usar-se o modelo de treliça com θ variável, entretanto, o dimensionamento, além de racional é consistente.

Nas Figuras 4.49 e 4.50 é feita comparação das tensões cisalhantes nominais últimas experimentais (τ_{wu}) de vigas sem estribos com as calculadas (τ_u) usando o Método de Cálculo I.

Nessa comparação foram incluídas vigas ensaiadas por vários autores cujos dados foram reunidos por Cardoso (1998) e König e Fischer (1995). A Tabela 4.2 resume a variação dos principais parâmetros das vigas analisadas.

Tabela 4.2 – Faixa de variação dos principais parâmetros das vigas em estudo

Parâmetro	Valor mínimo	Valor máximo
f_c (MPa)	21	111
a/d	2	8
d (mm)	21	1200
b_w (mm)	38	1000
ρ (%)	0,42	6,64

A *Figura 4.49* inclui vigas com f_c variando de 21 MPa a 111 MPa e a *Figura 4.50* apenas vigas com $f_c \leq 50$ MPa. Na *Tabela 4.3* são apresentados, para a relação τ_{wu}/τ_u , os valores médios, de desvio padrão (σ) e de coeficientes de variação (δ). Pode-se verificar nessas figuras e na tabela que, para os dois grupos de vigas consideradas, há grande dispersão de resultados, mas esta diminui significativamente quando se consideraram apenas vigas com $f_c \leq 50$ MPa.

Nas *Figuras 4.51 e 4.52* é feito o mesmo tipo de comparação, mas para vigas com estribos (dados do *item 2.3*). Nelas e na *Tabela 4.3* constata-se que, para vigas com estribos também há considerável dispersão de resultados, mas, para elas, a NBR 6118-01 ($f_c \leq 50$ MPa) é mais conservadora que para vigas sem estribos.

Tabela 4.3 – Valores médios de τ_{wu}/τ_u , desvio padrão e coeficiente de variação

	Vigas sem estribos		Vigas com estribos	
	21 MPa $\leq f_c \leq$ 111 MPa	$f_c \leq 50$ MPa	12 MPa $\leq f_c \leq$ 126 MPa	$f_c \leq 50$ MPa
$(\tau_{wu}/\tau_u)_m$	1,09	1,03	1,21	1,31
σ	0,51	0,30	0,38	0,30
δ	0,46	0,29	0,32	0,23

O Método de Cálculo II da NBR 6118-01 também não oferece vantagens com relação ao método que considera o modelo de treliça com θ variável sem parcela corretiva. Se nele considerar-se $\theta = 45^\circ$, chega-se a maior quantidade de armadura transversal que pelo Método de Cálculo I.

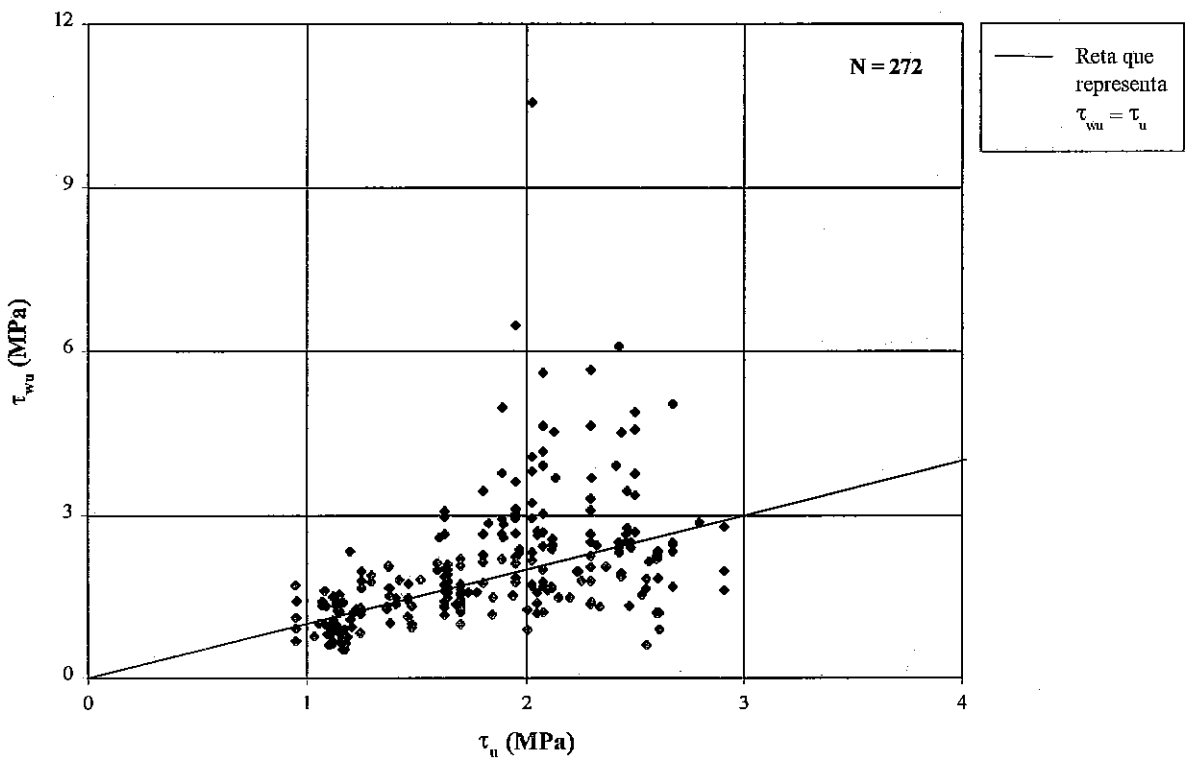


Figura 4.49 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas sem estribos e qualquer valor de f_c

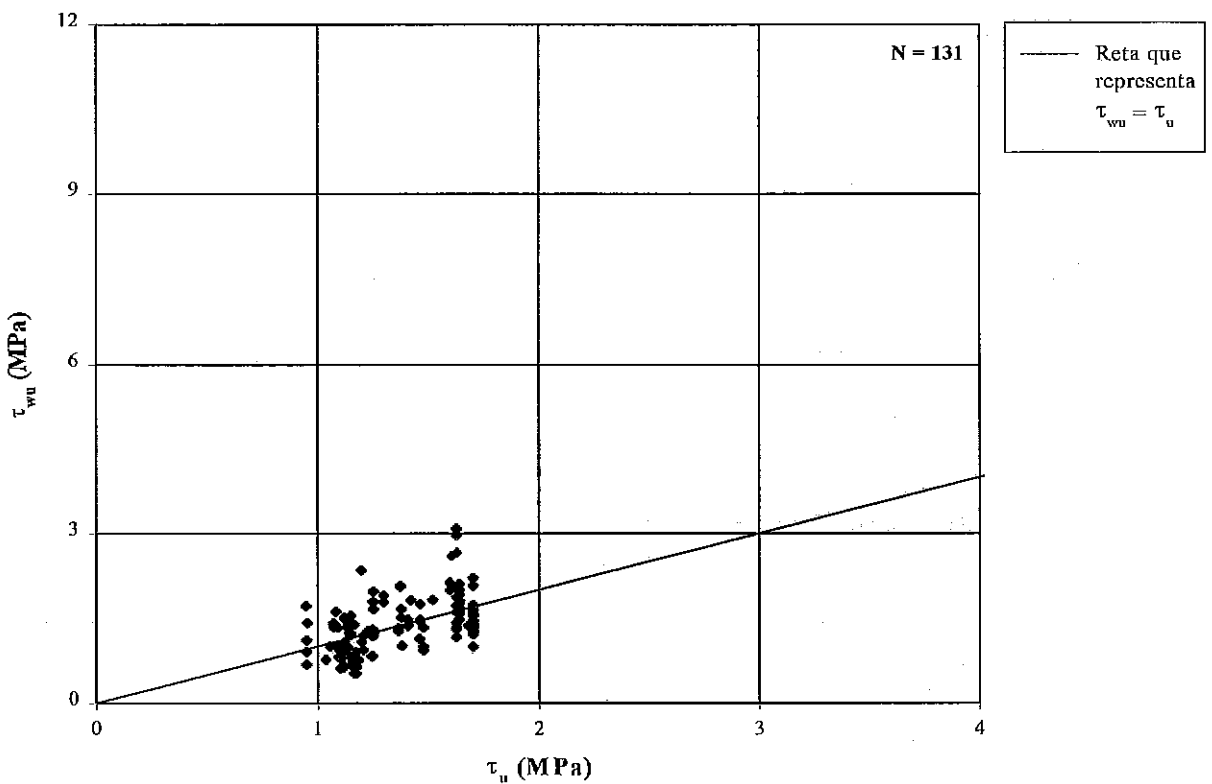


Figura 4.50 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas sem estribos e $f_c \leq 50$ MPa

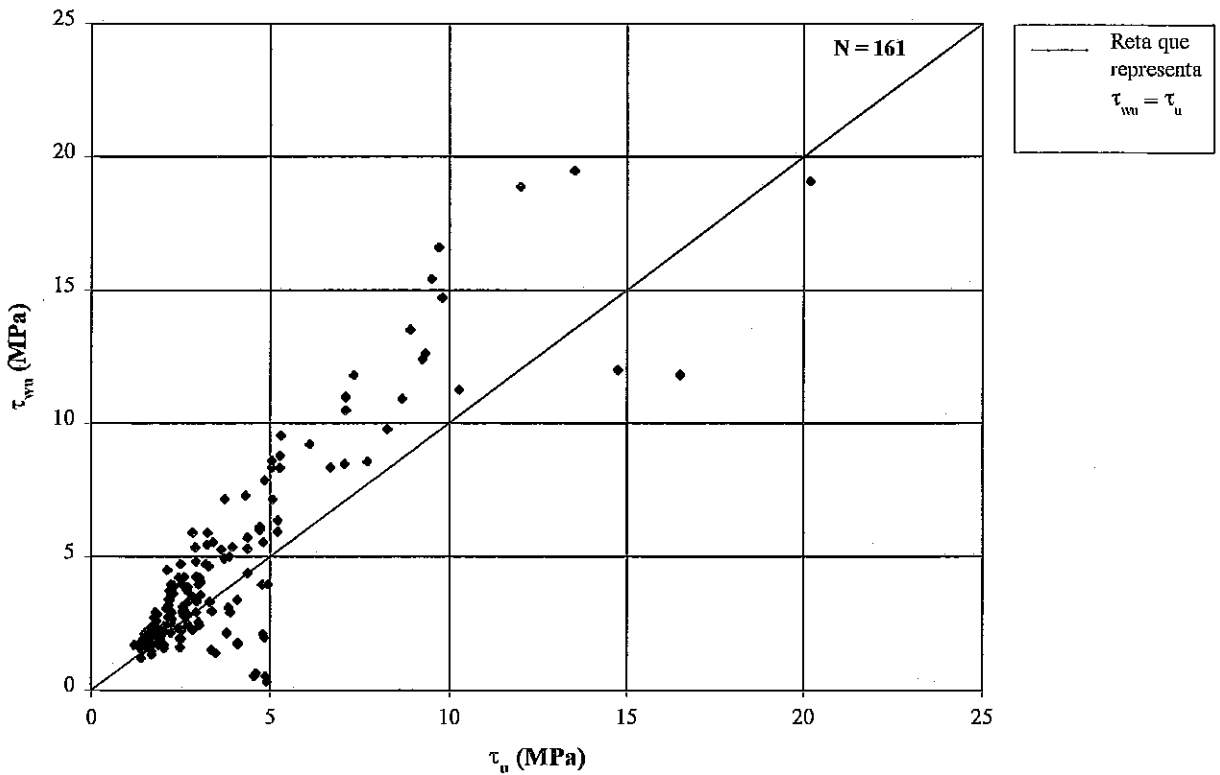


Figura 4.51 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas com estribos e qualquer valor de f_c

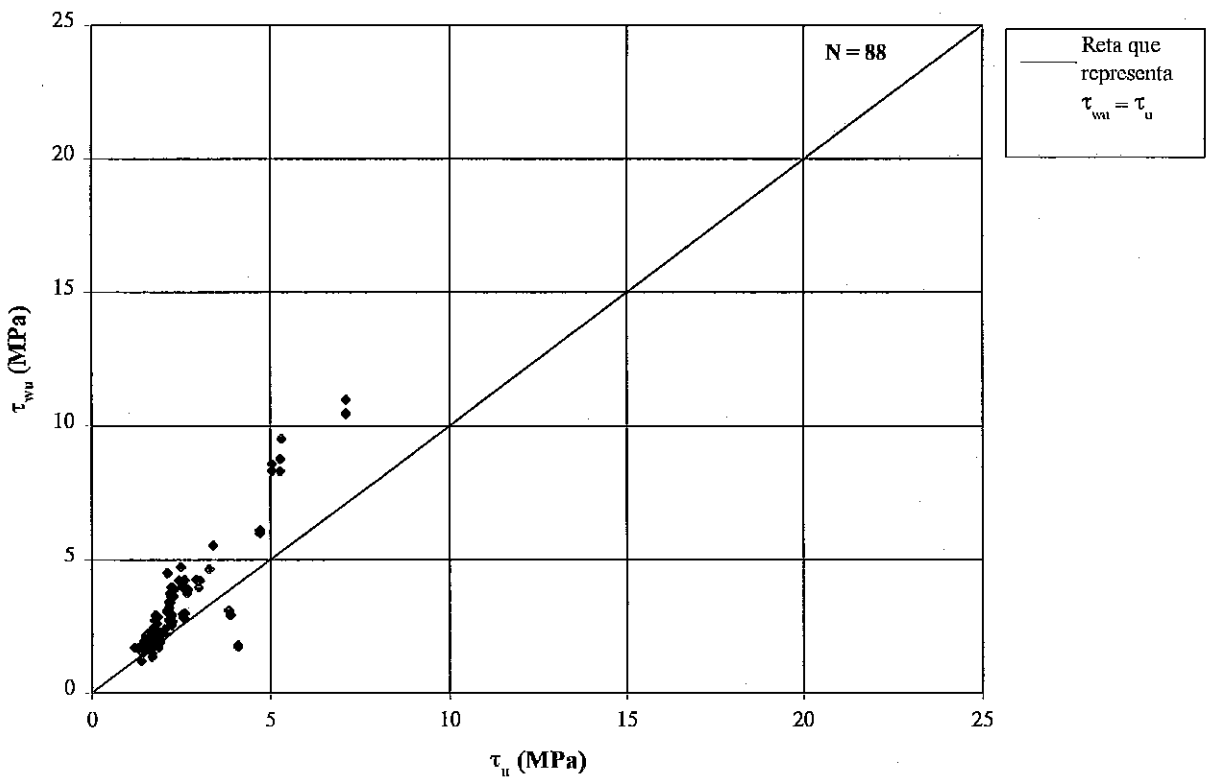


Figura 4.52 – Comparação entre os valores de tensões cisalhantes últimas experimentais (τ_{wu}) e calculadas (τ_u) segundo a NBR6118-01 (Método de Cálculo I), considerando vigas com estribos e $f_c \leq 50$ MPa

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES

O modelo da treliça com ângulo das diagonais comprimidas variável parece ser a melhor alternativa de modificação da treliça clássica de Mörseh para mais adequadamente representar o comportamento de vigas com armadura transversal submetidas a flexão simples. Este modelo simples tem a vantagem de permitir que se considere a influência de diversas variáveis na resistência e no dimensionamento de vigas, sem a necessidade de se estabelecerem “regras práticas” para cada caso. Exemplos dessas variáveis são: carregamento concentrado ou distribuído em diferentes posições ao longo da altura da viga, altura variável, apoios indiretos, armadura transversal vertical ou inclinada, furos, etc.

Ele permite ainda que se faça o dimensionamento a flexão e ao cortante de maneira racional e integrada ou mesmo o dimensionamento de vigas submetidas também a força normal e momento de torção.

Ao se adotar esse modelo, além de se limitar as tensões nos elementos comprimidos e tracionados, deve-se selecionar convenientemente o ângulo das diagonais comprimidas do mesmo. A tensão limite para os elementos tracionados, de aço, é a de escoamento. Para tensão limite dos banzos e das bielas têm sido adotados valores que diminuem com o aumento de f_c , valores estes que têm se mostrado adequado, pelo menos para os concretos de resistência mais usual.

O ângulo θ pode ser escolhido a partir de diferentes critérios:

- Aquele que leva ao menor consumo total de armaduras longitudinal e transversal.
- Dependendo do tipo de viga, aquele que leva à menor taxa de armadura longitudinal necessária nos apoios ou à menor taxa de armadura transversal, e/ou aquele que leva a evitar-se ruptura brusca devido à ruína das diagonais comprimidas.
- Aquele que leva a ter-se o quadro de fissuração desejado.

Pode-se também escolher esse ângulo a partir das correlações entre τ_{wu}/f_c , ω e θ verificadas neste trabalho, sendo $\cot\theta$ entre cerca de 1 e 3.

Assim, uma expressão adequadamente calibrada para avaliar a resistência de vigas sem armadura transversal é desejável para que se possa estabelecer a força cortante a partir da qual se necessita usar armadura transversal e também a armadura mínima. Para vigas onde a armadura transversal se faz necessária, o modelo de treliça com o valor de θ escolhido de acordo com a situação específica é a alternativa mais interessante a se usar no dimensionamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AHMAD, S.H., PARK, F., EL-DASH, K., "Web Reinforcement Effects on Shear Capacity of Reinforced High-Strength Concrete Beams", *Magazine of Concrete Research*, v.47, n.172, pp.227-233, September, 1995.
- (2) AHMAD, S.H., KHALOO, A.R., POVEDA, A., "Shear Capacity of Reinforcement High-Strength Concrete Beams", *Journal of the American Concrete Institute*, v.83, n.32, pp.297-305, March-April, 1986.
- (3) AL-NAHLAWI, K., WIGHT, K.J., "Beam Analysis using Concrete Tensile Strength in Truss Models", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.89, n.3, pp.284-289, May-June, 1992.
- (4) AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary", ACI318-99/ACI318R-99, Detroit, USA, 1999.
- (5) ASCE-ACI Committee 426, "The Shear Strength of Reinforced Concrete Members", *Journal of Structural Engineering*, v.99, n.6, pp.1091-1187, June, 1973.
- (6) ASCE-ACI Committee 445 on Shear and Torsion, "Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete", *Journal of Structural Engineering*, pp.1375-1417, December, 1998.
- (7) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, "Projeto de Estrutura de Concreto – Revisão da NBR6118", Rio de Janeiro, 2001.
- (8) BAZANT, P.Z., KIM, J.K., "Size Effect in Shear Failure of Longitudinally Reinforced Beams", *American Concrete Institute Journal*, Proceeding, v.81, n.5, pp.456-468, September-October, 1984.

- (9) BAZANT, P.Z., SUM, H.H., "Size Effect in Diagonal Shear Failure: Influence of Aggregate Size and Stirrups", *American Concrete Institute Material Journal*, v.84, n.4, pp.259-272, July-August, 1987.
- (10) BERNHARDT, C.J., FYNBOE, C.C., "High Strength Concrete Beams", *Nordic Concrete Research*, n. 5, pp. 19-26, 1986.
- (11) BRITISH STANDARD INSTITUTION, "*Structural Use of Concrete, Part 1. Code of Practice for Design and construction*", BS8110, London, 1997.
- (12) CANADIAN STANDARD ASSOCIATION, "*Design of Concrete Structures*", CSA.A23.3-94, Concrete Design Handbook, Canadian Portland Cement Association, 1995.
- (13) CAMPBELL, T.I., CHITNUYANONDT, L., BATCHELOR, B.V., "Rigid-Plastic Theory V. Truss Analogy Method for Calculating the Shear Strength of Reinforced Concrete Beams", *Magazine of Concrete Research*, v.32, n.110, pp.39-44, March, 1980.
- (14) CARDOSO, R.S.V., "Resistência ao Esforço Cortante em Vigas de Concreto de Alta Resistência", Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.
- (15) CASTRO, F.A.B., "Cisalhamento em Vigas de Concreto Armado – Estudo Paramétrico", Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1997.
- (16) COLLINS, M.P., ADEBAR, P., VECCHIO, F.J., et al., "A Consistent Shear Design Model", Rep., *IABSE Colloquium Structural Concrete*, Stuttgart, Germany, pp.457-462, 1991.
- (17) COLLINS, M.P., KUCHMA, D., "How Safe Are Our Large, Lightly Reinforced Concrete Beams, Slabs, and Footings?", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.96, n.4, pp.482-490, July-August, 1999.

- (18) COLLINS, M.P., MITCHELL, D., "A Rational Approach to Shear Design the 1984 Canadian Code Provisions", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.83, n.6, pp.925-933, November-December, 1986.
- (19) COLLINS, M.P., MITCHELL, D., ADEBAR, P., "A General Shear Design Method", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.93, n.1, pp.206-216, January-February, 1996.
- (20) COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON, "CEB-FIP Model Code 1990 – Design Code", Bulletin d'Information, n.213/214, May, 1993.
- (21) COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON, Bulletin D'Information n.228, Recommended Extensions to the CEB-FIP Model Code 1990, July, 1995.
- (22) DURÃO, J.M.P., "Modelos de Dimensionamento ao Esforço Transverso em Elementos de Betão Armado e Pré-Esforçado", Tese de M.Sc., Universidade Técnica de Lisboa – Instituto Superior Técnico, Portugal, 1993.
- (23) ELZANATY, A.H., "Shear-Critical High-Strength Concrete Beams", In: *Department of Structural Engineering, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University*, 216 p., February, 1995.
- (24) ELZANATY, A.H., NILSON, A.H., SLATE, F.O., "Shear Capacity of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Concrete", *American Concrete Institute Journal*, v.83, n.31, pp. 290-296, March-April, 1986.
- (25) EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, "Design of Concrete Structures, Part 1, General Rules and Rules for Buildings", EUROCODE 2, 1992.
- (26) EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, "Design of Concrete Structures, Part 1, General Rules and Rules for Buildings", EUROCODE 2, 1st Draft, 2001.

- (27) FENWICK, R.C., PAULAY, T., "Mechanisms of Shear Resistance of Concrete Beams", *Journal of the Structural Division*, ASCE, v.94, n.10, pp.2325-2350, October, 1968.
- (28) FERNANDES, G.B., "Cisalhamento de Vigas de Concreto de Alta Resistência, Tese de D.Sc., *Escola Politécnica da Universidade de São Paulo*, São Paulo, SP, Brasil, 1992.
- (29) FUSCO, P.B., "Técnicas de Armar as Estruturas de Concreto", 1ª Edição, São Paulo, PINI, Novembro, 1995.
- (30) GARCIA, S.L.G., "Modelos para Análise da Resistência ao Esforço Cortante de Vigas de Concreto Armado", Tese de M.Sc., *COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1998.
- (31) GARCIA, S.L.G., "Capacidade Resistente ao Cortante de Vigas sem Armadura Transversal", Seminário de Qualificação, *COPPE/UFRJ*, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.
- (32) GOMIERO, P.F., FERNANDES, G.B., "Armadura Reduzida para Cisalhamento em Vigas de Concreto de Alta Resistência", In: *Anais XXVII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural*, pp.229-240, September, 1995.
- (33) GROB, J., THÜRLIMANN, B., "Ultimate Strength and Design of Reinforced Concrete Beams under Bending and Shear", *Publications of the International Association for Bridge and Structural Engineering*, v.36-II, pp.107-120, 1976.
- (34) HALLGREN, P.R.L., "Shear Tests on Reinforced High and Normal Strength Concrete Beams without Stirrups", In: *Department of Structural Engineering*, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1994.
- (35) JOHNSON, M.K., RAMIREZ, J.A., "Minimum Shear Reinforcement in Beams with Higher Strength Concrete", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.86, n.4, pp. 376-382, July-August, 1989.

- (36) KIM, D., KIM, W., WHITE, R.N., "Arch Action in of Reinforced Concrete Beams – A Rational Prediction of Shear Strength", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.96, n.4, pp.586-593, July-August, 1999.
- (37) KIM, J.K., PARK, Y.D., LEE, S.G., "Shear Strenght of Reinforced High-Strength Concrete Beams", In: *Proceedings of High Strength Concrete*, pp.251-258, Lillehammer, Norway, June, 1993.
- (38) KÖNIG, G., FISCHER, J., "Model Uncertainties Concerning Design Equations for the shear Capacity of Concrete Members without Shear Reinforcement", CEB Bulletin d'Information, n.224, July, 1995.
- (39) LEE, J.Y., WATANABE, F., "Shear Design of Reinforced Concrete Beams with Shear Reinforcement considering Failure Modes", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.97, n.3, pp.477-483, May-June, 2000.
- (40) LEONHARDT, F., MÖNNIG, E., *Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Concreto Armado*, v.1, Editora Interciência, 1978.
- (41) LEONHARDT, F., MÖNNIG, E., *Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Concreto Armado*, v.3, Editora Interciência, 1978.
- (42) LEVI, F., MARRO, P., "Shear Tests up to Failure of Beams Made with Normal and High Strength Concrete", *Comité Euro International Du Béton*, Bulletin d'Information, n.193, pp.13-23, December, 1989.
- (43) LEVI, F., MARRO, P., "Shear Tests on HSC Prestressed Beams – Proposals of New Interpretative Models", In: *Proceedings of High Strength Concrete*, pp.293-305, Lillehammer, Norway, June, 1993.
- (44) MARRO, P., "Bending and Shear Tests up to Failure of Beams Made with High-Strength Concrete", *Utilization of High Strength Concrete*, pp.183-193, Tapir, Trondheim, Noruega, June, 1987.

- (45) MÖRSCH, E., 1902, "Concrete Steel Construction", McGraw-Hill, New York, 1909, (English Translation by E.P.GOODRICH of *der Eisenbetonbau*, 1st Edition)
- (46) MPHONDE, A.G., FRANTZ, G.C., "Shear Tests of High and Low Strength Concrete Beams without Stirrups", *American Concrete Institute Journal*, v.81, n.32, pp.350-357, July-August, 1984.
- (47) MPHONDE, A.G., FRANTZ, G.C., "Shear Tests of High and Low Strength Concrete Beams with Stirrups", *American Concrete Institute Special Publication*, SP-87-10, pp.179-196, 1985.
- (48) NORWEGIAN COUNCIL FOR BUILDING STANDARDIZATION, "*Design of Concrete Structures*", NS3473, 4th Edition, November, 1992.
- (49) PLACAS, A., REGAN, P.E., "Shear Failure in Reinforced Concrete Beams", *Journal of the American Concrete Institute*, v.68, n.10, pp.763-773, October, 1971.
- (50) RAMIREZ, A.J., BREEN, J.E., "Evaluation of a Modified Truss-Model Approach for Beams in Shear", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.88, n.5, pp.562-571, September-October, 1991.
- (51) REBEIZ, K.S., "Shear Strength Prediction for Concrete Members", *Journal of Structural Engineering*, v.125, n.3, pp.301-308, March, 1999.
- (52) REMMEL, G., KONIG, G., "The Tensile Behaviour of High-Strength Concrete (HSC) and its Effect on the Shear Strength of Longitudinally Reinforced Concrete Members", In: *Proceedings of High Strength Concrete*, pp.269-276, Lillehammer, Norway, June, 1993.
- (53) ROLLER, J.J., RUSSELL, H.G., "Shear Strength of High-Strength Concrete Beams with Web Reinforcement", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.87, n.2, pp. 191-198, March-April, 1990.

- (54) RUSSO, G., PULERI, G., "Stirrup Effectiveness in Reinforced Concrete Beams under Flexure and Shear", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.94, n.3, pp.227-238, May-June, 1997.
- (55) SAKAGUCHI, N., YAMANUBE, K., KITADA, Y., KAWACHI, T., KODA, S., "Shear Strength of High-Strength Concrete Members", *American Concrete Institute Special Publication*, SP121-9, pp.155-178, 1990.
- (56) SALANDRA, M. A., AHMAD, S. H., "Shear Capacity of Reinforced Lightweight High-Strength Concrete Beams", *American Concrete Institute Structural Journal*, v. 86, n.6, pp.697-704, November-December, 1989.
- (57) SARSAM, K.F., AL-MUSAWI, J.M.S., "Shear Design of High- and Normal Strength Concrete Beams with Web Reinforcement", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.89, n.6, pp.658-664, November-December, 1992.
- (58) SHEHATA, I., SHEHATA, L., "Propriedades do Concreto e do Aço", Apostila de curso, COPPE/UFRJ, 1998.
- (59) SHIN, S.W., LEE, K.S., MOON, J., GHOSH, S.K., "Shear Strength of Reinforced High-Strength Concrete Beams with Shear Span-to-Depth Ratios between 1.5 and 2.5", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.96, n.4, pp.549-556, July-August, 1999.
- (60) TAYLOR, H.P.J., "Shear Strength of Large Beams", *Journal of the Structural Division*, ASCE, v.98, n.11, pp.2473-2490, November, 1972.
- (61) THORENFELDT, E., DRANGSHOLT, G., "Shear Capacity of Reinforced High-Strength Concrete Beams", *American Concrete Institute Special Publication*, SP-121-8, pp.129-154, 1990.
- (62) VECCHIO, F.J., COLLINS, M.P., "The Modified Compression Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear", *American Concrete Institute Journal*, v.83, n.2, pp.219-231, March-April, 1986.

(63) YOON, Y.S., COOK, W. D., MITCHELL, D., "Minimum Shear Reinforcement in Normal, Medium and High-Strength Concrete Beams", *American Concrete Institute Structural Journal*, v.93, n.5, pp.576-584, September-October, 1996.

(64) WALRAVEN, J., STROBAND, J., "Shear Capacity of High Strength Concrete Beams with Shear Reinforcement", In: *Proceedings of High Performance Concrete, 5th International Symposium on Utilization of High Strength*, pp.693-700, Sandefford, Norway, 1999.

(65) WATANABE, F., NISHIYAMA, M., MUGURUMA, H., "Strength and Ductility of High Strength Concrete Beams Subjected to Combined Bending and Shear", In: *Proceedings of High Strength Concrete*, pp.412-419, Lillehammer, Norway, June, 1993.

