

**GUILHERME HENRICH**

**ESTUDO DO DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO -  
COMPARATIVO DE NORMAS**

**CURITIBA**

**2003**

**GUILHERME HENRICH**

**ESTUDO DO DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO -  
COMPARATIVO DE NORMAS**

**Dissertação apresentada como requisito  
parcial à obtenção do grau de Mestre.  
Programa de Pós-Graduação em Construção  
Civil. Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador: Prof. Dr. Marcos Antonio Marino**

**CURITIBA**

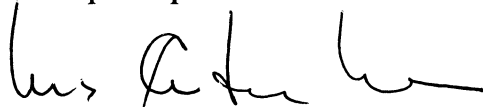
**2003**

## TERMO DE APROVAÇÃO

**GUILHERME HENRICH**

### **ESTUDO DO DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO – COMPARATIVO DE NORMAS**

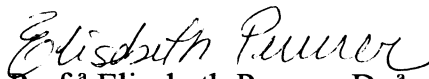
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos professores:



Orientador: Prof.º Marcos Antonio Marino, Ph.D  
Setor de Tecnologia, UFPR



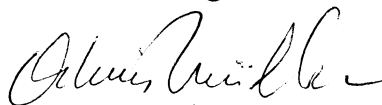
Prof.ª Ana Elisabete Paganelli Guimarães, Dr.ª  
Departamento de Estruturas, UNICAMP



Prof.ª Elisabeth Penner, Dr.ª  
Departamento Acadêmico de Construção Civil, CEFET-PR



Prof. Mauro Lacerda Santos Filho, Ph.D  
Setor de Tecnologia, UFPR



Prof.º Odenir Muller, Eng.º  
Setor de Tecnologia, UFPR

Curitiba, 16 de outubro de 2003

# SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE GRÁFICOS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	vii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1. CAPÍTULO I – OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO.....	1
1.1. INTRODUÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVO.....	1
1.3. HIPÓTESES.....	2
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	3
2. CAPÍTULO II – NORMALIZAÇÕES.....	4
2.1. O MATERIAL CONCRETO.....	4
2.2. CONCRETOS DO GRUPO II.....	5
2.3. NORMALIZAÇÃO.....	6
2.3.1. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.....	6
2.3.2. Comité Européen du Béton – CEB.....	7
2.3.3. American Concrete Institute – ACI.....	7
3. CAPÍTULO III – DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO.....	8
3.1. INTRODUÇÃO.....	8
3.2. DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO.....	11
3.2.1. Diagrama Tensão-Deformação da NBR 6118/2003.....	11
3.2.2. Diagrama Tensão-Deformação do MC 90-CEB/FIP.....	13
3.2.3. Diagrama Tensão-Deformação do ACI 318/2001.....	14
3.2.4. Outros diagramas Tensão-Deformação.....	15
3.3. DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES EM REGIÕES DE CONCRETO COMPRIMIDO.....	16
3.3.1. Distribuição de tensões da NBR 6118/2003.....	16
3.3.2. Distribuição de tensões do MC 90/CEB-FIP.....	20
3.3.3. Distribuição de tensões do ACI 318/2001.....	21
3.3.4. Outras distribuições de tensões.....	21
4. CAPÍTULO IV – MÉTODO DE PESQUISA.....	23
4.1. INTRODUÇÃO.....	23
4.2. MÉTODO ADOTADO.....	23
4.3. ESTRATÉGIA DE ANÁLISE.....	24
5. CONCRETOS COM $f_{ck} \leq 50$ MPa.....	25
5.1. COMPARATIVO DE DIAGRAMAS.....	25
5.2. DOMÍNIO 2.....	26
5.2.1. Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Parábola-retângulo.....	27
5.2.2. Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Retângulo equivalente.....	29
5.2.3. ACI 318/2001.....	30
5.2.4. Model Code 1990/CEB-FIP.....	31
5.2.5. Método por MARINO.....	31
5.2.6. Método por JARQUIO.....	33
5.2.7. Apresentação dos resultados para o Domínio 2.....	33
5.3. DOMÍNIO 3.....	49
5.3.1. Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Parábola-retângulo.....	50
5.3.2. Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Retângulo equivalente.....	51
5.3.3. ACI 318/2001.....	51
5.3.4. Model Code 1990/CEB-FIP.....	53
5.3.5. Método por MARINO.....	53
5.3.6. Método por JARQUIO.....	53
5.3.7. Apresentação dos resultados para o Domínio 3.....	54

6. CONCRETOS COM $f_{ck} > 50$ MPa .....	70
6.2. NBR 6118/2003 – PARÁBOLA-RETÂNGULO .....	71
6.2. MODEL CODE 1990/CEB-FIP .....	72
6.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	74
6.4. PLANILHAS DE CÁLCULO PARA CONCRETOS DO GRUPO II.....	85
7. CONCLUSÕES.....	91
7.1. CONCLUSÕES GERAIS .....	91
7.2. MÉTODO ADOTADO.....	92
7.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	92
REFERÊNCIAS.....	93

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – NBR 6118/2003 – PARÁBOLA-RETÂNGULO – D2.....	34
TABELA 02 – NBR 6118/2003 – RETÂNGULO EQUIVALENTE – D2.....	35
TABELA 03 – ACI 318/2001 – D2 .....	35
TABELA 04 – MC 90/CEB-FIP – D2 .....	37
TABELA 05 – MARINO – D2.....	38
TABELA 06 – JARQUIO – D2 .....	38
TABELA 07 – NBR 6118/2003 – PARÁBOLA-RETÂNGULO – D3.....	55
TABELA 08 – NBR 6118/2003 – RETÂNGULO EQUIVALENTE – D3 .....	56
TABELA 09 – ACI-318/2001 – D3 .....	57
TABELA 10 – MC 90 /CEB-FIP – D3 .....	58
TABELA 11 – MARINO – D3.....	59
TABELA 12 – JARQUIO – D3 .....	60
TABELA 13 – NBR 6118/2003 – PARÁBOLA RETÂNGULO – CONCRETOS DO GRUPO II .....	75
TABELA 14 – MC 90/CEB-FIP – CONCRETOS DO GRUPO II.....	76
TABELA 15 – CA50 / $f_{ck}$ 55 MPa.....	87
TABELA 16 – CA50 / $f_{ck}$ 60 MPa.....	88
TABELA 17 – CA50 / $f_{ck}$ 70 MPa.....	89
TABELA 18 – CA50 / $f_{ck}$ 80 MPa.....	90

## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 - TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 20MPa .....	41
GRÁFICO 02 - TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 30MPa .....	42
GRÁFICO 03 - TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 40MPa .....	43
GRÁFICO 04 - TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 50MPa .....	44
GRÁFICO 05 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 20MPa .....	45
GRÁFICO 06 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 30MPa .....	46
GRÁFICO 07 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 40MPa .....	47
GRÁFICO 08 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 – $f_{ck}$ 50MPa .....	48
GRÁFICO 09 - TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 20MPa .....	62
GRÁFICO 10 - TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 30MPa .....	63
GRÁFICO 11 - TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 40MPa .....	64
GRÁFICO 12 - TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 50MPa .....	65
GRÁFICO 13 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 20MPa .....	66
GRÁFICO 14 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 30MPa .....	67
GRÁFICO 15 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 40MPa .....	68
GRÁFICO 16 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 – $f_{ck}$ 50MPa .....	69
GRÁFICO 17 - $M_{RD}$ x TAXAS DE ARMADURA – $f_{ck}$ 60 MPa .....	77
GRÁFICO 18 - $M_{RD}$ x TAXAS DE ARMADURA – $f_{ck}$ 70 MPa .....	78
GRÁFICO 19 - $M_{RD}$ x TAXAS DE ARMADURA – $f_{ck}$ 80 MPa .....	79
GRÁFICO 20 - $M_{RD}$ x TAXAS DE ARMADURA – $f_{ck}$ 90 MPa .....	80
GRÁFICO 21 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA - $f_{ck}$ 60 MPa .....	81
GRÁFICO 22 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA - $f_{ck}$ 70 MPa .....	82
GRÁFICO 23 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA - $f_{ck}$ 80 MPa .....	83
GRÁFICO 24 - COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA - $f_{ck}$ 90 MPa .....	84

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - RELAÇÃO ENTRE NORMAS DO EUROCODE 2 .....	7
FIGURA 02 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO BASEADO EM J.GLUCKLICH .....	8
FIGURA 03 - COMPORTAMENTO DAS CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO .....	10
FIGURA 04 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO – NBR 6118/2003 .....	11
FIGURA 05 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO – PARÁBOLA-RETÂNGULO PARA $f_{ck} \leq 50$ MPa - CEB .....	13
FIGURA 06 - DEFORMAÇÕES MÁXIMAS DOS CONCRETOS COM $f_{ck} > 50$ MPa – MC 90/CEB.....	14
FIGURA 07 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO – PARÁBOLA-RETÂNGULO $f_{ck} = 80$ MPa - CEB .	14
FIGURA 08 - SIMPLIFICAÇÃO DO DIAGRAMA PARÁBOLA-RETÂNGULO DA NBR 6118 - MARINO	15
FIGURA 09 - DIAGRAMA DA “VERDADEIRA PARÁBOLA” - JARQUIO .....	16
FIGURA 10 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 –PARÁBOLA-RETÂNGULO – SEÇÕES RETANGULARES.....	18
FIGURA 11 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - RETÂNGULO EQUIVALENTE – SEÇÕES RETANGULARES.....	18
FIGURA 12 - DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CÁLCULO DA ARMADURA .....	19
FIGURA 13 - DOMÍNIOS DE ESTADO LIMITE ÚLTIMO – SEÇÕES RETANGULARES.....	19
FIGURA 14 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO MC 90 PARA $f_{ck} > 50$ MPa – SEÇÕES RETANGULARES.....	20
FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO ACI 318/2001- SEÇÕES RETANGULARES .....	21
FIGURA 16 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES – RETÂNGULO EQUIVALENTE – MARINO – SEÇÕES RETANGULARES.....	22
FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA “VERDADEIRA PARÁBOLA” – JARQUIO – SEÇÕES RETANGULARES.....	22
FIGURA 18 - SEÇÃO FLETIDA - DOMÍNIO 2 .....	26
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR-6118/03 - PARÁBOLA-RETÂNGULO – D2.....	27
FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR-6118/03 - PARÁBOLA – D2 .....	28
FIGURA 21 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 RETÂNGULO EQUIVALENTE – D2... ..	29
FIGURA 22 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO ACI/2001 – D2.....	30
FIGURA 23 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - MARINO – D2.....	31
FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - JARQUIO – D2.....	33
FIGURA 25 - REPRESENTAÇÃO DA DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA .....	40
FIGURA 26 - SEÇÃO FLETIDA - DOMÍNIO 3 .....	49
FIGURA 27 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO – D3 .....	50
FIGURA 28 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 RETÂNGULO EQUIVALENTE – D3... ..	51
FIGURA 29 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO ACI/2001 – D3.....	52
FIGURA 30 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - MARINO – D3.....	53
FIGURA 31 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - JARQUIO – D3 .....	54
FIGURA 32 - SEÇÃO FLETIDA - DOMÍNIO 3 - CONCRETOS DO GRUPO II.....	71
FIGURA 33 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - DOMÍNIO 3.....	72
FIGURA 34 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES SEGUNDO O MC 90 – CONCRETOS DO GRUPO II.....	73
FIGURA 35 - DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES PARA CONCRETOS DO GRUPO II - MC 90.....	86

## LISTA DE SÍMBOLOS

### LETRAS MINÚSCULAS

- $b_w$  – largura da alma de uma viga  
 $b_c$  – altura da mesa de compressão  
 $h$  – altura da alma de uma viga  
 $d$  – altura útil  
 $d_p$  – altura útil referida à armadura ativa  
 $x$  – altura da linha neutra  
 $z$  – braço de alavanca, distância  
 $f_{ck}$  – resistência à compressão do concreto  
 $f_{yk}$  – resistência ao escoamento do aço característica  
 $f_{cd}$  – resistência à compressão do concreto de cálculo  
 $f_{yd}$  – resistência ao escoamento do aço de cálculo  
 $f_{cd1}$  – resistência à compressão do concreto de cálculo ajustado, MC 90/CEB-FIP

### LETRAS MAIÚSCULAS

- $A_s$  – área de seção transversal da armadura longitudinal de tração  
 $A'_s$  – área de seção transversal da armadura longitudinal de compressão  
 $A_p$  – área de seção transversal da armadura ativa  
 $E_c$  – módulo de elasticidade inicial do concreto  
 $E_{cs}$  – módulo de elasticidade secante do concreto  
 $K$  – coeficiente adimensional  
 $M_{Rd}$  – momento fletor resistente de cálculo  
 $R'_{cd}$  – força resistente pelo concreto de cálculo  
 $R_{sd}$  – força resistente pela armadura de cálculo  
 $R_1$  – força resistente pelo retângulo de compressão do diagrama tensão-deformação de cálculo  
 $R_2$  – força resistente pela parábola de compressão do diagrama tensão-deformação de cálculo

### LETRAS GREGAS

- $\beta_1$  – coeficiente da altura do retângulo equivalente para o ACI  
 $\beta_c$  – valor adimensional auxiliar  
 $\beta_s$  – valor adimensional correspondente a tensão de tração na armadura  
 $\beta'_s$  – valor adimensional correspondente a tensão de compressão na armadura  
 $\beta_x$  – valor adimensional correspondente a linha neutra  
 $\beta_z$  – valor adimensional correspondente ao braço de alavanca  
 $\epsilon_c$  – deformação específica do concreto  
 $\epsilon_s$  – deformação específica do aço  
 $\epsilon_{cu}$  – deformação máxima de cálculo do concreto  
 $\epsilon_{ys}$  – deformação máxima de cálculo do aço  
 $\gamma_c$  – coeficiente de ponderação do concreto  
 $\gamma_s$  – coeficiente de ponderação do aço  
 $\rho_c$  – massa específica do concreto  
 $\rho_p$  – taxa geométrica da armadura de protensão  
 $\sigma_c$  – tensão à compressão no concreto  
 $\sigma_s$  – tensão de tração na armadura  
 $\sigma_p$  – tensão de protensão

## RESUMO

Esta dissertação tem por objetivo apresentar o modo com que as principais normas mundiais, e algumas proposições de pesquisadores, abordam os diagramas tensão-deformação do concreto e a correspondente distribuição de tensões na área comprimida de estruturas sujeitas a solicitações normais. As comparações tiveram como referência a NBR 6118/2003 e estão apresentadas em forma de tabelas e gráficos. Para concretos com resistência característica de até 50 MPa (Grupo I da NBR 8953/1992), todos os diagramas apresentados se mostraram muito próximos, o que nos leva a aceitar o uso de qualquer um deles. Para concretos com resistência característica superior a 50 MPa (Grupo II da NBR 8953/1992) as referências foram feitas ao diagrama tensão-deformação proposto pelo MC 90/CEB-FIP. São apresentadas tabelas, nos moldes tradicionais, para dimensionamento e verificação de peças fletidas de concreto armado.