APÊNDICE A

Dados das vigas ensaiadas e resultados dos cálculos

Método $V_u = V_s$

Tabela A.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u=V_s$ - CEB-FIP MC90

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	1,37	1,22
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,67	1,23
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	1,88	1,14
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	2,00	1,23
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,49	1,41
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,77	1,50
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	1,93	1,72
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	1,99	1,27
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,50	2,03
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,76	1,66
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	1,94	1,83
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	2,00	1,65
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	1,94	1,60
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,56	1,53
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	1,25	1,31
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	2,13	2,05
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	2,78	2,13
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	2,78	2,28
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	2,78	1,90
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	2,78	2,05
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,30	1,58
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,30	1,04
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,56	1,02
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,56	1,24
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,48	1,57
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,45	1,18
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,45	1,08
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,58	0,40
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,56	0,34
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	1,65	0,32
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	1,66	0,19
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	1,22	4,90
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	1,22	4,99
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,59	5,52
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,59	5,23
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,79	5,86
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,79	6,14
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,86	6,34
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	-	-
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	-	-

Tabela A.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u=V_s$ - CEB-FIP MC90 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	1,44	1,04
2	5,53	120,2	559,0	3,04	1,77	3,13
3	8,34	120,2	559,0	4,57	2,03	4,12
4	9,77	120,2	559,0	6,09	2,23	4,38
5	11,25	120,2	559,0	6,98	2,33	4,82
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,30	1,47
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,34	1,69
8	1,39	125,4	762,0	1,88	1,43	0,97
9	2,15	125,4	762,0	2,35	1,54	1,40
10	3,37	125,4	762,0	2,89	1,65	2,04
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,55	1,75
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	1,81	1,60
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,53	2,92
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	1,83	2,63
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,55	3,04
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	1,80	2,62
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	1,97	1,68
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	1,96	2,72
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	1,96	2,78
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	1,98	2,48
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	2,09	1,68
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	2,09	2,82
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	2,11	2,80
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	2,11	2,49
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	2,32	3,69
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	2,11	3,39
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	2,34	3,36
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	2,04	2,45
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	2,29	3,11
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	2,37	2,26
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	2,29	4,02
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	2,29	6,43
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	2,29	5,89

Tabela A.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u=V_s$ - CEB-FIP MC90 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	2,29	8,34
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,82	2,22
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,82	4,65
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,82	6,58
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	1,97	3,71
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	1,97	5,54
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	1,97	6,00
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,30	2,22
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,28	2,41
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,41	1,22
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,41	1,25
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	1,64	2,40
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	1,67	2,35
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	1,64	1,27
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	1,65	1,19
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,30	1,14
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,30	1,51
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,55	1,46
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,55	1,82
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	1,62	1,50
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	1,62	1,82
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	1,05	1,56
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,14	1,52
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,36	1,20
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,17	1,79
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	1,14	1,65
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,47	1,15
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,12	1,93
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	1,32	1,73
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,50	1,27
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	1,04	1,15
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	1,13	1,46
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	1,03	1,62
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,06	1,45
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	1,12	1,74
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,06	1,93
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	1,06	1,48
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,18	1,61
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	1,05	1,90
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,07	1,60
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,07	1,38

Tabela A.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u=V_s$ - CEB-FIP MC90 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,31	2,57
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,29	2,46
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,29	2,63
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,31	2,83
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,52	3,64
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,51	2,79
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,49	2,65
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,45	2,93
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,47	2,88
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,44	2,75
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	1,37	3,08
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,48	2,49
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,50	2,62
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,46	2,70
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,27	2,28
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,20	2,16
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,34	2,78
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,27	3,28
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,32	1,73
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,29	2,17
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,29	2,29
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,13	1,69
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,17	2,15
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,03	1,77
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,24	1,74
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,77	1,60
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,74	2,22
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,17	1,85
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,70	2,13
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,73	2,09
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,89	1,91
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,20	1,71
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,18	2,44
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,32	1,64
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,99	1,94
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,17	1,64
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,71	1,39
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,71	1,58
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	1,31	1,88
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,73	2,68

Tabela A.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u=V_s$ - CEB-FIP MC90 - cont.



$$\tau_{wu} / \tau_{c*} < 1,3$$

τ_{c*} = resistência das vigas sem armadura transversal

$$f_c \leq 50 \text{ MPa}$$

$$50 \text{ MPa} < f_c < 100 \text{ MPa}$$

$$\tau_{c*} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3}$$

$$\tau_{c*} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3} \cdot (1,1 - f_c/500)$$

$$\xi = 1 + (200/d)^{1/2}$$

(-) valores não fornecidos

Tabela A.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CEB-FIP MC90

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$	f_{cd2} (MPa)	f_{cd2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	27,9	0,55	1,25	14,9	0,5	3,38	16,47	6,21	9,14	16,47
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	47,0	0,78	0,88	22,9	0,5	4,27	13,19	7,65	7,45	13,19
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	68,5	1,00	0,69	29,8	0,4	5,35	10,60	7,96	7,16	10,60
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	28,7	0,56	1,83	15,2	0,5	3,29	16,91	4,26	13,20	16,91
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	46,5	0,78	1,33	22,7	0,5	3,16	17,56	6,83	8,33	17,56
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	69,5	1,01	1,02	30,1	0,4	3,83	14,64	7,50	7,60	14,64
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	82,7	1,14	0,90	33,2	0,4	3,55	15,74	8,97	6,36	15,74
G4	3,11	0,65	0,17	379	62,8	0,95	0,69	28,2	0,4	5,32	10,65	8,04	7,09	10,65
G5	2,39	0,65	0,17	379	40,0	0,70	0,93	20,2	0,5	4,09	13,75	7,46	7,64	13,75
G6	1,64	0,65	0,17	379	20,7	0,45	1,44	11,4	0,6	2,80	19,63	6,09	9,33	19,63
S5A	4,37	1,92	0,45	427	95,7	1,26	1,53	35,4	0,4	2,53	21,58	7,16	7,95	21,58
S7A	5,92	2,86	0,67	427	95,7	1,26	2,28	35,4	0,4	2,30	23,50	5,20	10,90	23,50
S7B	6,35	2,86	0,67	427	95,7	1,26	2,28	35,4	0,4	2,47	22,07	4,82	11,73	22,07
S8A	5,29	1,92	0,45	427	95,7	1,26	1,53	35,4	0,4	3,06	18,09	5,86	9,69	18,09
S8B	5,71	1,92	0,45	427	95,7	1,26	1,53	35,4	0,4	3,30	16,84	5,40	10,49	16,84
1	2,06	0,67	0,14	480	36,4	0,66	1,02	18,7	0,5	3,42	16,32	8,03	7,10	16,32
5	2,33	0,67	0,14	480	55,8	0,88	0,76	26,0	0,5	3,86	14,51	9,95	5,74	14,51
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	25,0	0,51	7,86	13,5	0,5	1,65	31,20	1,18	40,21	40,21
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	25,0	0,51	7,86	13,5	0,5	1,68	30,74	1,00	45,03	45,03
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	47,0	0,78	5,16	22,9	0,5	2,42	22,45	1,79	29,22	29,22
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	47,0	0,78	5,16	22,9	0,5	2,29	23,56	1,97	26,92	26,92
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	50,0	0,81	7,37	24,0	0,5	1,94	27,28	1,28	37,90	37,90
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	50,0	0,81	7,37	24,4	0,5	2,03	26,19	1,00	45,03	45,03
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	60,0	0,92	6,52	27,4	0,5	2,18	24,61	1,35	36,63	36,63

Tabela A.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CEB-FIP MC90 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}}$ (min)	f_{ct2} (MPa)	f_{ct2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
2	5,53	1,93	0,43	449	120,2	1,46	1,32	37,4	0,3	3,18	17,44	5,93	9,58	17,44
3	8,34	4,03	0,88	458	120,2	1,46	2,76	37,4	0,3	2,30	23,51	3,78	14,83	23,51
4	9,77	5,77	1,26	458	120,2	1,46	3,95	37,4	0,3	1,88	27,99	3,13	17,72	27,99
5	11,25	8,02	1,75	458	120,2	1,46	5,49	37,4	0,3	1,56	32,69	2,61	20,94	32,69
6	1,91	0,36	0,08	445	72,5	1,04	0,35	30,9	0,4	5,90	9,63	14,48	3,95	9,63
7	2,26	0,71	0,16	445	72,5	1,04	0,68	30,9	0,4	3,54	15,79	12,22	4,68	15,79
9	2,15	0,71	0,16	445	125,4	1,50	0,47	37,5	0,3	3,36	16,55	15,63	3,66	16,55
10	3,37	1,02	0,23	445	125,4	1,50	0,68	37,5	0,3	3,67	15,24	9,91	5,76	15,24
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	40,4	0,71	1,08	20,3	0,5	3,96	14,17	6,60	8,62	14,17
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	75,3	1,07	0,71	31,6	0,4	4,24	13,27	9,69	5,89	13,27
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	39,0	0,69	1,10	19,7	0,5	6,55	8,68	3,70	15,14	15,14
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	75,5	1,07	0,71	31,6	0,4	7,03	8,09	5,74	9,88	9,88
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	40,2	0,70	1,62	20,2	0,5	4,59	12,29	3,59	15,57	15,57
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	71,8	1,04	1,10	30,7	0,4	4,59	12,29	5,69	9,97	12,29
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	75,7	1,07	0,71	31,7	0,4	4,82	11,71	8,52	6,70	11,71
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	73,9	1,06	0,72	31,2	0,4	7,79	7,31	5,08	11,14	11,14
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	73,4	1,05	1,08	31,1	0,4	5,30	10,68	4,94	11,43	11,43
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	80,1	1,11	1,37	32,7	0,4	3,58	15,61	5,79	9,80	15,61
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	70,1	1,02	0,75	30,3	0,4	5,13	11,03	7,63	7,47	11,03
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	70,2	1,02	0,74	30,3	0,4	8,61	6,62	4,40	12,80	12,80
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	74,2	1,06	1,08	31,3	0,4	5,74	9,88	4,56	12,36	12,36
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	75,7	1,07	1,42	31,7	0,4	3,82	14,67	5,23	10,83	14,67
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	58,3	0,90	7,16	26,8	0,5	1,47	34,16	2,40	22,62	34,16
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	70,7	1,03	3,15	30,4	0,4	2,46	22,15	3,55	15,72	22,15

Tabela A.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CEB-FIP MC90 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$	f_{cd2} (MPa)	f_{cd2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	60,0	3,51	0,92	3,51	27,4	0,5	2,70	20,30	2,77	19,84	20,30
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	60,4	2,31	0,92	2,31	27,5	0,5	2,61	20,98	4,74	11,92	20,98
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	55,0	2,45	0,87	2,45	25,7	0,5	3,72	15,03	2,90	19,03	19,03
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	64,3	2,21	0,96	2,21	28,7	0,4	2,80	19,68	4,59	12,28	19,68
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	111,0	2,57	1,39	2,57	37,0	0,3	2,87	19,20	3,32	16,76	19,20
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	111,0	5,53	1,39	5,53	37,0	0,3	2,13	25,11	1,66	30,99	30,99
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	111,0	4,81	1,39	4,81	37,0	0,3	2,25	23,96	1,96	27,03	27,03
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	111,0	13,85	1,39	13,85	42,4	0,4	1,10	42,15	1,00	45,03	45,03
B-1	4,04	1,49	0,50	297	50,7	1,81	0,82	1,81	24,3	0,5	3,01	18,36	5,21	10,86	18,36
B-4	8,47	5,95	0,66	902	50,7	7,24	0,82	7,24	24,3	0,5	1,58	32,30	2,10	25,46	32,30
B-5	11,98	14,47	1,71	846	50,7	17,61	0,82	17,61	26,6	0,5	0,92	47,39	1,00	45,03	45,03
B-6	7,29	2,34	0,57	411	73,5	2,22	1,05	2,22	31,1	0,4	3,46	16,11	3,56	15,68	16,11
B-7	10,90	7,19	0,85	846	73,5	6,83	1,05	6,83	31,1	0,4	1,68	30,70	2,09	25,54	30,70
B-8	11,80	15,88	1,76	902	73,5	15,08	1,05	15,08	31,1	0,4	0,83	50,46	1,83	28,69	50,46
A5H	2,90	2,93	0,71	413	31,1	4,94	0,59	4,94	16,3	0,5	1,10	42,28	4,87	11,62	42,28
A6H	3,08	2,93	0,71	413	29,2	5,15	0,57	5,15	15,5	0,5	1,17	40,57	4,29	13,13	40,57
A5H	3,94	2,93	0,71	413	69,8	2,88	1,02	2,88	30,2	0,4	1,49	33,80	6,75	8,43	33,80
A6H	3,94	2,93	0,71	413	78,0	2,67	1,10	2,67	32,2	0,4	1,49	33,80	7,22	7,89	33,80
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	36,0	0,76	0,65	0,76	18,5	0,5	4,38	12,87	8,33	6,85	12,87
M2-S	2,25	0,50	0,12	430	67,0	0,51	0,99	0,51	29,4	0,4	5,00	11,31	11,68	4,89	11,31
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	67,0	0,71	0,99	0,71	29,4	0,4	4,46	12,64	9,32	6,13	12,64
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	87,0	0,51	1,18	0,51	34,0	0,4	4,50	12,53	12,53	4,56	12,53
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	87,0	0,85	1,18	0,85	34,0	0,4	3,27	17,02	10,32	5,53	17,02
A-1	1,63	0,33	-	-	24,1	0,66	0,50	0,66	13,0	0,5	5,49	10,33	7,06	8,06	10,33

Tabela A.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CEB-FIP MC90 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (min) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cd2} (MPa)	f_{cd2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
A-2	1,73	0,33	-	-	24,3	0,50	0,66	13,1	0,5	5,82	9,74	6,69	8,50	9,74
B-1	2,09	0,48	-	-	24,8	0,51	0,94	13,4	0,5	4,84	11,68	5,58	10,16	11,68
B-2	1,88	0,48	-	-	23,2	0,49	0,98	12,6	0,5	4,35	12,94	5,87	9,67	12,94
C-1	2,17	0,65	-	-	29,6	0,57	1,13	15,6	0,5	3,71	15,09	6,33	8,98	15,09
C-2	2,29	0,66	-	-	23,8	0,50	1,33	12,9	0,5	3,86	14,54	4,87	11,60	14,54
CRB-1	1,65	0,51	-	-	23,7	0,49	1,03	12,8	0,5	3,59	15,55	6,86	8,29	15,55
CRC-1	1,67	0,69	-	-	24,4	0,50	1,37	13,2	0,5	2,69	20,40	6,98	8,16	20,40
IWCRA-1	1,54	0,35	-	-	26,3	0,53	0,66	14,1	0,5	4,89	11,56	8,14	7,00	11,56
IWCRB-1	1,94	0,51	-	-	23,2	0,49	1,05	12,6	0,5	4,23	13,31	5,68	9,99	13,31
IWCRC-1	2,05	0,70	-	-	26,8	0,54	1,30	14,3	0,5	3,25	17,08	6,13	9,27	17,08
IWCA-1	1,56	0,35	-	-	25,2	0,52	0,68	13,6	0,5	4,95	11,42	7,71	7,39	11,42
IWCB-1	1,90	0,51	-	-	26,5	0,53	0,96	14,2	0,5	4,14	13,58	6,58	8,65	13,58
IWCC-1	2,00	0,69	-	-	24,9	0,51	1,35	13,4	0,5	3,22	17,25	5,88	9,65	17,25
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	26,3	0,53	0,66	14,1	0,5	5,46	10,38	7,26	7,84	10,38
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	26,3	0,53	0,66	14,1	0,5	4,70	12,02	8,46	6,74	12,02
A1-1	3,37	1,26	-	-	24,7	0,51	2,48	13,3	0,5	2,97	18,60	3,25	17,09	18,60
A1-2	3,18	1,26	-	-	23,7	0,49	2,55	12,8	0,5	2,80	19,63	3,34	16,69	19,63
A1-3	3,39	1,26	-	-	23,4	0,49	2,57	12,7	0,5	2,99	18,50	3,05	18,14	18,50
A1-4	3,71	1,26	-	-	24,8	0,51	2,47	13,4	0,5	3,27	17,00	2,90	19,02	19,02
E1-2	5,53	2,42	-	-	30,2	0,58	4,16	15,9	0,5	2,54	21,50	2,12	25,27	25,27
D2-6	4,21	2,02	-	-	29,5	0,57	3,53	15,6	0,5	2,32	23,36	3,01	18,40	23,36
D2-7	3,94	2,02	-	-	28,4	0,56	3,62	15,1	0,5	2,17	24,77	3,13	17,71	24,77
D2-8	4,24	2,02	-	-	26,1	0,53	3,82	14,0	0,5	2,33	23,21	2,59	21,08	23,21
D4-1	4,23	1,62	-	-	27,4	0,54	2,97	14,6	0,5	2,90	19,02	2,75	20,00	20,00

Tabela A.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CEB-FIP MC90 - cont.

Método $V_u=V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} (\%)$ $\rho_w f_{yw} (\text{min})$	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} (\text{min})}$	f_{ca2} (MPa)	f_{ca2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
D4-2	3,96	1,62	-	-	25,7	0,52	3,10	13,8	0,5	2,72	20,21	2,78	19,79	20,21
D4-3	4,21	1,62	-	-	22,1	0,47	3,43	12,1	0,5	2,89	19,10	2,10	25,41	25,41
D5-1	3,67	1,23	-	-	27,7	0,55	2,24	14,8	0,5	3,32	16,79	3,33	16,74	16,79
D5-2	3,93	1,23	-	-	29,0	0,57	2,17	15,4	0,5	3,55	15,73	3,21	17,28	17,28
D5-3	3,95	1,23	-	-	27,1	0,54	2,27	14,5	0,5	3,57	15,66	2,97	18,63	18,63
C205-D10	2,90	0,85	-	-	23,2	0,49	1,74	12,6	0,5	3,79	14,78	3,65	15,32	15,32
C205-D20	2,59	0,85	-	-	24,3	0,50	1,69	13,2	0,5	3,39	16,46	4,35	12,95	16,46
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	27,2	0,54	3,13	14,6	0,5	2,44	22,30	3,20	17,35	22,30
C210-S0	4,15	1,70	-	-	23,0	0,48	3,51	12,5	0,5	2,71	20,24	2,27	23,75	23,75
C305-D0	2,28	0,85	-	-	26,0	0,53	1,61	14,0	0,5	2,98	18,55	5,33	10,63	18,55
C305-D10	2,80	1,70	-	-	24,3	0,50	3,38	13,1	0,5	1,83	28,66	3,97	14,12	28,66
C305-D20	2,96	1,70	-	-	24,6	0,51	3,35	13,3	0,5	1,93	27,34	3,77	14,84	27,34
R8	1,92	0,58	-	-	26,7	0,54	1,08	14,3	0,5	3,68	15,21	6,55	8,68	15,21
R9	2,52	1,15	-	-	29,6	0,57	2,00	15,6	0,5	2,43	22,33	5,40	10,49	22,33
R10	1,82	0,58	-	-	29,6	0,57	1,01	15,7	0,5	3,49	16,00	7,61	7,48	16,00
R11	2,16	0,58	-	-	26,2	0,53	1,10	14,1	0,5	4,14	13,59	5,69	9,97	13,59
R12	2,83	0,58	-	-	33,9	0,63	0,92	17,6	0,5	5,42	10,45	5,41	10,47	10,47
R13	3,86	1,15	-	-	32,3	0,61	1,89	16,9	0,5	3,73	15,01	3,66	15,29	15,29
R14	2,16	0,38	-	-	29,0	0,57	0,67	15,4	0,5	6,32	9,00	6,25	9,08	9,08
R15	3,61	1,15	-	-	29,9	0,58	1,99	15,8	0,5	3,49	16,00	3,66	15,28	16,00
R16	3,61	1,15	-	-	31,6	0,60	1,92	16,6	0,5	3,49	16,00	3,87	14,49	16,00
R17	1,69	0,58	-	-	12,8	0,33	1,77	7,3	0,6	3,24	17,17	3,59	15,56	17,17
R18	2,04	0,58	-	-	31,3	0,60	0,97	16,4	0,5	3,91	14,35	7,11	8,01	14,35
R19	2,89	1,15	-	-	30,3	0,58	1,97	16,0	0,5	2,79	19,71	4,76	11,86	19,71

Tabela A.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CEB-FIP MC90 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (min) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{ca2} (MPa)	f_{ca2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
R20	2,17	0,58	-	-	42,5	0,73	0,79	21,1	0,5	4,16	13,53	8,66	6,59	13,53
R21	3,86	1,15	-	-	48,1	0,79	1,45	23,3	0,5	3,73	15,01	5,25	10,79	15,01
R22	1,92	0,58	-	-	29,5	0,57	1,01	15,6	0,5	3,68	15,21	7,18	7,93	15,21
R24	2,38	0,58	-	-	30,9	0,59	0,98	16,2	0,5	4,56	12,37	5,98	9,50	12,37
R25	2,70	0,58	-	-	30,8	0,59	0,98	16,2	0,5	5,17	10,94	5,21	10,86	10,94
R27	2,45	1,15	-	-	13,7	0,34	3,36	7,7	0,6	2,37	22,90	2,43	22,34	22,90
R28	4,63	2,25	-	-	31,6	0,60	3,75	16,6	0,5	2,29	23,62	2,87	19,21	23,62



Ruptura por Escoamento do Aço



Ruptura por Esmagamento da Biela

(-) valores não fornecidos

Tabela A.3 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	1,07	1,56
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,59	1,29
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	2,09	1,03
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	2,60	0,94
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,26	1,67
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,78	1,49
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	2,29	1,45
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	2,58	0,99
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,28	2,38
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,77	1,66
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	2,31	1,54
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	2,59	1,27
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	2,21	1,41
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,64	1,46
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	1,06	1,55
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	3,15	1,39
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	3,17	1,87
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	3,17	2,00
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	3,17	1,67
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	3,17	1,80
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,22	1,68
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,22	1,10
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,93	0,83
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,93	1,00
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,63	1,43
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,54	1,11
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,54	1,02
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,86	0,34
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,82	0,29
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	2,15	0,25
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	2,19	0,14
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	0,90	6,67
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	0,90	6,79
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,37	6,42
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,37	6,08
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,43	7,35
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,43	7,70
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,61	7,33
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	-	-
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	-	-

Tabela A.3 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c^*} (MPa)
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	2,48	0,61
2	5,53	120,2	559,0	3,04	2,66	2,08
3	8,34	120,2	559,0	4,57	2,66	3,13
4	9,77	120,2	559,0	6,09	2,66	3,67
5	11,25	120,2	559,0	6,98	2,66	4,23
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,73	1,11
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,78	1,27
8	1,39	125,4	762,0	1,88	2,57	0,54
9	2,15	125,4	762,0	2,35	2,63	0,82
10	3,37	125,4	762,0	2,89	2,63	1,28
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,69	1,61
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	2,56	1,13
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,65	2,72
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	2,57	1,87
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,68	2,80
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	2,48	1,90
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	2,57	1,28
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	2,53	2,11
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	2,52	2,16
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	2,67	1,85
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	2,44	1,44
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	2,44	2,41
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	2,53	2,32
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	2,57	2,05
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	2,08	4,11
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	2,37	3,01
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	2,12	3,70
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	2,13	2,34
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	2,00	3,56
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	2,22	2,41
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	3,26	2,82
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	3,26	4,51
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	3,26	4,14
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	3,26	5,85

Tabela A.3 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,93	2,09
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,93	4,38
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,93	6,19
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	2,48	2,94
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	2,48	4,40
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	2,48	4,76
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,30	2,23
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,25	2,47
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,52	1,13
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,52	1,16
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	2,23	1,77
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	2,40	1,64
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	2,24	0,93
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	2,30	0,86
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,14	1,29
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,14	1,72
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,73	1,30
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,73	1,62
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	2,06	1,18
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	2,06	1,43
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	0,95	1,71
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,00	1,73
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,27	1,28
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,02	2,06
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	0,97	1,94
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,37	1,23
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,10	1,98
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	0,99	2,32
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,28	1,49
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	0,96	1,25
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	0,99	1,67
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	0,94	1,77
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,00	1,54
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	0,97	1,99
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,00	2,04
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	0,98	1,60
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,06	1,79
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	0,97	2,06
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,01	1,70
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,01	1,47
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,08	3,13

Tabela A.3 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,05	3,04
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,04	3,26
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,08	3,44
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,31	4,23
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,29	3,27
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,26	3,14
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,19	3,57
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,23	3,45
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,17	3,37
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	1,06	3,97
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,24	2,97
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,27	3,08
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,22	3,24
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,10	2,64
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,13	2,29
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,22	3,05
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,09	3,81
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,18	1,93
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,13	2,48
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,14	2,60
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,11	1,73
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,19	2,12
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,06	1,71
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,22	1,77
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,48	1,91
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,43	2,69
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,17	1,84
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,36	2,65
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,41	2,56
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,68	2,49
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,24	1,65
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,21	2,39
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,51	1,43
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,87	2,06
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,19	1,62
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,39	1,71
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,39	1,94
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	0,81	3,04
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,41	3,28

Tabela A.3 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.


	$\tau_{wu} / \tau_{c*} < 1,3$	$k = 1,6 - d \geq 1$	$\rho \leq 0,02$
$\tau_{c*} = 0,0525 \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \cdot f_c^{2/3}$			
(-) valores não fornecidos			

Tabela A.4- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} \text{ (min)}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cdz} (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$ ($^\circ$)	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	22,0	0,47	0,72	13,0	0,6	5,46	10,38	6,85	8,31	10,38
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	27,9	0,55	1,25	15,6	0,6	3,38	16,47	6,55	8,68	16,47
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	47,0	0,78	0,88	23,5	0,5	4,27	13,19	7,85	7,26	13,19
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	68,5	1,00	0,69	34,3	0,5	5,35	10,60	9,18	6,22	10,60
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	28,7	0,56	1,83	16,0	0,6	3,29	16,91	4,49	12,56	16,91
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	46,5	0,78	1,33	23,3	0,5	3,16	17,56	7,00	8,13	17,56
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	69,5	1,01	1,02	34,8	0,5	3,83	14,64	8,69	6,56	14,64
G4	3,11	0,65	0,17	379	62,8	0,95	0,69	31,4	0,5	5,32	10,65	8,98	6,36	10,65
G5	2,39	0,65	0,17	379	40,0	0,70	0,93	20,0	0,5	4,09	13,75	7,40	7,70	13,75
G6	1,64	0,65	0,17	379	20,7	0,45	1,44	12,3	0,6	2,80	19,63	6,63	8,58	19,63
S5A	4,37	1,92	0,45	427	95,7	1,26	1,53	47,9	0,5	2,53	21,58	9,75	5,86	21,58
S7A	5,92	2,86	0,67	427	95,7	1,26	2,28	47,9	0,5	2,30	23,50	7,13	7,98	23,50
S7B	6,35	2,86	0,67	427	95,7	1,26	2,28	47,9	0,5	2,47	22,07	6,63	8,58	22,07
S8A	5,29	1,92	0,45	427	95,7	1,26	1,53	47,9	0,5	3,06	18,09	8,02	7,11	18,09
S8B	5,71	1,92	0,45	427	95,7	1,26	1,53	47,9	0,5	3,30	16,84	7,41	7,69	16,84
1	2,06	0,67	0,14	480	36,4	0,66	1,02	18,9	0,5	3,42	16,32	8,11	7,03	16,32
5	2,33	0,67	0,14	480	55,8	0,88	0,76	27,9	0,5	3,86	14,51	10,68	5,35	14,51
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	25,0	0,51	7,86	14,4	0,6	1,65	31,20	1,49	33,91	33,91
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	25,0	0,51	7,86	14,4	0,6	1,68	30,74	1,41	35,28	35,28
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	47,0	0,78	5,16	23,5	0,5	2,42	22,45	1,88	28,06	28,06
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	47,0	0,78	5,16	23,5	0,5	2,29	23,56	2,06	25,94	25,94
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	50,0	0,81	7,37	25,0	0,5	1,94	27,28	1,47	34,27	34,27
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	50,0	0,81	7,37	25,0	0,5	2,03	26,19	1,25	38,71	38,71
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	60,0	0,92	6,52	30,0	0,5	2,18	24,61	1,70	30,43	30,43

Tabela A.4- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\text{min})}$	f_{ct2} (MPa)	f_{ca2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
2	5,53	1,93	0,43	449	120,2	1,46	1,32	60,1	0,5	3,18	17,44	9,68	5,90	17,44
3	8,34	4,03	0,88	458	120,2	1,46	2,76	60,1	0,5	2,30	23,51	6,33	8,98	23,51
4	9,77	5,77	1,26	458	120,2	1,46	3,95	60,1	0,5	1,88	27,99	5,35	10,59	27,99
5	11,25	8,02	1,75	458	120,2	1,46	5,49	60,1	0,5	1,56	32,69	4,59	12,29	32,69
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	40,4	0,71	1,08	20,2	0,5	3,96	14,17	6,56	8,67	14,17
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	39,0	0,69	1,10	19,7	0,5	6,55	8,68	3,69	15,18	15,18
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	75,5	1,07	0,71	37,8	0,5	7,03	8,09	6,92	8,22	8,22
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	40,2	0,70	1,62	20,1	0,5	4,59	12,29	3,56	15,69	15,69
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	71,8	1,04	1,10	35,9	0,5	4,59	12,29	6,71	8,48	12,29
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	73,9	1,06	0,72	37,0	0,5	7,79	7,31	6,07	9,35	9,35
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	73,4	1,05	1,08	36,7	0,5	5,30	10,68	5,90	9,62	10,68
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	80,1	1,11	1,37	40,1	0,5	3,58	15,61	7,17	7,94	15,61
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	70,1	1,02	0,75	35,1	0,5	5,13	11,03	8,87	6,43	11,03
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	70,2	1,02	0,74	35,1	0,5	8,61	6,62	5,17	10,95	10,95
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	74,2	1,06	1,08	37,1	0,5	5,74	9,88	5,49	10,33	10,33
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	75,7	1,07	1,42	37,9	0,5	3,82	14,67	6,32	8,99	14,67
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	58,3	0,90	7,16	29,2	0,5	1,47	34,16	2,69	20,40	34,16
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	70,7	1,03	3,15	35,4	0,5	2,46	22,15	4,22	13,34	22,15
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	60,0	0,92	3,51	30,0	0,5	2,70	20,30	3,11	17,80	20,30
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	60,4	0,92	2,31	30,2	0,5	2,61	20,98	5,25	10,79	20,98
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	55,0	0,87	2,45	27,5	0,5	3,72	15,03	3,15	17,62	17,62
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	64,3	0,96	2,21	32,2	0,5	2,80	19,68	5,21	10,87	19,68
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	111,0	1,39	2,57	55,50	0,50	2,87	19,20	5,24	10,81	19,20

Tabela A.4- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92 - cont.Método $V_u=V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}}$ (mm)	f_{ct2} (MPa)	f_{ca2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	111,0	1,39	5,53	55,5	0,5	2,13	25,11	3,07	18,04	25,11
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	111,0	1,39	4,81	55,5	0,5	2,25	23,96	3,41	16,35	23,96
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	111,0	1,39	13,85	55,5	0,5	1,10	42,15	2,15	24,91	42,15
B-1	4,04	1,49	0,50	297	50,7	0,82	1,81	25,4	0,5	3,01	18,36	5,46	10,37	18,36
B-4	8,47	5,95	0,66	902	50,7	0,82	7,24	25,4	0,5	1,58	32,30	2,25	23,97	32,30
B-5	11,98	14,47	1,71	846	50,7	0,82	17,61	26,6	0,5	0,92	47,39	1,00	45,03	45,03
B-6	7,29	2,34	0,57	411	73,5	1,05	2,22	36,8	0,5	3,46	16,11	4,30	13,08	16,11
B-7	10,90	7,19	0,85	846	73,5	1,05	6,83	36,8	0,5	1,68	30,70	2,66	20,62	30,70
B-8	11,80	15,88	1,76	902	73,5	1,05	15,08	36,8	0,5	0,83	50,46	2,38	22,76	50,46
A5H	2,90	2,93	0,71	413	31,1	0,59	4,94	16,9	0,5	1,10	42,28	5,06	11,19	42,28
A6H	3,08	2,93	0,71	413	29,2	0,57	5,15	16,2	0,6	1,17	40,57	4,51	12,52	40,57
A5H	3,94	2,93	0,71	413	69,8	1,02	2,88	34,9	0,5	1,49	33,80	7,84	7,27	33,80
A6H	3,94	2,93	0,71	413	78,0	1,10	2,67	39,0	0,5	1,49	33,80	8,79	6,49	33,80
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	36,0	0,65	0,76	18,7	0,5	4,38	12,87	8,43	6,76	12,87
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	67,0	0,99	0,71	33,5	0,5	4,46	12,64	10,64	5,37	12,64
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	87,0	1,18	0,85	43,5	0,5	3,27	17,02	13,24	4,32	17,02
A-1	1,63	0,33	-	-	24,1	0,50	0,66	13,9	0,6	5,49	10,33	7,57	7,53	10,33
A-2	1,73	0,33	-	-	24,3	0,50	0,66	14,0	0,6	5,82	9,74	7,17	7,94	9,74
B-1	2,09	0,48	-	-	24,8	0,51	0,94	14,3	0,6	4,84	11,68	5,97	9,50	11,68
B-2	1,88	0,48	-	-	23,2	0,49	0,98	13,5	0,6	4,35	12,94	6,32	8,99	12,94
C-1	2,17	0,65	-	-	29,6	0,57	1,13	16,3	0,6	3,71	15,09	6,62	8,59	15,09
C-2	2,29	0,66	-	-	23,8	0,50	1,33	13,8	0,6	3,86	14,54	5,24	10,80	14,54
C-3	1,91	0,65	-	-	35,0	0,64	1,01	18,4	0,5	3,26	17,03	8,55	6,67	17,03
CRB-1	1,65	0,51	-	-	23,7	0,49	1,03	13,8	0,6	3,59	15,55	7,37	7,73	15,55

Tabela A.4- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92 - cont.