## **ABSTRACT**

The objective of this dissertation is to present the way that the main codes deal with the stress-strain curves for concrete and the respecting distribution in the compressive area of structures submitted to flexural strength. Comparing had been done with reference to the NBR 6118/2003 and was showed in tables and graphics. Regarding concretes with compressive strength less than or equal to 50 MPa (Group I of NBR 8953/1992), all of the curves showed to be quite similar and acceptable. For concrete with compressive strength greater than 50 MPa (Group II NBR 8953/2003) the references had been done to the MC 90/CEB-FIP stress-strain curves. Tables are showed, in the traditional way, for design of reinforced concrete.

## 1. CAPÍTULO I – OBJETIVO DA DISSERTAÇÃO

### 1.1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a diversidade de normas existentes para projetos de estruturas de concreto armado e, sendo estas regulamentadas pelas mais variadas entidades (comitês, associações, institutos, entre outros), cada uma tratando de uma maneira diferenciada o dimensionamento dos elementos de uma estrutura sujeita a solicitações normais, considerou-se a necessidade de uma pesquisa comparativa entre tais normas para maior confiabilidade na utilização das normas brasileiras, mais especificamente da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento, março de 2003. Apesar desta Norma não abordar o uso de concreto com resistência característica superior a 50 MPa, nesta dissertação, serão também apresentados procedimentos para dimensionamento de peças de concreto armado submetidas à flexão simples para concretos do Grupo II da NBR 8953/1992 (concretos com  $f_{ck} > 50$  MPa).

### 1.2. OBJETIVO

O objetivo desta dissertação é o de apresentar uma análise, através de comparações, das diferentes relações tensão-deformação para diferentes níveis de resistência do concreto, segundo as normalizações propostas pelo *American Concrete Institute* - ACI 318/2001, *Comité Européen du Béton* - CEB/FIP (MC 90) e a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (NBR 6118/2003), bem como os diagramas propostos por pesquisadores isolados. Dentre os diagramas estudados, será procurado o de melhor aplicabilidade na distribuição das tensões em regiões comprimidas de elementos de concreto armado sujeitos a solicitações normais. Será apresentado um estudo dos graus de divergência entre diferentes diagramas e a relevância de suas disparidades. Para concretos com  $f_{ck}$  maior que 50 MPa (Grupo II

da NBR 8953/1992) será apresentado um critério para dimensionamento de estruturas de concreto armado sujeitas à flexão simples (vigas e lajes), com base no MC 90/CEB-FIP.

### 1.3. HIPÓTESES

O tratamento diferenciado para o diagrama tensão-deformação do concreto pode influenciar no resultado final do projeto de elementos estruturais de concreto armado, podendo ocorrer diferenças nas taxas de armaduras significativas em um elemento estrutural conforme o critério adotado para o projeto.

Para que o dimensionamento de um elemento seja mais preciso, pode ser necessária uma variação da posição da linha neutra ou uma modificação da representação das distribuições das tensões nas áreas comprimidas de acordo com a resistência característica do concreto adotado e suas respectivas propriedades de deformação ao longo do carregamento.

A possível necessidade de se alterar a posição da linha neutra ou modificar a distribuição de tensões de compressão, surgiu a partir do momento em que a NBR 6118/2003 adota diagramas únicos para todas as resistências características dos concretos pertencentes ao Grupo I da NBR 8953/1992. O ACI considera uma diminuição crescente da altura da região comprimida a partir do concreto com resistência característica de 30 MPa e não leva em conta, pelo menos explicitamente, as deformações últimas do concreto na compressão. Já o MC 90 considera uma deformação última constante do concreto até a resistência de 50 MPa e só então começa a ter um decréscimo linear desta deformação a medida em que se aumenta a resistência.

#### 1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

- Capítulo I -** Apresentação geral da dissertação.
- Capítulo II -** Abordagem geral sobre o material concreto e algumas das normas atuais existentes.
- Capítulo III -** Revisão bibliográfica mais específica do assunto proposto, descrevendo a maneira que algumas normas e pesquisadores tratam o diagrama tensão-deformação do concreto, bem como as distribuições de tensões na região comprimida.
- Capítulo IV -** Descrição da pesquisa, caracterizando o problema, o método, a estratégia de análise adotada.
- Capítulo V -** Comparações, gráficos e planilhas para concretos do Grupo I da NBR 8953/1992.
- Capítulo VI -** Comparações, gráficos e planilhas para concretos do Grupo II da NBR 8953/1992.
- Capítulo VII -** Conclusões.

## 2. CAPÍTULO II – NORMALIZAÇÕES

### 2.1. O MATERIAL CONCRETO

Na construção civil o concreto é o material mais largamente usado. Na década passada estimou-se um consumo anual de 5,5 bilhões de toneladas (MEHTA e MONTEIRO (1994)). O homem não consome nenhum outro material em tão grande quantidade a não ser a água (BRUNAUER e COPELAND (1981)).

Uma das razões para o uso tão difundido do concreto é a facilidade com que elementos estruturais deste material podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos. Isto é decorrente da consistência plástica do concreto fresco.

Outra razão importante para o grande consumo do concreto é o seu custo e disponibilidade. Os principais ingredientes para a execução de concreto – cimento e agregados – são relativamente baratos e comumente disponíveis na maior parte do planeta. Apesar de em certas regiões o custo de o concreto poder chegar a 80 dólares por tonelada, em outras ele cai para 20 dólares por tonelada, o que corresponde somente a 2 centavos de dólares por quilograma. Comparando a maioria dos outros materiais da construção civil, a produção do concreto requer consideravelmente menor consumo de energia. Além disso, grande quantidade de restos industriais podem ser reciclados e aplicados no concreto, substituindo o material cimentício ou os agregados.

A escolha de um material para obras de engenharia, deve considerar sua capacidade de resistir às solicitações provenientes dos esforços mecânicos e à agressividade do meio ambiente. Tradicionalmente, as deformações decorrentes de cargas aplicadas são expressas em **deformação específica**, definida pelo alongamento ou encurtamento por unidade de comprimento. As solicitações decorrentes do carregamento são expressas em **tensão**, definida como força por unidade de área. A relação tensão-deformação dos materiais expressa sua capacidade resistente e seu modo de deformação. Grandeza esta que resulta no módulo de elasticidade (E) que

representa a rigidez do material.

**Resistência**, em geral, é a medida de tensão exigida para romper o material. Nos projetos de estruturas de concreto, considera-se o concreto como o material adequado para resistir aos esforços de compressão. Por esta razão, a resistência à compressão do concreto é geralmente especificada no projeto. A resistência do concreto é função do processo de hidratação do cimento que é relativamente lento (MEHTA e MONTEIRO (1994)).

A ABNT classifica os concretos através da NBR 8953/1992, aplicada a concretos leves, normais ou pesados. Estes devem ter estrutura interna fechada, composta e adensada de forma a não reter ar além daquele intencionalmente incorporado, produzidos a partir de mistura de cimento, agregados, água e, eventualmente, aditivos.

Os concretos são separados em grupos (Grupo I e Grupo II) conforme a sua resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ).

Dentro dos grupos, os concretos normais com massa específica seca, de acordo com a NBR 9778, compreendidas entre  $2000 \text{ kg/m}^3$  e  $2800 \text{ kg/m}^3$ , são designados pela letra C, seguida do valor da resistência característica à compressão ( $f_{ck}$ ), em MPa:

- Grupo I : C10, C15, C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50; e
- Grupo II : C55, C60, C70 e C80.

Nos projetos estruturais, para concretos do Grupo II, permite-se, na ausência de Norma da ABNT, usar norma internacional, de comum acordo entre projetistas e proprietários.

## 2.2. CONCRETOS DO GRUPO II

Os concretos de maiores resistências correspondem a uma evolução dos concretos convencionais. Uma das características dos concretos de maior resistência é

a baixa relação água/cimento. A NBR 6118/2003 considera que esta relação não deve ser superior a 0,45 para concretos com  $f_{ck} \geq 40\text{MPa}$ . Segundo MANCEBO (2000), as relações entre baixa permeabilidade e alta resistência estão interligadas, pois uma resistência elevada exige volume reduzido de vazios, principalmente poros capilares, podendo a relação água/cimento chegar até a 0,20. A maneira de se ter um pequeno volume de poros é ter uma mistura que contenha partículas graduadas até o menor tamanho, o que pode ser obtido com a utilização de sílica ativa.

Materiais com alta resistência normalmente rompem de maneira brusca, isto é, sem que ocorra uma deformação não elástica ou permanente significativa.

### 2.3. NORMALIZAÇÃO

“Normalizar é estabelecer códigos a fim de permitir um melhor entendimento entre produtores e clientes, construtores e proprietários, vendedores e compradores, fixando condições gerais que devam ser obedecidas no projeto, na execução, no controle de obras, na produção de concretos, enfim, em todas as etapas de processo, objetivando um resultado satisfatório ao final do processo” (VERÇOSA (1975)).

Com esta finalidade, foi criada no Brasil a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. Outras importantes entidades existentes no mundo com o mesmo fim, e objeto de estudo desta dissertação, são o *Comité Européen du Béton* – CEB e o *American Concrete Institute* – ACI.

#### 2.3.1. Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

A ABNT é o fórum nacional de normalização. As normas brasileiras, cujos conteúdos são de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte produtores, consumidores e outros tais como universidades e laboratórios.

Os projetos de norma brasileira, elaborados no âmbito dos CB e ONS, circulam para votação nacional entre os associados da ABNT e demais interessados.

A NBR 6118/2003 manteve a filosofia das anteriores NBR 6118/1978 (historicamente conhecida como NB-1) e NBR 7197/1989 na definição dos critérios gerais para projetos de estruturas de concreto. Assim, ela deve ser complementada por outras normas que fixem critérios para estruturas especiais.

### 2.3.2. Comité Européen du Béton – CEB

As normas europeias estão passando por reformulações e também sendo unificadas. Para os nossos estudos tomaremos por base, ainda, o Model Code 1990 (MC 90), lembrando que já está disponível para uso na Inglaterra o novo Eurocode 2, que é a norma europeia para projetos de estruturas de concreto armado. O Eurocode 2 segue o quadro apresentado na FIGURA 01.

FIGURA 01 – RELAÇÃO ENTRE NORMAS DO EUROCODE 2



### 2.3.3. American Concrete Institute – ACI

Esta dissertação levou em conta o ACI 318/2001.

### 3. CAPÍTULO III – DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO

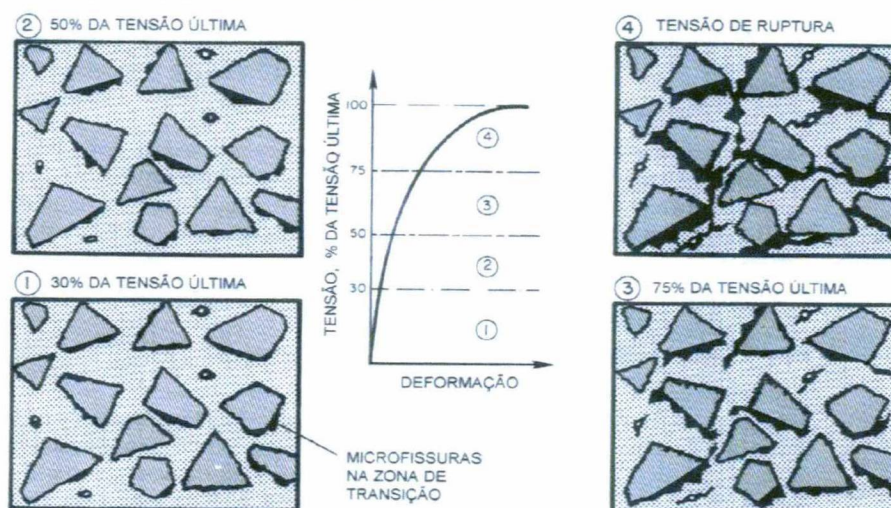
#### 3.1. INTRODUÇÃO

Segundo LEONHARDT e MÖNNIG (1977) no concreto endurecido devem ser distinguidas:

- deformações elásticas, devidas ao carregamento ou à temperatura que desaparecem completamente com a retirada do carregamento;
- deformações plásticas, devidas às cargas elevadas de curta duração; não desaparecem totalmente com a retirada da carga; e
- deformações que são função do tempo e das condições climáticas, em consequência da alteração da pasta de cimento no concreto - fluência.

A partir de curvas típicas tensão-deformação para concretos carregados em compressão uniaxial, é possível constatar que o concreto não é um material elástico. Nem a deformação sob carga instantânea de um corpo de prova de concreto é diretamente proporcional à tensão aplicada, nem é esta totalmente recuperada após o descarregamento. A causa da não-linearidade da relação tensão-deformação foi explicada a partir de estudos sobre o processo de micro-fissuração progressiva do concreto sob carga (MEHTA e MONTEIRO (1994)).

FIGURA 02 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO COMPORTAMENTO TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO BASEADO EM J. GLUCKLICH



Do ponto de vista da relação entre o nível de tensão, expressa como porcentagem da carga última, e a micro-fissuração no concreto, a FIGURA 02 mostra quatro estágios do comportamento do concreto. Mesmo antes da aplicação de carga externa, já existem micro-fissuras na zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo no concreto. O número e a abertura destas fissuras em uma peça de concreto dependeriam, entre outros fatores, das características de exsudação, resistência da zona de transição e da cura do concreto. Sob condições normais de cura, devido às diferenças nos seus módulos de deformação, deformações diferenciais surgirão entre a matriz e o agregado graúdo, causando fissuras na zona de transição. Abaixo de 30% da carga última, as fissuras da zona de transição permanecem estáveis, permitindo um comportamento linear no diagrama tensão-deformação.

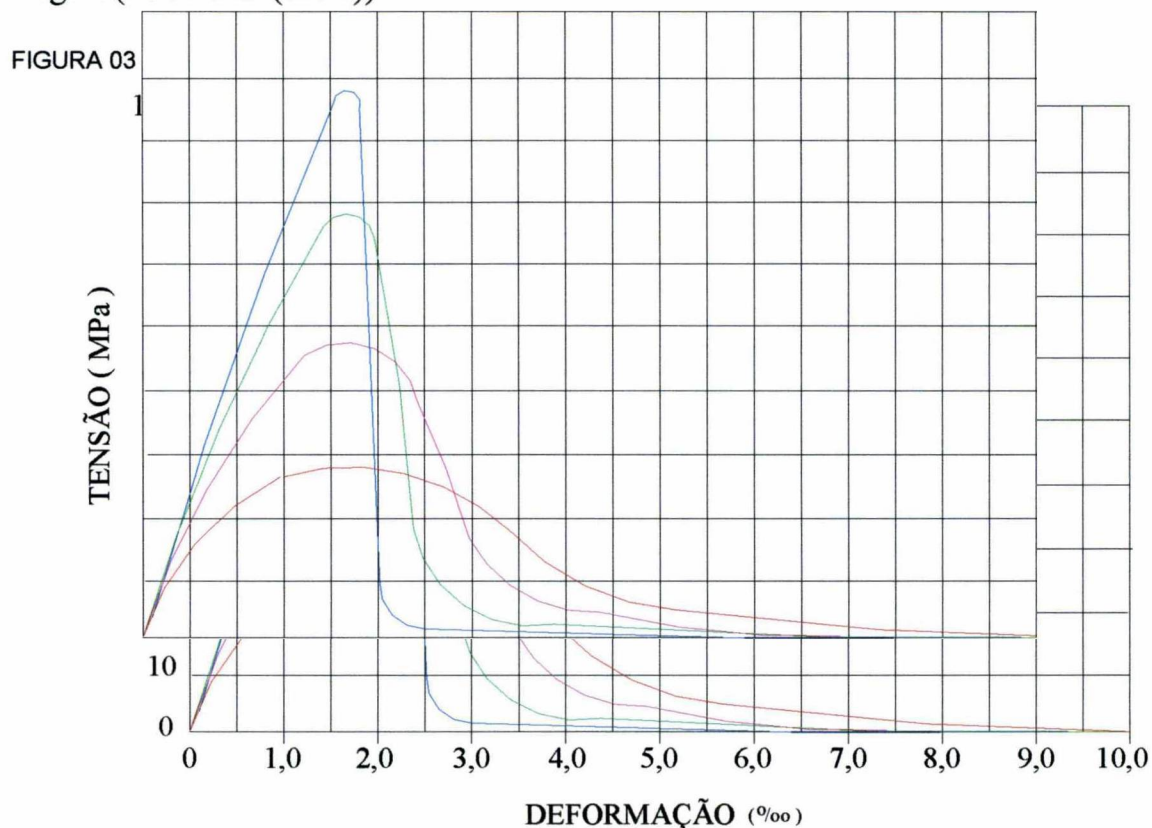
Acima de 30% da carga última, na medida em que a tensão aumenta, as micro-fissuras da zona de transição começam a aumentar em comprimento, largura e número. Assim, na medida em que a tensão aumenta, a curva tensão-deformação começa a se desviar de uma linha reta. Entretanto, até cerca de 50% da tensão última, pode-se admitir que exista um sistema estável de micro-fissuras na zona de transição. Neste estágio, a fissuração da matriz é desprezível. Entre 50% e 60% da carga última, começam a formar fissuras na matriz. Com um aumento da tensão até cerca de 75% da carga última, não só o sistema de fissuras na zona de transição tornar-se-á instável, mas também a proliferação e propagação das fissuras na matriz aumentarão, fazendo com que a curva tensão-deformação incline-se em direção à horizontal. De 75% a 80% da carga última, a taxa de liberação de energia de deformação parece atingir o nível crítico necessário para o crescimento espontâneo das fissuras sob tensão constante e o material irá deformar até o colapso (MEHTA e MONTEIRO (1994)).

Segundo QUIRÓS E VALLE (1994), os concretos com resistência característica maior que 50 MPa apresentam particularidades que afetam o estabelecimento de seu diagrama tensão-deformação. Tais particularidades podem ser resumidas em três:

- um tramo de ascensão do diagrama mais linear que o dos concretos de menor resistência;
- um valor de deformação correspondente a tensão máxima, ligeiramente superior a dos concretos de menor resistência; e
- um valor de deformação máxima inferior a dos concretos de menor resistência.

De modo geral, as normas atuais limitam sua aplicação a uma resistência da ordem de 50 MPa a 60 MPa. Existem algumas normas que regulamentam a utilização do concreto com resistências maiores, adotando diagramas tensão-deformação diferenciados em relação aos concretos de resistências menores.

Os concretos de maior resistência têm maior inclinação na origem da curva tensão-deformação. Por outro lado, os concretos menos resistentes rompem com deformações maiores, apresentando assim maior capacidade de acomodação plástica (FIGURA 03). Os concretos de maior resistência são, por conseguinte, relativamente frágeis (FURNAS (1997)).



## 3.2. DIAGRAMAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO

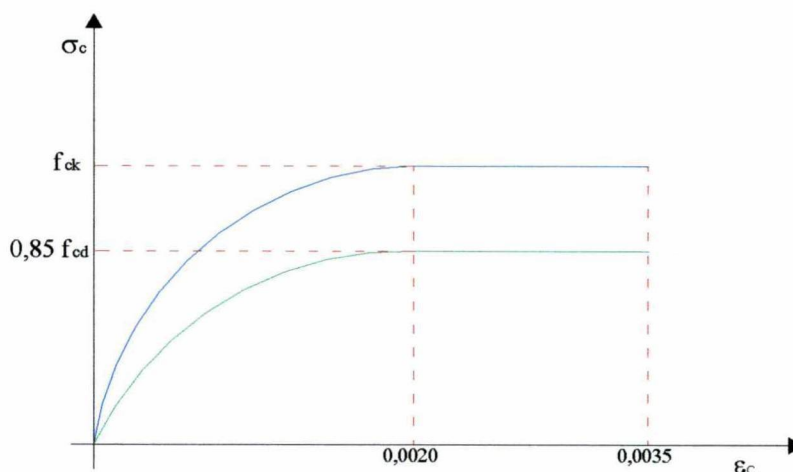
### 3.2.1. Diagrama Tensão-Deformação da NBR 6118/2003

Esta Norma se aplica a concretos de massa específica normal, das classes do grupo I, indicadas na NBR 8953 tais como: C15, C20, C25, C30, C35, C40, C45 e C50.

O valor mínimo da resistência à compressão deve ser de 20 MPa para concretos apenas com armadura passiva e 25 MPa para concretos com armadura ativa. O valor de 15 MPa pode ser usado apenas em fundações, conforme NBR 6122, e em obras provisórias.

Para análises no estado limite último, pode ser empregado o diagrama tensão-deformação mostrado na FIGURA 04.

FIGURA 04 – DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DO CONCRETO – NBR 6118/2003



O coeficiente 0,85 mostrado na FIGURA 04, que reduz a resistência de cálculo do concreto  $f_{cd}$ , leva em conta a superposição de três fatores, cuja ordem de grandeza é dada da seguinte maneira:

- perda de resistência sob carga mantida (efeito Rüschi) igual a 0,72;
- ganho de resistência com o tempo entre 28 dias e o final de vida da estrutura (para o cimento tipo CPI) igual a 1,23; e

- coeficiente que corrige a influência da forma do corpo de prova padrão (15x30 cm) e a resistência na estrutura, igual a 0,96.

Assim sendo:  $0,72 \times 1,23 \times 0,96 = 0,850176 \approx \mathbf{0,85}$

A norma brasileira, para tensões de compressão menores que  $0,5 f_{ck}$ , admite uma relação linear entre tensões e deformações, adotando-se para o módulo de elasticidade o valor secante dado pela expressão:

$$E_{cs} = 0,85 E_c, \quad (1)$$

com

$$E_c = 5600 f_{ck}^{1/2} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (2)$$

A rigor, o módulo de elasticidade inicial  $E_c$  está ligado ao valor médio da resistência à compressão do concreto  $f_{cm}$ . Como  $f_{cm}$  não é conhecido na fase de projeto, apenas  $f_{ck}$ ,  $E_c$  será calculado em função de  $f_{ck}$ .

Na avaliação do comportamento global da estrutura, permite-se adotar o módulo  $E_c$  por três razões principais:

- para a estrutura toda é adequado avaliar a rigidez a partir de  $f_{cm}$ ;
- existem significativas regiões da estrutura onde as tensões são baixas, com valores abaixo de 30% de  $f_{ck}$ ; e
- nessas análises, uma parte das ações é usualmente dinâmica de curta duração, como o vento, por exemplo, para as quais o concreto tem uma melhor resposta.

Muitas são as variáveis que podem interferir no resultado do módulo de elasticidade do concreto. Dentre elas, pode-se citar:

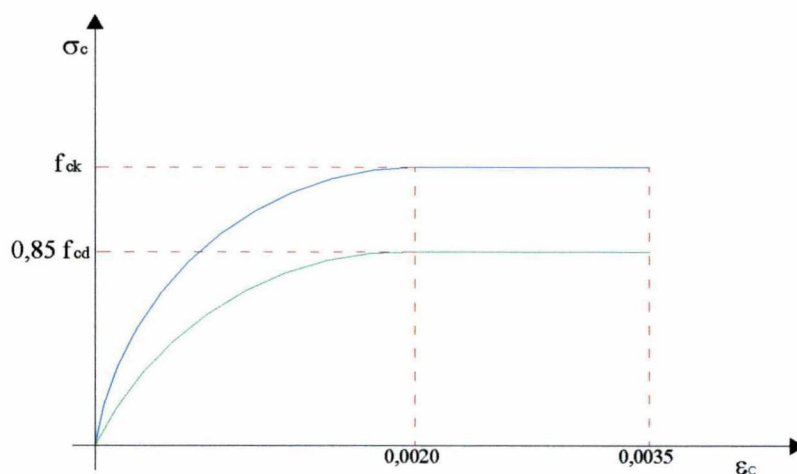
- diferentes resistências à compressão do concreto;
- diferentes consistências do concreto fresco;
- diferentes volumes de pasta por metro cúbico de concreto;
- diferentes estados de umidade dos corpos-de-prova no momento do ensaio;
- diferentes velocidades de aplicação da carga ou da deformação;

- diferentes diâmetros nominais do agregado graúdo;
- diferentes dimensões dos corpos-de-prova;
- diferentes temperaturas de ensaio;
- diferentes naturezas do agregado graúdo; e
- diferentes idades.

### 3.2.2. Diagrama Tensão-Deformação do MC 90-CEB/FIP

O CEB apresenta o clássico diagrama parábola-retângulo para concretos com resistência até 50 MPa, mostrado na FIGURA 05, em que o tramo da parábola é limitado a deformação de 0,0020, e o trecho reto termina na deformação de 0,0035. Este diagrama é idêntico ao da NBR 6118/2003, como apresentado no item 3.2.1. desta dissertação.

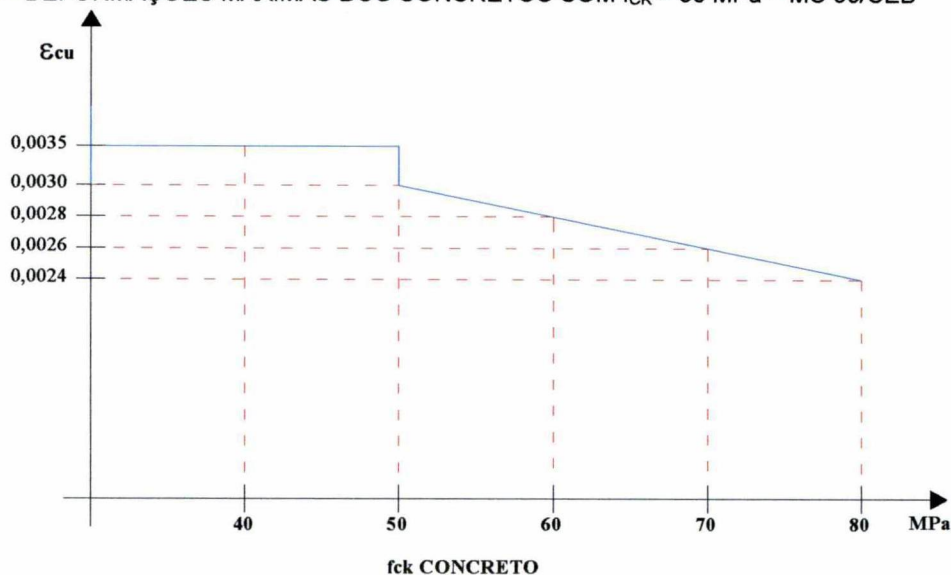
FIGURA 05 – DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO – PARÁBOLA-RETÂNGULO PARA  $f_{ck} \leq 50\text{MPa}$  - CEB



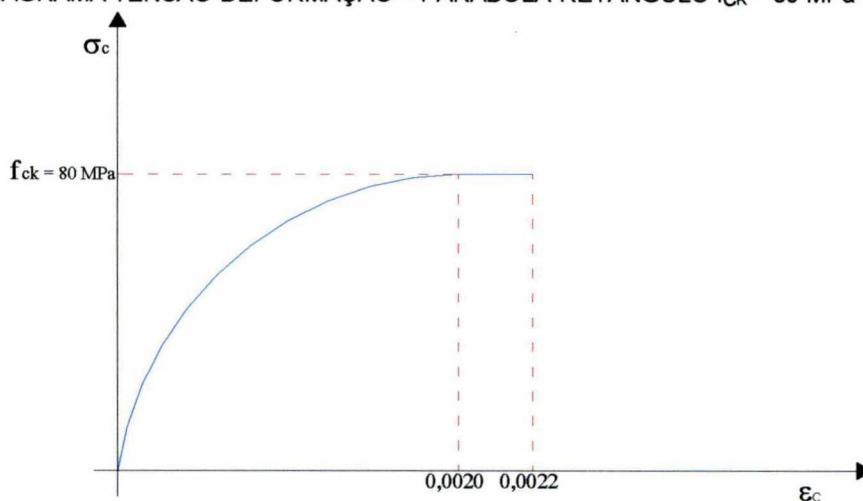
Para concretos com resistências superiores a 50 MPa, o CEB estabelece diagramas com deformação máxima inferior a 0,0035, dada pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_{cu} = 0,0035 \cdot (50 / f_{ck}) \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (3)$$

Para o MC 90 é admitido um decréscimo linear da deformação máxima do concreto a medida em que sua resistência aumenta além dos 50 MPa, conforme FIGURA 06.

FIGURA 06 – DEFORMAÇÕES MÁXIMAS DOS CONCRETOS COM  $f_{ck} > 50$  MPa – MC 90/CEB

Para concretos de  $f_{ck} = 80$  MPa, o diagrama tensão-deformação corresponde ao apresentado na FIGURA 07.

FIGURA 07 –DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO – PARÁBOLA-RETÂNGULO  $f_{ck} = 80$  MPa - CEB

### 3.2.3. Diagrama Tensão-Deformação do ACI 318/2001

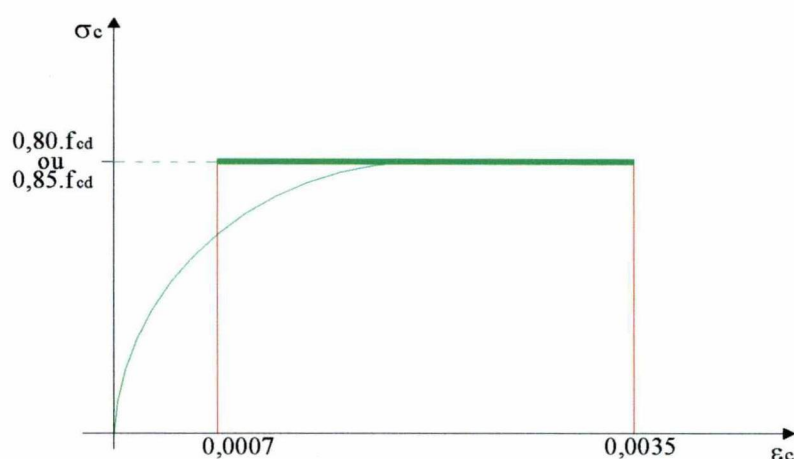
O ACI não apresenta explicitamente um diagrama tensão-deformação para o concreto. Para esta Norma a deformação máxima da fibra mais comprimida do concreto deve ser admitida como 0,003. O comentário do ACI 318/2001 informa que vem se observando em vários testes, que a máxima deformação de compressão do concreto pode variar de 0,003 até mais de 0,008, em condições especiais (FIGURA 03). Entretanto, a deformação que é observada para momentos

últimos usuais, é em torno de 0,003 a 0,004, para peças de proporções e materiais normais.