Método $V_u=V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (mm) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}}$ (mm)	f_{cdz} (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$ (°)	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
CRC-1	1,67	0,69	-	-	24,4	0,50	1,37	14,1	0,6	2,69	20,40	7,47	7,63	20,40
IWCRA-1	1,54	0,35	-	-	26,3	0,53	0,66	15,0	0,6	4,89	11,56	8,63	6,61	11,56
IWCRB-1	1,94	0,51	-	-	23,2	0,49	1,05	13,5	0,6	4,23	13,31	6,12	9,29	13,31
1WCRC-1	2,05	0,70	-	-	26,8	0,54	1,30	15,1	0,6	3,25	17,08	6,50	8,75	17,08
1WCA-1	1,56	0,35	-	-	25,2	0,52	0,68	14,5	0,6	4,95	11,42	8,22	6,94	11,42
1WCB-1	1,90	0,51	-	-	26,5	0,53	0,96	15,0	0,6	4,14	13,58	6,98	8,16	13,58
1WCC-1	2,00	0,69	-	-	24,9	0,51	1,35	14,3	0,6	3,22	17,25	6,29	9,04	17,25
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	26,3	0,53	0,66	15,0	0,6	5,46	10,38	7,70	7,40	10,38
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	26,3	0,53	0,66	14,9	0,6	4,70	12,02	8,97	6,36	12,02
A1-1	3,37	1,26	-	-	24,7	0,51	2,48	14,2	0,6	2,97	18,60	3,51	15,89	18,60
A1-2	3,18	1,26	-	-	23,7	0,49	2,55	13,8	0,6	2,80	19,63	3,62	15,45	19,63
A1-3	3,39	1,26	-	-	23,4	0,49	2,57	13,6	0,6	2,99	18,50	3,32	16,75	18,50
A1-4	3,71	1,26	-	-	24,8	0,51	2,47	14,3	0,6	3,27	17,00	3,14	17,66	17,66
E1-2	5,53	2,42	-	-	30,2	0,58	4,16	16,6	0,5	2,54	21,50	2,25	23,94	23,94
D2-6	4,21	2,02	-	-	29,5	0,57	3,53	16,3	0,6	2,32	23,36	3,17	17,51	23,36
D2-7	3,94	2,02	-	-	28,4	0,56	3,62	15,9	0,6	2,17	24,77	3,32	16,77	24,77
D2-8	4,24	2,02	-	-	26,1	0,53	3,82	14,9	0,6	2,33	23,21	2,80	19,65	23,21
D4-1	4,23	1,62	-	-	27,4	0,54	2,97	15,4	0,6	2,90	19,02	2,94	18,79	19,02
D4-2	3,96	1,62	-	-	25,7	0,52	3,10	14,7	0,6	2,72	20,21	3,00	18,44	20,21
D4-3	4,21	1,62	-	-	22,1	0,47	3,43	13,0	0,6	2,89	19,10	2,36	22,99	22,99
D5-1	3,67	1,23	-	-	27,7	0,55	2,24	15,6	0,6	3,32	16,79	3,53	15,80	16,79
D5-2	3,93	1,23	-	-	29,0	0,57	2,17	16,1	0,6	3,55	15,73	3,39	16,42	16,42
D5-3	3,95	1,23	-	-	27,1	0,54	2,27	15,3	0,6	3,57	15,66	3,17	17,51	17,51
C205-D10	2,90	0,85	-	-	23,2	0,49	1,74	13,6	0,6	3,79	14,78	3,96	14,18	14,78

Tabela A.4- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (mm) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$	f_{cdz} (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
C205-D20	2,59	0,85	-	-	24,3	0,50	1,69	14,1	0,6	3,39	16,46	4,68	12,07	16,46
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	27,2	0,54	3,13	15,4	0,6	2,44	22,30	3,41	16,33	22,30
C210-S0	4,15	1,70	-	-	23,0	0,48	3,51	13,4	0,6	2,71	20,24	2,52	21,67	21,67
C305-D0	2,28	0,85	-	-	26,0	0,53	1,61	14,8	0,6	2,98	18,55	5,67	10,00	18,55
C305-D10	2,80	1,70	-	-	24,3	0,50	3,38	14,0	0,6	1,83	28,66	4,28	13,15	28,66
C305-D20	2,96	1,70	-	-	24,6	0,51	3,35	14,2	0,6	1,93	27,34	4,06	13,83	27,34
R8	1,92	0,58	-	-	26,7	0,54	1,08	15,1	0,6	3,68	15,21	6,94	8,20	15,21
R9	2,52	1,15	-	-	29,6	0,57	2,00	16,3	0,6	2,43	22,33	5,66	10,03	22,33
R10	1,82	0,58	-	-	29,6	0,57	1,01	16,3	0,6	3,49	16,00	7,96	7,16	16,00
R11	2,16	0,58	-	-	26,2	0,53	1,10	14,9	0,6	4,14	13,59	6,05	9,39	13,59
R12	2,83	0,58	-	-	33,9	0,63	0,92	18,0	0,5	5,42	10,45	5,54	10,23	10,45
R13	3,86	1,15	-	-	32,3	0,61	1,89	17,4	0,5	3,73	15,01	3,79	14,79	15,01
R14	2,16	0,38	-	-	29,0	0,57	0,67	16,1	0,6	6,32	9,00	6,56	8,67	9,00
R15	3,61	1,15	-	-	29,9	0,58	1,99	16,4	0,6	3,49	16,00	3,84	14,60	16,00
R16	3,61	1,15	-	-	31,6	0,60	1,92	17,1	0,5	3,49	16,00	4,02	13,97	16,00
R17	1,69	0,58	-	-	12,8	0,33	1,77	8,1	0,6	3,24	17,17	4,08	13,78	17,17
R18	2,04	0,58	-	-	31,3	0,60	0,97	17,0	0,5	3,91	14,35	7,37	7,73	14,35
R19	2,89	1,15	-	-	30,3	0,58	1,97	16,6	0,5	2,79	19,71	4,97	11,38	19,71
R20	2,17	0,58	-	-	42,5	0,73	0,79	21,2	0,5	4,16	13,53	8,69	6,56	13,53
R21	3,86	1,15	-	-	48,1	0,79	1,45	24,1	0,5	3,73	15,01	5,43	10,44	15,01
R22	1,92	0,58	-	-	29,5	0,57	1,01	16,3	0,6	3,68	15,21	7,51	7,59	15,21
R24	2,38	0,58	-	-	30,9	0,59	0,98	16,9	0,5	4,56	12,37	6,21	9,15	12,37
R25	2,70	0,58	-	-	30,8	0,59	0,98	16,8	0,5	5,17	10,94	5,42	10,45	10,94
R27	2,45	1,15	-	-	13,7	0,34	3,36	8,6	0,6	2,37	22,90	2,81	19,58	22,90
R28	4,63	2,25	-	-	31,6	0,60	3,75	17,1	0,5	2,29	23,62	2,99	18,47	23,62

□ Ruptura por Escocamento do Aço

▣ Ruptura por Esmagamento da Bieira

(-) valores não fornecidos

Tabela A.5 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-01

Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c*} (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	1,37	1,22
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,67	1,23
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	1,92	1,12
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	2,14	1,15
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,49	1,41
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,77	1,50
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	2,01	1,65
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	2,13	1,19
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,50	2,03
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,76	1,66
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	2,02	1,76
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	2,14	1,54
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	1,99	1,56
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,56	1,53
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	1,25	1,31
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	2,24	1,95
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	2,88	2,06
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	2,88	2,21
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	2,88	1,84
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	2,88	1,98
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,30	1,58
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,30	1,04
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,64	0,98
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,64	1,18
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,50	1,55
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,46	1,17
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,46	1,08
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,52	0,41
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,50	0,35
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	1,64	0,32
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	1,65	0,19
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	1,22	4,90
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	1,22	4,99
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,59	5,52
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,59	5,23
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,79	5,86
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,79	6,14
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,90	6,21

Tabela A.5 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-01- cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	-	-
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	-	-
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	1,68	0,89
2	5,53	120,2	559,0	3,04	2,06	2,69
3	8,34	120,2	559,0	4,57	2,36	3,54
4	9,77	120,2	559,0	6,09	2,59	3,77
5	11,25	120,2	559,0	6,98	2,71	4,15
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,36	1,40
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,40	1,61
8	1,39	125,4	762,0	1,88	1,68	0,83
9	2,15	125,4	762,0	2,35	1,81	1,19
10	3,37	125,4	762,0	2,89	1,94	1,74
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,55	1,75
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	1,91	1,52
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,53	2,92
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	1,93	2,50
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,55	3,04
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	1,88	2,51
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	2,07	1,59
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	2,06	2,59
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	2,05	2,65
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	2,11	2,33
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	2,17	1,62
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	2,17	2,71
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	2,21	2,66
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	2,23	2,36
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	2,36	3,63
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	2,20	3,25
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	2,39	3,29
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	2,09	2,40
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	2,32	3,08
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	2,44	2,20

Tabela A.5 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-01- cont.


Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	2,61	3,53
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	2,61	5,64
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	2,61	5,18
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	2,61	7,32
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,82	2,22
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,82	4,64
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,82	6,57
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	2,06	3,53
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	2,06	5,28
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	2,06	5,72
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,27	2,29
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,24	2,48
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,37	1,26
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,37	1,29
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	1,66	2,38
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	1,72	2,29
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	1,66	1,26
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	1,68	1,17
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,30	1,14
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,30	1,51
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,60	1,41
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,60	1,76
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	1,75	1,39
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	1,75	1,68
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	1,05	1,56
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,14	1,52
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,36	1,20
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,17	1,79
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	1,14	1,65
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,47	1,15
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,12	1,93
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	1,32	1,73
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,50	1,27
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	1,04	1,15
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	1,13	1,46
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	1,03	1,62
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,06	1,45
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	1,12	1,74
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,06	1,93

Tabela A.5 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-01- cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	1,06	1,48
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,18	1,61
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	1,05	1,90
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,07	1,60
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,07	1,38
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,31	2,57
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,29	2,46
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,29	2,63
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,31	2,83
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,52	3,64
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,51	2,79
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,49	2,65
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,45	2,93
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,47	2,88
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,44	2,75
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	1,37	3,08
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,48	2,49
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,50	2,62
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,46	2,70
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,27	2,28
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,20	2,16
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,34	2,78
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,27	3,28
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,32	1,73
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,29	2,17
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,29	2,29
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,13	1,69
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,17	2,15
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,03	1,77
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,24	1,74
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,77	1,60
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,74	2,22
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,17	1,85
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,70	2,13
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,73	2,09
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,89	1,91
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,20	1,71
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,18	2,44
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,32	1,64

Tabela A.5 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-01- cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,99	1,94
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,17	1,64
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,71	1,39
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,71	1,58
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	1,31	1,88
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,73	2,68

 $\tau_{wu} / \tau_{c*} < 1,3$

τ_{c*} = resistência das vigas sem armadura transversal

$$\tau_{c*} = 0,18 \cdot \xi \cdot (100 \cdot \rho \cdot f_c)^{1/3}$$

$$\xi = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2$$

(-) valores não fornecidos

Tabela A.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-01Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_{wf_{yw}}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_{wf_{yw}}$ (mm) (%)	$\frac{\rho_{wf_{yw}}}{\rho_{wf_{yw}}}$ (mm)	f_{cdz}/f_c (MPa)	$\cot\theta_1$ (°)	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	27,9	0,42	1,63	15,6	3,38	16,47	6,55	8,68	16,47
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	47,0	0,55	1,26	23,5	4,27	13,19	7,85	7,26	13,19
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	68,5	0,66	1,04	34,3	5,35	10,60	9,18	6,22	10,60
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	28,7	0,43	2,40	16,0	3,29	16,91	4,49	12,56	16,91
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	46,5	0,55	1,89	23,3	3,16	17,56	7,00	8,13	17,56
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	69,5	0,67	1,54	34,8	3,83	14,64	8,69	6,56	14,64
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	82,7	0,73	1,42	41,4	3,55	15,74	11,22	5,09	15,74
G4	3,11	0,65	0,17	379	62,8	0,63	1,03	31,4	5,32	10,65	8,98	6,36	10,65
G5	2,39	0,65	0,17	379	40,0	0,51	1,28	20,0	4,09	13,75	7,40	7,70	13,75
G6	1,64	0,65	0,17	379	20,7	0,36	1,79	12,3	2,80	19,63	6,63	8,58	19,63
S5A	4,37	1,92	0,45	427	95,7	0,78	2,45	47,9	2,53	21,58	9,75	5,86	21,58
S7A	5,92	2,86	0,67	427	95,7	0,78	3,65	47,9	2,30	23,50	7,13	7,98	23,50
S7B	6,35	2,86	0,67	427	95,7	0,78	3,65	47,9	2,47	22,07	6,63	8,58	22,07
S8A	5,29	1,92	0,45	427	95,7	0,78	2,45	47,9	3,06	18,09	8,02	7,11	18,09
S8B	5,71	1,92	0,45	427	95,7	0,78	2,45	47,9	3,30	16,84	7,41	7,69	16,84
I	2,06	0,67	0,14	480	36,4	0,48	1,39	18,9	3,42	16,32	8,11	7,03	16,32
5	2,33	0,67	0,14	480	55,8	0,60	1,12	27,9	3,86	14,51	10,68	5,35	14,51
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	25,0	0,40	10,08	14,4	1,65	31,20	1,49	33,91	33,91
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	25,0	0,40	10,08	14,4	1,68	30,74	1,41	35,28	35,28
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	47,0	0,55	7,35	23,5	2,42	22,45	1,88	28,06	28,06
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	47,0	0,55	7,35	23,5	2,29	23,56	2,06	25,94	25,94
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	50,0	0,57	10,61	25,0	1,94	27,28	1,47	34,27	34,27
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	50,0	0,57	10,61	25,0	2,03	26,19	1,25	38,71	38,71
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	60,0	0,62	9,68	30,0	2,18	24,61	1,70	30,43	30,43
2	5,53	1,93	0,43	449	120,2	0,88	2,20	60,1	3,18	17,44	9,68	5,90	17,44

Tabela A.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-01Método $V_u = V_s$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} \text{ (min)}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cdz} (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
3	8,34	4,03	0,88	458	120,2	0,88	4,59	60,1	0,5	2,30	23,51	6,33	8,98	23,51
4	9,77	5,77	1,26	458	120,2	0,88	6,58	60,1	0,5	1,88	27,99	5,35	10,59	27,99
5	11,25	8,02	1,75	458	120,2	0,88	9,14	60,1	0,5	1,56	32,69	4,59	12,29	32,69
6	1,91	0,36	0,08	445	72,5	0,68	0,53	36,3	0,5	5,90	9,63	17,02	3,36	9,63
7	2,26	0,71	0,16	445	72,5	0,68	1,04	36,3	0,5	3,54	15,79	14,37	3,98	15,79
10	3,37	1,02	0,23	445	125,4	0,90	1,14	62,7	0,5	3,67	15,24	16,68	3,43	15,24
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	40,4	0,51	1,49	20,2	0,5	3,96	14,17	6,56	8,67	14,17
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	75,3	0,69	1,09	37,7	0,5	4,24	13,27	11,60	4,93	13,27
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	39,0	0,50	1,52	19,7	0,5	6,55	8,68	3,69	15,18	15,18
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	75,5	0,70	1,09	37,8	0,5	7,03	8,09	6,92	8,22	8,22
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	40,2	0,51	2,25	20,1	0,5	4,59	12,29	3,56	15,69	15,69
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	71,8	0,68	1,68	35,9	0,5	4,59	12,29	6,71	8,48	12,29
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	75,7	0,70	1,09	37,9	0,5	4,82	11,71	10,22	5,59	11,71
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	73,9	0,69	1,11	37,0	0,5	7,79	7,31	6,07	9,35	9,35
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	73,4	0,69	1,66	36,7	0,5	5,30	10,68	5,90	9,62	10,68
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	80,1	0,72	2,14	40,1	0,5	3,58	15,61	7,17	7,94	15,61
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	70,1	0,67	1,13	35,1	0,5	5,13	11,03	8,87	6,43	11,03
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	70,2	0,67	1,13	35,1	0,5	8,61	6,62	5,17	10,95	10,95
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	74,2	0,69	1,65	37,1	0,5	5,74	9,88	5,49	10,33	10,33
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	75,7	0,70	2,20	37,9	0,5	3,82	14,67	6,32	8,99	14,67
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	58,3	0,61	10,58	29,2	0,5	1,47	34,16	2,69	20,40	34,16
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	70,7	0,67	4,80	35,4	0,5	2,46	22,15	4,22	13,34	22,15
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	60,0	0,62	5,21	30,0	0,5	2,70	20,30	3,11	17,80	20,30
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	60,4	0,62	3,43	30,2	0,5	2,61	20,98	5,25	10,79	20,98
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	55,0	0,59	3,59	27,5	0,5	3,72	15,03	3,15	17,62	17,62

Tabela A.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-01Método $V_u = V_s$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (mín)}}$	$\rho_w f_{yw}$ (mín) (%)	f_{cd2} (MPa)	f_{cd2}/f_c	$\cot\theta_1$ (°)	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	64,3	3,32	0,64	32,2	0,5	2,80	19,68	5,21	10,87	19,68
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	111,0	4,22	0,84	55,5	0,5	2,87	19,20	5,24	10,81	19,20
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	111,0	9,09	0,84	55,5	0,5	2,13	25,11	3,07	18,04	25,11
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	111,0	7,90	0,84	55,5	0,5	2,25	23,96	3,41	16,35	23,96
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	111,0	22,77	0,84	55,5	0,5	1,10	42,15	2,15	24,91	42,15
B-1	4,04	1,49	0,50	297	50,7	2,62	0,57	25,4	0,5	3,01	18,36	5,46	10,37	18,36
B-4	8,47	5,95	0,66	902	50,7	10,45	0,57	25,4	0,5	1,58	32,30	2,25	23,97	32,30
B-5	11,98	14,47	1,71	846	50,7	25,40	0,57	26,6	0,5	0,92	47,39	1,00	45,03	45,03
B-6	7,29	2,34	0,57	411	73,5	3,41	0,69	36,8	0,5	3,46	16,11	4,30	13,08	16,11
B-7	10,90	7,19	0,85	846	73,5	10,48	0,69	36,8	0,5	1,68	30,70	2,66	20,62	30,70
B-8	11,80	15,88	1,76	902	73,5	23,15	0,69	36,8	0,5	0,83	50,46	2,38	22,76	50,46
A5H	2,90	2,93	0,71	413	31,1	6,57	0,45	16,9	0,5	1,10	42,28	5,06	11,19	42,28
A6H	3,08	2,93	0,71	413	29,2	6,78	0,43	16,2	0,6	1,17	40,57	4,51	12,52	40,57
A5H	3,94	2,93	0,71	413	69,8	4,38	0,67	34,9	0,5	1,49	33,80	7,84	7,27	33,80
A6H	3,94	2,93	0,71	413	78,0	4,15	0,71	39,0	0,5	1,49	33,80	8,79	6,49	33,80
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	36,0	1,04	0,48	18,7	0,5	4,38	12,87	8,43	6,76	12,87
M2-S	2,25	0,50	0,12	430	67,0	0,76	0,65	33,5	0,5	5,00	11,31	13,32	4,29	11,31
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	67,0	1,07	0,65	33,5	0,5	4,46	12,64	10,64	5,37	12,64
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	87,0	0,80	0,75	43,5	0,5	4,50	12,53	16,05	3,57	12,53
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	87,0	1,34	0,75	43,5	0,5	3,27	17,02	13,24	4,32	17,02
A-1	1,63	0,33	-	-	24,1	0,84	0,39	13,9	0,6	5,49	10,33	7,57	7,53	10,33
A-2	1,73	0,33	-	-	24,3	0,84	0,39	14,0	0,6	5,82	9,74	7,17	7,94	9,74
B-1	2,09	0,48	-	-	24,8	1,21	0,40	14,3	0,6	4,84	11,68	5,97	9,50	11,68
B-2	1,88	0,48	-	-	23,2	1,25	0,39	13,5	0,6	4,35	12,94	6,32	8,99	12,94
C-1	2,17	0,65	-	-	29,6	1,49	0,44	16,3	0,6	3,71	15,09	6,62	8,59	15,09

Tabela A.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-01Método $V_u = V_s$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} / \rho_w f_{yw} (\text{min})$	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} (\text{min})}$	f_{ca2} (MPa)	f_{ca2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
C-2	2,29	0,66	-	-	23,8	1,69	1,69	13,8	0,6	3,86	14,54	5,24	10,80	14,54
CRB-1	1,65	0,51	-	-	23,7	1,31	1,31	13,8	0,6	3,59	15,55	7,37	7,73	15,55
CRC-1	1,67	0,69	-	-	24,4	1,75	1,75	14,1	0,6	2,69	20,40	7,47	7,63	20,40
1WCRA-1	1,54	0,35	-	-	26,3	0,85	0,85	15,0	0,6	4,89	11,56	8,63	6,61	11,56
1WCRB-1	1,94	0,51	-	-	23,2	1,32	1,32	13,5	0,6	4,23	13,31	6,12	9,29	13,31
1WCRC-1	2,05	0,70	-	-	26,8	1,69	1,69	15,1	0,6	3,25	17,08	6,50	8,75	17,08
1WCA-1	1,56	0,35	-	-	25,2	0,87	0,87	14,5	0,6	4,95	11,42	8,22	6,94	11,42
1WCB-1	1,90	0,51	-	-	26,5	1,24	1,24	15,0	0,6	4,14	13,58	6,98	8,16	13,58
1WCC-1	2,00	0,69	-	-	24,9	1,73	1,73	14,3	0,6	3,22	17,25	6,29	9,04	17,25
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	26,3	0,85	0,85	15,0	0,6	5,46	10,38	7,70	7,40	10,38
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	26,3	0,85	0,85	14,9	0,6	4,70	12,02	8,97	6,36	12,02
A1-1	3,37	1,26	-	-	24,7	3,17	3,17	14,2	0,6	2,97	18,60	3,51	15,89	18,60
A1-2	3,18	1,26	-	-	23,7	3,24	3,24	13,8	0,6	2,80	19,63	3,62	15,45	19,63
A1-3	3,39	1,26	-	-	23,4	3,26	3,26	13,6	0,6	2,99	18,50	3,32	16,75	18,50
A1-4	3,71	1,26	-	-	24,8	3,17	3,17	14,3	0,6	3,27	17,00	3,14	17,66	17,66
E1-2	5,53	2,42	-	-	30,2	5,51	5,51	16,6	0,5	2,54	21,50	2,25	23,94	23,94
D2-6	4,21	2,02	-	-	29,5	4,65	4,65	16,3	0,6	2,32	23,36	3,17	17,51	23,36
D2-7	3,94	2,02	-	-	28,4	4,74	4,74	15,9	0,6	2,17	24,77	3,32	16,77	24,77
D2-8	4,24	2,02	-	-	26,1	4,94	4,94	14,9	0,6	2,33	23,21	2,80	19,65	23,21
D4-1	4,23	1,62	-	-	27,4	3,87	3,87	15,4	0,6	2,90	19,02	2,94	18,79	19,02
D4-2	3,96	1,62	-	-	25,7	4,00	4,00	14,7	0,6	2,72	20,21	3,00	18,44	20,21
D4-3	4,21	1,62	-	-	22,1	4,31	4,31	13,0	0,6	2,89	19,10	2,36	22,99	22,99
D5-1	3,67	1,23	-	-	27,7	2,92	2,92	15,6	0,6	3,32	16,79	3,53	15,80	16,79
D5-2	3,93	1,23	-	-	29,0	2,85	2,85	16,1	0,6	3,55	15,73	3,39	16,42	16,42
D5-3	3,95	1,23	-	-	27,1	2,95	2,95	15,3	0,6	3,57	15,66	3,17	17,51	17,51

Tabela A.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-01
Método $V_u = V_s - \text{cont.}$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} \text{ (mín)}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (mín)}}$	f_{cdz} (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 (°)	$\cot\theta_2$	θ_2 (°)	θ_{rup} (°)
C205-D10	2,90	0,85	-	-	23,2	0,39	2,20	13,6	0,6	3,79	14,78	3,96	14,18	14,78
C205-D20	2,59	0,85	-	-	24,3	0,39	2,15	14,1	0,6	3,39	16,46	4,68	12,07	16,46
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	27,2	0,42	4,07	15,4	0,6	2,44	22,30	3,41	16,33	22,30
C210-S0	4,15	1,70	-	-	23,0	0,38	4,43	13,4	0,6	2,71	20,24	2,52	21,67	21,67
C305-D0	2,28	0,85	-	-	26,0	0,41	2,08	14,8	0,6	2,98	18,55	5,67	10,00	18,55
C305-D10	2,80	1,70	-	-	24,3	0,39	4,31	14,0	0,6	1,83	28,66	4,28	13,15	28,66
C305-D20	2,96	1,70	-	-	24,6	0,40	4,29	14,2	0,6	1,93	27,34	4,06	13,83	27,34
R8	1,92	0,58	-	-	26,7	0,41	1,40	15,1	0,6	3,68	15,21	6,94	8,20	15,21
R9	2,52	1,15	-	-	29,6	0,44	2,64	16,3	0,6	2,43	22,33	5,66	10,03	22,33
R10	1,82	0,58	-	-	29,6	0,44	1,33	16,3	0,6	3,49	16,00	7,96	7,16	16,00
R11	2,16	0,58	-	-	26,2	0,41	1,42	14,9	0,6	4,14	13,59	6,05	9,39	13,59
R12	2,83	0,58	-	-	33,9	0,47	1,24	18,0	0,5	5,42	10,45	5,54	10,23	10,45
R13	3,86	1,15	-	-	32,3	0,45	2,53	17,4	0,5	3,73	15,01	3,79	14,79	15,01
R14	2,16	0,38	-	-	29,0	0,43	0,88	16,1	0,6	6,32	9,00	6,56	8,67	9,00
R15	3,61	1,15	-	-	29,9	0,44	2,63	16,4	0,6	3,49	16,00	3,84	14,60	16,00
R16	3,61	1,15	-	-	31,6	0,45	2,56	17,1	0,5	3,49	16,00	4,02	13,97	16,00
R17	1,69	0,58	-	-	12,8	0,29	2,03	8,1	0,6	3,24	17,17	4,08	13,78	17,17
R18	2,04	0,58	-	-	31,3	0,45	1,30	17,0	0,5	3,91	14,35	7,37	7,73	14,35
R19	2,89	1,15	-	-	30,3	0,44	2,61	16,6	0,5	2,79	19,71	4,97	11,38	19,71
R20	2,17	0,58	-	-	42,5	0,52	1,11	21,2	0,5	4,16	13,53	8,69	6,56	13,53
R21	3,86	1,15	-	-	48,1	0,56	2,07	24,1	0,5	3,73	15,01	5,43	10,44	15,01
R22	1,92	0,58	-	-	29,5	0,43	1,33	16,3	0,6	3,68	15,21	7,51	7,59	15,21
R24	2,38	0,58	-	-	30,9	0,44	1,30	16,9	0,5	4,56	12,37	6,21	9,15	12,37
R25	2,70	0,58	-	-	30,8	0,44	1,31	16,8	0,5	5,17	10,94	5,42	10,45	10,94
R27	2,45	1,15	-	-	13,7	0,30	3,89	8,6	0,6	2,37	22,90	2,81	19,58	22,90
R28	4,63	2,25	-	-	31,6	0,45	5,00	17,1	0,5	2,29	23,62	2,99	18,47	23,62

□ Ruptura por Escoamento do Aço

▒ Ruptura por Esmagamento da Biela

(-) valores não fornecidos

Tabela A.7- Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	0,97	1,72
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,40	1,47
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	1,69	1,27
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	1,78	1,37
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,12	1,88
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,53	1,73
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	1,75	1,90
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	1,78	1,43
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,14	2,68
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,53	1,92
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	1,75	2,03
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	1,78	1,85
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	1,71	1,82
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,40	1,70
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	0,94	1,74
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	1,78	2,45
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	1,78	3,32
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	1,78	3,56
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	1,78	2,97
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	1,78	3,20
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,33	1,55
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,33	1,02
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,77	0,90
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,77	1,09
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,66	1,40
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,61	1,07
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,61	0,98
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,62	0,39
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,59	0,33
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	1,72	0,31
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	1,73	0,18
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	1,05	5,72
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	1,05	5,82
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,53	5,72
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,53	5,42
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,58	6,61
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,58	6,93
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,69	6,98
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	-	-

Tabela A.7- Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c*} (MPa)
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	-	-
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	1,78	0,84
2	5,53	120,2	559,0	3,04	1,78	3,10
3	8,34	120,2	559,0	4,57	1,78	4,68
4	9,77	120,2	559,0	6,09	1,78	5,48
5	11,25	120,2	559,0	6,98	1,78	6,31
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,77	1,08
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,77	1,28
8	1,39	125,4	762,0	1,88	1,78	0,78
9	2,15	125,4	762,0	2,35	1,78	1,21
10	3,37	125,4	762,0	2,89	1,78	1,89
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,41	1,92
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	1,78	1,63
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,38	3,24
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	1,78	2,70
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,41	3,35
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	1,77	2,66
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	1,78	1,85
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	1,78	2,99
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	1,78	3,06
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	1,78	2,77
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	1,76	2,00
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	1,76	3,35
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	1,78	3,31
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	1,78	2,95
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	1,68	5,11
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	1,76	4,06
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	1,69	4,65
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	1,69	2,95
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	1,66	4,31
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	1,72	3,12
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	1,78	5,16

Tabela A.7- Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	1,78	8,25
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	1,78	7,57
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	1,78	10,71
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,60	2,53
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,60	5,31
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,60	7,51
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	1,78	4,10
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	1,78	6,13
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	1,78	6,63
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,20	2,42
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,15	2,67
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,39	1,24
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,39	1,27
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	1,75	2,25
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	1,78	2,21
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	1,76	1,19
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	1,78	1,11
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,32	1,12
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,32	1,49
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,74	1,30
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,74	1,62
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	1,78	1,36
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	1,78	1,65
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	1,02	1,59
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,03	1,68
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,30	1,26
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,04	2,01
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	1,00	1,88
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,38	1,23
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,16	1,87
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	1,02	2,25
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,30	1,47
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	1,05	1,14
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	1,01	1,63
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	1,03	1,62
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,08	1,42
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	1,00	1,94
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,09	1,88
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	1,05	1,48

Tabela A.7- Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{e*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{e*} (MPa)
IWCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,08	1,75
IWCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	1,05	1,91
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,08	1,59
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,08	1,37
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,04	3,24
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,01	3,14
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,01	3,36
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,04	3,56
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,18	4,70
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,16	3,63
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,13	3,48
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,08	3,94
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,11	3,82
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,06	3,72
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	0,97	4,32
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,12	3,29
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,15	3,42
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,10	3,59
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,00	2,89
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,03	2,51
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,10	3,38
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,00	4,16
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,07	2,13
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,03	2,72
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,04	2,86
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,09	1,76
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,16	2,17
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,16	1,57
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,08	2,00
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,27	2,23
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,23	3,14
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,15	1,88
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,17	3,09
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,21	2,98
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,69	2,47
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,20	1,69
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,18	2,45
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,45	1,49
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,55	2,49

Tabela A.7- Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,16	1,66
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,19	1,99
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,19	2,27
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	0,71	3,43
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,21	3,82



$$\tau_{wu} / \tau_{c^*} < 1,3$$

τ_{c^*} = resistência das vigas sem armadura transversal

$$\tau_{c^*} = 0,33 \cdot [f_m + (100 \cdot \rho)] < 0,66 \cdot f_m$$

f_m : Tabela 3.2 (Capítulo 3)

(-) valores não fornecidos

Tabela A.8 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cd2}^* (MPa)	f_{cd2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	22,0	0,51	0,67	10,9	0,5	5,46	10,38	5,71	9,93	10,38
B50-7-3	2,06	0,34	0,11	303	39,8	0,63	0,54	18,4	0,5	6,73	8,45	7,91	7,21	8,45
B50-15-3	2,45	0,34	0,11	303	82,9	1,05	0,32	33,2	0,4	8,01	7,12	12,12	4,72	7,12
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	27,9	0,51	1,35	13,4	0,5	3,38	16,47	5,56	10,19	16,47
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	47,0	0,78	0,88	21,2	0,5	4,27	13,19	7,05	8,08	13,19
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	68,5	0,95	0,73	28,4	0,4	5,35	10,60	7,56	7,53	10,60
B100-15-3	2,54	0,69	0,26	269	81,9	1,04	0,66	32,9	0,4	4,09	13,74	11,57	4,94	13,74
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	28,7	0,51	2,00	13,7	0,5	3,29	16,91	3,79	14,79	16,91
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	46,5	0,78	1,32	21,0	0,5	3,16	17,56	6,29	9,03	17,56
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	69,5	0,95	1,08	28,7	0,4	3,83	14,64	7,14	7,97	14,64
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	82,7	1,05	0,99	33,2	0,4	3,55	15,74	8,96	6,37	15,74
G4	3,11	0,65	0,17	379	62,8	0,91	0,72	26,5	0,4	5,32	10,65	7,53	7,57	10,65
G5	2,39	0,65	0,17	379	40,0	0,63	1,04	18,5	0,5	4,09	13,75	6,81	8,35	13,75
G6	1,64	0,65	0,17	379	20,7	0,51	1,27	10,4	0,5	2,80	19,63	5,51	10,28	19,63
S5A	4,37	1,92	0,45	427	95,7	1,13	1,70	37,5	0,4	2,53	21,58	7,60	7,50	21,58
S7A	5,92	2,86	0,67	427	95,7	1,13	2,53	37,5	0,4	2,30	23,50	5,52	10,26	23,50
S7B	6,35	2,86	0,67	427	95,7	1,13	2,53	37,5	0,4	2,47	22,07	5,12	11,04	22,07
S8A	5,29	1,92	0,45	427	95,7	1,13	1,70	37,5	0,4	3,06	18,09	6,22	9,13	18,09
S8B	5,71	1,92	0,45	427	95,7	1,13	1,70	37,5	0,4	3,30	16,84	5,74	9,88	16,84
I	2,06	0,67	0,14	480	36,4	0,59	1,13	17,0	0,5	3,42	16,32	7,28	7,83	16,32
5	2,33	0,67	0,14	480	55,8	0,85	0,79	24,1	0,4	3,86	14,51	9,21	6,20	14,51
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	25,0	0,51	7,90	13,3	0,5	1,65	31,20	1,00	45,03	45,03
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	25,0	0,51	7,90	13,5	0,5	1,68	30,74	1,00	45,03	45,03
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	47,0	0,78	5,14	21,2	0,5	2,42	22,45	1,51	33,59	33,59
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	47,0	0,78	5,14	21,2	0,5	2,29	23,56	1,70	30,43	30,43

Tabela A.8 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92 - cont.Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cd2}^* (MPa)	f_{cd2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	50,0	0,81	7,42	0,5	23,2	0,5	1,94	27,28	1,00	45,03	45,03
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	50,0	0,81	7,42	0,5	24,4	0,5	2,03	26,19	1,00	45,03	45,03
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	60,0	0,89	6,78	0,4	26,2	0,4	2,18	24,61	1,00	45,03	45,03
2	5,53	1,93	0,43	449	120,2	1,28	1,51	0,4	45,8	0,4	3,18	17,44	7,31	7,79	17,44
3	8,34	4,03	0,88	458	120,2	1,28	3,15	0,4	45,8	0,4	2,30	23,51	4,73	11,95	23,51
4	9,77	5,77	1,26	458	120,2	1,28	4,51	0,4	45,8	0,4	1,88	27,99	3,96	14,16	27,99
5	11,25	8,02	1,75	458	120,2	1,28	6,27	0,4	45,8	0,4	1,56	32,69	3,36	16,56	32,69
10	3,37	1,02	0,23	445	125,4	1,31	0,78	0,4	47,5	0,4	3,67	15,24	12,61	4,53	15,24
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	40,4	0,63	1,20	0,5	18,6	0,5	3,96	14,17	6,03	9,42	14,17
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	75,3	1,00	0,76	0,4	30,7	0,4	4,24	13,27	9,41	6,06	13,27
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	39,0	0,62	1,23	0,5	18,1	0,5	6,55	8,68	3,33	16,73	16,73
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	75,5	1,00	0,76	0,4	30,7	0,4	7,03	8,09	5,57	10,17	10,17
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	40,2	0,63	1,81	0,5	18,6	0,5	4,59	12,29	3,24	17,16	17,16
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	71,8	0,97	1,17	0,4	29,5	0,4	4,59	12,29	5,45	10,39	12,29
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	75,7	1,00	0,76	0,4	30,8	0,4	4,82	11,71	8,28	6,89	11,71
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	73,9	0,99	0,77	0,4	30,2	0,4	7,79	7,31	4,90	11,54	11,54
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	73,4	0,98	1,16	0,4	30,0	0,4	5,30	10,68	4,76	11,87	11,87
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	80,1	1,03	1,49	0,4	32,3	0,4	3,58	15,61	5,72	9,92	15,61
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	70,1	0,96	0,79	0,4	28,9	0,4	5,13	11,03	7,28	7,82	11,03
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	70,2	0,96	0,79	0,4	29,0	0,4	8,61	6,62	4,19	13,43	13,43
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	74,2	0,99	1,15	0,4	30,3	0,4	5,74	9,88	4,40	12,79	12,79
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	75,7	1,00	1,53	0,4	30,8	0,4	3,82	14,67	5,07	11,15	14,67
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	58,3	0,87	7,40	0,4	25,0	0,4	1,47	34,16	2,16	24,86	34,16
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	70,7	0,96	3,35	0,4	29,1	0,4	2,46	22,15	3,38	16,50	22,15
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	60,0	0,89	3,65	0,4	25,5	0,4	2,70	20,30	2,53	21,58	21,58

Tabela A.8 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cdz}^* (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	60,4	0,89	2,40	25,7	0,4	2,61	20,98	4,39	12,82	20,98	
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	55,0	0,85	2,51	23,9	0,4	3,72	15,03	2,63	20,85	20,85	
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	64,3	0,92	2,32	27,0	0,4	2,80	19,68	4,30	13,10	19,68	
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	111,0	1,23	2,91	42,7	0,4	2,87	19,20	3,92	14,31	19,20	
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	111,0	1,23	6,25	42,7	0,4	2,13	25,11	2,14	25,00	25,11	
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	111,0	1,23	5,44	42,7	0,4	2,25	23,96	2,44	22,32	23,96	
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	111,0	1,23	15,67	42,7	0,4	1,10	42,15	1,12	41,77	42,15	
B-1	4,04	1,49	0,50	297	50,7	0,81	1,83	22,4	0,4	3,01	18,36	4,78	11,81	18,36	
B-4	8,47	5,95	0,66	902	50,7	0,81	7,31	22,4	0,4	1,58	32,30	1,84	28,56	32,30	
B-5	11,98	14,47	1,71	846	50,7	0,81	17,78	26,6	0,5	0,92	47,39	1,00	45,03	45,03	
B-6	7,29	2,34	0,57	411	73,5	0,98	2,38	30,1	0,4	3,46	16,11	3,42	16,30	16,30	
B-7	10,90	7,19	0,85	846	73,5	0,98	7,32	30,1	0,4	1,68	30,70	1,98	26,83	30,70	
B-8	11,80	15,88	1,76	902	73,5	0,98	16,16	30,1	0,4	0,83	50,46	1,71	30,35	50,46	
A5H	2,90	2,93	0,71	413	31,1	0,54	5,43	14,7	0,5	1,10	42,28	4,34	12,96	42,28	
A6H	3,08	2,93	0,71	413	29,2	0,52	5,64	13,9	0,5	1,17	40,57	3,81	14,70	40,57	
A5H	3,94	2,93	0,71	413	69,8	0,96	3,06	28,8	0,4	1,49	33,80	6,43	8,84	33,80	
A6H	3,94	2,93	0,71	413	78,0	1,01	2,89	31,6	0,4	1,49	33,80	7,07	8,05	33,80	
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	36,0	0,59	0,85	16,8	0,5	4,38	12,87	7,54	7,55	12,87	
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	67,0	0,94	0,75	27,9	0,4	4,46	12,64	8,82	6,47	12,64	
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	87,0	1,07	0,56	34,6	0,4	4,50	12,53	12,74	4,49	12,53	
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	87,0	1,07	0,93	34,6	0,4	3,27	17,02	10,50	5,44	17,02	
A-1	1,63	0,33	-	-	24,1	0,51	0,65	11,8	0,5	5,49	10,33	6,35	8,95	10,33	
A-2	1,73	0,33	-	-	24,3	0,51	0,65	11,9	0,5	5,82	9,74	6,01	9,45	9,74	
B-1	2,09	0,48	-	-	24,8	0,51	0,94	12,1	0,5	4,84	11,68	5,00	11,31	11,68	
B-2	1,88	0,48	-	-	23,2	0,51	0,94	11,4	0,5	4,35	12,94	5,27	10,74	12,94	

Tabela A.8 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} (\text{min})}$	f_{cdz}^* (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
C-1	2,17	0,65	-	-	29,6	1,24	14,1	0,5	3,71	15,09	5,67	10,00	15,09
C-2	2,29	0,66	-	-	23,8	1,29	11,7	0,5	3,86	14,54	4,36	12,93	14,54
C-3	1,91	0,65	-	-	35,0	1,12	16,4	0,5	3,26	17,03	7,59	7,50	17,03
CRB-1	1,65	0,51	-	-	23,7	1,00	11,6	0,5	3,59	15,55	6,17	9,20	15,55
CRC-1	1,67	0,69	-	-	24,4	1,35	11,9	0,5	2,69	20,40	6,27	9,06	20,40
IWCRA-1	1,54	0,35	-	-	26,3	0,69	12,7	0,5	4,89	11,56	7,31	7,79	11,56
IWCRB-1	1,94	0,51	-	-	23,2	1,00	11,4	0,5	4,23	13,31	5,10	11,10	13,31
IWCRC-1	2,05	0,70	-	-	26,8	1,37	12,9	0,5	3,25	17,08	5,49	10,33	17,08
IWCA-1	1,56	0,35	-	-	25,2	0,69	12,3	0,5	4,95	11,42	6,92	8,22	11,42
IWCB-1	1,90	0,51	-	-	26,5	1,00	12,8	0,5	4,14	13,58	5,89	9,63	13,58
IWCC-1	2,00	0,69	-	-	24,9	1,35	12,1	0,5	3,22	17,25	5,27	10,74	17,25
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	26,3	0,69	12,7	0,5	5,46	10,38	6,51	8,73	10,38
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	26,3	0,69	12,7	0,5	4,70	12,02	7,60	7,50	12,02
A1-1	3,37	1,26	-	-	24,7	2,47	12,0	0,5	2,97	18,60	2,86	19,25	19,25
A1-2	3,18	1,26	-	-	23,7	2,47	11,6	0,5	2,80	19,63	2,95	18,74	19,63
A1-3	3,39	1,26	-	-	23,4	2,47	11,5	0,5	2,99	18,50	2,68	20,44	20,44
A1-4	3,71	1,26	-	-	24,8	2,47	12,1	0,5	3,27	17,00	2,53	21,53	21,53
E1-2	5,53	2,42	-	-	30,2	4,57	14,4	0,5	2,54	21,50	1,77	29,45	29,45
D2-6	4,21	2,02	-	-	29,5	3,86	14,1	0,5	2,32	23,36	2,63	20,83	23,36
D2-7	3,94	2,02	-	-	28,4	3,95	13,6	0,5	2,17	24,77	2,75	20,02	24,77
D2-8	4,24	2,02	-	-	26,1	3,96	12,7	0,5	2,33	23,21	2,24	24,06	24,06
D4-1	4,23	1,62	-	-	27,4	3,18	13,2	0,5	2,90	19,02	2,38	22,76	22,76
D4-2	3,96	1,62	-	-	25,7	3,18	12,5	0,5	2,72	20,21	2,42	22,48	22,48
D4-3	4,21	1,62	-	-	22,1	3,18	10,9	0,5	2,89	19,10	1,78	29,37	29,37
D5-1	3,67	1,23	-	-	27,7	2,41	13,3	0,5	3,32	16,79	2,93	18,87	18,87

Tabela A.8 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92 - cont.

Método $V_u = V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cd2}^* (MPa)	f_{ct2}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
D5-2	3,93	1,23	-	-	29,0	0,52	2,38	13,9	0,5	3,55	15,73	2,82	19,51	19,51
D5-3	3,95	1,23	-	-	27,1	0,51	2,41	13,1	0,5	3,57	15,66	2,59	21,11	21,11
C205-D10	2,90	0,85	-	-	23,2	0,51	1,67	11,4	0,5	3,79	14,78	3,24	17,14	17,14
C205-D20	2,59	0,85	-	-	24,3	0,51	1,67	11,9	0,5	3,39	16,46	3,88	14,46	16,46
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	27,2	0,51	3,33	13,1	0,5	2,44	22,30	2,81	19,59	22,30
C210-S0	4,15	1,70	-	-	23,0	0,51	3,33	11,3	0,5	2,71	20,24	1,94	27,27	27,27
C305-D0	2,28	0,85	-	-	26,0	0,51	1,67	12,6	0,5	2,98	18,55	4,76	11,86	18,55
C305-D10	2,80	1,70	-	-	24,3	0,51	3,33	11,9	0,5	1,83	28,66	3,53	15,80	28,66
C305-D20	2,96	1,70	-	-	24,6	0,51	3,33	12,0	0,5	1,93	27,34	3,35	16,64	27,34
R8	1,92	0,58	-	-	26,7	0,51	1,14	12,9	0,5	3,68	15,21	5,87	9,67	15,21
R9	2,52	1,15	-	-	29,6	0,52	2,20	14,1	0,5	2,43	22,33	4,83	11,70	22,33
R10	1,82	0,58	-	-	29,6	0,52	1,11	14,1	0,5	3,49	16,00	6,83	8,33	16,00
R11	2,16	0,58	-	-	26,2	0,51	1,14	12,7	0,5	4,14	13,59	5,09	11,12	13,59
R12	2,83	0,58	-	-	33,9	0,57	1,02	15,9	0,5	5,42	10,45	4,86	11,63	11,63
R13	3,86	1,15	-	-	32,3	0,55	2,08	15,2	0,5	3,73	15,01	3,24	17,14	17,14
R14	2,16	0,38	-	-	29,0	0,52	0,73	13,9	0,5	6,32	9,00	5,60	10,12	10,12
R15	3,61	1,15	-	-	29,9	0,53	2,18	14,2	0,5	3,49	16,00	3,24	17,17	17,17
R16	3,61	1,15	-	-	31,6	0,54	2,11	14,9	0,5	3,49	16,00	3,43	16,24	16,24
R17	1,69	0,58	-	-	12,8	0,51	1,14	7,0	0,6	3,24	17,17	3,46	16,12	17,17
R18	2,04	0,58	-	-	31,3	0,54	1,07	14,8	0,5	3,91	14,35	6,38	8,90	14,35
R19	2,89	1,15	-	-	30,3	0,53	2,17	14,4	0,5	2,79	19,71	4,25	13,25	19,71
R20	2,17	0,58	-	-	42,5	0,65	0,89	19,5	0,5	4,16	13,53	7,97	7,15	13,53
R21	3,86	1,15	-	-	48,1	0,79	1,45	21,5	0,4	3,73	15,01	4,82	11,73	15,01
R22	1,92	0,58	-	-	29,5	0,52	1,11	14,1	0,5	3,68	15,21	6,44	8,82	15,21
R24	2,38	0,58	-	-	30,9	0,54	1,08	14,7	0,5	4,56	12,37	5,35	10,58	12,37

Tabela A.8 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92 - cont.

Método $V_u=V_s$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (min) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	f_{cdz}^* (MPa)	f_{cdz}/f_c	$\cot\theta_1$	θ_1 ($^\circ$)	$\cot\theta_2$	θ_2 ($^\circ$)	θ_{rup} ($^\circ$)
R25	2,70	0,58	-	-	30,8	0,54	1,08	14,6	0,5	5,17	10,94	4,66	12,11	12,11
R27	2,45	1,15	-	-	13,7	0,51	2,25	7,4	0,5	2,37	22,90	2,29	23,63	23,63
R28	4,63	2,25	-	-	31,6	0,54	4,13	14,9	0,5	2,29	23,62	2,51	21,76	23,62

Ruptura por Escoramento do Aço

Ruptura por Esmagamento da Biela

(-) valores não fornecidos

f_{cdz}^* calculado pela expressão (3.34)

APÊNDICE B

Dados das vigas ensaiadas e resultados dos cálculos

Método $V_u = V_s + V_c$

Tabela B.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - AC1 318-99

Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c^*} (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	0,80	2,09
B50-7-3	2,06	39,8	1,07	1,92
B50-11-3	2,15	59,7	1,31	1,64
B50-15-3	2,45	82,9	1,41	1,74
B100-3-3	2,10	27,9	0,90	2,34
B100-7-3	2,65	47,0	1,17	2,27
B100-11-3	3,32	68,5	1,41	2,36
B100-15-3	2,54	81,9	1,41	1,80
B150-3-3	3,05	28,7	0,91	3,35
B150-7-3	2,93	46,5	1,16	2,53
B150-11-3	3,55	69,5	1,42	2,50
B150-15-3	3,29	82,7	1,55	2,13
G4	3,11	62,8	1,35	2,31
G5	2,39	40,0	1,08	2,22
G6	1,64	20,7	0,77	2,12
S5A	4,37	95,7	1,66	2,63
S7A	5,92	95,7	1,66	3,56
S7B	6,35	95,7	1,66	3,82
S8A	5,29	95,7	1,66	3,18
S8B	5,71	95,7	1,66	3,43
1	2,06	36,4	1,03	2,01
2	1,35	36,4	1,03	1,32
3	1,60	72,3	1,41	1,13
4	1,93	72,3	1,41	1,37
5	2,33	55,8	1,27	1,83
7	1,71	51,3	1,22	1,40
8	1,57	51,3	1,22	1,29
LR-WS	0,63	52,0	1,23	0,51
LR-WS	0,53	50,3	1,21	0,44
HR-WS	0,53	64,7	1,37	0,39
HR-WS	0,31	66,6	1,39	0,22
RC30A1	5,99	25,0	0,85	7,05
RC30A2	6,10	25,0	0,85	7,18
RC60A1	8,78	47,0	1,17	7,53
RC60A2	8,32	47,0	1,17	7,14
RC60B1	10,47	50,0	1,20	8,71
RC60B2	10,98	50,0	1,20	9,13
RC70B1	11,79	60,0	1,32	8,95
TB35/1	8,34	30,9	0,94	8,83

Tabela B.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - ACI 318-99 - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c^*} (MPa)
TB70/1	15,43	71,7	1,44	10,72
TB70/2	16,59	81,9	1,54	10,78
TB70/3	18,86	81,9	1,54	12,26
TC35/1	9,53	41,4	1,09	8,71
TC35/2	8,60	30,9	0,94	9,10
TC70/1	12,60	63,5	1,35	9,30
TC70/2	12,40	59,4	1,31	9,46
TE120/1	19,47	110,6	1,79	10,89
1	1,50	120,2	1,41	1,06
2	5,53	120,2	1,86	2,97
3	8,34	120,2	1,86	4,47
4	9,77	120,2	1,86	5,24
5	11,25	120,2	1,86	6,04
6	1,91	72,5	1,41	1,35
7	2,26	72,5	1,41	1,60
8	1,39	125,4	1,41	0,99
9	2,15	125,4	1,41	1,52
10	3,37	125,4	1,41	2,39
AL2-N	2,71	40,4	1,08	2,51
AL2-H	2,90	75,3	1,41	2,06
AS2-N	4,48	39,0	1,06	4,22
AS2-H	4,81	75,5	1,41	3,41
AS3-N	4,71	40,2	1,08	4,37
AS3-H	4,71	71,8	1,44	3,27
BL2-H	3,30	75,7	1,41	2,34
BS2-H	5,33	73,9	1,41	3,78
BS3-H	5,44	73,4	1,46	3,74
BS4-H	4,93	80,1	1,52	3,24
CL2-H	3,51	70,1	1,42	2,47
CS2-H	5,89	70,2	1,42	4,14
CS3-H	5,89	74,2	1,46	4,02
CS4-H	5,26	75,7	1,48	3,56
160-4-7B	8,57	58,3	1,30	6,60
160-4-15A	7,14	70,7	1,43	5,00
160-4-15B	7,86	60,0	1,32	5,97
160-4-22A	5,00	60,4	1,32	3,78
160-4-22B	7,14	55,0	1,26	5,66
160-4-15C	5,36	64,3	1,36	3,93
PB-1	9,20	111,0	1,79	5,14
PB-2	14,71	111,0	1,79	8,21

Tabela B.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - AC1 318-99 - cont.


Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
PB-3	13,49	111,0	1,79	7,53
PB-4	19,08	111,0	1,79	10,65
B-1	4,04	50,7	1,21	3,34
B-4	8,47	50,7	1,21	7,00
B-5	11,98	50,7	1,21	9,90
B-6	7,29	73,5	1,46	5,00
B-7	10,90	73,5	1,46	7,48
B-8	11,80	73,5	1,46	8,10
A5H	2,90	31,1	0,95	3,06
A6H	3,08	29,2	0,92	3,35
A7H	1,72	39,4	1,07	1,61
A8H	1,77	39,4	1,07	1,66
A5H	3,94	69,8	1,42	2,77
A6H	3,94	78,0	1,50	2,62
A7H	2,09	70,5	1,43	1,46
A8H	1,97	73,0	1,45	1,36
N2-S	1,48	36,0	1,02	1,45
N2-N	1,97	36,0	1,02	1,93
M2-S	2,25	67,0	1,39	1,62
M2-N	2,81	67,0	1,39	2,02
H2-S	2,43	87,0	1,41	1,72
H2-N	2,94	87,0	1,59	1,85
A-1	1,63	24,1	0,83	1,95
A-2	1,73	24,3	0,84	2,07
A-3	1,63	35,0	1,01	1,62
B-1	2,09	24,8	0,85	2,47
B-2	1,88	23,2	0,82	2,30
B-3	1,69	38,8	1,06	1,60
C-1	2,17	29,6	0,92	2,35
C-2	2,29	23,8	0,83	2,76
C-3	1,91	35,0	1,01	1,90
CRA-1	1,20	25,1	0,85	1,41
CRB-1	1,65	23,7	0,83	2,00
CRC-1	1,67	24,4	0,84	1,99
1WCRA-1	1,54	26,3	0,87	1,77
1WCRB-1	1,94	23,2	0,82	2,37
1WCRC-1	2,05	26,8	0,88	2,33
1WCA-1	1,56	25,2	0,85	1,83
1WCB-1	1,90	26,5	0,87	2,17
1WCC-1	2,00	24,9	0,85	2,36

Tabela B.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - AC1 318-99 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
2WCA-1	1,72	26,3	0,87	1,97
3WCA-1	1,48	26,3	0,87	1,70
A1-1	3,37	24,7	0,84	3,99
A1-2	3,18	23,7	0,83	3,85
A1-3	3,39	23,4	0,82	4,12
A1-4	3,71	24,8	0,85	4,39
E1-2	5,53	30,2	0,93	5,92
D2-6	4,21	29,5	0,92	4,56
D2-7	3,94	28,4	0,91	4,35
D2-8	4,24	26,1	0,87	4,88
D4-1	4,23	27,4	0,89	4,76
D4-2	3,96	25,7	0,86	4,60
D4-3	4,21	22,1	0,80	5,27
D5-1	3,67	27,7	0,90	4,10
D5-2	3,93	29,0	0,92	4,29
D5-3	3,95	27,1	0,88	4,46
C205-D10	2,90	23,2	0,82	3,54
C205-D20	2,59	24,3	0,84	3,09
C210-C0A	3,73	27,2	0,89	4,20
C210-S0	4,15	23,0	0,81	5,09
C305-D0	2,28	26,0	0,87	2,63
C305-D10	2,80	24,3	0,84	3,34
C305-D20	2,96	24,6	0,84	3,51
R8	1,92	26,7	0,88	2,19
R9	2,52	29,6	0,92	2,73
R10	1,82	29,6	0,93	1,97
R11	2,16	26,2	0,87	2,48
R12	2,83	33,9	0,99	2,86
R13	3,86	32,3	0,97	4,00
R14	2,16	29,0	0,92	2,36
R15	3,61	29,9	0,93	3,89
R16	3,61	31,6	0,96	3,78
R17	1,69	12,8	0,61	2,78
R18	2,04	31,3	0,95	2,14
R19	2,89	30,3	0,94	3,09
R20	2,17	42,5	1,11	1,96
R21	3,86	48,1	1,18	3,27
R22	1,92	29,5	0,92	2,08
R24	2,38	30,9	0,94	2,52
R25	2,70	30,8	0,94	2,86

Tabela B.1- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - AC1 318-99 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
R27	2,45	13,7	0,63	3,90
R28	4,63	31,6	0,96	4,85

 $\tau_{wu} / \tau_{c^*} < 1,3$

τ_{c^*} = resistência das vigas sem armadura transversal

$\tau_{c^*} = 0,17 \cdot (f_c')^{1/2}$

$f_c' \geq 69$ MPa, $(f_c')^{1/2} = 8,3$ MPa se $\rho_w < 0,01 f_c' / f_{yw}$, para o cálculo de τ_{c^*}

Tabela B.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma AC1 318-99
Método $V_u = V_g + V_c$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$P_{wf,yw}$ (MPa)	P_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ	d (mm)	f_c (MPa)	$P_{wf,yw}$ (min) (%)	$\frac{P_{wf,yw}}{P_{wf,yw} \text{ (min)}}$	τ_{lim} (MPa)	$\frac{\tau_{lim}}{\tau_{vu}}$ (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	3,36	298,0	22,0	0,35	0,99	3,91	2,34	1,91	27,59	2,57	21,29
B50-7-3	2,06	0,34	0,11	303	3,36	298,0	39,8	0,35	0,99	5,26	2,55	2,09	25,61	2,90	19,00
B50-11-3	2,15	0,34	0,11	303	3,36	298,0	59,7	0,35	0,99	6,44	3,00	2,57	21,26	2,46	22,12
B50-15-3	2,45	0,34	0,11	303	3,36	298,0	82,9	0,35	0,99	7,46	3,04	2,36	22,98	3,06	18,12
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	3,36	298,0	27,9	0,35	2,00	4,41	2,10	1,75	29,79	1,74	29,86
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	3,36	298,0	47,0	0,35	2,00	5,72	2,16	1,79	29,26	2,15	24,93
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	3,36	298,0	68,5	0,35	2,00	6,90	2,08	1,74	29,95	2,77	19,84
B100-15-3	2,54	0,69	0,26	269	3,36	298,0	81,9	0,35	2,00	7,42	2,92	2,25	23,97	1,64	31,43
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	3,36	298,0	28,7	0,35	2,99	4,47	1,46	1,43	35,05	2,08	25,71
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	3,36	298,0	46,5	0,35	2,99	5,69	1,94	1,65	31,15	1,72	30,19
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	3,36	298,0	69,5	0,35	2,99	6,95	1,96	1,66	31,00	2,07	25,78
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	3,36	298,0	82,7	0,35	2,99	7,58	2,31	1,89	27,93	1,69	30,57
G4	3,11	0,65	0,17	379	3,30	266,0	62,8	0,35	1,88	6,61	2,13	1,76	29,55	2,71	20,24
G5	2,39	0,65	0,17	379	2,50	268,0	40,0	0,35	1,88	5,27	2,21	1,82	28,82	2,02	26,31
G6	1,64	0,65	0,17	379	2,50	266,0	20,7	0,35	1,88	3,79	2,31	1,89	27,85	1,33	36,88
S5A	4,37	1,92	0,45	427	2,51	167,0	95,7	0,35	5,57	8,16	1,87	1,61	31,78	1,41	35,35
S7A	5,92	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	0,35	8,29	8,16	1,38	1,39	35,72	1,49	33,90
S7B	6,35	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	0,35	8,29	8,16	1,28	1,35	36,43	1,64	31,39
S8A	5,29	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	0,35	5,57	8,16	1,54	1,46	34,44	1,89	27,90
S8B	5,71	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	0,35	5,57	8,16	1,43	1,41	35,33	2,11	25,38
1	2,06	0,67	0,14	480	2,49	539,0	36,4	0,35	1,94	5,03	2,44	1,99	26,66	1,54	32,94
2	1,35	0,34	0,07	480	2,49	539,0	36,4	0,35	0,99	5,03	3,73	4,16	13,51	0,95	46,35
4	1,93	0,34	0,07	480	2,49	539,0	72,3	0,35	0,99	7,06	3,66	3,72	15,05	1,53	33,23
5	2,33	0,67	0,14	480	2,49	539,0	55,8	0,35	1,94	6,23	2,67	2,20	24,47	1,58	32,30
7	1,71	0,34	0,07	480	2,49	539,0	51,3	0,35	0,99	5,97	3,49	3,47	16,06	1,45	34,63
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,35	11,68	4,17	0,70	1,00	45,00	1,00	45,00
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,35	11,68	4,17	0,68	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,35	11,68	5,72	0,65	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,35	11,68	5,72	0,69	1,00	45,00	1,00	45,00

Tabela B.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma AC1 318-99
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$	τ_{lim} (MPa)	$\frac{\tau_{lim}}{\tau_{wu}}$	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	17,39	0,35	5,90	0,56	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	17,39	0,35	5,90	0,54	1,00	45,00	1,00	45,00
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	6,27	940,0	60,0	17,39	0,35	6,46	0,55	1,00	45,00	1,00	45,00
TB35/1	8,34	4,23	0,90	470	-	731,0	30,9	12,26	0,35	4,64	0,56	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/1	15,43	8,15	1,81	450	-	700,0	71,7	23,62	0,35	7,06	0,46	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/2	16,59	8,15	1,81	450	-	711,0	81,9	23,62	0,35	7,55	0,45	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/3	18,86	10,71	2,38	450	-	700,0	81,9	31,04	0,35	7,55	0,40	1,00	45,00	1,00	45,00
TC35/1	9,53	4,23	0,90	470	-	515,0	41,4	12,26	0,35	5,37	0,56	1,00	45,00	1,00	45,00
TC35/2	8,60	4,23	0,90	470	-	500,0	30,9	12,26	0,35	4,64	0,54	1,00	45,00	1,00	45,00
TC70/1	12,60	8,15	1,81	450	-	500,0	63,5	23,62	0,35	6,65	0,53	1,00	45,00	1,00	45,00
TC70/2	12,40	8,15	1,81	450	-	500,0	59,4	23,62	0,35	6,43	0,52	1,00	45,00	1,00	45,00
TE120/1	19,47	11,81	2,46	480	-	750,0	110,6	34,23	0,35	8,77	0,45	1,00	45,00	1,00	45,00
2	5,53	1,93	0,43	449	3,04	559,0	120,2	5,59	0,35	9,14	1,65	1,51	33,55	1,90	27,77
3	8,34	4,03	0,88	458	4,57	559,0	120,2	11,68	0,35	9,14	1,10	1,29	37,83	1,61	31,90
4	9,77	5,77	1,26	458	6,09	559,0	120,2	16,72	0,35	9,14	0,94	1,00	45,00	1,00	45,00
5	11,25	8,02	1,75	458	6,98	559,0	120,2	23,25	0,35	9,14	0,83	1,00	45,00	1,00	45,00
6	1,91	0,36	0,08	445	1,73	762,0	72,5	1,04	0,35	7,06	3,70	3,83	14,64	1,39	35,81
7	2,26	0,71	0,16	445	1,88	762,0	72,5	2,06	0,35	7,06	3,13	2,66	20,59	1,20	39,91
9	2,15	0,71	0,16	445	2,35	762,0	125,4	2,06	0,35	8,85	4,11	2,91	18,97	1,04	43,86
10	3,37	1,02	0,23	445	2,89	762,0	125,4	2,96	0,35	8,85	2,63	1,72	30,17	1,92	27,51
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	2,23	235,0	40,4	2,20	0,35	5,30	1,96	1,66	31,02	2,14	25,01
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	2,23	235,0	75,3	2,20	0,35	7,17	2,47	1,95	27,18	1,96	27,04
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	2,23	235,0	39,0	2,20	0,35	5,21	1,16	1,31	37,35	4,50	12,54
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	2,26	232,0	75,5	2,20	0,35	7,18	1,49	1,42	35,25	4,47	12,60
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	40,2	3,30	0,35	5,29	1,12	1,30	37,64	3,19	17,43
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	71,8	3,30	0,35	7,07	1,50	1,44	34,77	2,87	19,22
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	2,82	233,0	75,7	2,20	0,35	7,19	2,18	1,75	29,79	2,49	21,92
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	2,82	233,0	73,9	2,20	0,35	7,12	1,34	1,36	36,33	5,16	10,98
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	2,82	233,0	73,4	3,30	0,35	7,15	1,31	1,37	36,22	3,49	15,97

Tabela B.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma ACI 318-99
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\text{min})}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu}	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	2,82	233,0	80,1	0,35	4,43	7,46	1,51	1,45	34,66	2,23	24,18
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,1	0,35	2,20	6,98	1,99	1,68	30,73	2,75	20,01
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,2	0,35	2,20	6,99	1,19	1,32	37,17	5,88	9,66
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	3,51	233,0	74,2	0,35	3,30	7,18	1,22	1,33	36,92	3,88	14,45
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	3,51	233,0	75,7	0,35	4,43	7,26	1,38	1,39	35,71	2,47	22,03
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	6,18	280,0	58,3	0,35	18,72	6,37	0,74	1,00	45,00	0,78	51,88
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	4,10	280,0	70,7	0,35	9,36	7,01	0,98	1,00	45,00	1,73	30,05
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	6,18	280,0	60,0	0,35	9,36	6,46	0,82	1,00	45,00	1,59	32,13
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	4,10	280,0	60,4	0,35	6,17	6,48	1,30	1,36	36,35	1,73	30,07
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	6,18	280,0	55,0	0,35	6,17	6,19	0,87	1,00	45,00	2,31	23,39
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	6,18	280,0	64,3	0,35	6,17	6,69	1,25	1,34	36,71	1,88	28,06
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	4,08	255,0	111,0	0,35	10,32	8,79	0,96	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	4,08	255,0	111,0	0,35	22,20	8,79	0,60	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	4,08	255,0	111,0	0,35	19,30	8,79	0,65	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	4,08	255,0	111,0	0,35	55,62	8,79	0,46	1,00	45,00	1,00	45,00
B-1	4,04	1,49	0,50	297	3,06	255,0	50,7	0,35	4,32	5,94	1,47	1,43	35,01	1,90	27,77
B-4	8,47	5,95	0,66	902	3,06	255,0	50,7	0,35	17,25	5,94	0,70	1,00	45,00	1,00	45,00
B-5	11,98	14,47	1,71	846	3,06	255,0	50,7	0,35	41,94	5,94	0,50	1,00	45,00	1,00	45,00
B-6	7,29	2,34	0,57	411	3,06	255,0	73,5	0,35	6,78	7,15	0,98	1,00	45,00	1,00	45,00
B-7	10,90	7,19	0,85	846	3,06	255,0	73,5	0,35	20,84	7,15	0,66	1,00	45,00	1,00	45,00
B-8	11,80	15,88	1,76	902	3,06	255,0	73,5	0,35	46,03	7,15	0,51	1,00	45,00	1,00	45,00
A5H	2,90	2,93	0,71	413	1,40	178,0	31,1	0,35	8,49	4,65	1,60	1,49	33,95	0,67	56,33
A6H	3,08	2,93	0,71	413	1,40	178,0	29,2	0,35	8,49	4,51	1,46	1,43	35,06	0,74	53,59
A7H	1,72	2,93	0,71	413	1,40	178,0	39,4	0,35	8,49	5,23	3,04	2,63	20,79	0,22	77,44
A8H	1,77	2,93	0,71	413	1,40	178,0	39,4	0,35	8,49	5,23	2,96	2,52	21,66	0,24	76,52
A5H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	69,8	0,35	8,49	6,97	1,77	1,56	32,60	0,86	49,31
A6H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	78,0	0,35	8,49	7,37	1,87	1,62	31,76	0,83	50,23
A7H	2,09	2,93	0,71	413	1,40	178,0	70,5	0,35	8,49	7,00	3,35	3,15	17,59	0,23	77,26
A8H	1,97	2,93	0,71	413	1,40	178,0	73,0	0,35	8,49	7,13	3,62	3,81	14,72	0,18	79,99

Tabela B.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma ACI 318-99
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	ρ_{wfyw} (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	ρ_{wfyw} (%)	$\frac{\rho_{wfyw}}{\rho_{wfyw}(\min)}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
N2-S	1,48	0,35	0,08	430	2,80	655,0	36,0	0,35	1,01	5,00	3,38	3,22	17,27	1,31	37,27
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	2,80	655,0	36,0	0,35	1,45	5,00	2,54	2,07	25,75	1,90	27,76
M2-S	2,25	0,50	0,12	430	2,80	655,0	67,0	0,35	1,45	6,83	3,03	2,62	20,89	1,72	30,22
M2-N	2,81	0,70	0,16	4,3	2,80	655,0	67,0	0,35	2,03	6,83	2,43	1,98	26,79	2,03	26,27
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	2,80	655,0	87,0	0,35	1,74	7,60	3,13	2,38	22,75	1,70	30,49
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	2,80	655,0	87,0	0,35	2,90	7,78	2,65	2,17	24,74	1,35	36,44
A-1	1,63	0,33	-	-	1,80	466,1	24,1	0,35	0,96	4,09	2,51	2,05	26,03	2,41	22,52
A-2	1,73	0,33	-	-	2,28	464,1	24,3	0,35	0,96	4,11	2,37	1,94	27,29	2,70	20,29
A-3	1,63	0,33	-	-	2,73	466,1	35,0	0,35	0,96	4,94	3,03	2,61	20,94	1,89	27,88
B-1	2,09	0,48	-	-	2,43	461,0	24,8	0,35	1,39	4,15	1,99	1,68	30,77	2,59	21,10
B-2	1,88	0,48	-	-	2,43	465,6	23,2	0,35	1,39	4,01	2,14	1,77	29,46	2,21	24,33
B-3	1,69	0,48	-	-	3,06	460,5	38,8	0,35	1,39	5,19	3,07	2,68	20,50	1,32	37,23
C-1	2,17	0,65	-	-	1,80	463,6	29,6	0,35	1,88	4,54	2,09	1,74	29,85	1,92	27,56
C-2	2,29	0,66	-	-	3,66	464,3	23,8	0,35	1,91	4,07	1,78	1,57	32,54	2,21	24,32
C-3	1,91	0,65	-	-	3,63	458,7	35,0	0,35	1,88	4,94	2,58	2,11	25,33	1,39	35,72
CRA-1	1,20	0,35	-	-	1,69	459,7	25,1	0,35	1,01	4,18	3,48	3,45	16,19	1,00	45,14
CRB-1	1,65	0,51	-	-	2,28	456,9	23,7	0,35	1,48	4,06	2,46	2,00	26,52	1,61	31,78
CRC-1	1,67	0,69	-	-	1,67	458,0	24,4	0,35	2,00	4,12	2,47	2,01	26,44	1,20	39,73
1WCRA-1	1,54	0,35	-	-	1,71	456,7	26,3	0,35	1,01	4,28	2,78	2,31	23,44	1,91	27,67
1WCRB-1	1,94	0,51	-	-	2,26	459,0	23,2	0,35	1,48	4,01	2,07	1,73	30,04	2,20	24,45
1WCRC-1	2,05	0,70	-	-	1,69	459,5	26,8	0,35	2,03	4,31	2,10	1,75	29,73	1,67	30,88
1WCA-1	1,56	0,35	-	-	1,76	462,5	25,2	0,35	1,01	4,18	2,68	2,21	24,39	2,02	26,34
1WCB-1	1,90	0,51	-	-	2,34	459,7	26,5	0,35	1,48	4,29	2,26	1,85	28,35	2,01	26,45
1WCC-1	2,00	0,69	-	-	1,75	460,0	24,9	0,35	2,00	4,16	2,08	1,74	29,94	1,67	30,92
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	1,77	460,8	26,3	0,35	1,01	4,28	2,49	2,03	26,23	2,42	22,44
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	1,77	460,0	26,3	0,35	1,01	4,27	2,89	2,43	22,36	1,74	29,90
AI-1	3,37	1,26	-	-	3,10	389,9	24,7	0,35	3,65	4,14	1,23	1,33	36,86	2,00	26,51
AI-2	3,18	1,26	-	-	3,10	389,9	23,7	0,35	3,65	4,06	1,28	1,35	36,50	1,87	28,17
AI-3	3,39	1,26	-	-	3,10	389,9	23,4	0,35	3,65	4,04	1,19	1,32	37,14	2,04	26,14


Tabela B.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma ACI 318-99
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.


Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	P_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} (\text{min})$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} (\text{min})}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
A1-4	3,71	1,26	-	-	3,10	389,9	24,8	0,35	3,65	4,15	1,12	1,30	37,67	2,27	23,75
E1-2	5,53	2,42	-	-	3,42	314,5	30,2	0,35	7,01	4,58	0,83	1,00	45,00	1,00	45,00
D2-6	4,21	2,02	-	-	3,42	314,5	29,5	0,35	5,86	4,53	1,08	1,28	37,98	1,63	31,58
D2-7	3,94	2,02	-	-	3,42	314,5	28,4	0,35	5,86	4,45	1,13	1,30	37,60	1,50	33,66
D2-8	4,24	2,02	-	-	3,42	314,5	26,1	0,35	5,86	4,26	1,01	1,26	38,49	1,67	30,93
D4-1	4,23	1,62	-	-	3,42	314,5	27,4	0,35	4,70	4,36	1,03	1,27	38,30	2,06	25,87
D4-2	3,96	1,62	-	-	3,42	314,5	25,7	0,35	4,70	4,22	1,07	1,28	38,05	1,91	27,60
D4-3	4,21	1,62	-	-	3,42	314,5	22,1	0,35	4,70	3,92	0,93	1,00	45,00	1,00	45,00
D5-1	3,67	1,23	-	-	3,42	314,5	27,7	0,35	3,57	4,39	1,20	1,32	37,10	2,26	23,91
D5-2	3,93	1,23	-	-	3,42	314,5	29,0	0,35	3,57	4,49	1,14	1,30	37,49	2,45	22,20
D5-3	3,95	1,23	-	-	3,42	314,5	27,1	0,35	3,57	4,34	1,10	1,29	37,81	2,49	21,87
C205-D10	2,90	0,85	-	-	2,61	315,0	23,2	0,35	2,46	4,02	1,39	1,39	35,66	2,45	22,22
C205-D20	2,59	0,85	-	-	2,08	315,0	24,3	0,35	2,46	4,11	1,59	1,48	34,07	2,06	25,89
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	2,61	315,0	27,2	0,35	4,93	4,35	1,17	1,31	37,31	1,67	30,88
C210-S0	4,15	1,70	-	-	2,61	315,0	23,0	0,35	4,93	4,00	0,96	1,00	45,00	1,00	45,00
C305-D0	2,28	0,85	-	-	2,61	315,0	26,0	0,35	2,46	4,25	1,86	1,61	31,80	1,66	31,03
C305-D10	2,80	1,70	-	-	2,61	315,0	24,3	0,35	4,93	4,11	1,47	1,43	35,03	1,15	40,90
C305-D20	2,96	1,70	-	-	2,61	315,0	24,6	0,35	4,93	4,13	1,40	1,40	35,58	1,25	38,76
R8	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	26,7	0,35	1,68	4,31	2,24	1,84	28,49	1,80	29,11
R9	2,52	1,15	-	-	1,46	272,0	29,6	0,35	3,33	4,54	1,80	1,58	32,34	1,39	35,79
R10	1,82	0,58	-	-	0,98	272,0	29,6	0,35	1,68	4,54	2,49	2,03	26,19	1,54	32,95
R11	2,16	0,58	-	-	1,95	272,0	26,2	0,35	1,68	4,27	1,98	1,67	30,85	2,22	24,21
R12	2,83	0,58	-	-	4,16	254,0	33,9	0,35	1,68	4,86	1,72	1,54	33,03	3,17	17,50
R13	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	32,3	0,35	3,33	4,74	1,23	1,33	36,87	2,52	21,67
R14	2,16	0,38	-	-	1,46	272,0	29,0	0,35	1,10	4,49	2,08	1,74	29,94	3,27	16,99
R15	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	29,9	0,35	3,33	4,56	1,26	1,35	36,60	2,33	23,22
R16	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	31,6	0,35	3,33	4,69	1,30	1,36	36,33	2,31	23,42
R17	1,69	0,58	-	-	1,46	272,0	12,8	0,35	1,68	2,98	1,76	1,56	32,65	1,87	28,18
R18	2,04	0,58	-	-	1,46	272,0	31,3	0,35	1,68	4,67	2,29	1,87	28,09	1,88	28,04

Tabela B.2- Cálculo dos valores de θ segundo a norma ACI 318-99

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{yu} (MPa)	ρ_{wyw} (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_{wyw} f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_{wyw} f_{yw}}{\rho_w f_{yw}}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{yu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
R19	2,89	1,15	-	-	1,46	272,0	30,3	0,35	3,33	4,59	1,59	1,48	34,08	1,70	30,47
R20	2,17	0,58	-	-	1,46	272,0	42,5	0,35	1,68	5,43	2,50	2,04	26,08	1,83	28,64
R21	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	48,1	0,35	3,33	5,79	1,50	1,44	34,78	2,33	23,22
R22	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	29,5	0,35	1,68	4,53	2,36	1,93	27,43	1,72	30,20
R24	2,38	0,58	-	-	4,16	254,0	30,9	0,35	1,68	4,64	1,95	1,66	31,09	2,47	22,01
R25	2,70	0,58	-	-	4,16	254,0	30,8	0,35	1,68	4,63	1,71	1,54	33,04	3,03	18,28
R27	2,45	1,15	-	-	4,16	254,0	13,7	0,35	3,33	3,08	1,26	1,34	36,64	1,58	32,26
R28	4,63	2,25	-	-	4,16	254,0	31,6	0,35	6,52	4,69	1,01	1,26	38,44	1,63	31,48

 Ruptura por Escossamento do Aço

 Ruptura por Esmagamento da Biela

(-) valores não fornecidos

Tabela B.3 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92

Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c^*} (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	0,97	1,72
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,40	1,47
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	1,69	1,27
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	1,78	1,37
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,12	1,88
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,53	1,73
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	1,75	1,90
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	1,78	1,43
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,14	2,68
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,53	1,92
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	1,75	2,03
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	1,78	1,85
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	1,71	1,82
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,40	1,70
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	0,94	1,74
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	1,78	2,45
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	1,78	3,32
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	1,78	3,56
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	1,78	2,97
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	1,78	3,20
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,33	1,55
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,33	1,02
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,77	0,90
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,77	1,09
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,66	1,40
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,61	1,07
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,61	0,98
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,62	0,39
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,59	0,33
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	1,72	0,31
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	1,73	0,18
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	1,05	5,72
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	1,05	5,82
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,53	5,72
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,53	5,42
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,58	6,61
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,58	6,93
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,69	6,98
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	-	-

Tabela B.3 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	-	-
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	1,78	0,84
2	5,53	120,2	559,0	3,04	1,78	3,10
3	8,34	120,2	559,0	4,57	1,78	4,68
4	9,77	120,2	559,0	6,09	1,78	5,48
5	11,25	120,2	559,0	6,98	1,78	6,31
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,77	1,08
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,77	1,28
8	1,39	125,4	762,0	1,88	1,78	0,78
9	2,15	125,4	762,0	2,35	1,78	1,21
10	3,37	125,4	762,0	2,89	1,78	1,89
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,41	1,92
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	1,78	1,63
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,38	3,24
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	1,78	2,70
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,41	3,35
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	1,77	2,66
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	1,78	1,85
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	1,78	2,99
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	1,78	3,06
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	1,78	2,77
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	1,76	2,00
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	1,76	3,35
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	1,78	3,31
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	1,78	2,95
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	1,68	5,11
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	1,76	4,06
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	1,69	4,65
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	1,69	2,95
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	1,66	4,31
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	1,72	3,12
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	1,78	5,16

Tabela B.3 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	1,78	8,25
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	1,78	7,57
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	1,78	10,71
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,60	2,53
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,60	5,31
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,60	7,51
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	1,78	4,10
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	1,78	6,13
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	1,78	6,63
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,20	2,42
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,15	2,67
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,39	1,24
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,39	1,27
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	1,75	2,25
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	1,78	2,21
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	1,76	1,19
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	1,78	1,11
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,32	1,12
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,32	1,49
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,74	1,30
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,74	1,62
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	1,78	1,36
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	1,78	1,65
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	1,02	1,59
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,03	1,68
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,30	1,26
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,04	2,01
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	1,00	1,88
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,38	1,23
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,16	1,87
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	1,02	2,25
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,30	1,47
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	1,05	1,14
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	1,01	1,63
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	1,03	1,62
IWCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,08	1,42
IWCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	1,00	1,94
IWCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,09	1,88
IWCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	1,05	1,48


Tabela B.3 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,08	1,75
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	1,05	1,91
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,08	1,59
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,08	1,37
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,04	3,24
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,01	3,14
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,01	3,36
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,04	3,56
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,18	4,70
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,16	3,63
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,13	3,48
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,08	3,94
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,11	3,82
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,06	3,72
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	0,97	4,32
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,12	3,29
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,15	3,42
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,10	3,59
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,00	2,89
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,03	2,51
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,10	3,38
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,00	4,16
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,07	2,13
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,03	2,72
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,04	2,86
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,09	1,76
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,16	2,17
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,16	1,57
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,08	2,00
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,27	2,23
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,23	3,14
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,15	1,88
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,17	3,09
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,21	2,98
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,69	2,47
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,20	1,69
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,18	2,45
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,45	1,49
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,55	2,49

Tabela B.3 - Cálculo da Resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s$ - NS3473-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,16	1,66
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,19	1,99
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,19	2,27
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	0,71	3,43
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,21	3,82

 $\tau_{wu} / \tau_c^* < 1,3$

τ_c^* = resistência das vigas sem armadura transversal

$$\tau_c^* = 0,33 \cdot [f_m + (100 \cdot \rho)] \leq 0,66 \cdot f_m$$

f_m : Tabela 3.2 (Capítulo 3)

(-) valores não fornecidos

Tabela B.4 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NSS473-92
Método $V_u = V_s + V_c$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (min) (%)	$\frac{\rho_{wf,yw}}{\rho_{wf,yw} \text{ (min)}}$	τ_{lim} (MPa)	$\frac{\tau_{lim}}{\tau_{vu}}$	Análise I		Análise II	
												cotθ	θ_{rup} (°)	cotθ	θ_{rup} (°)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	3,36	298	22,0	0,51	0,67	4,10	2,45	2,40	22,64	2,28	23,72
B50-7-3	2,06	0,34	0,11	303	3,36	298	39,8	0,63	0,54	6,90	3,35	3,11	17,81	2,16	24,82
B50-15-3	2,45	0,34	0,11	303	3,36	298	82,9	1,05	0,32	12,46	5,09	3,67	15,25	2,18	24,61
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	3,36	298	27,9	0,51	1,35	5,02	2,39	2,14	25,03	1,58	32,35
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	3,36	298	47,0	0,78	0,88	7,94	3,00	2,38	22,83	1,80	29,11
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	3,36	298	68,5	0,95	0,73	10,65	3,21	2,11	25,37	2,54	21,53
B100-15-3	2,54	0,69	0,26	269	3,36	298	81,9	1,04	0,66	12,34	4,86	3,35	16,62	1,22	39,33
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	3,36	298	28,7	0,51	2,00	5,15	1,69	1,60	32,07	2,06	25,88
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	3,36	298	46,5	0,78	1,32	7,88	2,69	2,09	25,60	1,51	33,44
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	3,36	298	69,5	0,95	1,08	10,77	3,03	1,97	26,86	1,94	27,28
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	3,36	298	82,7	1,05	0,99	12,44	3,78	2,18	24,63	1,63	31,58
G4	3,11	0,65	0,17	379	3,30	266	62,8	0,91	0,72	9,93	3,19	2,22	24,27	2,40	22,65
G5	2,39	0,65	0,17	379	2,50	268	40,0	0,63	1,04	6,93	2,90	2,42	22,45	1,69	30,64
G6	1,64	0,65	0,17	379	2,50	266	20,7	0,51	1,27	3,89	2,37	2,35	23,08	1,19	39,94
S5A	4,37	1,92	0,45	427	2,51	167	95,7	1,13	1,70	14,07	3,22	1,69	30,64	1,50	33,73
S7A	5,92	2,86	0,67	427	5,34	157	95,7	1,13	2,53	14,07	2,38	1,43	34,96	1,61	31,89
S7B	6,35	2,86	0,67	427	5,34	157	95,7	1,13	2,53	14,07	2,22	1,39	35,73	1,77	29,40
S8A	5,29	1,92	0,45	427	5,34	157	95,7	1,13	1,70	14,07	2,66	1,51	33,55	2,03	26,23
S8B	5,71	1,92	0,45	427	5,34	157	95,7	1,13	1,70	14,07	2,46	1,45	34,53	2,27	23,75
1	2,06	0,67	0,14	480	2,49	539	36,4	0,59	1,13	6,36	3,09	2,82	19,56	1,21	39,49
5	2,33	0,67	0,14	480	2,49	539	55,8	0,85	0,79	9,05	3,88	3,49	16,00	1,11	42,07
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	4,01	940	25,0	0,51	7,90	4,57	0,76	1,00	45,00	1,00	45,00
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	4,01	940	25,0	0,51	7,90	4,57	0,75	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	4,71	940	47,0	0,78	5,14	7,94	0,90	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	4,71	940	47,0	0,78	5,14	7,94	0,95	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	6,27	940	50,0	0,81	7,42	8,32	0,79	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	6,27	940	50,0	0,81	7,42	8,32	0,76	1,00	45,00	1,00	45,00
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	6,27	940	60,0	0,89	6,78	9,58	0,81	1,00	45,00	1,00	45,00
2	5,53	1,93	0,43	449	3,04	559	120,2	1,28	1,51	17,16	3,10	1,48	34,13	2,16	24,87
3	8,34	4,03	0,88	458	4,57	559	120,2	1,28	3,15	17,16	2,06	1,27	38,18	1,81	28,95
4	9,77	5,77	1,26	458	6,09	559	120,2	1,28	4,51	17,16	1,76	1,22	39,27	1,54	33,03
5	11,25	8,02	1,75	458	6,98	559	120,2	1,28	6,27	17,16	1,53	1,19	40,09	1,31	37,32
10	3,37	1,02	0,23	445	2,89	762	125,4	1,31	0,78	17,82	5,29	2,12	25,23	1,73	30,03
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	2,23	235	40,4	0,63	1,20	6,99	2,58	2,09	25,62	1,90	27,77
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	2,23	235	75,3	1,00	0,76	11,50	3,97	2,59	21,08	1,63	31,46

Tabela B.4 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.


Vigas	τ_{wu} (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (%)	$\rho_{wf,yw}$ (min)	$\rho_{wf,yw}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	2,23	39,0	0,62	1,23	6,77	1,51	34,67	1,45	34,67	4,53	12,45
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	2,26	75,5	1,00	0,76	11,53	2,40	32,19	1,59	32,19	4,43	12,73
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	2,23	40,2	0,63	1,81	6,96	1,48	35,05	1,43	35,05	3,22	17,26
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	2,23	71,8	0,97	1,17	11,06	2,35	32,00	1,60	32,00	2,87	19,22
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	2,82	75,7	1,00	0,76	11,55	3,50	24,70	2,17	24,70	2,22	24,26
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	2,82	73,9	0,99	0,77	11,33	2,13	33,66	1,50	33,66	5,19	10,91
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	2,82	73,4	0,98	1,16	11,26	2,07	33,95	1,49	33,95	3,57	15,65
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	2,82	80,1	1,03	1,49	12,11	2,46	32,56	1,57	32,56	2,29	23,63
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	3,51	70,1	0,96	0,79	10,85	3,09	26,55	2,00	26,55	2,56	21,31
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	3,51	70,2	0,96	0,79	10,86	1,84	35,06	1,43	35,06	6,04	9,40
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	3,51	74,2	0,99	1,15	11,37	1,93	34,90	1,43	34,90	4,00	14,02
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	3,51	75,7	1,00	1,53	11,55	2,20	33,48	1,51	33,48	2,53	21,60
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	6,18	58,3	0,87	7,40	9,36	1,09	38,81	1,24	38,81	1,19	40,16
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	4,10	70,7	0,96	3,35	10,92	1,53	37,00	1,33	37,00	1,85	28,39
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	6,18	60,0	0,89	3,65	9,58	1,22	38,14	1,27	38,14	2,12	25,23
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	4,10	60,4	0,89	2,40	9,63	1,93	33,49	1,51	33,49	1,73	30,10
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	6,18	55,0	0,85	2,51	8,95	1,25	37,53	1,30	37,53	2,86	19,27
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	6,18	64,3	0,92	2,32	10,12	1,89	34,20	1,47	34,20	1,90	27,76
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	4,08	111,0	1,23	2,91	16,00	1,74	38,88	1,24	38,88	2,32	23,36
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	4,08	255	1,23	6,25	16,00	1,09	41,31	1,14	41,31	1,88	28,07
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	4,08	255	1,23	5,44	16,00	1,19	40,96	1,15	40,96	1,95	27,11
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	4,08	255	1,23	15,67	16,00	0,84	45,00	1,00	45,00	1,00	45,00
B-1	4,04	1,49	0,50	297	3,06	50,7	0,81	1,83	8,40	2,08	31,18	1,65	31,18	1,82	28,75
B-4	8,47	5,95	0,66	902	3,06	50,7	0,81	7,31	8,40	0,99	45,00	1,00	45,00	1,00	45,00
B-5	11,98	14,47	1,71	846	3,06	50,7	0,81	17,78	8,40	0,79	45,00	1,00	45,00	1,00	45,00
B-6	7,29	2,34	0,57	411	3,06	73,5	0,98	2,38	11,28	1,55	37,09	1,32	37,09	2,62	20,91
B-7	10,90	7,19	0,85	846	3,06	73,5	0,98	7,32	11,28	1,03	39,93	1,20	39,93	1,41	35,36
B-8	11,80	15,88	1,76	902	3,06	73,5	0,98	16,16	11,28	0,96	45,00	1,00	45,00	1,00	45,00
A5H	2,90	2,93	0,71	413	1,40	31,1	0,54	5,43	5,53	1,91	30,40	1,70	30,40	0,65	57,18
A6H	3,08	2,93	0,71	413	1,40	29,2	0,52	5,64	5,23	1,70	32,05	1,60	32,05	0,73	53,83
A5H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	69,8	0,96	3,06	10,81	2,74	29,02	1,80	29,02	0,83	50,35
A6H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	78,0	1,01	2,89	11,84	3,01	28,71	1,83	28,71	0,82	50,71
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	2,80	36,0	0,59	0,85	6,30	3,20	18,26	3,03	18,26	1,44	34,70
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	2,80	67,0	0,94	0,75	10,46	3,72	20,92	2,62	20,92	1,71	30,39
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	2,80	87,0	1,07	0,56	12,98	5,34	14,93	3,75	14,93	1,20	39,81
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	2,80	87,0	1,07	0,93	12,98	4,41	21,50	2,54	21,50	1,29	37,86


Tabela B.4 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	ρ_{wfyw} (%)	$\rho_{wfyw} / \rho_{wfyw}(\min)$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim} / τ_{vu}	Análise I		Análise II	
											cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
A-1	1,63	0,33	-	1,80	466	24,1	0,51	0,65	4,42	2,71	2,69	20,38	2,04	26,13
A-2	1,73	0,33	-	2,28	464	24,3	0,51	0,65	4,45	2,57	2,47	22,04	2,36	22,98
B-1	2,09	0,48	-	2,43	461	24,8	0,51	0,94	4,53	2,17	1,99	26,64	2,43	22,40
B-2	1,88	0,48	-	2,43	466	23,2	0,51	0,94	4,28	2,28	2,14	25,02	2,03	26,21
C-1	2,17	0,65	-	1,80	464	29,6	0,52	1,24	5,29	2,44	2,15	24,94	1,72	30,11
C-2	2,29	0,66	-	3,66	464	23,8	0,51	1,29	4,38	1,91	1,80	29,06	2,14	25,03
C-3	1,91	0,65	-	3,63	459	35,0	0,58	1,12	6,15	3,22	3,11	17,82	1,05	43,62
CRB-1	1,65	0,51	-	2,28	457	23,7	0,51	1,00	4,35	2,64	2,60	21,07	1,38	35,83
CRC-1	1,67	0,69	-	1,67	458	24,4	0,51	1,35	4,47	2,68	2,62	20,88	1,03	44,27
1WCRA-1	1,54	0,35	-	1,71	457	26,3	0,51	0,69	4,78	3,10	3,35	16,60	1,46	34,46
1WCRB-1	1,94	0,51	-	2,26	459	23,2	0,51	1,00	4,28	2,21	2,07	25,79	2,04	26,09
1WCRC-1	2,05	0,70	-	1,69	460	26,8	0,51	1,37	4,84	2,36	2,14	25,07	1,52	33,31
1WCA-1	1,56	0,35	-	1,76	463	25,2	0,51	0,69	4,59	2,95	3,07	18,04	1,61	31,80
1WCB-1	1,90	0,51	-	2,34	460	26,5	0,51	1,00	4,80	2,53	2,33	23,23	1,78	29,37
1WCC-1	2,00	0,69	-	1,75	460	24,9	0,51	1,35	4,55	2,28	2,09	25,53	1,54	33,04
2WCA-1	1,72	0,35	-	1,77	461	26,3	0,51	0,69	4,78	2,78	2,69	20,38	2,03	26,24
3WCA-1	1,48	0,35	-	1,77	460	26,3	0,51	0,69	4,77	3,22	3,69	15,15	1,27	38,17
A1-1	3,37	1,26	-	3,10	390	24,7	0,51	2,47	4,51	1,34	1,45	34,67	2,06	25,95
A1-2	3,18	1,26	-	3,10	390	23,7	0,51	2,47	4,35	1,37	1,47	34,26	1,91	27,64
A1-3	3,39	1,26	-	3,10	390	23,4	0,51	2,47	4,32	1,27	1,42	35,09	2,10	25,46
A1-4	3,71	1,26	-	3,10	390	24,8	0,51	2,47	4,53	1,22	1,39	35,73	2,35	23,03
B1-2	5,53	2,42	-	3,42	315	30,2	0,53	4,57	5,38	0,97	1,00	45,00	1,00	45,00
D2-6	4,21	2,02	-	3,42	315	29,5	0,52	3,86	5,28	1,25	1,38	35,93	1,68	30,79
D2-7	3,94	2,02	-	3,42	315	28,4	0,51	3,95	5,10	1,30	1,40	35,48	1,54	32,92
D2-8	4,24	2,02	-	3,42	315	26,1	0,51	3,96	4,75	1,12	1,34	36,74	1,74	29,88
D4-1	4,23	1,62	-	3,42	315	27,4	0,51	3,18	4,94	1,17	1,35	36,45	2,14	25,02
D4-2	3,96	1,62	-	3,42	315	25,7	0,51	3,18	4,67	1,18	1,37	36,18	1,99	26,72
D4-3	4,21	1,62	-	3,42	315	22,1	0,51	3,18	4,10	0,97	1,00	45,00	1,00	45,00
D5-1	3,67	1,23	-	3,42	315	27,7	0,51	2,41	5,00	1,36	1,44	34,85	2,31	23,43
D5-2	3,93	1,23	-	3,42	315	29,0	0,52	2,38	5,20	1,32	1,41	35,30	2,51	21,70
D5-3	3,95	1,23	-	3,42	315	27,1	0,51	2,41	4,90	1,24	1,39	35,82	2,57	21,23
C205-D10	2,90	0,85	-	2,61	315	23,2	0,51	1,67	4,29	1,48	1,53	33,18	2,48	21,98
C205-D20	2,59	0,85	-	2,08	315	24,3	0,51	1,67	4,46	1,72	1,66	31,04	2,04	26,15
C210-C0A	3,73	1,70	-	2,61	315	27,2	0,51	3,33	4,92	1,32	1,42	35,16	1,72	30,22
C210-S0	4,15	1,70	-	2,61	315	23,0	0,51	3,33	4,25	1,02	1,32	37,23	2,06	25,89
C305-P0	2,28	0,85	-	2,61	315	26,0	0,51	1,67	4,72	2,07	1,89	27,91	1,58	32,35

Tabela B.4 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma NS3473-92
Método $V_{cr} = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yv}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yv}}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	Análise I		Análise II	
											$\cot\theta$	θ_{run} (°)	$\cot\theta$	θ_{run} (°)
C305-D10	2,80	1,70	-	-	2,61	315	24,3	0,51	3,33	4,45	1,58	32,31	1,16	40,84
C305-D20	2,96	1,70	-	-	2,61	315	24,6	0,51	3,33	4,50	1,54	33,02	1,26	38,50
R8	1,92	0,58	-	-	1,46	272	26,7	0,51	1,14	4,83	2,31	23,40	1,59	32,15
R9	2,52	1,15	-	-	1,46	272	29,6	0,52	2,20	5,29	1,85	28,34	1,31	37,30
R10	1,82	0,58	-	-	0,98	272	29,6	0,52	1,11	5,29	2,77	19,88	1,26	38,42
R11	2,16	0,58	-	-	1,95	272	26,2	0,51	1,14	4,76	2,00	26,62	2,07	25,75
R12	2,83	0,58	-	-	4,16	254	33,9	0,57	1,02	5,97	1,81	28,89	2,99	18,49
R13	3,86	1,15	-	-	4,16	254	32,3	0,55	2,08	5,71	1,47	34,29	2,54	21,47
R14	2,16	0,38	-	-	1,46	272	29,0	0,52	0,73	5,20	2,13	25,12	2,96	18,67
R15	3,61	1,15	-	-	4,16	254	29,9	0,53	2,18	5,33	1,48	34,08	2,36	22,97
R16	3,61	1,15	-	-	4,16	254	31,6	0,54	2,11	5,60	1,50	33,61	2,32	23,34
R17	1,69	0,58	-	-	1,46	272	12,8	0,51	1,14	2,64	1,68	30,74	1,93	27,45
R18	2,04	0,58	-	-	1,46	272	31,3	0,54	1,07	5,56	2,44	22,29	1,60	31,97
R19	2,89	1,15	-	-	1,46	272	30,3	0,53	2,17	5,40	1,69	30,64	1,65	31,16
R20	2,17	0,58	-	-	1,46	272	42,5	0,65	0,89	7,32	3,03	18,28	1,37	36,07
R21	3,86	1,15	-	-	4,16	254	48,1	0,79	1,45	8,08	1,67	30,87	2,23	24,17
R22	1,92	0,58	-	-	1,46	272	29,5	0,52	1,11	5,28	2,52	21,61	1,46	34,46
R24	2,38	0,58	-	-	4,16	254	30,9	0,54	1,08	5,50	2,01	26,50	2,27	23,75
R25	2,70	0,58	-	-	4,16	254	30,8	0,54	1,08	5,48	1,79	29,19	2,89	19,09
R27	2,45	1,15	-	-	4,16	254	13,7	0,51	2,25	2,78	1,41	35,32	1,68	30,81
R28	4,63	2,25	-	-	4,16	254	31,6	0,54	4,13	5,60	1,35	36,45	1,69	30,64

 Ruptura por Escoamento do Aço

 Ruptura por Enrugamento da Bileta

(-) valor não fornecido

Tabela B.5- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - CSA A23.3-94

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	0,94	1,78
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,26	1,63
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	1,55	1,39
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	1,82	1,34
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,06	1,99
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,37	1,93
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	1,66	2,01
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	1,81	1,40
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,07	2,85
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,36	2,15
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	1,67	2,13
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	1,82	1,81
G4	3,11	62,8	266,0	3,3	1,58	1,96
G5	2,39	40,0	268,0	2,5	1,26	1,89
G6	1,64	20,7	266,0	2,5	0,91	1,80
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	1,96	2,23
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	1,96	3,03
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	1,96	3,25
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	1,96	2,70
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	1,96	2,92
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,21	1,71
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,02	1,32
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,44	1,11
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,44	1,34
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,49	1,56
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,21	1,41
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,21	1,30
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,44	0,44
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,42	0,37
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	1,61	0,33
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	1,63	0,19
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	1,00	5,99
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	1,00	6,10
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,37	6,40
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,37	6,07
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,41	7,40
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,41	7,76
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,55	7,61

Tabela B.5- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - CSA A23.3-94 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	1,11	7,50
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	1,69	9,11
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	1,81	9,17
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	1,81	10,42
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	1,29	7,41
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	1,11	7,74
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	1,59	7,91
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	1,54	8,04
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	2,10	9,26
1	1,50	120,2	559,0	1,65	1,83	0,82
2	5,53	120,2	559,0	3,04	2,19	2,52
3	8,34	120,2	559,0	4,57	2,19	3,80
4	9,77	120,2	559,0	6,09	2,19	4,46
5	11,25	120,2	559,0	6,98	2,19	5,13
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,26	1,52
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,70	1,33
8	1,39	125,4	762,0	1,88	1,65	0,84
9	2,15	125,4	762,0	2,35	2,24	0,96
10	3,37	125,4	762,0	2,89	2,24	1,50
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,27	2,13
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	1,74	1,67
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,25	3,59
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	1,74	2,77
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,27	3,71
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	1,69	2,78
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	1,74	1,90
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	1,72	3,10
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	1,71	3,17
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	1,79	2,75
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	1,67	2,10
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	1,68	3,51
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	1,72	3,42
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	1,74	3,02
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	1,53	5,61
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,1	1,68	4,25
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	1,55	5,07
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,1	1,55	3,22
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	1,48	4,81

Tabela B.5- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - CSA A23.3-94 - cont.