### 3.2.4 Outros diagramas Tensão-Deformação

Uma simplificação do diagrama parábola-retângulo da NBR 6118 foi apresentada por MARINO (1979), como mostrado na FIGURA 08.

FIGURA 08 – SIMPLIFICAÇÃO DO DIAGRAMA PARÁBOLA RETÂNGULO DA NBR 6118 - MARINO



A simplificação apresentada na FIGURA 08 admite que:

- para deformações menores que 0,0007, as tensões no concreto são nulas; e
- para deformações maiores ou iguais a 0,0007, as tensões no concreto correspondem a  $0,85 f_{cd}$ , desde que a largura da zona comprimida seja constante ou cresça a partir da fibra menos comprimida ( $0,80 f_{cd}$  em caso contrário).

Uma outra forma do diagrama tensão-deformação do concreto foi apresentada por JARQUIO (1996), com três críticas ao diagrama parábola-retângulo tradicional:

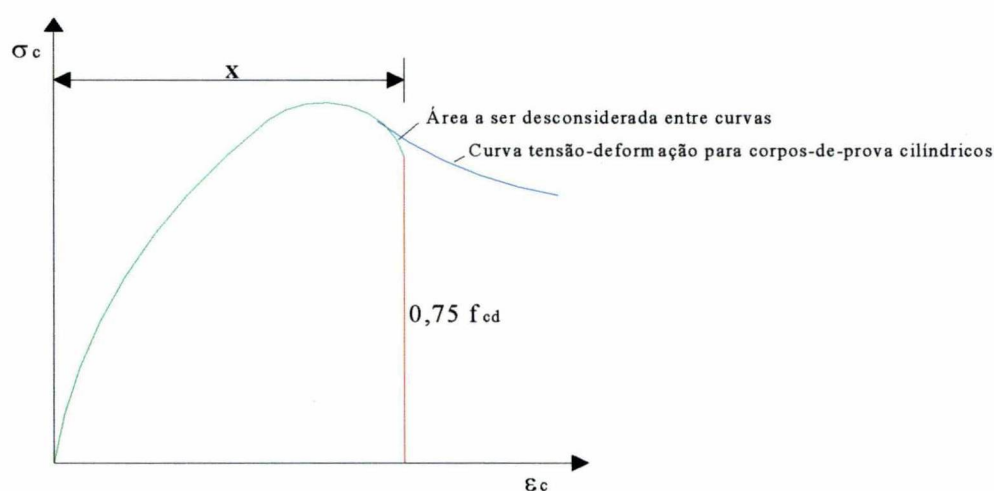
- o que ele chama da “verdadeira parábola” é o próprio e correto método

para a análise de tensão última;

- a distribuição de tensões correspondente a parábola-retângulo não satisfaz as condições de equilíbrio estático que é requerido em qualquer análise estrutural; e
- o nome parábola-retângulo é um indicador da inabilidade dos investigadores do passado para manipular analiticamente uma curva parabólica.

Na FIGURA 09 está apresentado o diagrama tensão-deformação proposto por JARQUIO.

FIGURA 09 – DIAGRAMA DA "VERDADEIRA PARÁBOLA" - JARQUIO



### 3.3. DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES EM REGIÕES DE CONCRETO COMPRIMIDO

#### 3.3.1. Distribuição de tensões da NBR 6118/2003

Na análise dos esforços resistentes de uma seção de viga ou pilar (FIGURA 10), a NBR 6118/2003 admite as seguintes hipóteses básicas:

- as seções transversais se mantêm plana após a deformação;
- a deformação das barras passivas ou o acréscimo de deformação das

barras ativas aderentes em tração ou compressão deve ser o mesmo do concreto no entorno;

- para armaduras ativas não aderentes, na falta de valores experimentais e de análises não-lineares adequadas, os valores do acréscimo das tensões para estruturas usuais de edifícios estão apresentados a seguir, devendo ainda ser divididos pelos devidos coeficientes de ponderação:

- para elementos com relação vão/altura útil igual ou menor que 35:

$$\Delta\sigma_p = 70 + f_{ck}/100\rho_p, \text{ em MPa, não podendo ultrapassar } 420 \text{ MPa.}$$

- para elementos com relação vão/altura útil maior que 35:

$$\Delta\sigma_p = 70 + f_{ck}/300\rho_p, \text{ em MPa, não podendo ultrapassar } 210 \text{ MPa.}$$

onde: 
$$\rho_p = \frac{A_p}{b_c d_p}$$

$\Delta\sigma_p$  e  $f_{ck}$  são dados em MPa;

$\rho_p$  é a taxa geométrica da armadura ativa;

$b_c$  é a largura da mesa de compressão;

$d_p$  é a altura útil referida à armadura ativa;

- as tensões de tração no concreto, normais à seção transversal, podem ser desprezadas, obrigatoriamente no ELU;

- a distribuição de tensões no concreto se faz de acordo com o diagrama parábola retângulo, com tensão de pico igual a  $0,85 f_{cd}$  (FIGURA 10). Esse diagrama pode ser substituído pelo retângulo de altura  $0,8x$  (onde  $x$  é a profundidade da linha neutra), com a seguinte tensão (FIGURA 11):

- $0,85 f_{cd}$  no caso da largura da seção, medida paralelamente à linha neutra, não diminuir a partir dessa para a borda comprimida;
- $0,80 f_{cd}$  no caso contrário.

FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 – PARÁBOLA-RETÂNGULO – SEÇÕES RETANGULARES

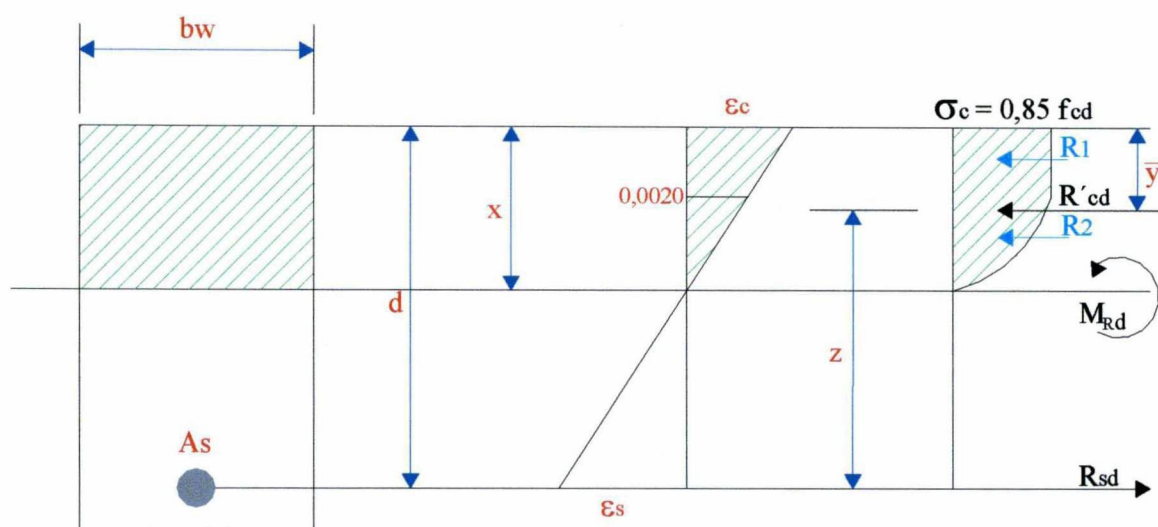
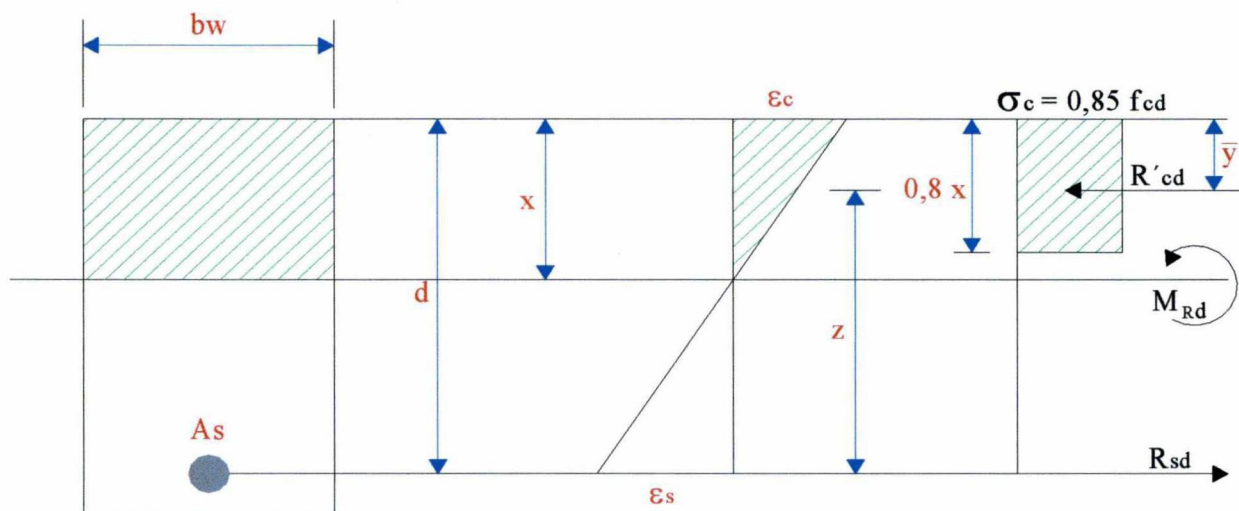
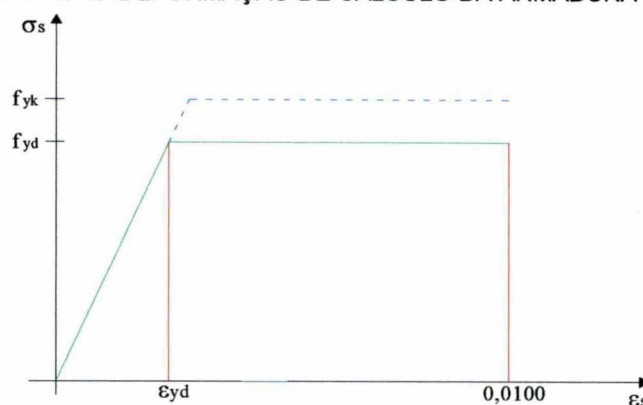


FIGURA 11 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - RETÂNGULO EQUIVALENTE – SEÇÕES RETANGULARES



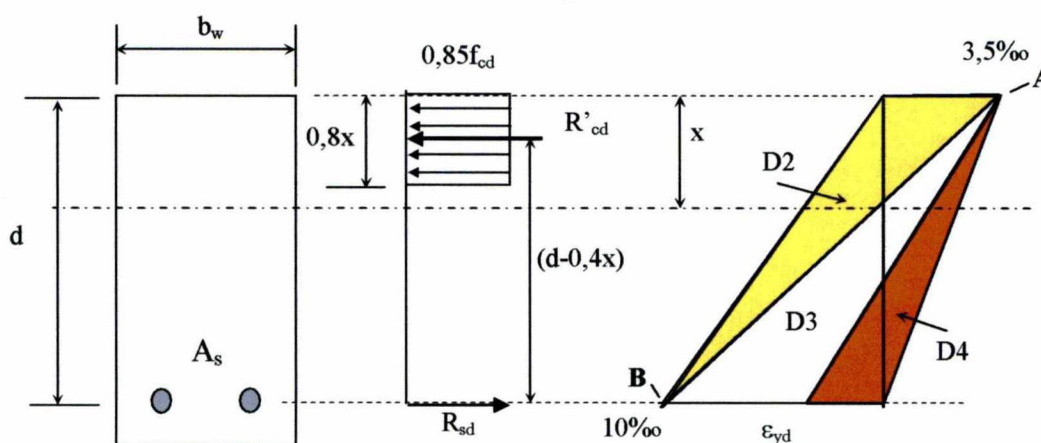
- a tensão nas armaduras deve ser obtida a partir dos diagramas tensão-deformação, com valores de cálculo, como mostrado na FIGURA 12.

FIGURA 12 – DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE CÁLCULO DA ARMADURA



As relações limites entre as máximas deformações do concreto e da armadura são estabelecidas através de domínios. Para a NBR 6118/2003 o estado limite último, na flexão simples, é caracterizado quando a distribuição das deformações na seção transversal pertencer a um dos domínios definidos na FIGURA 13.

FIGURA 13 – DOMÍNIOS DE ESTADO LIMITE ÚLTIMO – SEÇÕES RETANGULARES



Ruptura convencional por deformação plástica excessiva:

- Domínio 2: flexão simples ou composta sem ruptura à compressão do concreto ( $\epsilon_c < 3,5\text{‰}$  e com o máximo alongamento permitido).

Ruptura convencional por encurtamento limite do concreto:

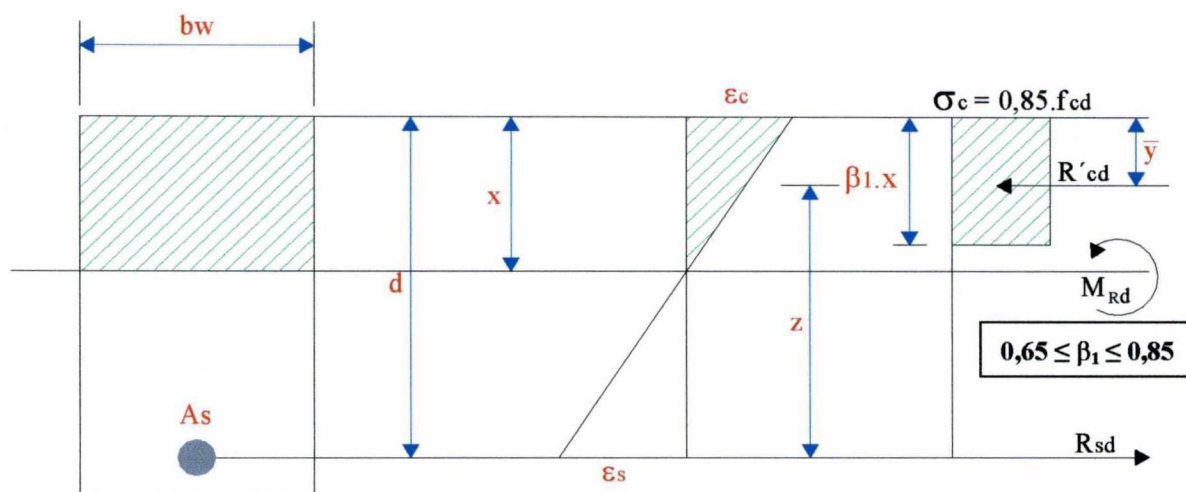
- Domínio 3: flexão simples (seção subarmada) ou composta com ruptura à compressão do concreto e com escoamento do aço ( $\epsilon_s \geq \epsilon_{yd}$ ).
- Domínio 4: flexão simples (seção superarmada) ou composta com



### 3.3.3. Distribuição de tensões do ACI 318/2001

O ACI permite, também, o diagrama retangular para representar a distribuição de tensões na região comprimida, conforme mostrado na FIGURA 15.

FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO ACI 318/2001- SEÇÕES RETANGULARES



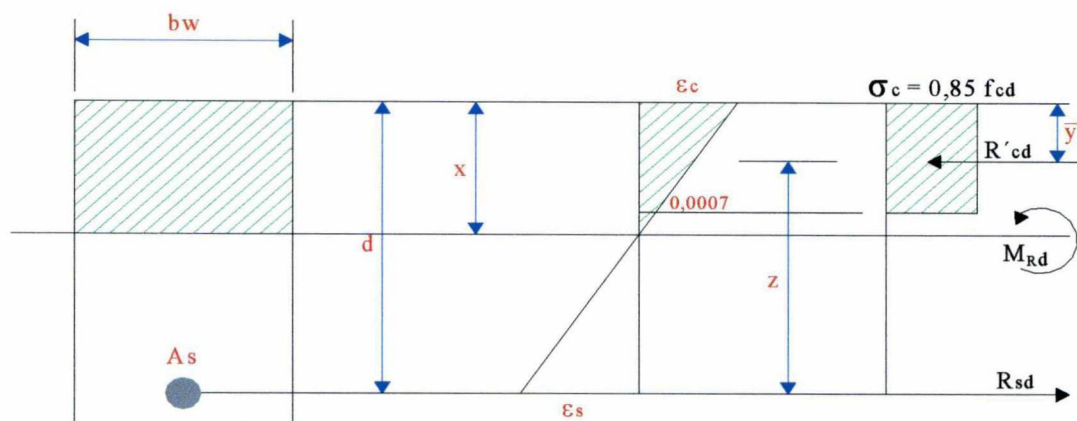
A equação do  $\beta_1$  é dada por:

$$\beta_1 = 0,85 - 0,05 \cdot \left( \frac{f_{ck} - 30}{7} \right) \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (6)$$

### 3.3.4. Outras distribuições de tensões

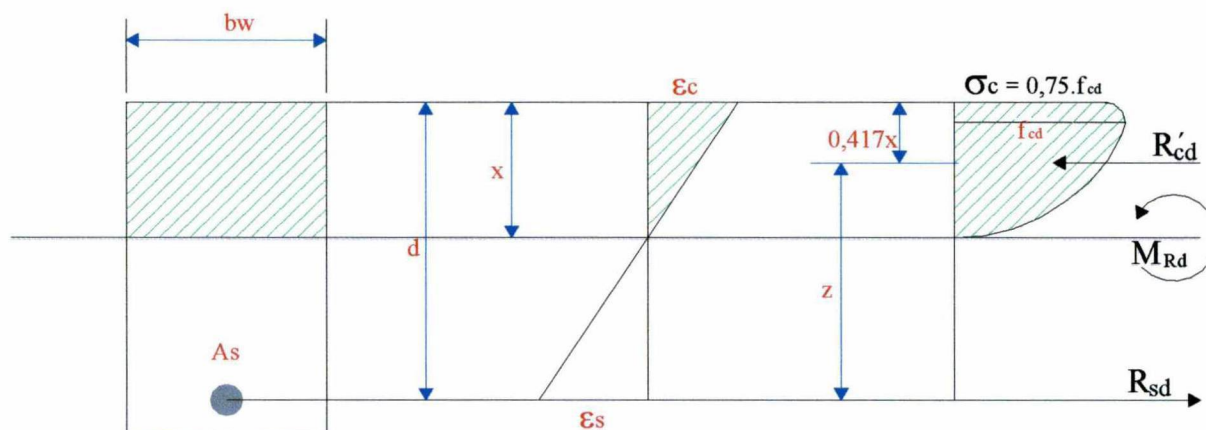
A distribuição de tensões para o diagrama apresentado por MARINO é mostrada na FIGURA 16.

FIGURA 16 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES – RETÂNGULO EQUIVALENTE – MARINO – SEÇÕES RETANGULARES



Segundo JARQUIO a aplicação da “verdadeira parábola” é possível, porque a equação geral pode ser derivada com os três parâmetros envolvidos na análise de tensão última para peças de concreto armado. Estes parâmetros são a tensão de cálculo do concreto ( $f_{cd}$ ), deformação do concreto ( $\epsilon_c$ ) e altura da região comprimida ( $x$ ). Na FIGURA 17 é apresentada a distribuição de tensões.

FIGURA 17 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA “VERDADEIRA PARÁBOLA” – JARQUIO – SEÇÕES RETANGULARES



No critério proposto por JARQUIO não importa qual é o valor específico de  $\epsilon_c$  adotado para que o equilíbrio de forças seja verificado. As equações de JARQUIO correspondem a:

$$R'_{cd} = 0,75 \cdot x \cdot f_{cd} \cdot b_w \quad (7)$$

$$R_{sd} = A_s \cdot \sigma_s \quad (8)$$

## 4. CAPÍTULO IV – MÉTODO DE PESQUISA

### 4.1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista as diferenças de tratamento para o diagrama tensão-deformação do concreto, optou-se por desenvolver um estudo comparativo das distribuições de tensões em regiões comprimidas para diferentes valores de resistência do concreto, tomando como referência o diagrama parábola-retângulo da NBR 6118/2003. Com isso pode-se verificar as divergências entre os diferentes diagramas podendo assim julgar se estas divergências têm alguma relevância na análise do comportamento estrutural das estruturas de concreto armado.

### 4.2. MÉTODO ADOTADO

O método de pesquisa adotado para esta dissertação foi o investigatório numérico. Buscou-se na literatura atualizada todas as fontes e requisitos para garantir a qualidade da pesquisa. Foram investigados *journals*, periódicos, anais de congressos, normas e livros. Devido à discrepância no modo em que as Normas tratam as distribuições de tensões em regiões de concreto comprimido, resolveu-se fazer uma profunda análise destas normas, e também da literatura em questão, propiciando assim comparar os seus valores e o significado de suas diferenças.

Na primeira parte da pesquisa foi realizado um comparativo dos diagramas apresentados para concretos do Grupo I da NBR 8953/1992 (C20, C30, C40 e C50) e correspondentes deformações nos Domínios 2 e 3.

Na segunda parte foi feito o estudo do diagrama tensão-deformação proposto pelo MC 90/CEB-FIP para concretos com resistências superiores a 50 MPa. Embora a NBR 6118/2003 não seja aplicada para estes concretos (Grupo II da NBR 8953/1992), ainda assim foi feito um estudo comparativo com o tradicional diagrama parábola-retângulo usado como referência na primeira parte desta dissertação.

### 4.3. ESTRATÉGIA DE ANÁLISE

Para cada resistência especificada do concreto foram realizados estudos envolvendo os diferentes diagramas tensão-deformação do concreto para que se obtivesse os resultados apurados já prontos para a análise final. Ao final dos estudos os resultados foram transportados para planilhas e gráficos, permitindo assim um comparativo direto entre todos os diagramas e correspondentes distribuição de tensões em regiões de concreto comprimido pesquisados.

## 5. CONCRETOS COM $f_{ck} \leq 50$ MPa

### 5.1. COMPARATIVO DE DIAGRAMAS

Os diagramas escolhidos para serem comparados, já referenciados, foram os seguintes:

- NBR 6118/2003 – Parábola-retângulo (referência);
- NBR 6118/2003 – Retângulo equivalente;
- ACI 318/2001 – Retângulo equivalente;
- Model Code 1990 – CEB/FIP – Parábola-retângulo;
- Marino – Retângulo equivalente; e
- Jarquio – “Verdadeira parábola”.

A maneira escolhida, para se efetuar a comparação entre os diagramas apresentados foi através de planilhas considerando uma viga de seção retangular. As planilhas foram estabelecidas de acordo com cada distribuição de tensões nas regiões de concreto comprimido, chegando a valores de momentos resistentes e suas respectivas taxas de armadura, onde poderiam ser feitas as comparações. Esses valores foram obtidos para algumas deformações estipuladas nos domínios 2 e 3 da NBR 6118/2003, para resistências características do concreto diferentes.

a) Deformações estipuladas para o Domínio 2:

- $\epsilon_c = 0,0010; 0,0015; 0,0020; 0,0025$  e  $0,0030$ ; e
- $\epsilon_s = 0,0100$ .

b) Deformações estipuladas para o Domínio 3:

- $\epsilon_c = 0,0035$ ; e
- $\epsilon_s = 0,0020; 0,0040; 0,0060; 0,0080$  e  $0,0100$ .

c) Resistências adotadas para o concreto:

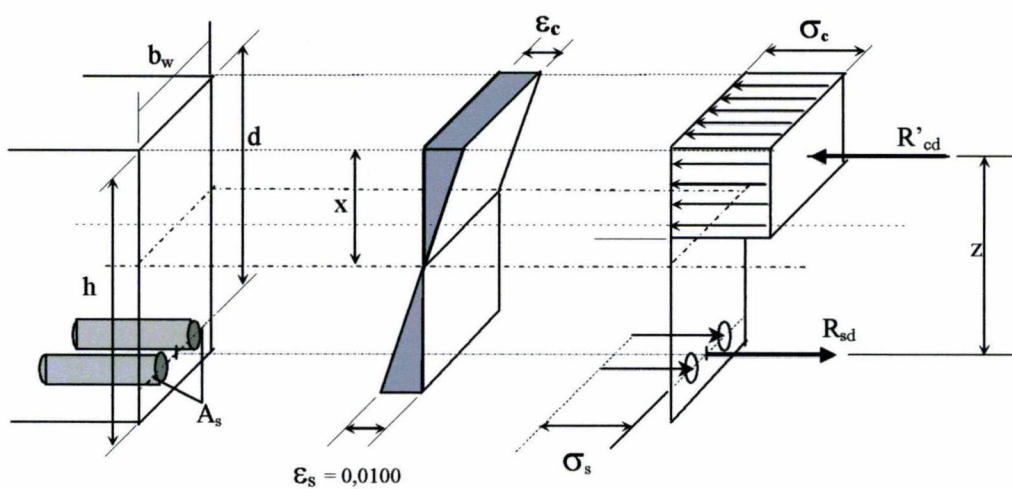
- $f_{ck} = 20, 30, 40$  e  $50$  MPa.

## 5.2. DOMÍNIO 2

Os valores e as formulações consideradas para todas as distribuições de tensões, no Domínio 2, estão descritos a seguir (FIGURA 18):

- $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ , onde  $\gamma_c = 1,40$ ;
- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ , onde  $\gamma_s = 1,15$ ;
- $\epsilon_c$ ;
- $\epsilon_s$ ;
- $x$ ;
- $z$ ;
- $d$
- $R_{sd} = R'_{cd}$ ;
- $M_{Rd} = R'_{cd} \cdot z$ ; e
- $A_s = R_{sd} / f_{yd}$ .

FIGURA 18 - SEÇÃO FLETIDA - DOMÍNIO 2



A posição da linha neutra; função de  $\epsilon_c$ ,  $\epsilon_s$  e  $d$ , resulta:

$$x = \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \right) \cdot d \quad (9)$$

Como no Domínio 2  $\varepsilon_s$  é fixo em 10,0 ‰, a posição da linha neutra “x” varia apenas em função de  $\varepsilon_c$ , de tal forma que:

$$- \varepsilon_c = 0,0010 \rightarrow x = 0,0909.d$$

$$- \varepsilon_c = 0,0015 \rightarrow x = 0,1304.d$$

$$- \varepsilon_c = 0,0020 \rightarrow x = 0,1667.d$$

$$- \varepsilon_c = 0,0025 \rightarrow x = 0,2000.d$$

$$- \varepsilon_c = 0,0030 \rightarrow x = 0,2308.d$$

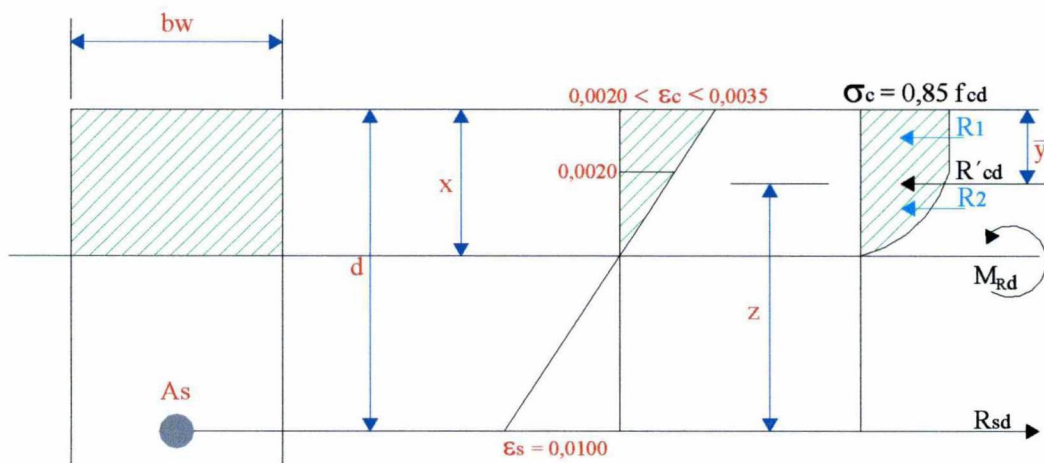
### 5.2.1. Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Parábola-retângulo

Para o Domínio 2, deve-se levar em conta duas situações de distribuição de tensões na região de concreto comprimido, como mostrado na FIGURA 19 e na FIGURA 20:

- as que envolvem o trecho parabólico ( $\varepsilon_c \leq 0,0020$ );
- e as que envolvem o trecho reto ( $0,0020 < \varepsilon_c \leq 0,0030$ ).

a)  $0,0020 < \varepsilon_c \leq 0,0030$

FIGURA 19 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR-6118/03 - PARÁBOLA-RETÂNGULO – D2



Da FIGURA 19:

- Para  $\epsilon_c = 0,0030$

$$R'_{cd} = R_1 + R_2 \rightarrow R'_{cd} = 0,7778 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,405 \cdot x$$

$$z = d - 0,405 \cdot x$$

- Para  $\epsilon_c = 0,0025$

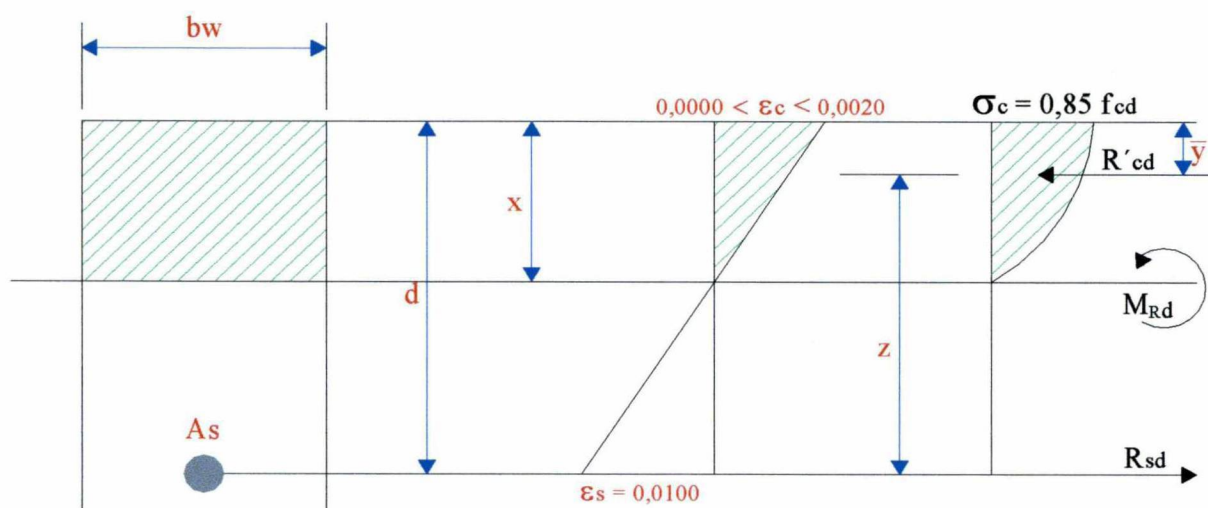
$$R'_{cd} = R_1 + R_2 \rightarrow R'_{cd} = 0,7333 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,391 \cdot x$$

$$z = d - 0,391 \cdot x$$

b)  $0,0000 < \epsilon_c \leq 0,0020$

FIGURA 20 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR-6118/03 - PARÁBOLA – D2



Da FIGURA 20:

- Para  $\epsilon_c = 0,0020$

$$R'_{cd} = 0,6667 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,375 \cdot x$$

$$z = d - 0,375 \cdot x$$

- Para  $\epsilon_c = 0,0015$

$$R'_{cd} = 0,625 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,375 \cdot x$$

$$z = d - 0,375 \cdot x$$

- Para  $\epsilon_c = 0,0010$

$$R'_{cd} = 0,500 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,375 \cdot x$$

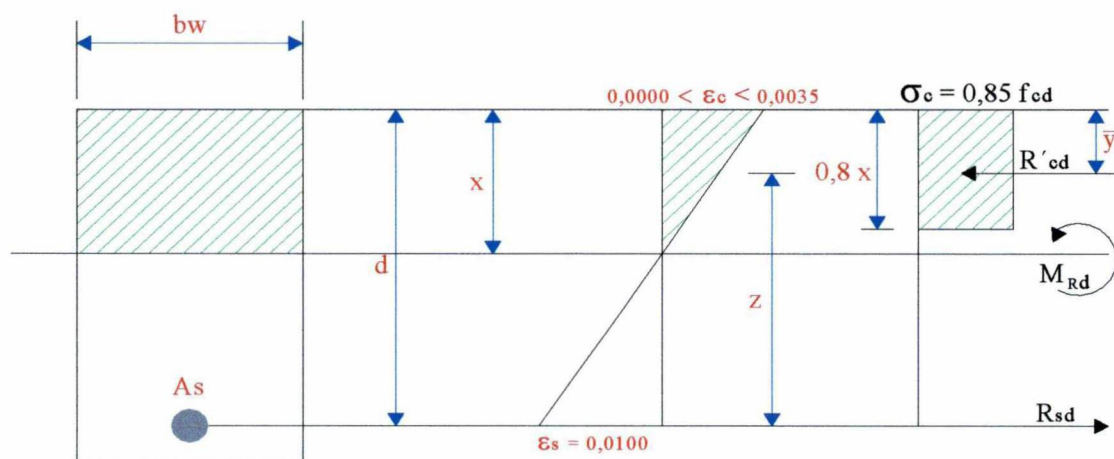
$$z = d - 0,375 \cdot x$$

Nas Tabelas 01 a 06 que serão apresentadas a seguir, foram também efetuados cálculos para as deformações do concreto correspondentes a 0,0001; 0,0005 e 0,0034.

### 5.2.2 Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Retângulo equivalente

No caso do retângulo equivalente da NBR 6118/2003, usa-se apenas uma forma de cálculo simplificada para todas as deformações do Domínio 2, conforme FIGURA 21.

FIGURA 21 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - RETÂNGULO EQUIVALENTE – D2



- Para todos  $\epsilon_c$

$$R'_{cd} = 0,8 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

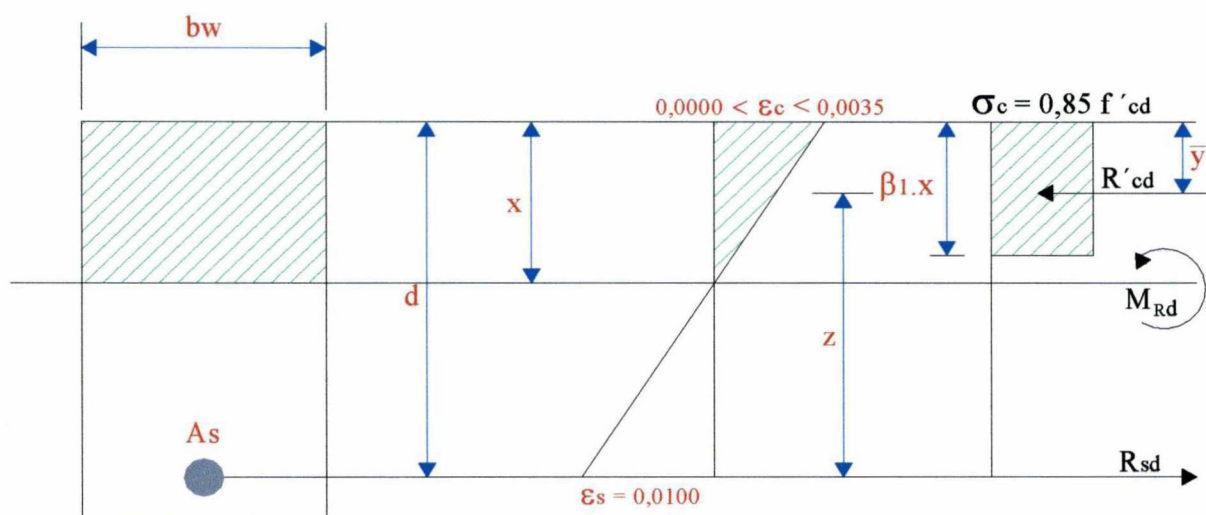
$$\bar{y} = 0,400.x$$

$$z = d - 0,400.x$$

### 5.2.3. ACI 318/2001

Para esta simulação será usado apenas o conceito referente a  $\beta_1$  (posição da linha neutra como função da resistência do concreto), conforme mostrado na FIGURA 22. Serão mantidos os conceitos de domínios, como apresentado pela NBR 6118/2003.

FIGURA 22 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO ACI/2001 – D2



- Para  $f_{ck} = 20\text{MPa}$  e  $30\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$R'_{cd} = 0,85.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,425.x$$

$$z = d - 0,425.x$$

- Para  $f_{ck} = 40\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0,779$$

$$R'_{cd} = 0,779.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,389.x$$

$$z = d - 0,389.x$$

- Para  $f_{ck} = 50\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0,707$$

$$R'_{cd} = 0,705 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,354 \cdot x$$

$$z = d - 0,354 \cdot x$$

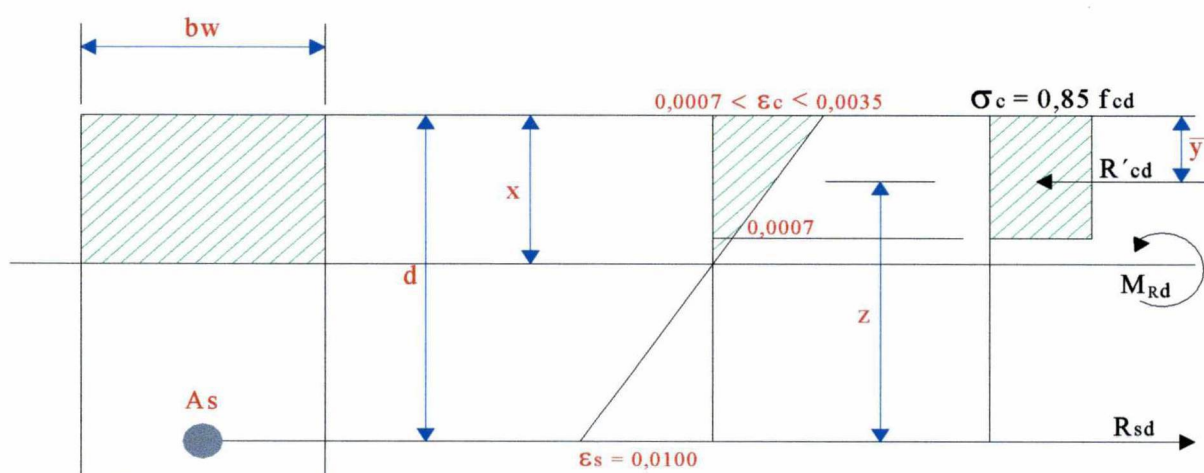
#### 5.2.4. Model Code 1990/CEB-FIP

Para concretos com  $f_{ck}$  até 50 MPa o MC 90 admite o cálculo de vigas de concreto armado igual aos utilizados pela NBR 6118/2003 - Parábola-retângulo. Por isso os resultados serão exatamente iguais (FIGURA 19 e FIGURA 20).

#### 5.2.5. Método por MARINO

A distribuição das tensões é função das deformações da região comprimida, como mostrado na FIGURA 23

FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - MARINO – D2



Da FIGURA 23:

**- Para  $\epsilon_c = 0,0030$**

$$R'_{cd} = 0,7667.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,3834.x$$

$$z = d - 0,3834.x$$

**- Para  $\epsilon_c = 0,0025$**

$$R'_{cd} = 0,7200.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,3600.x$$

$$z = d - 0,3600.x$$

**- Para  $\epsilon_c = 0,0020$**

$$R'_{cd} = 0,6500.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,3250.x$$

$$z = d - 0,3250.x$$

**- Para  $\epsilon_c = 0,0015$**

$$R'_{cd} = 0,5333.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,2667.x$$

$$z = d - 0,2667.x$$

**- Para  $\epsilon_c = 0,0010$**

$$R'_{cd} = 0,3000.x.b_w.\sigma_c$$

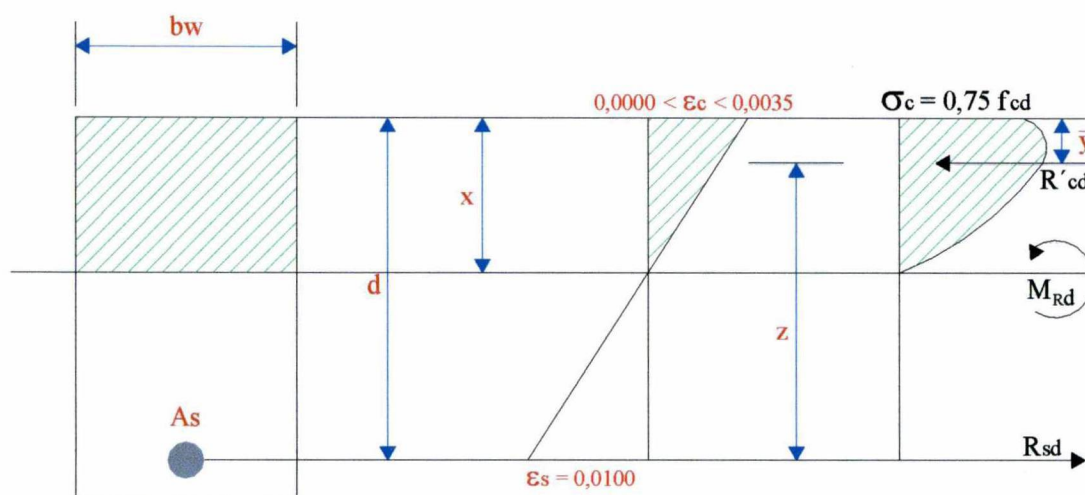
$$\bar{y} = 0,1500.x$$

$$z = d - 0,1500.x$$

### 5.2.6. Método por JARQUIO

A distribuição de tensões no concreto corresponde a uma parábola conforme FIGURA 24.

FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - JARQUIO - D2



- Para todos  $\epsilon_c$

$$R'_{cd} = x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,417 \cdot x$$

$$z = d - 0,417 \cdot x$$

### 5.2.7. Apresentação dos resultados para o Domínio 2

A seguir estão apresentadas as tabelas originadas a partir das distribuições de tensões apresentadas para o Domínio 2. Nas planilhas também foram colocadas colunas denominadas  $\Delta A_s$  que representam as diferenças de taxas de armaduras definidas pelas diferentes distribuições de tensões do concreto e a distribuição referente ao diagrama o diagrama parábola-retângulo da NBR 6118/2003.