Vigas	τ_{vu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{vu} / τ_{c*} (MPa)
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	1,60	3,34
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	2,11	4,37
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	2,11	6,98
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	2,11	6,40
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	2,11	9,05
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,42	2,84
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,42	5,95
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,42	8,41
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	1,71	4,25
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	1,71	6,36
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	1,71	6,88
A5H	2,90	31,1	178,0	1,4	1,12	2,60
A6H	3,08	29,2	178,0	1,4	1,08	2,85
A7H	1,72	39,4	178,0	1,4	1,26	1,37
A8H	1,77	39,4	178,0	1,4	1,26	1,41
A5H	3,94	69,8	178,0	1,4	1,67	2,36
A6H	3,94	78,0	178,0	1,4	1,77	2,23
A7H	2,09	70,5	178,0	1,4	1,68	1,24
A8H	1,97	73,0	178,0	1,4	1,71	1,15
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,8	0,94	1,57
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,8	1,20	1,64
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,8	1,64	1,37
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,8	1,64	1,72
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,8	1,87	1,30
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,8	1,87	1,58
A-1	1,63	24,1	466,1	1,8	0,98	1,66
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	0,99	1,76
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,05	1,55
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	0,99	2,10
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	0,96	1,95
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,24	1,36
C-1	2,17	29,6	463,6	1,8	1,09	1,99
6C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	0,98	2,35
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,18	1,61
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	1,00	1,20
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	0,97	1,70
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	0,99	1,69
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,03	1,50

Tabela B.5- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - CSA A23.3-94 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	0,96	2,02
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,03	1,98
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	1,00	1,55
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,03	1,85
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	1,00	2,00
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,03	1,68
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,03	1,44
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,1	0,99	3,39
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,1	0,97	3,27
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,1	0,97	3,50
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,1	0,99	3,73
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,10	5,03
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,09	3,87
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,07	3,70
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,02	4,15
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,05	4,04
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,01	3,91
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	0,94	4,48
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,05	3,49
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,08	3,65
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,04	3,79
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	0,96	3,01
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	0,99	2,62
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,04	3,57
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	0,96	4,33
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,02	2,24
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	0,99	2,84
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	0,99	2,99
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,03	1,86
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,09	2,32
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,09	1,67
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,02	2,11
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,16	2,43
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,14	3,40
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,08	2,00
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,09	3,30
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,12	3,21
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,71	2,37

Tabela B.5- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - CSA A23.3-94 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,12	1,82
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,10	2,63
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,30	1,67
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,39	2,78
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,09	1,77
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,11	2,14
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,11	2,43
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	0,74	3,32
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,12	4,12

 $\tau_{wu} / \tau_{c*} < 1,3$

τ_{c*} = resistência das vigas sem armadura transversal

$$\tau_{c*} = 0,2 \cdot (f_c)^{1/2} \quad \text{se } \rho_w \geq \rho_{w(\min)} \text{ ou } d \leq 300 \text{ mm} \quad \text{ou} \quad \tau_{c*} = [260/(1000+d)] (f_c)^{1/2} > 0,1 \cdot (f_c)^{1/2}$$

(-) valores não fornecidos

Tabela B.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CSA A23.3-94
Método $V_u = V_c + V_s$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu} (MPa)	Análise I		Análise II	
													cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	3,36	298,0	22,0	0,28	1,21	4,69	2,81	2,28	23,67	2,15	24,92	
B50-7-3	2,06	0,34	0,11	303	3,36	298,0	39,8	0,38	0,90	6,31	3,06	2,59	21,14	2,34	23,12	
B50-11-3	2,15	0,34	0,11	303	3,36	298,0	59,7	0,46	0,73	7,73	3,59	3,57	15,65	1,77	29,45	
B50-15-3	2,45	0,34	0,11	303	3,36	298,0	82,9	0,55	0,62	9,11	3,72	3,91	14,34	1,84	28,50	
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	3,36	298,0	27,9	0,32	2,18	5,28	2,52	2,01	26,43	1,51	33,47	
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	3,36	298,0	47,0	0,41	1,68	6,86	2,59	2,07	25,76	1,85	28,35	
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	3,36	298,0	68,5	0,50	1,39	8,28	2,49	1,99	26,63	2,41	22,52	
B100-15-3	2,54	0,69	0,26	269	3,36	298,0	81,9	0,54	1,27	9,05	3,56	3,48	16,04	1,06	43,39	
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	3,36	298,0	28,7	0,32	3,20	5,36	1,76	1,54	32,97	1,92	27,50	
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	3,36	298,0	46,5	0,41	2,52	6,82	2,33	1,87	28,13	1,52	33,33	
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	3,36	298,0	69,5	0,50	2,06	8,34	2,35	1,89	27,94	1,83	28,69	
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	3,36	298,0	82,7	0,55	1,89	9,09	2,76	2,24	24,09	1,43	35,00	
G4	3,11	0,65	0,17	379	3,30	266,0	62,8	0,48	1,37	7,92	2,55	2,04	26,12	2,35	23,09	
G5	2,39	0,65	0,17	379	2,50	268,0	40,0	0,38	1,71	6,32	2,65	2,12	25,21	1,73	30,02	
G6	1,64	0,65	0,17	379	2,50	266,0	20,7	0,27	2,38	4,55	2,77	2,25	24,00	1,12	41,68	
S5A	4,37	1,92	0,45	427	2,51	167,0	95,7	0,59	3,27	9,78	2,24	1,81	28,91	1,26	38,51	
S7A	5,92	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	0,59	4,87	9,78	1,65	1,49	33,81	1,39	35,82	
S7B	6,35	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	0,59	4,87	9,78	1,54	1,45	34,68	1,54	33,07	
S8A	5,29	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	0,59	3,27	9,78	1,85	1,59	32,22	1,74	29,94	
S8B	5,71	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	0,59	3,27	9,78	1,71	1,52	33,32	1,95	27,09	
1	2,06	0,67	0,14	480	2,49	539,0	36,4	0,36	1,85	6,03	2,93	2,41	22,50	1,27	38,14	
2	1,35	0,34	0,07	480	2,49	539,0	36,4	0,36	0,94	5,85	4,33	4,08	13,77	0,97	45,79	
4	1,93	0,34	0,07	480	2,49	539,0	72,3	0,51	0,67	8,24	4,27	3,91	14,34	1,45	34,57	
5	2,33	0,67	0,14	480	2,49	539,0	55,8	0,45	1,49	7,47	3,21	2,79	19,74	1,25	38,71	
7	1,71	0,34	0,07	480	2,49	539,0	51,3	0,43	0,79	6,94	4,06	3,42	16,30	1,47	34,22	
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,30	13,43	5,00	0,83	1,00	45,00	1,00	45,00	
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,30	13,43	5,00	0,82	1,00	45,00	1,00	45,00	
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,41	9,80	6,86	0,75	1,00	45,00	1,00	45,00	

Tabela B.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CSA A23.3-94

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	f_{yw} (MPa)	ρ	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (min) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_{w,yw}(\min)}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu}	Análise I		Análise II	
											cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,41	6,86	0,82	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,42	7,07	0,68	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,42	7,07	0,64	1,00	45,00	1,00	45,00
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	6,27	940,0	60,0	0,46	7,75	0,66	1,00	45,00	1,00	45,00
TB35/1	8,34	4,23	0,90	470	-	731,0	30,9	0,33	5,56	0,67	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/1	15,43	8,15	1,81	450	-	700,0	71,7	0,51	8,47	0,55	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/2	16,59	8,15	1,81	450	-	711,0	81,9	0,54	9,05	0,55	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/3	18,86	10,71	2,38	450	-	700,0	81,9	0,54	9,05	0,48	1,00	45,00	1,00	45,00
TC35/1	9,53	4,23	0,90	470	-	515,0	41,4	0,39	6,43	0,68	1,00	45,00	1,00	45,00
TC35/2	8,60	4,23	0,90	470	-	500,0	30,9	0,33	5,56	0,65	1,00	45,00	1,00	45,00
TC70/1	12,60	8,15	1,81	450	-	500,0	63,5	0,48	7,97	0,63	1,00	45,00	1,00	45,00
TC70/2	12,40	8,15	1,81	450	-	500,0	59,4	0,46	7,71	0,62	1,00	45,00	1,00	45,00
TE120/1	19,47	11,81	2,46	480	-	750,0	110,6	0,63	10,52	0,54	1,00	45,00	1,00	45,00
2	5,53	1,93	0,43	449	3,04	559,0	120,2	0,66	10,96	1,98	1,66	31,11	1,73	30,04
3	8,34	4,03	0,88	458	4,57	559,0	120,2	0,66	10,96	1,31	1,36	36,40	1,53	33,25
4	9,77	5,77	1,26	458	6,09	559,0	120,2	0,66	10,96	1,12	1,29	37,80	1,31	37,29
5	11,25	8,02	1,75	458	6,98	559,0	120,2	0,66	10,96	0,97	1,00	45,00	1,00	45,00
6	1,91	0,36	0,08	445	1,73	762,0	72,5	0,51	8,07	4,22	2,92	18,89	1,82	28,85
7	2,26	0,71	0,16	445	1,88	762,0	72,5	0,51	8,51	3,77	4,06	13,85	0,78	51,89
10	3,37	1,02	0,23	445	2,89	762,0	125,4	0,67	11,20	3,32	2,98	18,54	1,11	42,07
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	2,23	235,0	40,4	0,38	6,36	2,35	1,88	27,97	1,89	27,85
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	2,23	235,0	75,3	0,52	8,68	2,99	2,49	21,88	1,53	33,13
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	2,23	235,0	39,0	0,37	6,24	1,39	1,39	35,80	4,25	13,24
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	2,26	232,0	75,5	0,52	8,69	1,81	1,57	32,57	4,04	13,90
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	40,2	0,38	6,34	1,35	1,37	36,16	3,02	18,33
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	71,8	0,51	8,47	1,80	1,56	32,63	2,65	20,71
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	2,82	233,0	75,7	0,52	8,70	2,64	2,12	25,30	2,05	25,98
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	2,82	233,0	73,9	0,52	8,60	1,61	1,48	34,12	4,75	11,89

Tabela B.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CSA A23.3-94
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw} / \rho_w f_{yw}(\text{min})$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim} / τ_{wu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	2,82	233,0	73,4	0,51	2,22	8,57	1,57	1,46	34,41	3,27	17,01
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	2,82	233,0	80,1	0,54	2,85	8,95	1,82	1,57	32,50	2,05	25,98
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,1	0,50	1,51	8,37	2,39	1,91	27,61	2,42	22,49
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,2	0,50	1,51	8,38	1,42	1,40	35,59	5,55	10,22
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	3,51	233,0	74,2	0,52	2,21	8,61	1,46	1,41	35,28	3,66	15,30
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	3,51	233,0	75,7	0,52	2,93	8,70	1,65	1,49	33,79	2,30	23,50
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	6,18	280,0	58,3	0,46	14,10	7,64	0,89	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	4,10	280,0	70,7	0,50	6,40	8,41	1,18	1,31	37,40	1,69	30,62
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	6,18	280,0	60,0	0,46	6,95	7,75	0,99	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	4,10	280,0	60,4	0,47	4,57	7,77	1,55	1,45	34,57	1,62	31,73
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	6,18	280,0	55,0	0,44	4,79	7,42	1,04	1,26	38,39	2,66	20,63
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	6,18	280,0	64,3	0,48	4,43	8,02	1,50	1,43	35,03	1,76	29,56
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	4,08	255,0	111,0	0,63	5,63	10,54	1,15	1,30	37,63	1,99	26,65
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	4,08	255,0	111,0	0,63	12,12	10,54	0,72	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	4,08	255,0	111,0	0,63	10,54	10,54	0,78	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	4,08	255,0	111,0	0,63	30,36	10,54	0,55	1,00	45,00	1,00	45,00
B-1	4,04	1,49	0,50	297	3,06	255,0	50,7	0,43	3,49	7,12	1,76	1,54	32,93	1,76	29,67
B-4	8,47	5,95	0,66	902	3,06	255,0	50,7	0,43	13,93	7,12	0,84	1,00	45,00	1,00	45,00
B-5	11,98	14,47	1,71	846	3,06	255,0	50,7	0,43	33,87	7,12	0,59	1,00	45,00	1,00	45,00
B-6	7,29	2,34	0,57	411	3,06	255,0	73,5	0,51	4,55	8,57	1,18	1,31	37,41	2,38	22,77
B-7	10,90	7,19	0,85	846	3,06	255,0	73,5	0,51	13,98	8,57	0,79	1,00	45,00	1,00	45,00
B-8	11,80	15,88	1,76	902	3,06	255,0	73,5	0,51	30,87	8,57	0,73	1,00	45,00	1,00	45,00
A5H	2,90	2,93	0,71	413	1,40	178,0	31,1	0,33	8,76	5,58	1,92	1,62	31,61	0,61	58,66
A6H	3,08	2,93	0,71	413	1,40	178,0	29,2	0,32	9,04	5,40	1,75	1,54	32,99	0,68	55,70
A7H	1,72	2,93	0,71	413	1,40	178,0	39,4	0,38	7,78	6,28	3,65	3,70	15,12	0,16	81,00
A8H	1,77	2,93	0,71	413	1,40	178,0	39,4	0,38	7,78	6,28	3,55	3,44	16,21	0,18	80,04
A5H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	69,8	0,50	5,85	8,35	2,12	1,74	29,94	0,77	52,25
A6H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	78,0	0,53	5,53	8,83	2,24	1,81	28,89	0,74	53,43

Tabela B.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CSA A23.3-94

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw} / \rho_w f_{yw}(\min)$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim} / τ_{wu}	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
N2-S	1,48	0,35	0,08	430	2,80	655,0	36,0	0,36	0,97	5,74	3,88	2,75	19,96	1,54	33,08
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	2,80	655,0	36,0	0,36	1,39	6,00	3,05	2,56	21,35	1,54	33,00
M2-S	2,25	0,50	0,12	430	2,80	655,0	67,0	0,49	1,02	8,19	3,64	3,67	15,24	1,23	39,21
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	2,80	655,0	67,0	0,49	1,43	8,19	2,91	2,40	22,66	1,68	30,83
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	2,80	655,0	87,0	0,56	1,07	9,33	3,84	4,30	13,08	0,94	46,75
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	2,80	655,0	87,0	0,56	1,79	9,33	3,17	2,74	20,08	1,07	42,95
A-1	1,63	0,33	0,08	400	1,80	466,1	24,1	0,29	1,12	4,91	3,01	2,51	21,71	1,97	26,95
A-2	1,73	0,33	0,08	400	2,28	464,1	24,3	0,30	1,12	4,93	2,85	2,32	23,29	2,26	23,90
A-3	1,63	0,33	0,08	400	2,73	466,1	35,0	0,36	0,93	5,78	3,55	2,81	19,60	1,76	29,62
B-1	2,09	0,48	0,12	400	2,43	461,0	24,8	0,30	1,61	4,97	2,38	1,91	27,65	2,28	23,67
B-2	1,88	0,48	0,12	400	2,43	465,6	23,2	0,29	1,66	4,81	2,56	2,05	26,01	1,91	27,62
B-3	1,69	0,48	0,12	400	3,06	460,5	38,8	0,37	1,29	6,22	3,68	3,80	14,75	0,93	47,17
C-1	2,17	0,65	0,16	400	1,80	463,6	29,6	0,33	1,99	5,44	2,51	2,01	26,51	1,67	30,99
6C-2	2,29	0,66	0,17	400	3,66	464,3	23,8	0,29	2,26	4,88	2,13	1,74	29,86	1,99	26,66
C-3	1,91	0,65	0,16	400	3,63	458,7	35,0	0,36	1,83	5,92	3,10	2,63	20,82	1,12	41,83
CRB-1	1,65	0,51	0,13	400	2,28	456,9	23,7	0,29	1,75	4,86	2,95	2,44	22,32	1,33	36,98
CRC-1	1,67	0,69	0,17	400	1,67	458,0	24,4	0,30	2,33	4,94	2,96	2,45	22,22	0,99	45,33
1WCRA-1	1,54	0,35	0,09	400	1,71	456,7	26,3	0,31	1,14	5,13	3,33	3,00	18,44	1,47	34,28
1WCRB-1	1,94	0,51	0,13	400	2,26	459,0	23,2	0,29	1,77	4,81	2,48	1,99	26,74	1,92	27,56
1WCRC-1	2,05	0,70	0,18	400	1,69	459,5	26,8	0,31	2,26	5,17	2,52	2,02	26,36	1,45	34,58
1WCA-1	1,56	0,35	0,09	400	1,76	462,5	25,2	0,30	1,16	5,02	3,22	2,80	19,64	1,59	32,16
1WCB-1	1,90	0,51	0,13	400	2,34	459,7	26,5	0,31	1,65	5,15	2,71	2,18	24,63	1,71	30,36
1WCC-1	2,00	0,69	0,17	400	1,75	460,0	24,9	0,30	2,31	4,99	2,49	2,00	26,62	1,45	34,55
2WCA-1	1,72	0,35	0,09	400	1,77	460,8	26,3	0,31	1,14	5,13	2,98	2,48	21,96	1,98	26,78
3WCA-1	1,48	0,35	0,09	400	1,77	460,0	26,3	0,31	1,14	5,13	3,46	3,25	17,09	1,30	37,58
A1-1	3,37	1,26	0,32	400	3,10	389,9	24,7	0,30	4,23	4,96	1,47	1,42	35,20	1,89	27,93
A1-2	3,18	1,26	0,32	400	3,10	389,9	23,7	0,29	4,32	4,86	1,53	1,44	34,77	1,75	29,72
A1-3	3,39	1,26	0,32	400	3,10	389,9	23,4	0,29	4,34	4,84	1,43	1,40	35,55	1,92	27,48

* * * * *

Tabela B.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CSA A23.3-94

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\frac{P_w f_{yw}}{P_w f_{yw}(\text{min})}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu}	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
A1-4	3,71	1,26	0,32	400	3,10	389,9	24,8	0,30	4,22	4,97	1,34	1,37	36,20	2,15	24,90
E1-2	5,53	2,42	0,61	400	3,42	314,5	30,2	0,33	7,34	5,49	0,99	1,00	45,00	1,00	45,00
D2-6	4,21	2,02	0,51	400	3,42	314,5	29,5	0,33	6,20	5,43	1,29	1,35	36,58	1,55	32,89
D2-7	3,94	2,02	0,51	400	3,42	314,5	28,4	0,32	6,32	5,33	1,35	1,37	36,11	1,42	35,10
D2-8	4,24	2,02	0,51	400	3,42	314,5	26,1	0,31	6,59	5,11	1,21	1,32	37,20	1,59	32,12
D4-1	4,23	1,62	0,41	400	3,42	314,5	27,4	0,31	5,16	5,23	1,24	1,33	36,97	1,97	26,97
D4-2	3,96	1,62	0,41	400	3,42	314,5	25,7	0,30	5,33	5,06	1,28	1,34	36,66	1,82	28,80
D4-3	4,21	1,62	0,41	400	3,42	314,5	22,1	0,28	5,75	4,70	1,12	1,29	37,85	2,02	26,35
D5-1	3,67	1,23	0,31	400	3,42	314,5	27,7	0,32	3,89	5,26	1,43	1,40	35,49	2,13	25,18
D5-2	3,93	1,23	0,31	400	3,42	314,5	29,0	0,32	3,80	5,39	1,37	1,38	35,97	2,32	23,33
D5-3	3,95	1,23	0,31	400	3,42	314,5	27,1	0,31	3,94	5,21	1,32	1,36	36,37	2,36	22,92
C205-D10	2,90	0,85	0,21	400	2,61	315,0	23,2	0,29	2,94	4,82	1,66	1,50	33,73	2,28	23,71
C205-D20	2,59	0,85	0,21	400	2,08	315,0	24,3	0,30	2,87	4,93	1,90	1,62	31,76	1,89	27,93
C210-C0A	3,73	1,70	0,43	400	2,61	315,0	27,2	0,31	5,43	5,22	1,40	1,39	35,76	1,58	32,33
C210-S0	4,15	1,70	0,43	400	2,61	315,0	23,0	0,29	5,91	4,79	1,15	1,30	37,57	1,88	28,04
C305-D0	2,28	0,85	0,21	400	2,61	315,0	26,0	0,31	2,78	5,10	2,24	1,81	28,94	1,48	34,00
C305-D10	2,80	1,70	0,43	400	2,61	315,0	24,3	0,30	5,75	4,93	1,76	1,54	32,95	1,07	43,13
C305-D20	2,96	1,70	0,43	400	2,61	315,0	24,6	0,30	5,72	4,95	1,67	1,50	33,63	1,16	40,81
R8	1,92	0,58	0,15	400	1,46	272,0	26,7	0,31	1,87	5,17	2,69	2,16	24,80	1,53	33,18
R9	2,52	1,15	0,29	400	1,46	272,0	29,6	0,33	3,52	5,44	2,16	1,76	29,61	1,25	38,76
R10	1,82	0,58	0,15	400	0,98	272,0	29,6	0,33	1,78	5,44	2,99	2,49	21,90	1,26	38,41
R11	2,16	0,58	0,15	400	1,95	272,0	26,2	0,31	1,89	5,12	2,37	1,90	27,75	1,96	27,04
R12	2,83	0,58	0,15	400	4,16	254,0	33,9	0,35	1,66	5,82	2,06	1,70	30,47	2,87	19,21
R13	3,86	1,15	0,29	400	4,16	254,0	32,3	0,34	3,37	5,68	1,47	1,42	35,21	2,37	22,89
R14	2,16	0,38	0,10	400	1,46	272,0	29,0	0,32	1,18	5,39	2,49	2,00	26,62	2,85	19,35
R15	3,61	1,15	0,29	400	4,16	254,0	29,9	0,33	3,51	5,46	1,51	1,43	34,89	2,19	24,56
R16	3,61	1,15	0,29	400	4,16	254,0	31,6	0,34	3,41	5,62	1,56	1,45	34,56	2,16	24,83
R17	1,69	0,58	0,15	400	1,46	272,0	12,8	0,21	2,71	3,57	2,11	1,73	30,00	1,68	30,73

* * * * *

Tabela B.6- Cálculo dos valores de θ segundo a norma CSA A23.3-94

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{wu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
R18	2,04	0,58	0,15	400	1,46	272,0	31,3	0,34	1,73	5,59	2,74	2,21	24,30	1,59	32,20
R19	2,89	1,15	0,29	400	1,46	272,0	30,3	0,33	3,48	5,50	1,90	1,61	31,77	1,56	32,73
R20	2,17	0,58	0,15	400	1,46	272,0	42,5	0,39	1,48	6,52	3,00	2,50	21,78	1,49	33,79
R21	3,86	1,15	0,29	400	4,16	254,0	48,1	0,42	2,76	6,94	1,80	1,56	32,64	2,15	24,95
R22	1,92	0,58	0,15	400	1,46	272,0	29,5	0,33	1,78	5,43	2,83	2,30	23,47	1,44	34,83
R24	2,38	0,58	0,15	400	4,16	254,0	30,9	0,33	1,74	5,56	2,34	1,88	28,06	2,19	24,57
R25	2,70	0,58	0,15	400	4,16	254,0	30,8	0,33	1,74	5,55	2,06	1,70	30,49	2,74	20,05
R27	2,45	1,15	0,29	400	4,16	254,0	13,7	0,22	5,19	3,69	1,51	1,43	34,93	1,49	33,91
R28	4,63	2,25	0,56	400	4,16	254,0	31,6	0,34	6,67	5,62	1,21	1,32	37,14	1,56	32,69

* * * * *



Ruptura por Escoamento do Aço



Ruptura por Esmagamento da Biela

(-) valores não fornecidos

* ρ_w obtido a partir de $\rho_w f_{yw}$ (fornecido) e considerando $f_{yw} = 400$ MPa

Tabela B.7- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u=V_s + V_c$ - NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I)

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	0,99	1,69
B50-7-3	2,06	39,8	1,47	1,40
B50-11-3	2,15	59,7	1,92	1,12
B50-15-3	2,45	82,9	2,40	1,02
B100-3-3	2,10	27,9	1,16	1,81
B100-7-3	2,65	47,0	1,64	1,61
B100-11-3	3,32	68,5	2,11	1,57
B100-15-3	2,54	81,9	2,38	1,07
B150-3-3	3,05	28,7	1,18	2,58
B150-7-3	2,93	46,5	1,63	1,80
B150-11-3	3,55	69,5	2,13	1,67
B150-15-3	3,29	82,7	2,39	1,38
G4	3,11	62,8	1,99	1,56
G5	2,39	40,0	1,47	1,62
G6	1,64	20,7	0,95	1,73
S5A	4,37	95,7	2,64	1,66
S7A	5,92	95,7	2,64	2,25
S7B	6,35	95,7	2,64	2,41
S8A	5,29	95,7	2,64	2,01
S8B	5,71	95,7	2,64	2,17
1	2,06	36,4	1,38	1,49
2	1,35	36,4	1,38	0,98
3	1,60	72,3	2,19	0,73
4	1,93	72,3	2,19	0,88
5	2,33	55,8	1,84	1,27
7	1,71	51,3	1,74	0,98
8	1,57	51,3	1,74	0,90
LR-WS	0,63	52,0	1,76	0,36
LR-WS	0,53	50,3	1,72	0,31
HR-WS	0,53	64,7	2,03	0,26
HR-WS	0,31	66,6	2,07	0,15
RC30A1	5,99	25,0	1,08	5,56
RC30A2	6,10	25,0	1,08	5,66
RC60A1	8,78	47,0	1,64	5,35
RC60A2	8,32	47,0	1,64	5,07
RC60B1	10,47	50,0	1,71	6,12
RC60B2	10,98	50,0	1,71	6,42
RC70B1	11,79	60,0	1,93	6,11
TB35/1	8,34	30,9	1,24	6,72

Tabela B.7- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I) - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
TB70/1	15,43	71,7	2,17	7,10
TB70/2	16,59	81,9	2,38	6,98
TB70/3	18,86	81,9	2,38	7,94
TC35/1	9,53	41,4	1,51	6,32
TC35/2	8,60	30,9	1,24	6,93
TC70/1	12,60	63,5	2,01	6,28
TC70/2	12,40	59,4	1,92	6,46
TE120/1	19,47	110,6	2,90	6,71
1	1,50	120,2	3,07	0,49
2	5,53	120,2	3,07	1,80
3	8,34	120,2	3,07	2,72
4	9,77	120,2	3,07	3,18
5	11,25	120,2	3,07	3,67
6	1,91	72,5	2,19	0,87
7	2,26	72,5	2,19	1,03
8	1,39	125,4	3,16	0,44
9	2,15	125,4	3,16	0,68
10	3,37	125,4	3,16	1,07
AL2-N	2,71	40,4	1,48	1,83
AL2-H	2,90	75,3	2,25	1,29
AS2-N	4,48	39,0	1,45	3,09
AS2-H	4,81	75,5	2,25	2,14
AS3-N	4,71	40,2	1,48	3,19
AS3-H	4,71	71,8	2,18	2,16
BL2-H	3,30	75,7	2,25	1,46
BS2-H	5,33	73,9	2,22	2,40
BS3-H	5,44	73,4	2,21	2,46
BS4-H	4,93	80,1	2,34	2,11
CL2-H	3,51	70,1	2,14	1,64
CS2-H	5,89	70,2	2,14	2,75
CS3-H	5,89	74,2	2,22	2,65
CS4-H	5,26	75,7	2,25	2,33
160-4-7B	8,57	58,3	1,89	4,52
160-4-15A	7,14	70,7	2,15	3,31
160-4-15B	7,86	60,0	1,93	4,07
160-4-22A	5,00	60,4	1,94	2,58
160-4-22B	7,14	55,0	1,82	3,92
160-4-15C	5,36	64,3	2,02	2,65
PB-1	9,20	111,0	2,91	3,16
PB-2	14,71	111,0	2,91	5,05

**Tabela B.7- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I) - cont.**


Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
PB-3	13,49	111,0	2,91	4,64
PB-4	19,08	111,0	2,91	6,56
B-1	4,04	50,7	1,73	2,34
B-4	8,47	50,7	1,73	4,91
B-5	11,98	50,7	1,73	6,94
B-6	7,29	73,5	2,21	3,30
B-7	10,90	73,5	2,21	4,93
B-8	11,80	73,5	2,21	5,34
A5H	2,90	31,1	1,25	2,33
A6H	3,08	29,2	1,19	2,58
A7H	1,72	39,4	1,46	1,18
A8H	1,77	39,4	1,46	1,21
A5H	3,94	69,8	2,14	1,84
A6H	3,94	78,0	2,30	1,71
A7H	2,09	70,5	2,15	0,97
A8H	1,97	73,0	2,20	0,90
N2-S	1,48	36,0	1,37	1,08
N2-N	1,97	36,0	1,37	1,43
M2-S	2,25	67,0	2,08	1,08
M2-N	2,81	67,0	2,08	1,35
H2-S	2,43	87,0	2,47	0,98
H2-N	2,94	87,0	2,47	1,19
A-1	1,63	24,1	1,05	1,55
A-2	1,73	24,3	1,06	1,64
A-3	1,63	35,0	1,35	1,21
B-1	2,09	24,8	1,07	1,95
B-2	1,88	23,2	1,02	1,84
B-3	1,69	38,8	1,44	1,17
C-1	2,17	29,6	1,21	1,80
C-2	2,29	23,8	1,04	2,20
C-3	1,91	35,0	1,35	1,42
CRA-1	1,20	25,1	1,08	1,11
CRB-1	1,65	23,7	1,04	1,59
CRC-1	1,67	24,4	1,06	1,58
1WCRA-1	1,54	26,3	1,12	1,38
1WCRB-1	1,94	23,2	1,02	1,89
1WCRC-1	2,05	26,8	1,13	1,82
1WCA-1	1,56	25,2	1,08	1,44
1WCB-1	1,90	26,5	1,12	1,70
1WCC-1	2,00	24,9	1,07	1,86

Tabela B.7- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I) - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
2WCA-1	1,72	26,3	1,12	1,54
3WCA-1	1,48	26,3	1,11	1,33
A1-1	3,37	24,7	1,07	3,16
A1-2	3,18	23,7	1,04	3,06
A1-3	3,39	23,4	1,03	3,29
A1-4	3,71	24,8	1,07	3,47
E1-2	5,53	30,2	1,22	4,53
D2-6	4,21	29,5	1,20	3,50
D2-7	3,94	28,4	1,17	3,36
D2-8	4,24	26,1	1,11	3,82
D4-1	4,23	27,4	1,14	3,70
D4-2	3,96	25,7	1,10	3,61
D4-3	4,21	22,1	0,99	4,25
D5-1	3,67	27,7	1,15	3,18
D5-2	3,93	29,0	1,19	3,30
D5-3	3,95	27,1	1,14	3,47
C205-D10	2,90	23,2	1,03	2,83
C205-D20	2,59	24,3	1,06	2,45
C210-C0A	3,73	27,2	1,14	3,27
C210-S0	4,15	23,0	1,02	4,08
C305-D0	2,28	26,0	1,11	2,06
C305-D10	2,80	24,3	1,06	2,65
C305-D20	2,96	24,6	1,06	2,78
R8	1,92	26,7	1,13	1,71
R9	2,52	29,6	1,21	2,09
R10	1,82	29,6	1,21	1,51
R11	2,16	26,2	1,11	1,94
R12	2,83	33,9	1,32	2,14
R13	3,86	32,3	1,28	3,02
R14	2,16	29,0	1,19	1,81
R15	3,61	29,9	1,21	2,98
R16	3,61	31,6	1,26	2,87
R17	1,69	12,8	0,69	2,46
R18	2,04	31,3	1,25	1,63
R19	2,89	30,3	1,22	2,36
R20	2,17	42,5	1,53	1,42
R21	3,86	48,1	1,67	2,32
R22	1,92	29,5	1,20	1,60
R24	2,38	30,9	1,24	1,92
R25	2,70	30,8	1,24	2,18

Tabela B.7- Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I) - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	τ_{c^*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c^*} (MPa)
R27	2,45	13,7	0,72	3,40
R28	4,63	31,6	1,26	3,68

 $\tau_{wu} / \tau_{c^*} < 1,3$

τ_{c^*} = resistência das vigas sem armadura transversal

$\tau_{c^*} = 0,126 \cdot (f_c)^{2/3}$

Tabela B.8- Cálculo dos valores de θ segundo a norma NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I)

Método $V_u = V_s + V_c$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	ρ_{wfyw} (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	ρ_{wfyw} (%)	$\frac{\rho_{wfyw}}{\rho_{wfyw}(\text{min})}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	3,36	298,0	22,0	0,47	0,72	5,42	3,24	2,45	22,18	2,22	24,21
B50-7-3	2,06	0,34	0,11	303	3,36	298,0	39,8	0,70	0,49	9,04	4,39	3,48	16,01	1,93	27,37
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	3,36	298,0	27,9	0,55	1,25	6,69	3,19	2,23	24,14	1,52	33,43
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	3,36	298,0	47,0	0,78	0,88	10,30	3,89	2,63	20,85	1,62	31,61
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	3,36	298,0	68,5	1,00	0,69	13,43	4,04	2,74	20,03	1,95	27,16
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	3,36	298,0	28,7	0,56	1,83	6,86	2,25	1,63	31,50	2,02	26,38
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	3,36	298,0	46,5	0,78	1,33	10,22	3,49	2,25	23,94	1,40	35,48
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	3,36	298,0	69,5	1,01	1,02	13,55	3,82	2,50	21,80	1,53	33,14
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	3,36	298,0	82,7	1,14	0,90	14,94	4,54	3,66	15,27	0,97	45,90
G4	3,11	0,65	0,17	379	3,30	266,0	62,8	0,95	0,69	12,70	4,08	2,78	19,80	1,91	27,60
G5	2,39	0,65	0,17	379	2,50	268,0	40,0	0,70	0,93	9,07	3,80	2,61	20,98	1,57	32,56
G6	1,64	0,65	0,17	379	2,50	266,0	20,7	0,45	1,44	5,13	3,13	2,38	22,82	1,18	40,29
S5A	4,37	1,92	0,45	427	2,51	167,0	95,7	1,26	1,53	15,95	3,65	2,52	21,64	1,00	44,91
S7A	5,92	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	1,26	2,28	15,95	2,69	1,80	29,02	1,28	38,09
S7B	6,35	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	1,26	2,28	15,95	2,51	1,71	30,32	1,44	34,73
S8A	5,29	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	1,26	1,53	15,95	3,01	1,99	26,64	1,54	33,07
S8B	5,71	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	1,26	1,53	15,95	2,79	1,86	28,30	1,78	29,35
1	2,06	0,67	0,14	480	2,49	539,0	36,4	0,66	1,02	8,40	4,08	3,05	18,17	1,12	41,73
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,51	7,86	6,08	1,01	1,22	39,36	1,35	36,44
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,51	7,86	6,08	1,00	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,78	5,16	10,30	1,17	1,23	39,12	1,97	26,93
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,78	5,16	10,30	1,24	1,25	38,76	1,84	28,51
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,81	7,37	10,80	1,03	1,20	39,92	1,62	31,65
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,81	7,37	10,80	0,98	1,00	45,00	1,00	45,00
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	6,27	940,0	60,0	0,92	6,52	12,31	1,04	1,20	39,91	1,83	28,71
TB35/1	8,34	4,23	0,90	470	-	731,0	30,9	0,59	7,16	7,31	0,88	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/1	15,43	8,15	1,81	450	-	700,0	71,7	1,04	7,87	13,81	0,89	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/2	16,59	8,15	1,81	450	-	711,0	81,9	1,13	7,20	14,87	0,90	1,00	45,00	1,00	45,00
TB70/3	18,86	10,71	2,38	450	-	700,0	81,9	1,13	9,46	14,87	0,79	1,00	45,00	1,00	45,00
TC35/1	9,53	4,23	0,90	470	-	515,0	41,4	0,72	5,89	9,33	0,98	1,00	45,00	1,00	45,00
TC35/2	8,60	4,23	0,90	470	-	500,0	30,9	0,59	7,16	7,31	0,85	1,00	45,00	1,00	45,00

Tabela B.8- Cálculo dos valores de θ segundo a norma NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I)