TABELA 01 – NBR 6118/2003 – PARÁBOLA-RETÂNGULO – D2

DOMÍNIO 2																		
	Referências	fck (MPa)	$\gamma_c$	fcd (MPa)	fyk (MPa)	$\gamma_s$	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	$\epsilon_c$ (‰)	$\epsilon_s$ (‰)	x (cm)	$\sigma_c$ (Mpa)	R'cd (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MRd (kN.cm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )
$\epsilon_c = 3.4$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,4	10,0	0,2537 .d	12,143	0,2477 .d.bw	0,2477 .d.bw	0,8950 .d	0,2217 .d <sup>2</sup> .bw	0,005697 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,4	10,0	0,2537 .d	18,214	0,3715 .d.bw	0,3715 .d.bw	0,8950 .d	0,3325 .d <sup>2</sup> .bw	0,008545 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,4	10,0	0,2537 .d	24,286	0,4954 .d.bw	0,4954 .d.bw	0,8950 .d	0,4433 .d <sup>2</sup> .bw	0,011393 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,4	10,0	0,2537 .d	30,357	0,6192 .d.bw	0,6192 .d.bw	0,8950 .d	0,5542 .d <sup>2</sup> .bw	0,014242 .d.bw
$\epsilon_c = 3.0$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	12,143	0,2180 .d.bw	0,2180 .d.bw	0,9065 .d	0,1976 .d <sup>2</sup> .bw	0,005013 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	18,214	0,3269 .d.bw	0,3269 .d.bw	0,9065 .d	0,2964 .d <sup>2</sup> .bw	0,007519 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	24,286	0,4359 .d.bw	0,4359 .d.bw	0,9065 .d	0,3952 .d <sup>2</sup> .bw	0,010026 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	30,357	0,5449 .d.bw	0,5449 .d.bw	0,9065 .d	0,4940 .d <sup>2</sup> .bw	0,012532 .d.bw
$\epsilon_c = 2.5$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	12,143	0,1781 .d.bw	0,1781 .d.bw	0,9218 .d	0,1642 .d <sup>2</sup> .bw	0,004096 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	18,214	0,2671 .d.bw	0,2671 .d.bw	0,9218 .d	0,2462 .d <sup>2</sup> .bw	0,006144 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	24,286	0,3562 .d.bw	0,3562 .d.bw	0,9218 .d	0,3283 .d <sup>2</sup> .bw	0,008192 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	30,357	0,4452 .d.bw	0,4452 .d.bw	0,9218 .d	0,4104 .d <sup>2</sup> .bw	0,010240 .d.bw
$\epsilon_c = 2.0$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	12,143	0,1349 .d.bw	0,1349 .d.bw	0,9375 .d	0,1265 .d <sup>2</sup> .bw	0,003103 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	18,214	0,2024 .d.bw	0,2024 .d.bw	0,9375 .d	0,1897 .d <sup>2</sup> .bw	0,004655 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	24,286	0,2699 .d.bw	0,2699 .d.bw	0,9375 .d	0,2530 .d <sup>2</sup> .bw	0,006207 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	30,357	0,3373 .d.bw	0,3373 .d.bw	0,9375 .d	0,3162 .d <sup>2</sup> .bw	0,007758 .d.bw
$\epsilon_c = 1.5$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	12,143	0,0989 .d.bw	0,0989 .d.bw	0,9511 .d	0,0941 .d <sup>2</sup> .bw	0,002276 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	18,214	0,1484 .d.bw	0,1484 .d.bw	0,9511 .d	0,1412 .d <sup>2</sup> .bw	0,003414 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	24,286	0,1979 .d.bw	0,1979 .d.bw	0,9511 .d	0,1882 .d <sup>2</sup> .bw	0,004551 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	30,357	0,2474 .d.bw	0,2474 .d.bw	0,9511 .d	0,2353 .d <sup>2</sup> .bw	0,005689 .d.bw
$\epsilon_c = 1.0$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	12,143	0,0552 .d.bw	0,0552 .d.bw	0,9659 .d	0,0533 .d <sup>2</sup> .bw	0,001269 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	18,214	0,0828 .d.bw	0,0828 .d.bw	0,9659 .d	0,0800 .d <sup>2</sup> .bw	0,001904 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	24,286	0,1104 .d.bw	0,1104 .d.bw	0,9659 .d	0,1066 .d <sup>2</sup> .bw	0,002539 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	30,357	0,1380 .d.bw	0,1380 .d.bw	0,9659 .d	0,1333 .d <sup>2</sup> .bw	0,003174 .d.bw
$\epsilon_c = 0.5$ $\epsilon_s = 10.0$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,5	10,0	0,0476 .d	12,143	0,0169 .d.bw	0,0169 .d.bw	0,9821 .d	0,0166 .d <sup>2</sup> .bw	0,000388 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,5	10,0	0,0476 .d	18,214	0,0253 .d.bw	0,0253 .d.bw	0,9821 .d	0,0248 .d <sup>2</sup> .bw	0,000582 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,5	10,0	0,0476 .d	24,286	0,0337 .d.bw	0,0337 .d.bw	0,9821 .d	0,0331 .d <sup>2</sup> .bw	0,000776 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,5	10,0	0,0476 .d	30,357	0,0422 .d.bw	0,0422 .d.bw	0,9821 .d	0,0414 .d <sup>2</sup> .bw	0,000970 .d.bw
$\epsilon_c = 1.0$ $\epsilon_s = 0.01$	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,1	10,0	0,0099 .d	12,143	0,0008 .d.bw	0,0008 .d.bw	0,9963 .d	0,0008 .d <sup>2</sup> .bw	0,000018 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,1	10,0	0,0099 .d	18,214	0,0012 .d.bw	0,0012 .d.bw	0,9963 .d	0,0012 .d <sup>2</sup> .bw	0,000027 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,1	10,0	0,0099 .d	24,286	0,0016 .d.bw	0,0016 .d.bw	0,9963 .d	0,0016 .d <sup>2</sup> .bw	0,000036 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	0,1	10,0	0,0099 .d	30,357	0,0020 .d.bw	0,0020 .d.bw	0,9963 .d	0,0019 .d <sup>2</sup> .bw	0,000045 .d.bw

TABELA 02 – NBR 6118/2003 – RETÂNGULO EQUIVALENTE – D2

DOMÍNIO 2																						
	Referências	fck (MPa)	$\gamma_c$	fcd (MPa)	fyt (MPa)	$\gamma_s$	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	$\epsilon_c$ (%)	$\epsilon_s$ (%)	x (cm)	$\sigma_c$ (Mpa)	R'ed (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MRd (kN.cm)	As (cm²)	As NBR-6118-parab (cm²)	$\Delta MRd \times As$ (NBR-6118-parab)		
																				+	-	%
ec = 3.0 es = 10.0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	12,143	0,2242 .d.bw	0,2242 .d.bw	0,9077 .d	0,2035 .d.bw	0,005156 .d.bw	0,005013 .d.bw		0,0023	0,46%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	18,214	0,3363 .d.bw	0,3363 .d.bw	0,9077 .d	0,3052 .d.bw	0,007734 .d.bw	0,007519 .d.bw		0,0032	0,43%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	24,286	0,4484 .d.bw	0,4484 .d.bw	0,9077 .d	0,4070 .d.bw	0,010312 .d.bw	0,010026 .d.bw		0,0045	0,45%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	30,357	0,5604 .d.bw	0,5604 .d.bw	0,9077 .d	0,5087 .d.bw	0,012890 .d.bw	0,012532 .d.bw		0,0055	0,44%
ec = 2.5 es = 10.0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	12,143	0,1943 .d.bw	0,1943 .d.bw	0,9200 .d	0,1787 .d.bw	0,004469 .d.bw	0,004096 .d.bw		0,0021	0,51%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	18,214	0,2914 .d.bw	0,2914 .d.bw	0,9200 .d	0,2681 .d.bw	0,006703 .d.bw	0,006144 .d.bw		0,0034	0,55%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	24,286	0,3886 .d.bw	0,3886 .d.bw	0,9200 .d	0,3575 .d.bw	0,008937 .d.bw	0,008192 .d.bw		0,0046	0,56%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	30,357	0,4857 .d.bw	0,4857 .d.bw	0,9200 .d	0,4469 .d.bw	0,011171 .d.bw	0,010240 .d.bw		0,0058	0,57%
ec = 2.0 es = 10.0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	12,143	0,1619 .d.bw	0,1619 .d.bw	0,9333 .d	0,1511 .d.bw	0,003724 .d.bw	0,003103 .d.bw		0,0023	0,74%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	18,214	0,2429 .d.bw	0,2429 .d.bw	0,9333 .d	0,2267 .d.bw	0,005586 .d.bw	0,004655 .d.bw		0,0039	0,84%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	24,286	0,3238 .d.bw	0,3238 .d.bw	0,9333 .d	0,3022 .d.bw	0,007448 .d.bw	0,006207 .d.bw		0,0048	0,77%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	30,357	0,4048 .d.bw	0,4048 .d.bw	0,9333 .d	0,3778 .d.bw	0,009310 .d.bw	0,007758 .d.bw		0,0062	0,80%
ec = 1.5 es = 10.0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	12,143	0,1267 .d.bw	0,1267 .d.bw	0,9478 .d	0,1201 .d.bw	0,002914 .d.bw	0,002276 .d.bw		0,0024	1,05%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	18,214	0,1901 .d.bw	0,1901 .d.bw	0,9478 .d	0,1801 .d.bw	0,004371 .d.bw	0,003414 .d.bw		0,0036	1,05%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	24,286	0,2534 .d.bw	0,2534 .d.bw	0,9478 .d	0,2402 .d.bw	0,005829 .d.bw	0,004551 .d.bw		0,0047	1,03%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	30,357	0,3168 .d.bw	0,3168 .d.bw	0,9478 .d	0,3002 .d.bw	0,007286 .d.bw	0,005689 .d.bw		0,0058	1,02%
ec = 1.0 es = 10.0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	12,143	0,0883 .d.bw	0,0883 .d.bw	0,9636 .d	0,0851 .d.bw	0,002031 .d.bw	0,001269 .d.bw		0,0020	1,58%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	18,214	0,1325 .d.bw	0,1325 .d.bw	0,9636 .d	0,1277 .d.bw	0,003047 .d.bw	0,001904 .d.bw		0,0030	1,58%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	24,286	0,1766 .d.bw	0,1766 .d.bw	0,9636 .d	0,1702 .d.bw	0,004062 .d.bw	0,002539 .d.bw		0,0040	1,58%
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	30,357	0,2208 .d.bw	0,2208 .d.bw	0,9636 .d	0,2128 .d.bw	0,005078 .d.bw	0,003174 .d.bw		0,0050	1,58%

TABELA 03 – ACI 318/2001 – D2

**DOMÍNIO 2**

Referências	fck (MPa)	γc	fcd (MPa)	fyk (MPa)	γt	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	εc (%)	εs (%)	x (cm)	σc (MPa)	R'cd (kN)	Red (kN)	z (cm)	MEd (kN.cm)	As (cm²)	As,NER-ε118-parab (cm²)	Δ As (NER-ε118-parab-estag)		%
																			+	-	
ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	12,143	0,2382	0,2382	0,9019	0,2148	0,005478	0,005013	0,0021	0,42%	
ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	18,214	0,3573	0,3573	0,9019	0,3222	0,008217	0,007519	0,0032	0,43%	
ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	24,286	0,4366	0,4366	0,9102	0,3974	0,010041	0,010026	0,0046	0,46%	
ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	30,357	0,4953	0,4953	0,9183	0,4548	0,011392	0,012532	0,0057	0,45%	
ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	12,143	0,2064	0,2064	0,9150	0,1889	0,004748	0,004096	0,0023	0,56%	
ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	18,214	0,3096	0,3096	0,9150	0,2833	0,007122	0,006144	0,0033	0,54%	
ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	24,286	0,3784	0,3784	0,9222	0,3489	0,008703	0,008192	0,0047	0,57%	
ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	30,357	0,4293	0,4293	0,9292	0,3989	0,009873	0,010240	0,0062	0,61%	
ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	12,143	0,1720	0,1720	0,9292	0,1598	0,003957	0,003103	0,0021	0,68%	
ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	18,214	0,2580	0,2580	0,9292	0,2398	0,005935	0,004655	0,0038	0,82%	
ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	24,286	0,3153	0,3153	0,9352	0,2949	0,007352	0,006207	0,0050	0,81%	
ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	30,357	0,3577	0,3577	0,9410	0,3366	0,008227	0,007758	0,0062	0,80%	
ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	12,143	0,1346	0,1346	0,9446	0,1272	0,003096	0,002276	0,0025	1,10%	
ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	18,214	0,2019	0,2019	0,9446	0,1907	0,004645	0,003414	0,0036	1,05%	
ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	24,286	0,2468	0,2468	0,9493	0,2342	0,005676	0,004551	0,0047	1,03%	
ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	30,357	0,2799	0,2799	0,9538	0,2670	0,006439	0,005689	0,0054	0,95%	
ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	12,143	0,0938	0,0938	0,9614	0,0902	0,002158	0,001269	0,0020	1,58%	
ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	18,214	0,1407	0,1407	0,9614	0,1353	0,003237	0,001904	0,0029	1,52%	
ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	24,286	0,1720	0,1720	0,9646	0,1659	0,003956	0,002539	0,0038	1,50%	
ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	30,357	0,1951	0,1951	0,9678	0,1888	0,004488	0,003174	0,0046	1,45%	