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
													cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
IC70/1	12,60	8,15	1,81	450	-	500,0	63,5	0,95	8,53	12,79	1,02	1,19	40,06	1,44	34,70	
IC70/2	12,40	8,15	1,81	450	-	500,0	59,4	0,91	8,92	12,23	0,99	1,00	45,00	1,00	45,00	
IE120/1	19,47	11,81	2,46	480	-	750,0	110,6	1,38	8,54	16,65	0,86	1,00	45,00	1,00	45,00	
2	5,53	1,93	0,43	449	3,04	559,0	120,2	1,46	1,32	16,85	3,05	2,25	23,99	1,42	35,22	
3	8,34	4,03	0,88	458	4,57	559,0	120,2	1,46	2,76	16,85	2,02	1,58	32,30	1,45	34,53	
4	9,77	5,77	1,26	458	6,09	559,0	120,2	1,46	3,95	16,85	1,72	1,46	34,45	1,29	37,78	
5	11,25	8,02	1,75	458	6,98	559,0	120,2	1,46	5,49	16,85	1,50	1,38	36,03	1,13	41,42	
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	2,23	235,0	40,4	0,71	1,08	9,15	3,37	2,21	24,35	1,79	29,15	
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	2,23	235,0	39,0	0,69	1,10	8,89	1,98	1,48	34,08	4,43	12,72	
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	2,26	232,0	75,5	1,07	0,71	14,23	2,96	1,88	28,02	3,74	14,96	
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	40,2	0,70	1,62	9,11	1,93	1,46	34,46	3,15	17,62	
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	71,8	1,04	1,10	13,82	2,93	1,86	28,28	2,47	22,05	
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	2,82	233,0	75,7	1,07	0,71	14,25	4,32	3,16	17,58	1,53	33,20	
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	2,82	233,0	73,9	1,06	0,72	14,05	2,64	1,71	30,27	4,55	12,40	
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	2,82	233,0	73,4	1,05	1,08	14,00	2,57	1,68	30,71	3,15	17,62	
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	2,82	233,0	80,1	1,11	1,37	14,70	2,98	1,90	27,71	1,88	28,01	
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,1	1,02	0,75	13,62	3,88	2,57	21,29	2,00	26,57	
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,2	1,02	0,74	13,63	2,31	1,57	32,46	5,48	10,35	
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	3,51	233,0	74,2	1,06	1,08	14,09	2,39	1,61	31,89	3,57	15,64	
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	3,51	233,0	75,7	1,07	1,42	14,25	2,71	1,75	29,74	2,18	24,62	
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	6,18	280,0	58,3	0,90	7,16	12,07	1,41	1,28	37,92	1,15	41,06	
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	4,10	280,0	70,7	1,03	3,15	13,69	1,92	1,43	34,93	1,72	30,25	
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	6,18	280,0	60,0	0,92	3,51	12,31	1,57	1,33	37,03	2,04	26,12	
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	4,10	280,0	60,4	0,92	2,31	12,37	2,47	1,63	31,47	1,60	32,07	
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	6,18	280,0	55,0	0,87	2,45	11,58	1,62	1,34	36,68	2,77	19,83	
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	6,18	280,0	64,3	0,96	2,21	12,90	2,41	1,61	31,91	1,74	29,87	
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	4,08	255,0	111,0	1,39	2,57	16,66	1,81	1,46	34,36	1,96	27,00	
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	4,08	255,0	111,0	1,39	5,53	16,66	1,13	1,25	38,74	1,71	30,30	
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	4,08	255,0	111,0	1,39	4,81	16,66	1,24	1,28	38,11	1,77	29,54	
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	4,08	255,0	111,0	1,39	13,85	16,66	0,87	1,00	45,00	1,00	45,00	
B-1	4,04	1,49	0,50	297	3,06	255,0	50,7	0,82	1,81	10,91	2,70	1,75	29,81	1,73	30,10	
B-4	8,47	5,95	0,66	902	3,06	255,0	50,7	0,82	7,24	10,91	1,29	1,26	38,53	1,26	38,45	

Tabela B.8- Cálculo dos valores de θ segundo a norma NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I)

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\min)}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												$\cot\theta$	θ_{rup} (°)	$\cot\theta$	θ_{rup} (°)
B-5	11,98	14,47	1,71	846	3,06	255,0	50,7	0,82	17,61	10,91	0,91	1,00	45,00	1,00	45,00
B-6	7,29	2,34	0,57	411	3,06	255,0	73,5	1,05	2,22	14,01	1,92	1,44	34,87	2,41	22,52
B-7	10,90	7,19	0,85	846	3,06	255,0	73,5	1,05	6,83	14,01	1,29	1,25	38,56	1,34	36,68
B-8	11,80	15,88	1,76	902	3,06	255,0	73,5	1,05	15,08	14,01	1,19	1,23	39,10	0,67	56,14
A5H	2,90	2,93	0,71	413	1,40	178,0	31,1	0,59	4,94	7,35	2,54	1,75	29,70	0,63	57,91
A6H	3,08	2,93	0,71	413	1,40	178,0	29,2	0,57	5,15	6,96	2,26	1,63	31,47	0,71	54,44
A5H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	69,8	1,02	2,88	13,58	3,45	2,18	24,60	0,68	55,63
A6H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	78,0	1,10	2,67	14,49	3,68	2,40	22,60	0,62	58,13
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	2,80	655,0	36,0	0,65	0,76	8,32	4,22	3,30	16,84	1,33	37,04
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	2,80	655,0	67,0	0,99	0,71	13,24	4,71	3,84	14,59	1,16	40,74
A-1	1,63	0,33	-	-	1,80	466,1	24,1	0,50	0,66	5,87	3,60	2,81	19,59	1,95	27,12
A-2	1,73	0,33	-	-	2,28	464,1	24,3	0,50	0,66	5,92	3,42	2,57	21,28	2,27	23,79
B-1	2,09	0,48	-	-	2,43	461,0	24,8	0,51	0,94	6,02	2,88	2,05	26,01	2,36	22,96
B-2	1,88	0,48	-	-	2,43	465,6	23,2	0,49	0,98	5,68	3,02	2,20	24,48	1,98	26,78
C-1	2,17	0,65	-	-	1,80	463,6	29,6	0,57	1,13	7,04	3,24	2,25	23,97	1,65	31,23
C-2	2,29	0,66	-	-	3,66	464,3	23,8	0,50	1,33	5,81	2,54	1,84	28,59	2,10	25,46
C-3	1,91	0,65	-	-	3,63	458,7	35,0	0,64	1,01	8,13	4,26	3,40	16,37	0,96	46,20
CRB-1	1,65	0,51	-	-	2,28	456,9	23,7	0,49	1,03	5,78	3,50	2,70	20,35	1,33	36,88
CRC-1	1,67	0,69	-	-	1,67	458,0	24,4	0,50	1,37	5,95	3,56	2,74	20,07	0,98	45,51
IWCRA-1	1,54	0,35	-	-	1,71	456,7	26,3	0,53	0,66	6,36	4,13	3,63	15,41	1,35	36,58
IWCRB-1	1,94	0,51	-	-	2,26	459,0	23,2	0,49	1,05	5,68	2,93	2,12	25,28	2,00	26,62
IWCRC-1	2,05	0,70	-	-	1,69	459,5	26,8	0,54	1,30	6,45	3,15	2,22	24,24	1,47	34,32
IWCA-1	1,56	0,35	-	-	1,76	462,5	25,2	0,52	0,68	6,11	3,92	3,26	17,03	1,52	33,40
IWCB-1	1,90	0,51	-	-	2,34	459,7	26,5	0,53	0,96	6,39	3,36	2,43	22,34	1,70	30,46
IWCC-1	2,00	0,69	-	-	1,75	460,0	24,9	0,51	1,35	6,05	3,03	2,16	24,84	1,49	33,85
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	1,77	460,8	26,3	0,53	0,66	6,36	3,70	2,85	19,37	1,92	27,52
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	1,77	460,0	26,3	0,53	0,66	6,35	4,29	4,04	13,91	1,16	40,68
A1-1	3,37	1,26	-	-	3,10	389,9	24,7	0,51	2,48	6,00	1,78	1,46	34,35	2,03	26,22
A1-2	3,18	1,26	-	-	3,10	389,9	23,7	0,49	2,55	5,78	1,82	1,48	33,96	1,89	27,90
A1-3	3,39	1,26	-	-	3,10	389,9	23,4	0,49	2,57	5,73	1,69	1,44	34,83	2,08	25,68
A1-4	3,71	1,26	-	-	3,10	389,9	24,8	0,51	2,47	6,02	1,62	1,41	35,44	2,33	23,25
E1-2	5,53	2,42	-	-	3,42	314,5	30,2	0,58	4,16	7,16	1,30	1,28	37,93	1,98	26,82

Tabela B.8- Cálculo dos valores de θ segundo a norma NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I)
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
													$\cot\theta$	θ_{rup} (°)	$\cot\theta$	θ_{rup} (°)
D2-6	4,21	2,02	-	-	3,42	314,5	29,5	-	0,57	3,53	7,03	1,67	1,40	35,54	1,65	31,16
D2-7	3,94	2,02	-	-	3,42	314,5	28,4	-	0,56	3,62	6,80	1,73	1,42	35,08	1,52	33,31
D2-8	4,24	2,02	-	-	3,42	314,5	26,1	-	0,53	3,82	6,32	1,49	1,35	36,44	1,72	30,15
D4-1	4,23	1,62	-	-	3,42	314,5	27,4	-	0,54	2,97	6,58	1,56	1,37	36,11	2,12	25,29
D4-2	3,96	1,62	-	-	3,42	314,5	25,7	-	0,52	3,10	6,21	1,57	1,38	35,88	1,96	26,98
D4-3	4,21	1,62	-	-	3,42	314,5	22,1	-	0,47	3,43	5,43	1,29	1,31	37,40	2,21	24,37
D5-1	3,67	1,23	-	-	3,42	314,5	27,7	-	0,55	2,24	6,65	1,81	1,46	34,43	2,27	23,75
D5-2	3,93	1,23	-	-	3,42	314,5	29,0	-	0,57	2,17	6,93	1,76	1,43	34,89	2,48	22,00
D5-3	3,95	1,23	-	-	3,42	314,5	27,1	-	0,54	2,27	6,52	1,65	1,40	35,46	2,54	21,48
C205-D10	2,90	0,85	-	-	2,61	315,0	23,2	-	0,49	1,74	5,69	1,96	1,55	32,87	2,45	22,21
C205-D20	2,59	0,85	-	-	2,08	315,0	24,3	-	0,50	1,69	5,93	2,29	1,69	30,60	2,00	26,54
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	2,61	315,0	27,2	-	0,54	3,13	6,55	1,76	1,44	34,77	1,69	30,58
C210-S0	4,15	1,70	-	-	2,61	315,0	23,0	-	0,48	3,51	5,63	1,36	1,32	37,05	2,05	26,04
C305-D0	2,28	0,85	-	-	2,61	315,0	26,0	-	0,53	1,61	6,29	2,76	1,94	27,26	1,54	33,08
C305-D10	2,80	1,70	-	-	2,61	315,0	24,3	-	0,50	3,38	5,92	2,11	1,61	31,92	1,14	41,27
C305-D20	2,96	1,70	-	-	2,61	315,0	24,6	-	0,51	3,35	5,98	2,02	1,56	32,64	1,24	38,91
R8	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	26,7	-	0,54	1,08	6,43	3,35	2,42	22,49	1,52	33,29
R9	2,52	1,15	-	-	1,46	272,0	29,6	-	0,57	2,00	7,04	2,79	1,92	27,56	1,27	38,21
R10	1,82	0,58	-	-	0,98	272,0	29,6	-	0,57	1,01	7,05	3,87	2,96	18,65	1,18	40,37
R11	2,16	0,58	-	-	1,95	272,0	26,2	-	0,53	1,10	6,33	2,93	2,06	25,89	2,01	26,47
R12	2,83	0,58	-	-	4,16	254,0	33,9	-	0,63	0,92	7,92	2,80	1,87	28,08	2,89	19,08
R13	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	32,3	-	0,61	1,89	7,59	1,97	1,49	33,79	2,50	21,84
R14	2,16	0,38	-	-	1,46	272,0	29,0	-	0,57	0,67	6,93	3,21	2,23	24,18	2,84	19,43
R15	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	29,9	-	0,58	1,99	7,10	1,97	1,51	33,59	2,32	23,35
R16	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	31,6	-	0,60	1,92	7,45	2,06	1,54	33,08	2,27	23,76
R17	1,69	0,58	-	-	1,46	272,0	12,8	-	0,33	1,77	3,27	1,93	1,69	30,67	1,92	27,52
R18	2,04	0,58	-	-	1,46	272,0	31,3	-	0,60	0,97	7,39	3,62	2,59	21,14	1,51	33,50
R19	2,89	1,15	-	-	1,46	272,0	30,3	-	0,58	1,97	7,18	2,49	1,73	29,97	1,61	31,85
R20	2,17	0,58	-	-	1,46	272,0	42,5	-	0,73	0,79	9,52	4,39	3,41	16,35	1,22	39,36
R21	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	48,1	-	0,79	1,45	10,49	2,72	1,76	29,60	2,12	25,27
R22	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	29,5	-	0,57	1,01	7,03	3,66	2,68	20,47	1,37	36,07
R24	2,58	0,58	-	-	4,16	254,0	30,9	-	0,59	0,98	7,31	3,07	2,09	25,59	2,18	24,61

Tabela B.8- Cálculo dos valores de θ segundo a norma NBR 6118-01 (Modelo de Cálculo I)

Método $V_a = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu}	$\rho_w f_{yw}$	ρ_w	f_{yw}	ρ	d	f_c	$\rho_w f_{yw} (\%)$	$\frac{\rho_w f_{yw} (\text{min})}{\rho_w f_{yw} (\text{min})}$	τ_{lim}	τ_{lim}/τ_{wu}	Análise I		Análise II	
	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(mm)	(MPa)	(%)		(MPa)	(MPa)	$\cot\theta$	$\theta_{rup} (^\circ)$	$\cot\theta$	$\theta_{rup} (^\circ)$
R25	2,70	0,58	-	-	4,16	254,0	30,8	0,59	0,98	7,30	2,70	1,85	28,43	2,80	19,66
R27	2,45	1,15	-	-	4,16	254,0	13,7	0,34	3,36	3,48	1,42	1,42	35,23	1,67	30,89
R28	4,63	2,25	-	-	4,16	254,0	31,6	0,60	3,75	7,45	1,61	1,37	36,06	1,66	30,99

Ruptura por Escoamento do Aço

Ruptura por Esmagamento da Bileta

(-) valores não fornecidos

Tabela B.9 - Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - BS8110-97

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	1,23	1,36
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,43	1,44
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	1,64	1,31
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	1,83	1,34
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,27	1,65
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,51	1,75
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	1,72	1,93
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	1,82	1,39
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,28	2,38
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,51	1,94
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	1,72	2,06
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	1,83	1,80
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	1,72	1,81
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,39	1,72
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	1,19	1,38
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	2,09	2,09
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	2,25	2,63
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	2,25	2,82
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	2,25	2,35
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	2,25	2,54
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,21	1,70
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,21	1,11
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,53	1,05
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,53	1,27
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,40	1,67
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,36	1,26
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,36	1,15
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,43	0,44
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,41	0,38
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	1,54	0,35
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	1,55	0,20
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	1,14	5,26
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	1,14	5,35
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,41	6,24
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,41	5,92
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,44	7,29
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,44	7,65
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,53	7,73
TB35/I	8,34	30,9	731,0	-	-	-
TB70/I	15,43	71,7	700,0	-	-	-

Tabela B.9 - Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - BS8110-97 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	1,58	0,95
2	5,53	120,2	559,0	3,04	1,92	2,88
3	8,34	120,2	559,0	4,57	1,92	4,34
4	9,77	120,2	559,0	6,09	1,92	5,08
5	11,25	120,2	559,0	6,98	1,92	5,85
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,35	1,41
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,39	1,63
8	1,39	125,4	762,0	1,88	1,67	0,83
9	2,15	125,4	762,0	2,35	1,80	1,20
10	3,37	125,4	762,0	2,89	1,93	1,75
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,38	1,96
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	1,70	1,70
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,37	3,28
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	1,72	2,80
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,38	3,41
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	1,68	2,81
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	1,85	1,79
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	1,83	2,91
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	1,83	2,97
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	1,88	2,62
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	1,84	1,91
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	1,84	3,20
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	1,87	3,14
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	1,89	2,79
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	1,65	5,19
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	1,76	4,05
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	1,67	4,71
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	1,67	2,99
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	1,62	4,41
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	1,71	3,14
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	2,10	4,39
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	2,10	7,02
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	2,10	6,44
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	2,10	9,10

Tabela B.9 - Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s + V_c$ - BS8110-97 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,61	2,50
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,61	5,25
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,61	7,42
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	1,83	3,99
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	1,83	5,97
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	1,83	6,46
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,19	2,44
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,17	2,64
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,29	1,33
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,29	1,37
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	1,56	2,53
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	1,62	2,44
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	1,56	1,34
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	1,58	1,24
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,26	1,18
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,26	1,57
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,55	1,45
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,55	1,82
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	1,69	1,44
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	1,69	1,74
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	0,96	1,70
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,04	1,66
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,24	1,32
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,06	1,97
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	1,06	1,77
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,32	1,28
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,02	2,13
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	1,14	2,01
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,27	1,50
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	0,94	1,27
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	1,04	1,59
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	0,94	1,78
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	0,96	1,60
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	1,04	1,87
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	0,96	2,13
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	0,96	1,63
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,07	1,78
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	0,95	2,10
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	0,97	1,77
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	0,97	1,52
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,15	2,94

Tabela B.9 - Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal

Método $V_u = V_s + V_c$ - BS8110-97 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,15	2,77
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,15	2,96
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,15	3,24
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,29	4,29
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,28	3,29
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,26	3,12
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,23	3,45
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,25	3,39
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,22	3,24
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	1,21	3,48
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,25	2,93
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,27	3,09
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,24	3,18
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,15	2,51
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,07	2,42
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,19	3,14
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,15	3,59
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,17	1,95
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,15	2,43
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,15	2,56
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,02	1,89
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,05	2,39
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,05	1,73
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,10	1,96
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,41	2,00
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,39	2,78
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,05	2,06
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,35	2,67
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,38	2,62
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	1,00	1,70
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,07	1,90
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,06	2,72
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,19	1,83
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,59	2,43
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,05	1,82
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,37	1,74
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,37	1,97
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	1,28	1,92
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,38	3,36

Tabela B.9 - Cálculo da resistência das vigas sem armadura transversal
Método $V_u = V_s + V_c$ - BS8110-97 - cont.


 $\tau_{wu} / \tau_{c*} < 1,3$	
τ_{c*} = resistência das vigas sem armadura transversal	
Para $f_c < 25$ MPa	Para $f_c \geq 25$ MPa
$\tau_{c*} = 0,79 \cdot (100 \cdot \rho)^{1/3} \cdot (400/d)^{1/4}$	$\tau_{c*} = 0,79 \cdot (100 \cdot \rho)^{1/3} \cdot (400/d)^{1/4} \cdot (f_c/25)^{1/3}$
$1,5\% \leq \rho \leq 3\%$ $(400/d) \geq 1$	
(-) valores não fornecidos	

Tabela B.10 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma BS8110-97
Método $V_u = V_s + V_c$

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (%)	$\frac{\rho_{wf,yw}}{\rho_{wf,yw}}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	$\frac{\tau_{lim}}{\tau_{wu}}$ (MPa)	Análise I		Análise II	
												cof θ	θ_{rup} (°)	cof θ	θ_{rup} (°)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	3,36	298,0	22,0	0,42	0,81	3,75	2,25	3,76	14,88	1,37	36,06
B50-7-3	2,06	0,34	0,11	303	3,36	298,0	39,8	0,42	0,81	5,00	2,43	3,28	16,96	1,94	27,22
B50-11-3	2,15	0,34	0,11	303	3,36	298,0	59,7	0,42	0,81	5,00	2,33	4,21	13,36	1,58	32,31
B50-15-3	2,45	0,34	0,11	303	3,36	298,0	82,9	0,42	0,81	5,00	2,04	3,94	14,23	1,92	27,47
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	3,36	298,0	27,9	0,42	1,64	4,23	2,01	2,54	21,52	1,26	38,37
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	3,36	298,0	47,0	0,42	1,64	5,00	1,89	2,33	23,21	1,73	29,98
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	3,36	298,0	68,5	0,42	1,64	5,00	1,51	2,07	25,79	2,45	22,23
B100-15-3	2,54	0,69	0,26	269	3,36	298,0	81,9	0,42	1,64	5,00	1,97	3,53	15,80	1,10	42,37
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	3,36	298,0	28,7	0,42	2,45	4,29	1,41	1,73	30,07	1,80	28,99
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	3,36	298,0	46,5	0,42	2,45	5,00	1,71	2,06	25,89	1,45	34,54
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	3,36	298,0	69,5	0,42	2,45	5,00	1,41	1,94	27,22	1,87	28,19
B150-15-3	3,29	1,03	0,38	269	3,36	298,0	82,7	0,42	2,45	5,00	1,52	2,25	23,97	1,49	33,78
G4	3,11	0,65	0,17	379	3,30	266,0	62,8	0,42	1,54	5,00	1,61	2,23	24,16	2,26	23,88
G5	2,39	0,65	0,17	379	2,50	268,0	40,0	0,42	1,54	5,00	2,09	2,38	22,79	1,63	31,60
G6	1,64	0,65	0,17	379	2,50	266,0	20,7	0,42	1,54	3,64	2,22	3,62	15,43	0,73	53,76
S5A	4,37	1,92	0,45	427	2,51	167,0	95,7	0,42	4,56	5,00	1,14	1,92	27,56	1,25	38,65
S7A	5,92	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	0,42	6,79	5,00	0,84	1,00	45,00	1,00	45,00
S7B	6,35	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	0,42	6,79	5,00	0,79	1,00	45,00	1,00	45,00
S8A	5,29	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	0,42	4,56	5,00	0,95	1,00	45,00	1,00	45,00
S8B	5,71	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	0,42	4,56	5,00	0,88	1,00	45,00	1,00	45,00
1	2,06	0,67	0,14	480	2,49	539,0	36,4	0,42	1,59	4,83	2,34	2,43	22,34	1,33	36,95
5	2,33	0,67	0,14	480	2,49	539,0	55,8	0,42	1,59	5,00	2,15	2,50	21,77	1,46	34,37
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,42	9,57	4,00	0,67	1,00	45,00	1,00	45,00
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,42	9,57	4,00	0,66	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,42	9,57	5,00	0,57	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,42	9,57	5,00	0,60	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,42	14,25	5,00	0,48	1,00	45,00	1,00	45,00
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,42	14,25	5,00	0,46	1,00	45,00	1,00	45,00
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	6,27	940,0	60,0	0,42	14,25	5,00	0,42	1,00	45,00	1,00	45,00
2	5,53	1,93	0,43	449	3,04	559,0	120,2	0,42	4,58	5,00	0,90	1,00	45,00	1,00	45,00
3	8,34	4,03	0,88	458	4,57	559,0	120,2	0,42	9,57	5,00	0,69	1,00	45,00	1,00	45,00
4	9,77	5,77	1,26	458	6,09	559,0	120,2	0,42	13,70	5,00	0,51	1,00	45,00	1,00	45,00
5	11,25	8,02	1,75	458	6,98	559,0	120,2	0,42	19,05	5,00	0,44	1,00	45,00	1,00	45,00

Tabela B.10 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma BS8110-97

Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} (\min)$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} (\min)}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim} / τ_{vu}	Análise I		Análise II	
												coef	$\theta_{sup} (^\circ)$	coef	$\theta_{sup} (^\circ)$
6	1,91	0,36	0,08	445	1,73	762,0	72,5	0,42	0,86	5,00	2,62	3,43	16,28	1,63	31,53
7	2,26	0,71	0,16	445	1,88	762,0	72,5	0,42	1,69	5,00	2,21	2,60	21,05	1,29	37,80
10	3,37	1,02	0,23	445	2,89	762,0	125,4	0,42	2,42	5,00	1,48	2,33	23,19	1,49	33,87
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	2,23	235,0	40,4	0,42	1,81	5,00	1,85	2,04	26,08	1,84	28,56
AL2-H	2,90	0,76	0,09	820	2,23	235,0	75,3	0,42	1,81	5,00	1,72	2,42	22,44	1,66	31,09
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	2,23	235,0	39,0	0,42	1,81	5,00	1,12	1,44	34,79	4,31	13,06
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	2,26	232,0	75,5	0,42	1,81	5,00	1,04	1,56	32,74	4,28	13,14
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	40,2	0,42	2,71	5,00	1,06	1,41	35,25	3,07	18,02
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	71,8	0,42	2,71	5,00	1,06	1,55	32,79	2,80	19,64
BL2-H	3,30	0,76	0,09	820	2,82	233,0	75,7	0,42	1,81	5,00	1,52	2,27	23,75	2,01	26,45
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	2,82	233,0	73,9	0,42	1,81	5,00	0,94	1,00	45,00	1,00	45,00
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	2,82	233,0	73,4	0,42	2,71	5,00	0,92	1,00	45,00	1,00	45,00
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	2,82	233,0	80,1	0,42	3,63	5,00	1,01	1,62	31,72	2,10	25,51
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,1	0,42	1,81	5,00	1,42	2,10	25,46	2,31	23,37
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,2	0,42	1,81	5,00	0,85	1,00	45,00	1,00	45,00
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	3,51	233,0	74,2	0,42	2,71	5,00	0,85	1,00	45,00	1,00	45,00
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	3,51	233,0	75,7	0,42	3,63	5,00	0,95	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	6,18	280,0	58,3	0,42	15,34	5,00	0,58	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	4,10	280,0	70,7	0,42	7,67	5,00	0,70	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	6,18	280,0	60,0	0,42	7,67	5,00	0,64	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	4,10	280,0	60,4	0,42	5,06	5,00	1,00	1,50	33,65	1,64	31,30
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	6,18	280,0	55,0	0,42	5,06	5,00	0,70	1,00	45,00	1,00	45,00
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	6,18	280,0	64,3	0,42	5,06	5,00	0,93	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	4,08	255,0	111,0	0,42	8,46	5,00	0,54	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	4,08	255,0	111,0	0,42	18,19	5,00	0,34	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	4,08	255,0	111,0	0,42	15,82	5,00	0,37	1,00	45,00	1,00	45,00
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	4,08	255,0	111,0	0,42	45,58	5,00	0,26	1,00	45,00	1,00	45,00
B-1	4,04	1,49	0,5	297	3,06	255,0	50,7	0,42	3,54	5,00	1,24	1,67	30,99	1,71	30,26
B-4	8,47	5,95	0,66	902	3,06	255,0	50,7	0,42	14,13	5,00	0,59	1,00	45,00	1,00	45,00
B-5	11,98	14,47	1,71	846	3,06	255,0	50,7	0,42	34,37	5,00	0,42	1,00	45,00	1,00	45,00
B-6	7,29	2,34	0,57	411	3,06	255,0	73,5	0,42	5,56	5,00	0,69	1,00	45,00	1,00	45,00
B-7	10,90	7,19	0,85	846	3,06	255,0	73,5	0,42	17,08	5,00	0,46	1,00	45,00	1,00	45,00
B-8	11,80	15,88	1,76	902	3,06	255,0	73,5	0,42	37,72	5,00	0,42	1,00	45,00	1,00	45,00
A5H	2,90	2,93	0,71	413	1,40	178,0	31,1	0,42	6,96	4,46	1,54	1,70	30,52	0,61	58,45

Tabela B.10 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma BS8110-97
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw} (\min)$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} (\min)}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu}	Análise I		Análise II	
												$\cot\theta$	$\theta_{rup} (^\circ)$	$\cot\theta$	$\theta_{rup} (^\circ)$
A6H	3,08	2,93	0,71	413	1,40	178,0	29,2	0,42	6,96	4,32	1,40	1,61	31,86	0,69	55,49
A7H	1,72	2,93	0,71	413	1,40	178,0	39,4	0,42	6,96	5,00	2,91	3,99	14,08	0,16	81,19
A8H	1,77	2,93	0,71	413	1,40	178,0	39,4	0,42	6,96	5,00	2,82	3,68	15,22	0,17	80,19
A5H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	69,8	0,42	6,96	5,00	1,27	1,65	31,15	0,86	49,46
A6H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	78,0	0,42	6,96	5,00	1,27	1,70	30,52	0,83	50,17
A7H	2,09	2,93	0,71	413	1,40	178,0	70,5	0,42	6,96	5,00	2,39	3,98	14,12	0,19	79,31
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	2,80	655,0	36,0	0,42	1,19	4,80	2,44	2,76	19,89	1,50	33,69
M2-S	2,25	0,50	0,12	430	2,80	655,0	67,0	0,42	1,19	5,00	2,22	3,20	17,36	1,48	34,04
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	2,80	655,0	67,0	0,42	1,66	5,00	1,78	2,22	24,21	1,90	27,76
H2-S	2,43	0,60	0,14	430	2,80	655,0	87,0	0,42	1,43	5,00	2,06	3,27	17,00	1,30	37,51
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	2,80	655,0	87,0	0,42	2,38	5,00	1,70	2,35	23,08	1,32	37,18
A-1	1,63	0,33	-	-	1,80	466,1	24,1	0,42	0,78	3,92	2,41	2,44	22,32	2,13	25,11
A-2	1,73	0,33	-	-	2,28	464,1	24,3	0,42	0,78	3,94	2,28	2,51	21,75	2,20	24,43
A-3	1,63	0,33	-	-	2,73	466,1	35,0	0,42	0,78	4,73	2,90	4,13	13,61	1,26	38,48
B-1	2,09	0,48	-	-	2,43	461,0	24,8	0,42	1,14	3,98	1,90	2,03	26,19	2,25	23,92
B-2	1,88	0,48	-	-	2,43	465,6	23,2	0,42	1,14	3,85	2,05	2,30	23,51	1,79	29,14
C-1	2,17	0,65	-	-	1,80	463,6	29,6	0,42	1,54	4,35	2,01	1,88	28,00	1,87	28,16
6C-2	2,29	0,66	-	-	3,66	464,3	23,8	0,42	1,57	3,90	1,70	1,99	26,68	1,84	28,59
C-3	1,91	0,65	-	-	3,63	458,7	35,0	0,42	1,54	4,73	2,48	3,01	18,39	1,03	44,20
CRB-1	1,65	0,51	-	-	2,28	456,9	23,7	0,42	1,21	3,89	2,36	2,70	20,30	1,26	38,45
CRB-1	1,67	0,69	-	-	1,67	458,0	24,4	0,42	1,64	3,95	2,37	2,28	23,69	1,12	41,82
IWCRA-1	1,54	0,35	-	-	1,71	456,7	26,3	0,42	0,83	4,11	2,67	2,66	20,60	1,74	29,88
IWCRB-1	1,94	0,51	-	-	2,26	459,0	23,2	0,42	1,21	3,85	1,98	2,15	24,97	1,86	28,21
IWCRC-1	2,05	0,70	-	-	1,69	459,5	26,8	0,42	1,66	4,14	2,02	1,88	27,95	1,64	31,45
IWCA-1	1,56	0,35	-	-	1,76	462,5	25,2	0,42	0,83	4,01	2,57	2,58	21,17	1,82	28,83
IWCB-1	1,90	0,51	-	-	2,34	459,7	26,5	0,42	1,21	4,12	2,17	2,29	23,62	1,71	30,25
IWCC-1	2,00	0,69	-	-	1,75	460,0	24,9	0,42	1,64	3,99	2,00	1,91	27,66	1,60	32,03
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	1,77	460,8	26,3	0,42	0,83	4,11	2,39	2,30	23,49	2,25	23,98
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	1,77	460,0	26,3	0,42	0,83	4,10	2,77	2,91	18,96	1,53	33,18
A1-1	3,37	1,26	-	-	3,10	389,9	24,7	0,42	2,99	3,97	1,18	1,52	33,42	1,86	28,30
A1-2	3,18	1,26	-	-	3,10	389,9	23,7	0,42	2,99	3,89	1,22	1,56	32,60	1,70	30,49
A1-3	3,39	1,26	-	-	3,10	389,9	23,4	0,42	2,99	3,87	1,14	1,51	33,50	1,87	28,09
A1-4	3,71	1,26	-	-	3,10	389,9	24,8	0,42	2,99	3,98	1,07	1,45	34,64	2,14	25,03
E1-2	5,53	2,42	-	-	3,42	314,5	30,2	0,42	5,75	4,39	0,79	1,00	45,00	1,00	45,00

Tabela B.10 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma BS8110-97
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}(\text{min})}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
													cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
D2-6	4,21	2,02	-	-	3,42	314,5	29,5	0,42	4,80	4,80	4,35	1,03	1,44	34,85	1,53	33,21
D2-7	3,94	2,02	-	-	3,42	314,5	28,4	0,42	4,80	4,80	4,26	1,08	1,47	34,20	1,40	35,63
D2-8	4,24	2,02	-	-	3,42	314,5	26,1	0,42	4,80	4,80	4,09	0,96	1,00	45,00	1,00	45,00
D4-1	4,23	1,62	-	-	3,42	314,5	27,4	0,42	3,85	3,85	4,19	0,99	1,00	45,00	1,00	45,00
D4-2	3,96	1,62	-	-	3,42	314,5	25,7	0,42	3,85	3,85	4,05	1,02	1,45	34,68	1,78	29,33
D4-3	4,21	1,62	-	-	3,42	314,5	22,1	0,42	3,85	3,85	3,76	0,89	1,00	45,00	1,00	45,00
D5-1	3,67	1,23	-	-	3,42	314,5	27,7	0,42	2,92	2,92	4,21	1,15	1,52	33,38	2,07	25,80
D5-2	3,93	1,23	-	-	3,42	314,5	29,0	0,42	2,92	2,92	4,31	1,10	1,48	34,08	2,27	23,73
D5-3	3,95	1,23	-	-	3,42	314,5	27,1	0,42	2,92	2,92	4,16	1,05	1,46	34,43	2,32	23,35
C205-D10	2,90	0,85	-	-	2,61	315,0	23,2	0,42	2,02	2,02	3,86	1,53	1,66	31,04	2,16	24,83
C205-D20	2,59	0,85	-	-	2,08	315,0	24,3	0,42	2,02	2,02	3,95	1,52	1,70	30,40	1,88	27,99
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	2,61	315,0	27,2	0,42	4,04	4,04	4,18	1,12	1,47	34,28	1,57	32,43
C210-S0	4,15	1,70	-	-	2,61	315,0	23,0	0,42	4,04	4,04	3,83	0,92	1,00	45,00	1,00	45,00
C305-D0	2,28	0,85	-	-	2,61	315,0	26,0	0,42	2,02	2,02	4,08	1,79	2,05	25,97	1,38	36,03
C305-D10	2,80	1,70	-	-	2,61	315,0	24,3	0,42	4,04	4,04	3,94	1,41	1,70	30,44	1,02	44,47
C305-D20	2,96	1,70	-	-	2,61	315,0	24,6	0,42	4,04	4,04	3,96	1,34	1,64	31,38	1,12	41,82
R8	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	26,7	0,42	1,38	1,38	4,13	2,15	2,13	25,17	1,64	31,41
R9	2,52	1,15	-	-	1,46	272,0	29,6	0,42	2,73	2,73	4,35	1,73	1,72	30,20	1,34	36,68
R10	1,82	0,58	-	-	0,98	272,0	29,6	0,42	1,38	1,38	4,35	2,39	2,37	22,84	1,39	35,72
R11	2,16	0,58	-	-	1,95	272,0	26,2	0,42	1,38	1,38	4,09	1,90	2,05	26,06	1,92	27,56
R12	2,83	0,58	-	-	4,16	254,0	33,9	0,42	1,38	1,38	4,66	1,65	2,00	26,60	2,57	21,25
R13	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	32,3	0,42	2,73	2,73	4,54	1,18	1,56	32,62	2,26	23,86
R14	2,16	0,38	-	-	1,46	272,0	29,0	0,42	0,90	0,90	4,31	2,00	1,94	27,27	3,08	17,97
R15	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	29,9	0,42	2,73	2,73	4,37	1,21	1,60	32,00	2,06	25,84
R16	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	31,6	0,42	2,73	2,73	4,50	1,25	1,62	31,71	2,04	26,10
R17	1,69	0,58	-	-	1,46	272,0	12,8	0,42	1,38	1,38	2,86	1,69	2,43	22,33	1,26	38,44
R18	2,04	0,58	-	-	1,46	272,0	31,3	0,42	1,38	1,38	4,48	2,19	2,11	25,36	1,75	29,69
R19	2,89	1,15	-	-	1,46	272,0	30,3	0,42	2,73	2,73	4,40	1,52	1,58	32,32	1,67	30,86
R20	2,17	0,58	-	-	1,46	272,0	42,5	0,42	1,38	1,38	5,00	2,30	2,21	24,35	1,78	29,30
R21	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	48,1	0,42	2,73	2,73	5,00	1,30	1,70	30,49	2,08	25,68
R22	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	29,5	0,42	1,38	1,38	4,35	2,26	2,21	24,32	1,57	32,42
R24	2,38	0,58	-	-	4,16	254,0	30,9	0,42	1,38	1,38	4,45	1,87	2,36	23,00	1,83	28,61
R25	2,70	0,58	-	-	4,16	254,0	30,8	0,42	1,38	1,38	4,44	1,64	2,03	26,25	2,42	22,48
R27	2,45	1,15	-	-	4,16	254,0	13,7	0,42	2,73	2,73	2,96	1,21	2,09	25,60	1,07	42,95

Tabela B.10 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma BS8110-97
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} (MPa)	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (min) (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw} \text{ (min)}}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{run} (°)	cot θ	θ_{run} (°)
R28	4,63	2,25	-	-	4,16	254,0	31,6	0,42	5,34	4,50	0,97	1,00	45,00	1,00	45,00

□ Ruptura por Escoamento do Aço

▨ Ruptura por Esmagamento da Bielza

(*) valores não fornecidos

Tabela B.11 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
B50-3-3	1,67	22,0	298,0	3,36	1,07	1,56
B50-7-3	2,06	39,8	298,0	3,36	1,59	1,29
B50-11-3	2,15	59,7	298,0	3,36	2,09	1,03
B50-15-3	2,45	82,9	298,0	3,36	2,60	0,94
B100-3-3	2,10	27,9	298,0	3,36	1,26	1,67
B100-7-3	2,65	47,0	298,0	3,36	1,78	1,49
B100-11-3	3,32	68,5	298,0	3,36	2,29	1,45
B100-15-3	2,54	81,9	298,0	3,36	2,58	0,99
B150-3-3	3,05	28,7	298,0	3,36	1,28	2,38
B150-7-3	2,93	46,5	298,0	3,36	1,77	1,66
B150-11-3	3,55	69,5	298,0	3,36	2,31	1,54
B150-15-3	3,29	82,7	298,0	3,36	2,59	1,27
G4	3,11	62,8	266,0	3,30	2,21	1,41
G5	2,39	40,0	268,0	2,50	1,64	1,46
G6	1,64	20,7	266,0	2,50	1,06	1,55
S5A	4,37	95,7	167,0	2,51	3,15	1,39
S7A	5,92	95,7	157,0	5,34	3,17	1,87
S7B	6,35	95,7	157,0	5,34	3,17	2,00
S8A	5,29	95,7	157,0	5,34	3,17	1,67
S8B	5,71	95,7	157,0	5,34	3,17	1,80
1	2,06	36,4	539,0	2,49	1,22	1,68
2	1,35	36,4	539,0	2,49	1,22	1,10
3	1,60	72,3	539,0	2,49	1,93	0,83
4	1,93	72,3	539,0	2,49	1,93	1,00
5	2,33	55,8	539,0	2,49	1,63	1,43
7	1,71	51,3	539,0	2,49	1,54	1,11
8	1,57	51,3	539,0	2,49	1,54	1,02
LR-WS	0,63	52,0	171,0	1,45	1,86	0,34
LR-WS	0,53	50,3	171,0	1,45	1,82	0,29
HR-WS	0,53	64,7	171,0	1,45	2,15	0,25
HR-WS	0,31	66,6	171,0	1,45	2,19	0,14
RC30A1	5,99	25,0	940,0	4,01	0,90	6,67
RC30A2	6,10	25,0	940,0	4,01	0,90	6,79
RC60A1	8,78	47,0	940,0	4,71	1,37	6,42
RC60A2	8,32	47,0	940,0	4,71	1,37	6,08
RC60B1	10,47	50,0	940,0	6,27	1,43	7,35
RC60B2	10,98	50,0	940,0	6,27	1,43	7,70
RC70B1	11,79	60,0	940,0	6,27	1,61	7,33
TB35/1	8,34	30,9	731,0	-	-	-
TB70/1	15,43	71,7	700,0	-	-	-

Tabela B.11 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
TB70/2	16,59	81,9	711,0	-	-	-
TB70/3	18,86	81,9	700,0	-	-	-
TC35/1	9,53	41,4	515,0	-	-	-
TC35/2	8,60	30,9	500,0	-	-	-
TC70/1	12,60	63,5	500,0	-	-	-
TC70/2	12,40	59,4	500,0	-	-	-
TE120/1	19,47	110,6	750,0	-	-	-
1	1,50	120,2	559,0	1,65	2,48	0,61
2	5,53	120,2	559,0	3,04	2,66	2,08
3	8,34	120,2	559,0	4,57	2,66	3,13
4	9,77	120,2	559,0	6,09	2,66	3,67
5	11,25	120,2	559,0	6,98	2,66	4,23
6	1,91	72,5	762,0	1,73	1,73	1,11
7	2,26	72,5	762,0	1,88	1,78	1,27
8	1,39	125,4	762,0	1,88	2,57	0,54
9	2,15	125,4	762,0	2,35	2,63	0,82
10	3,37	125,4	762,0	2,89	2,63	1,28
AL2-N	2,71	40,4	235,0	2,23	1,69	1,61
AL2-H	2,90	75,3	235,0	2,23	2,56	1,13
AS2-N	4,48	39,0	235,0	2,23	1,65	2,72
AS2-H	4,81	75,5	232,0	2,26	2,57	1,87
AS3-N	4,71	40,2	235,0	2,23	1,68	2,80
AS3-H	4,71	71,8	235,0	2,23	2,48	1,90
BL2-H	3,30	75,7	233,0	2,82	2,57	1,28
BS2-H	5,33	73,9	233,0	2,82	2,53	2,11
BS3-H	5,44	73,4	233,0	2,82	2,52	2,16
BS4-H	4,93	80,1	233,0	2,82	2,67	1,85
CL2-H	3,51	70,1	233,0	3,51	2,44	1,44
CS2-H	5,89	70,2	233,0	3,51	2,44	2,41
CS3-H	5,89	74,2	233,0	3,51	2,53	2,32
CS4-H	5,26	75,7	233,0	3,51	2,57	2,05
160-4-7B	8,57	58,3	280,0	6,18	2,08	4,11
160-4-15A	7,14	70,7	280,0	4,10	2,37	3,01
160-4-15B	7,86	60,0	280,0	6,18	2,12	3,70
160-4-22A	5,00	60,4	280,0	4,10	2,13	2,34
160-4-22B	7,14	55,0	280,0	6,18	2,00	3,56
160-4-15C	5,36	64,3	280,0	6,18	2,22	2,41
PB-1	9,20	111,0	255,0	4,08	3,26	2,82
PB-2	14,71	111,0	255,0	4,08	3,26	4,51
PB-3	13,49	111,0	255,0	4,08	3,26	4,14
PB-4	19,08	111,0	255,0	4,08	3,26	5,85

Tabela B.11 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_c^* (MPa)	τ_{wu} / τ_c^* (MPa)
B-1	4,04	50,7	255,0	3,06	1,93	2,09
B-4	8,47	50,7	255,0	3,06	1,93	4,38
B-5	11,98	50,7	255,0	3,06	1,93	6,19
B-6	7,29	73,5	255,0	3,06	2,48	2,94
B-7	10,90	73,5	255,0	3,06	2,48	4,40
B-8	11,80	73,5	255,0	3,06	2,48	4,76
A5H	2,90	31,1	178,0	1,40	1,30	2,23
A6H	3,08	29,2	178,0	1,40	1,25	2,47
A7H	1,72	39,4	178,0	1,40	1,52	1,13
A8H	1,77	39,4	178,0	1,40	1,52	1,16
A5H	3,94	69,8	178,0	1,40	2,23	1,77
A6H	3,94	78,0	178,0	1,40	2,40	1,64
A7H	2,09	70,5	178,0	1,40	2,24	0,93
A8H	1,97	73,0	178,0	1,40	2,30	0,86
N2-S	1,48	36,0	655,0	2,80	1,14	1,29
N2-N	1,97	36,0	655,0	2,80	1,14	1,72
M2-S	2,25	67,0	655,0	2,80	1,73	1,30
M2-N	2,81	67,0	655,0	2,80	1,73	1,62
H2-S	2,43	87,0	655,0	2,80	2,06	1,18
H2-N	2,94	87,0	655,0	2,80	2,06	1,43
A-1	1,63	24,1	466,1	1,80	0,95	1,71
A-2	1,73	24,3	464,1	2,28	1,00	1,73
A-3	1,63	35,0	466,1	2,73	1,27	1,28
B-1	2,09	24,8	461,0	2,43	1,02	2,06
B-2	1,88	23,2	465,6	2,43	0,97	1,94
B-3	1,69	38,8	460,5	3,06	1,37	1,23
C-1	2,17	29,6	463,6	1,80	1,10	1,98
C-2	2,29	23,8	464,3	3,66	0,99	2,32
C-3	1,91	35,0	458,7	3,63	1,28	1,49
CRA-1	1,20	25,1	459,7	1,69	0,96	1,25
CRB-1	1,65	23,7	456,9	2,28	0,99	1,67
CRC-1	1,67	24,4	458,0	1,67	0,94	1,77
1WCRA-1	1,54	26,3	456,7	1,71	1,00	1,54
1WCRB-1	1,94	23,2	459,0	2,26	0,97	1,99
1WCRC-1	2,05	26,8	459,5	1,69	1,00	2,04
1WCA-1	1,56	25,2	462,5	1,76	0,98	1,60
1WCB-1	1,90	26,5	459,7	2,34	1,06	1,79
1WCC-1	2,00	24,9	460,0	1,75	0,97	2,06
2WCA-1	1,72	26,3	460,8	1,77	1,01	1,70
3WCA-1	1,48	26,3	460,0	1,77	1,01	1,47
A1-1	3,37	24,7	389,9	3,10	1,08	3,13

Tabela B.11 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	f_c (MPa)	d (mm)	ρ (%)	τ_{c*} (MPa)	τ_{wu} / τ_{c*} (MPa)
A1-2	3,18	23,7	389,9	3,10	1,05	3,04
A1-3	3,39	23,4	389,9	3,10	1,04	3,26
A1-4	3,71	24,8	389,9	3,10	1,08	3,44
E1-2	5,53	30,2	314,5	3,42	1,31	4,23
D2-6	4,21	29,5	314,5	3,42	1,29	3,27
D2-7	3,94	28,4	314,5	3,42	1,26	3,14
D2-8	4,24	26,1	314,5	3,42	1,19	3,57
D4-1	4,23	27,4	314,5	3,42	1,23	3,45
D4-2	3,96	25,7	314,5	3,42	1,17	3,37
D4-3	4,21	22,1	314,5	3,42	1,06	3,97
D5-1	3,67	27,7	314,5	3,42	1,24	2,97
D5-2	3,93	29,0	314,5	3,42	1,27	3,08
D5-3	3,95	27,1	314,5	3,42	1,22	3,24
C205-D10	2,90	23,2	315,0	2,61	1,10	2,64
C205-D20	2,59	24,3	315,0	2,08	1,13	2,29
C210-C0A	3,73	27,2	315,0	2,61	1,22	3,05
C210-S0	4,15	23,0	315,0	2,61	1,09	3,81
C305-D0	2,28	26,0	315,0	2,61	1,18	1,93
C305-D10	2,80	24,3	315,0	2,61	1,13	2,48
C305-D20	2,96	24,6	315,0	2,61	1,14	2,60
R8	1,92	26,7	272,0	1,46	1,11	1,73
R9	2,52	29,6	272,0	1,46	1,19	2,12
R10	1,82	29,6	272,0	0,98	1,06	1,71
R11	2,16	26,2	272,0	1,95	1,22	1,77
R12	2,83	33,9	254,0	4,16	1,48	1,91
R13	3,86	32,3	254,0	4,16	1,43	2,69
R14	2,16	29,0	272,0	1,46	1,17	1,84
R15	3,61	29,9	254,0	4,16	1,36	2,65
R16	3,61	31,6	254,0	4,16	1,41	2,56
R17	1,69	12,8	272,0	1,46	0,68	2,49
R18	2,04	31,3	272,0	1,46	1,24	1,65
R19	2,89	30,3	272,0	1,46	1,21	2,39
R20	2,17	42,5	272,0	1,46	1,51	1,43
R21	3,86	48,1	254,0	4,16	1,87	2,06
R22	1,92	29,5	272,0	1,46	1,19	1,62
R24	2,38	30,9	254,0	4,16	1,39	1,71
R25	2,70	30,8	254,0	4,16	1,39	1,94
R27	2,45	13,7	254,0	4,16	0,81	3,04
R28	4,63	31,6	254,0	4,16	1,41	3,28

Tabela B.11 - Cálculo da Resistência das Vigas sem Armadura Transversal
Método $V_u = V_s$ - EC2-92 - cont.


 $\tau_{wu} / \tau_{c*} < 1,3$		
$\tau_{c*} = 0,0525 \cdot k \cdot (1,2 + 40 \cdot \rho) \cdot f_c^{2/3}$	$k = 1,6 - d > 1$	$\rho \leq 0,02$
(-) valores não fornecidos		

Tabela B.12 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92

Método $V_u = V_s + V_c$

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} MPa	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\frac{\rho_w f_{yw}}{\rho_w f_{yw}^{(min)}}$	τ_{lim} (MPa)	$\frac{\tau_{lim}}{\tau_{vu}}$ (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
B50-3-3	1,67	0,34	0,11	303	3,36	298,0	22,0	0,47	0,72	5,84	3,50	2,80	19,66	1,95	27,15
B100-3-3	2,10	0,69	0,26	269	3,36	298,0	27,9	0,55	1,25	7,04	3,35	2,49	21,86	1,36	36,40
B100-7-3	2,65	0,69	0,26	269	3,36	298,0	47,0	0,78	0,88	10,58	3,99	3,05	18,17	1,40	35,54
B100-11-3	3,32	0,69	0,26	269	3,36	298,0	68,5	1,00	0,69	15,41	4,64	3,22	17,26	1,66	31,06
B150-3-3	3,05	1,03	0,38	269	3,36	298,0	28,7	0,56	1,83	7,19	2,36	1,72	30,11	1,91	27,66
B150-7-3	2,93	1,03	0,38	269	3,36	298,0	46,5	0,78	1,33	10,46	3,57	2,52	21,64	1,25	38,58
B150-11-3	3,55	1,03	0,38	269	3,36	298,0	69,5	1,01	1,02	15,64	4,40	2,87	19,24	1,34	36,80
G4	3,11	0,65	0,17	379	3,30	266,0	62,8	0,95	0,69	14,13	4,54	3,47	16,09	1,53	33,11
G5	2,39	0,65	0,17	379	2,50	268,0	40,0	0,70	0,93	9,00	3,77	3,17	17,51	1,29	37,80
G6	1,64	0,65	0,17	379	2,50	266,0	20,7	0,45	1,44	5,56	3,39	2,81	19,60	1,00	45,05
S5A	4,37	1,92	0,45	427	2,51	167,0	95,7	1,26	1,53	21,53	4,93	3,58	15,62	0,71	54,74
S7A	5,92	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	1,26	2,28	21,53	3,64	2,15	24,92	1,07	43,11
S7B	6,35	2,86	0,67	427	5,34	157,0	95,7	1,26	2,28	21,53	3,39	2,00	26,60	1,24	38,99
S8A	5,29	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	1,26	1,53	21,53	4,07	2,50	21,84	1,23	39,19
S8B	5,71	1,92	0,45	427	5,34	157,0	95,7	1,26	1,53	21,53	3,77	2,25	23,98	1,47	34,23
1	2,06	0,67	0,14	480	2,49	539,0	36,4	0,66	1,02	8,48	4,12	2,46	22,10	1,39	35,79
5	2,33	0,67	0,14	480	2,49	539,0	55,8	0,88	0,76	12,56	5,39	3,31	16,80	1,17	40,62
RC30A1	5,99	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,51	7,86	6,47	1,08	1,18	40,37	1,40	35,46
RC30A2	6,10	4,03	0,84	480	4,01	940,0	25,0	0,51	7,86	6,47	1,06	1,17	40,46	1,43	34,89
RC60A1	8,78	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,78	5,16	10,58	1,20	1,18	40,18	2,04	26,07
RC60A2	8,32	4,03	0,84	480	4,71	940,0	47,0	0,78	5,16	10,58	1,27	1,20	39,89	1,92	27,55
RC60B1	10,47	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,81	7,37	11,25	1,07	1,16	40,83	1,67	30,84
RC60B2	10,98	6,00	1,25	480	6,27	940,0	50,0	0,81	7,37	11,25	1,02	1,15	41,03	1,77	29,48
RC70B1	11,79	6,00	1,25	480	6,27	940,0	60,0	0,92	6,52	13,50	1,15	1,16	40,81	1,89	27,94
2	5,53	1,93	0,43	449	3,04	559,0	120,2	1,46	1,32	27,05	4,89	1,93	27,41	1,65	31,21
3	8,34	4,03	0,88	438	4,57	559,0	120,2	1,46	2,76	27,05	3,24	1,47	34,25	1,57	32,57
4	9,77	5,77	1,26	458	6,09	559,0	120,2	1,46	3,95	27,05	2,77	1,37	36,04	1,37	36,15
5	11,25	8,02	1,75	458	6,98	559,0	120,2	1,46	5,49	27,05	2,40	1,31	37,36	1,19	40,05
AL2-N	2,71	0,76	0,09	820	2,23	235,0	40,4	0,71	1,08	9,09	3,35	2,65	20,67	1,49	33,78
AS2-N	4,48	0,76	0,09	820	2,23	235,0	39,0	0,69	1,10	8,86	1,98	1,58	32,30	4,14	13,58
AS2-H	4,81	0,76	0,09	820	2,26	232,0	75,5	1,07	0,71	16,99	3,53	2,14	25,01	3,28	16,95
AS3-N	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	40,2	0,70	1,62	9,05	1,92	1,56	32,74	2,95	18,72

Tabela B.12 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{wu} (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} MPa	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_{wf,yw}$ (%)	$\rho_{wf,yw}$ (min)	$\frac{\rho_{wf,yw}}{\rho_{wf,yw}(min)}$	τ_{lim} (MPa)	$\frac{\tau_{lim}}{\tau_{wu}}$ (MPa)	Análise I		Análise II	
													cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
AS3-H	4,71	1,14	0,14	820	2,23	235,0	71,8	1,04		1,10	16,16	3,43	2,11	25,38	2,18	24,67
BS2-H	5,33	0,76	0,09	820	2,82	233,0	73,9	1,06		0,72	16,63	3,12	1,90	27,74	4,10	13,72
BS3-H	5,44	1,14	0,14	820	2,82	233,0	73,4	1,05		1,08	16,52	3,04	1,86	28,26	2,85	19,34
BS4-H	4,93	1,53	0,19	820	2,82	233,0	80,1	1,11		1,37	18,02	3,66	2,18	24,66	1,64	31,32
CL2-H	3,51	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,1	1,02		0,75	15,77	4,49	3,28	16,95	1,56	32,60
CS2-H	5,89	0,76	0,09	820	3,51	233,0	70,2	1,02		0,74	15,80	2,68	1,71	30,34	5,04	11,22
CS3-H	5,89	1,14	0,14	820	3,51	233,0	74,2	1,06		1,08	16,70	2,83	1,76	29,67	3,27	17,00
CS4-H	5,26	1,53	0,19	820	3,51	233,0	75,7	1,07		1,42	17,03	3,24	1,95	27,10	1,95	27,10
160-4-7B	8,57	6,46	0,76	850	6,18	280,0	58,3	0,90		7,16	13,12	1,53	1,32	37,12	1,12	41,88
160-4-15A	7,14	3,23	0,38	850	4,10	280,0	70,7	1,03		3,15	15,91	2,23	1,50	33,75	1,64	31,36
160-4-15B	7,86	3,23	0,38	850	6,18	280,0	60,0	0,92		3,51	13,50	1,72	1,37	36,12	1,97	26,88
160-4-22A	5,00	2,13	0,25	850	4,10	280,0	60,4	0,92		2,31	13,59	2,72	1,74	29,83	1,50	33,78
160-4-22B	7,14	2,13	0,25	850	6,18	280,0	55,0	0,87		2,45	12,38	1,73	1,39	35,73	2,68	20,47
160-4-15C	5,36	2,13	0,25	850	6,18	280,0	64,3	0,96		2,21	14,47	2,70	1,71	30,33	1,64	31,44
PB-1	9,20	3,56	0,85	419	4,08	255,0	111,0	1,39		2,57	24,98	2,71	1,55	32,84	1,85	28,35
PB-2	14,71	7,66	2,64	290	4,08	255,0	111,0	1,39		5,53	24,98	1,70	1,28	37,89	1,66	31,06
PB-3	13,49	6,66	0,85	784	4,08	255,0	111,0	1,39		4,81	24,98	1,85	1,32	37,17	1,71	30,37
PB-4	19,08	19,19	2,64	727	4,08	255,0	111,0	1,39		13,85	24,98	1,31	1,21	39,66	0,92	47,52
B-1	4,04	1,49	0,5	297	3,06	255,0	50,7	0,82		1,81	11,41	2,82	1,92	27,53	1,57	32,50
B-4	8,47	5,95	0,66	902	3,06	255,0	50,7	0,82		7,24	11,41	1,35	1,30	37,66	1,22	39,33
B-5	11,98	14,47	1,71	846	3,06	255,0	50,7	0,82		17,61	11,41	0,95	1,00	45,00	1,00	45,00
B-6	7,29	2,34	0,57	411	3,06	255,0	73,5	1,05		2,22	16,54	2,27	1,51	33,43	2,28	23,64
B-7	10,90	7,19	0,85	846	3,06	255,0	73,5	1,05		6,83	16,54	1,52	1,29	37,69	1,30	37,54
B-8	11,80	15,88	1,76	902	3,06	255,0	73,5	1,05		15,08	16,54	1,40	1,27	38,31	0,65	56,89
A5H	2,90	2,93	0,71	413	1,40	178,0	31,1	0,59		4,94	7,62	2,63	1,81	28,90	0,61	58,75
A6H	3,08	2,93	0,71	413	1,40	178,0	29,2	0,57		5,15	7,28	2,36	1,68	30,78	0,70	55,18
A5H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	69,8	1,02		2,88	15,71	3,99	2,30	23,49	0,65	57,00
A6H	3,94	2,93	0,71	413	1,40	178,0	78,0	1,10		2,67	17,55	4,45	2,56	21,37	0,58	59,70
N2-N	1,97	0,50	0,12	430	2,80	655,0	36,0	0,65		0,76	8,42	4,28	2,39	22,73	1,83	28,61
M2-N	2,81	0,70	0,16	430	2,80	655,0	67,0	0,99		0,71	15,08	5,36	2,61	20,99	1,71	30,31
H2-N	2,94	1,00	0,23	430	2,80	655,0	87,0	1,18		0,85	19,58	6,66	3,35	16,64	0,98	45,70
A-1	1,63	0,33	-	-	1,80	466,1	24,1	0,50		0,66	6,28	3,85	2,41	22,57	2,28	23,68
A-2	1,73	0,33	-	-	2,28	464,1	24,3	0,50		0,66	6,32	3,65	2,37	22,89	2,46	22,13

Tabela B.12 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} MPa	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_w f_{yw}$ (%)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	$\rho_w f_{yw}$ (min)	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
													cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
B-1	2,09	0,48	-	-	2,43	461,0	24,8	0,51	0,94	6,42	3,07	1,95	27,21	2,49	21,91	
B-2	1,88	0,48	-	-	2,43	465,6	23,2	0,49	0,98	6,09	3,24	2,06	25,88	2,11	25,35	
C-1	2,17	0,65	-	-	1,80	463,6	29,6	0,57	1,13	7,35	3,39	2,02	26,34	1,84	28,57	
C-2	2,29	0,66	-	-	3,66	464,3	23,8	0,50	1,33	6,22	2,72	1,76	29,65	2,19	24,50	
C-3	1,91	0,65	-	-	3,63	458,7	35,0	0,64	1,01	8,27	4,33	3,05	18,18	1,07	43,02	
CRB-1	1,65	0,51	-	-	2,28	456,9	23,7	0,49	1,03	6,19	3,75	2,50	21,84	1,44	34,78	
CRC-1	1,67	0,69	-	-	1,67	458,0	24,4	0,50	1,37	6,35	3,80	2,29	23,55	1,17	40,47	
1WCRB-1	1,54	0,35	-	-	1,71	456,7	26,3	0,53	0,66	6,74	4,37	2,86	19,29	1,71	30,31	
1WCRB-1	1,94	0,51	-	-	2,26	459,0	23,2	0,49	1,05	6,09	3,14	2,01	26,48	2,11	25,41	
1WCRC-1	2,05	0,70	-	-	1,69	459,5	26,8	0,54	1,30	6,82	3,32	1,96	27,02	1,66	31,08	
1WCA-1	1,56	0,35	-	-	1,76	462,5	25,2	0,52	0,68	6,50	4,17	2,67	20,51	1,85	28,37	
1WCB-1	1,90	0,51	-	-	2,34	459,7	26,5	0,53	0,96	6,76	3,56	2,27	23,76	1,82	28,76	
1WCC-1	2,00	0,69	-	-	1,75	460,0	24,9	0,51	1,35	6,45	3,22	1,94	27,26	1,66	31,07	
2WCA-1	1,72	0,35	-	-	1,77	460,8	26,3	0,53	0,66	6,74	3,92	2,42	22,43	2,25	23,93	
3WCA-1	1,48	0,35	-	-	1,77	460,0	26,3	0,53	0,66	6,72	4,54	3,14	17,65	1,49	33,78	
A1-1	3,37	1,26	-	-	3,10	389,9	24,7	0,51	2,48	6,40	1,90	1,47	34,24	2,02	26,31	
A1-2	3,18	1,26	-	-	3,10	389,9	23,7	0,49	2,55	6,19	1,95	1,49	33,86	1,88	28,00	
A1-3	3,39	1,26	-	-	3,10	389,9	23,4	0,49	2,57	6,14	1,81	1,44	34,74	2,07	25,76	
A1-4	3,71	1,26	-	-	3,10	389,9	24,8	0,51	2,47	6,42	1,73	1,41	35,34	2,32	23,32	
E1-2	5,53	2,42	-	-	3,42	314,5	30,2	0,58	4,16	7,46	1,35	1,31	37,36	1,94	27,29	
D2-6	4,21	2,02	-	-	3,42	314,5	29,5	0,57	3,53	7,34	1,74	1,44	34,76	1,61	31,90	
D2-7	3,94	2,02	-	-	3,42	314,5	28,4	0,56	3,62	7,13	1,81	1,47	34,26	1,48	34,12	
D2-8	4,24	2,02	-	-	3,42	314,5	26,1	0,53	3,82	6,69	1,58	1,39	35,74	1,68	30,79	
D4-1	4,23	1,62	-	-	3,42	314,5	27,4	0,54	2,97	6,94	1,64	1,41	35,38	2,06	25,89	
D4-2	3,96	1,62	-	-	3,42	314,5	25,7	0,52	3,10	6,60	1,67	1,42	35,13	1,91	27,63	
D4-3	4,21	1,62	-	-	3,42	314,5	22,1	0,47	3,43	5,85	1,39	1,34	36,79	2,16	24,85	
D5-1	3,67	1,23	-	-	3,42	314,5	27,7	0,55	2,24	7,00	1,91	1,51	33,55	2,20	24,46	
D5-2	3,93	1,23	-	-	3,42	314,5	29,0	0,57	2,17	7,25	1,84	1,48	34,04	2,40	22,63	
D5-3	3,95	1,23	-	-	3,42	314,5	27,1	0,54	2,27	6,88	1,74	1,45	34,67	2,47	22,06	
C205-D10	2,90	0,85	-	-	2,61	315,0	23,2	0,49	1,74	6,11	2,11	1,61	31,85	2,35	23,01	
C205-D20	2,59	0,85	-	-	2,08	315,0	24,3	0,50	1,69	6,33	2,45	1,78	29,36	1,90	27,71	
C210-C0A	3,73	1,70	-	-	2,61	315,0	27,2	0,54	3,13	6,91	1,85	1,49	33,92	1,64	31,38	
C210-S0	4,15	1,70	-	-	2,61	315,0	23,0	0,48	3,51	6,05	1,46	1,36	36,41	2,00	26,37	

Tabela B.12 - Cálculo dos valores de θ segundo a norma EC2-92
Método $V_u = V_s + V_c$ - cont.

Vigas	τ_{vu} (MPa)	$\rho_{w,f_{yw}}$ (MPa)	ρ_w (%)	f_{yw} MPa	ρ (%)	d (mm)	f_c (MPa)	$\rho_{w,f_{yv}}$ (min) (%)	$\frac{\rho_{w,f_{yv}}}{\rho_{w,f_{yv}}(\text{min})}$	τ_{lim} (MPa)	τ_{lim}/τ_{vu} (MPa)	Análise I		Análise II	
												cot θ	θ_{rup} (°)	cot θ	θ_{rup} (°)
C305-D0	2,28	0,85	-	-	2,61	315,0	26,0	0,53	1,61	6,67	2,92	2,08	25,68	1,43	34,91
C305-D10	2,80	1,70	-	-	2,61	315,0	24,3	0,50	3,38	6,32	2,26	1,68	30,80	1,09	42,52
C305-D20	2,96	1,70	-	-	2,61	315,0	24,6	0,51	3,35	6,38	2,15	1,63	31,59	1,19	40,05
R8	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	26,7	0,54	1,08	6,80	3,54	2,37	22,86	1,55	32,82
R9	2,52	1,15	-	-	1,46	272,0	29,6	0,57	2,00	7,35	2,92	1,89	27,83	1,29	37,89
R10	1,82	0,58	-	-	0,98	272,0	29,6	0,57	1,01	7,35	4,04	2,40	22,60	1,45	34,57
R11	2,16	0,58	-	-	1,95	272,0	26,2	0,53	1,10	6,71	3,11	2,29	23,57	1,81	28,99
R12	2,83	0,58	-	-	4,16	254,0	33,9	0,63	0,92	8,10	2,86	2,10	25,49	2,58	21,15
R13	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	32,3	0,61	1,89	7,82	2,03	1,59	32,17	2,35	23,09
R14	2,16	0,38	-	-	1,46	272,0	29,0	0,57	0,67	7,25	3,36	2,19	24,52	2,88	19,15
R15	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	29,9	0,58	1,99	7,40	2,05	1,60	31,93	2,17	24,71
R16	3,61	1,15	-	-	4,16	254,0	31,6	0,60	1,92	7,70	2,13	1,64	31,34	2,12	25,22
R17	1,69	0,58	-	-	1,46	272,0	12,8	0,33	1,77	3,65	2,16	1,67	30,89	1,94	27,31
R18	2,04	0,58	-	-	1,46	272,0	31,3	0,60	0,97	7,66	3,75	2,54	21,53	1,54	32,97
R19	2,89	1,15	-	-	1,46	272,0	30,3	0,58	1,97	7,47	2,59	1,72	30,20	1,63	31,61
R20	2,17	0,58	-	-	1,46	272,0	42,5	0,73	0,79	9,55	4,40	3,31	16,83	1,26	38,51
R21	3,86	1,15	-	-	4,16	254,0	48,1	0,79	1,45	10,83	2,81	1,94	27,27	1,92	27,48
R22	1,92	0,58	-	-	1,46	272,0	29,5	0,57	1,01	7,34	3,82	2,62	20,88	1,40	35,49
R24	2,38	0,58	-	-	4,16	254,0	30,9	0,59	0,98	7,58	3,19	2,41	22,56	1,89	27,84
R25	2,70	0,58	-	-	4,16	254,0	30,8	0,59	0,98	7,57	2,80	2,06	25,90	2,51	21,72
R27	2,45	1,15	-	-	4,16	254,0	13,7	0,34	3,36	3,88	1,58	1,49	33,85	1,59	32,21
R28	4,63	2,25	-	-	4,16	254,0	31,6	0,60	3,75	7,70	1,66	1,44	34,80	1,59	32,18

□ Ruptura por Escoamento do Aço

▒ Ruptura por Esmagamento da Bielas

(-) valor não fornecido