TABELA 04 – MC 90/CEB-FIP – D2

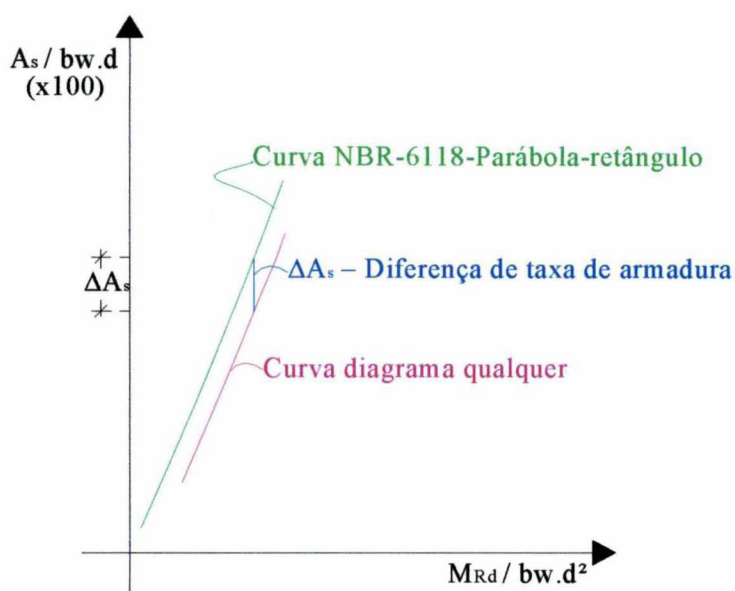
<b>DOMÍNIO 2</b>																						
	Referências	f <sub>ck</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> (MPa)	b <sub>w</sub> (cm)	d (cm)	ε <sub>c</sub> (%)	ε <sub>s</sub> (%)	x (cm)	σ <sub>c</sub> (MPa)	R' <sub>cd</sub> (kN)	R <sub>ed</sub> (kN)	z (cm)	M <sub>Ed</sub> (kN.cm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s,SRB-6118</sub> (cm <sup>2</sup> )	Δ A <sub>s,SRB-6118</sub> (para o range)		
																				+	-	%
ε <sub>s</sub> = 10,0 ε <sub>c</sub> = 3,0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,0	10,0	0,2308 .d	12,143	0,2180 .d.b <sub>w</sub>	0,2180 .d.b <sub>w</sub>	0,9065 .d	0,1976 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,005013 .d.b <sub>w</sub>	0,005013 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,0	10,0	0,2308 .d	18,214	0,3269 .d.b <sub>w</sub>	0,3269 .d.b <sub>w</sub>	0,9065 .d	0,2964 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,007519 .d.b <sub>w</sub>	0,007519 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,0	10,0	0,2308 .d	24,286	0,4359 .d.b <sub>w</sub>	0,4359 .d.b <sub>w</sub>	0,9065 .d	0,3952 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,010026 .d.b <sub>w</sub>	0,010026 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,0	10,0	0,2308 .d	30,357	0,5449 .d.b <sub>w</sub>	0,5449 .d.b <sub>w</sub>	0,9065 .d	0,4940 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,012532 .d.b <sub>w</sub>	0,012532 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>s</sub> = 10,0 ε <sub>c</sub> = 2,5	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,5	10,0	0,2000 .d	12,143	0,1781 .d.b <sub>w</sub>	0,1781 .d.b <sub>w</sub>	0,9218 .d	0,1642 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,004096 .d.b <sub>w</sub>	0,004096 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,5	10,0	0,2000 .d	18,214	0,2671 .d.b <sub>w</sub>	0,2671 .d.b <sub>w</sub>	0,9218 .d	0,2462 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,006144 .d.b <sub>w</sub>	0,006144 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,5	10,0	0,2000 .d	24,286	0,3562 .d.b <sub>w</sub>	0,3562 .d.b <sub>w</sub>	0,9218 .d	0,3283 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,008192 .d.b <sub>w</sub>	0,008192 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,5	10,0	0,2000 .d	30,357	0,4452 .d.b <sub>w</sub>	0,4452 .d.b <sub>w</sub>	0,9218 .d	0,4104 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,010240 .d.b <sub>w</sub>	0,010240 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>s</sub> = 10,0 ε <sub>c</sub> = 2,0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,0	10,0	0,1667 .d	12,143	0,1349 .d.b <sub>w</sub>	0,1349 .d.b <sub>w</sub>	0,9375 .d	0,1265 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,003103 .d.b <sub>w</sub>	0,003103 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,0	10,0	0,1667 .d	18,214	0,2024 .d.b <sub>w</sub>	0,2024 .d.b <sub>w</sub>	0,9375 .d	0,1897 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,004655 .d.b <sub>w</sub>	0,004655 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,0	10,0	0,1667 .d	24,286	0,2699 .d.b <sub>w</sub>	0,2699 .d.b <sub>w</sub>	0,9375 .d	0,2530 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,006207 .d.b <sub>w</sub>	0,006207 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	2,0	10,0	0,1667 .d	30,357	0,3373 .d.b <sub>w</sub>	0,3373 .d.b <sub>w</sub>	0,9375 .d	0,3162 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,007758 .d.b <sub>w</sub>	0,007758 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>s</sub> = 10,0 ε <sub>c</sub> = 1,5	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,5	10,0	0,1304 .d	12,143	0,0989 .d.b <sub>w</sub>	0,0989 .d.b <sub>w</sub>	0,9511 .d	0,0941 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,002276 .d.b <sub>w</sub>	0,002276 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,5	10,0	0,1304 .d	18,214	0,1484 .d.b <sub>w</sub>	0,1484 .d.b <sub>w</sub>	0,9511 .d	0,1412 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,003414 .d.b <sub>w</sub>	0,003414 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,5	10,0	0,1304 .d	24,286	0,1979 .d.b <sub>w</sub>	0,1979 .d.b <sub>w</sub>	0,9511 .d	0,1882 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,004551 .d.b <sub>w</sub>	0,004551 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,5	10,0	0,1304 .d	30,357	0,2474 .d.b <sub>w</sub>	0,2474 .d.b <sub>w</sub>	0,9511 .d	0,2353 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,005689 .d.b <sub>w</sub>	0,005689 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>s</sub> = 10,0 ε <sub>c</sub> = 1,0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,0	10,0	0,0909 .d	12,143	0,0552 .d.b <sub>w</sub>	0,0552 .d.b <sub>w</sub>	0,9659 .d	0,0533 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,001269 .d.b <sub>w</sub>	0,001269 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,0	10,0	0,0909 .d	18,214	0,0828 .d.b <sub>w</sub>	0,0828 .d.b <sub>w</sub>	0,9659 .d	0,0800 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,001904 .d.b <sub>w</sub>	0,001904 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,0	10,0	0,0909 .d	24,286	0,1104 .d.b <sub>w</sub>	0,1104 .d.b <sub>w</sub>	0,9659 .d	0,1066 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,002539 .d.b <sub>w</sub>	0,002539 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	1,0	10,0	0,0909 .d	30,357	0,1380 .d.b <sub>w</sub>	0,1380 .d.b <sub>w</sub>	0,9659 .d	0,1333 .d <sup>2</sup> .b <sub>w</sub>	0,003174 .d.b <sub>w</sub>	0,003174 .d.b <sub>w</sub>	0,0000	0,0000	0,00%

DOMÍNIO 2																						
	Referências	fck (MPa)	γc	fcd (MPa)	fyk (MPa)	γs	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	εc (‰)	εs (‰)	x (cm)	σc (Mpa)	R'od (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MRd (kN.cm)	As (cm²)	As NBR-6118- parab. (cm²)	Δ As (NBR-6118 parab-retang)		
																				+	-	%
εc = 3.0 εs = 10.0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	12,143	0,2148 .d.bw	0,2148 .d.bw	0,9115 .d	0,1958 .d.bw	0,004941 .d.bw	0,005013 .d.bw	0,0022	0,44%	
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	18,214	0,3223 .d.bw	0,3223 .d.bw	0,9115 .d	0,2938 .d.bw	0,007412 .d.bw	0,007519 .d.bw	0,0034	0,45%	
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	24,286	0,4297 .d.bw	0,4297 .d.bw	0,9115 .d	0,3917 .d.bw	0,009883 .d.bw	0,010026 .d.bw	0,0045	0,45%	
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308 .d	30,357	0,5371 .d.bw	0,5371 .d.bw	0,9115 .d	0,4896 .d.bw	0,012354 .d.bw	0,012532 .d.bw	0,0055	0,44%	
εc = 2.5 εs = 10.0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	12,143	0,1749 .d.bw	0,1749 .d.bw	0,9280 .d	0,1623 .d.bw	0,004022 .d.bw	0,004096 .d.bw	0,0023	0,56%	
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	18,214	0,2623 .d.bw	0,2623 .d.bw	0,9280 .d	0,2434 .d.bw	0,006033 .d.bw	0,006144 .d.bw	0,0036	0,59%	
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	24,286	0,3497 .d.bw	0,3497 .d.bw	0,9280 .d	0,3245 .d.bw	0,008043 .d.bw	0,008192 .d.bw	0,0047	0,57%	
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000 .d	30,357	0,4371 .d.bw	0,4371 .d.bw	0,9280 .d	0,4057 .d.bw	0,010054 .d.bw	0,010240 .d.bw	0,0060	0,59%	
εc = 2.0 εs = 10.0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	12,143	0,1315 .d.bw	0,1315 .d.bw	0,9458 .d	0,1244 .d.bw	0,003026 .d.bw	0,003103 .d.bw	0,0023	0,74%	
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	18,214	0,1973 .d.bw	0,1973 .d.bw	0,9458 .d	0,1866 .d.bw	0,004538 .d.bw	0,004655 .d.bw	0,0037	0,79%	
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	24,286	0,2631 .d.bw	0,2631 .d.bw	0,9458 .d	0,2488 .d.bw	0,006051 .d.bw	0,006207 .d.bw	0,0047	0,76%	
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667 .d	30,357	0,3289 .d.bw	0,3289 .d.bw	0,9458 .d	0,3111 .d.bw	0,007564 .d.bw	0,007758 .d.bw	0,0062	0,80%	
εc = 1.5 εs = 10.0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	12,143	0,0845 .d.bw	0,0845 .d.bw	0,9652 .d	0,0815 .d.bw	0,001943 .d.bw	0,002276 .d.bw	0,0018	0,79%	
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	18,214	0,1267 .d.bw	0,1267 .d.bw	0,9652 .d	0,1223 .d.bw	0,002914 .d.bw	0,003414 .d.bw	0,0028	0,82%	
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	24,286	0,1689 .d.bw	0,1689 .d.bw	0,9652 .d	0,1631 .d.bw	0,003885 .d.bw	0,004551 .d.bw	0,0041	0,90%	
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304 .d	30,357	0,2112 .d.bw	0,2112 .d.bw	0,9652 .d	0,2038 .d.bw	0,004857 .d.bw	0,005689 .d.bw	0,0047	0,83%	
εc = 1.0 εs = 10.0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	12,143	0,0331 .d.bw	0,0331 .d.bw	0,9864 .d	0,0327 .d.bw	0,000762 .d.bw	0,001269 .d.bw	0,0010	0,79%	
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	18,214	0,0497 .d.bw	0,0497 .d.bw	0,9864 .d	0,0490 .d.bw	0,001143 .d.bw	0,001904 .d.bw	0,0014	0,74%	
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	24,286	0,0662 .d.bw	0,0662 .d.bw	0,9864 .d	0,0653 .d.bw	0,001523 .d.bw	0,002539 .d.bw	0,0020	0,79%	
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909 .d	30,357	0,0828 .d.bw	0,0828 .d.bw	0,9864 .d	0,0817 .d.bw	0,001904 .d.bw	0,003174 .d.bw	0,0026	0,82%	

DOMÍNIO 2																													
	Referências	fck (MPa)	γc	fcd (MPa)	fyk (MPa)	γs	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	εc (‰)	εs (‰)	x (cm)	σc (Mpa)	R'od (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MRd (kN.cm)	As (cm²)	As NBR-6118- paráb (cm²)	Δ As (NBR-6118 paráb-retang)									
																				+	-	%							
εc = 3.0 εs = 10.0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	d	10,714	0,2473	.d.bw	0,2473	.d.bw	0,9038	.d	0,2235	.dF.bw	0,005687	.d.bw	0,005013	.d.bw		0,0062	1,24%
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	d	16,071	0,3709	.d.bw	0,3709	.d.bw	0,9038	.d	0,3352	.dF.bw	0,008530	.d.bw	0,007519	.d.bw		0,0093	1,24%
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	d	21,429	0,4945	.d.bw	0,4945	.d.bw	0,9038	.d	0,4469	.dF.bw	0,011374	.d.bw	0,010026	.d.bw		0,0123	1,23%
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,0	10,0	0,2308	d	26,786	0,6181	.d.bw	0,6181	.d.bw	0,9038	.d	0,5586	.dF.bw	0,014217	.d.bw	0,012532	.d.bw		0,0152	1,21%
εc = 2.5 εs = 10.0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	d	10,714	0,2143	.d.bw	0,2143	.d.bw	0,9166	.d	0,1964	.dF.bw	0,004929	.d.bw	0,004096	.d.bw		0,0050	1,22%
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	d	16,071	0,3214	.d.bw	0,3214	.d.bw	0,9166	.d	0,2946	.dF.bw	0,007393	.d.bw	0,006144	.d.bw		0,0076	1,24%
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	d	21,429	0,4286	.d.bw	0,4286	.d.bw	0,9166	.d	0,3928	.dF.bw	0,009857	.d.bw	0,008192	.d.bw		0,0102	1,25%
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,5	10,0	0,2000	d	26,786	0,5357	.d.bw	0,5357	.d.bw	0,9166	.d	0,4910	.dF.bw	0,012321	.d.bw	0,010240	.d.bw		0,0127	1,24%
εc = 2.0 εs = 10.0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	d	10,714	0,1786	.d.bw	0,1786	.d.bw	0,9305	.d	0,1662	.dF.bw	0,004107	.d.bw	0,003103	.d.bw		0,0043	1,39%
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	d	16,071	0,2679	.d.bw	0,2679	.d.bw	0,9305	.d	0,2492	.dF.bw	0,006161	.d.bw	0,004655	.d.bw		0,0064	1,37%
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	d	21,429	0,3571	.d.bw	0,3571	.d.bw	0,9305	.d	0,3323	.dF.bw	0,008214	.d.bw	0,006207	.d.bw		0,0086	1,39%
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,0	10,0	0,1667	d	26,786	0,4464	.d.bw	0,4464	.d.bw	0,9305	.d	0,4154	.dF.bw	0,010268	.d.bw	0,007758	.d.bw		0,0107	1,38%
εc = 1.5 εs = 10.0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	d	10,714	0,1398	.d.bw	0,1398	.d.bw	0,9456	.d	0,1322	.dF.bw	0,003214	.d.bw	0,002276	.d.bw		0,0037	1,63%
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	d	16,071	0,2096	.d.bw	0,2096	.d.bw	0,9456	.d	0,1982	.dF.bw	0,004821	.d.bw	0,003414	.d.bw		0,0055	1,61%
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	d	21,429	0,2795	.d.bw	0,2795	.d.bw	0,9456	.d	0,2643	.dF.bw	0,006429	.d.bw	0,004551	.d.bw		0,0072	1,58%
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,5	10,0	0,1304	d	26,786	0,3494	.d.bw	0,3494	.d.bw	0,9456	.d	0,3304	.dF.bw	0,008036	.d.bw	0,005689	.d.bw		0,0091	1,60%
εc = 1.0 εs = 10.0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	d	10,714	0,0974	.d.bw	0,0974	.d.bw	0,9621	.d	0,0937	.dF.bw	0,002240	.d.bw	0,001269	.d.bw		0,0026	2,05%
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	d	16,071	0,1461	.d.bw	0,1461	.d.bw	0,9621	.d	0,1406	.dF.bw	0,003360	.d.bw	0,001904	.d.bw		0,0039	2,05%
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	d	21,429	0,1948	.d.bw	0,1948	.d.bw	0,9621	.d	0,1874	.dF.bw	0,004481	.d.bw	0,002539	.d.bw		0,0050	1,97%
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	1,0	10,0	0,0909	d	26,786	0,2435	.d.bw	0,2435	.d.bw	0,9621	.d	0,2343	.dF.bw	0,005601	.d.bw	0,003174	.d.bw		0,0063	1,99%

Pelas planilhas anteriores pode ser observado que não há condições de comparação direta das taxas de armadura, pois os momentos variam para cada uma das distribuições de tensão. Para que se possa fazer comparações, foram definidos gráficos Momento ( $M_{Rd}/b_w.d^2$ ) x Taxa de Armadura ( $A_s/b_w.d$ )x100 (FIGURA 25) para cada resistência característica de concreto (20,30,40 e 50MPa).

FIGURA 25 – REPRESENTAÇÃO DA DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA



Para se conseguir uma comparação entre todas as distribuições de tensões apresentadas adotou-se um momento  $M_{Rd}$  mínimo, um máximo e três intermediários que atingissem as seis curvas dos métodos apresentados nos gráficos Momento ( $M_{Rd}/b_w.d^2$ ) x Taxa de Armadura ( $A_s/b_w.d$ )x100 para cada  $f_{ck}$  do concreto. Com estes momentos estipulados mediram-se as diferenças de taxas de armadura de todas as distribuições de tensões em relação à do diagrama parábola-retângulo da NBR 6118/2003.

A seguir são apresentados os gráficos e tabelas considerando momentos e taxas de armadura para as diferentes distribuições de tensões. Vale salientar que para o MC 90 não houve diferença alguma, pois até o concreto de 50 MPa a NBR 6118/2003 e o MC 90 são iguais.

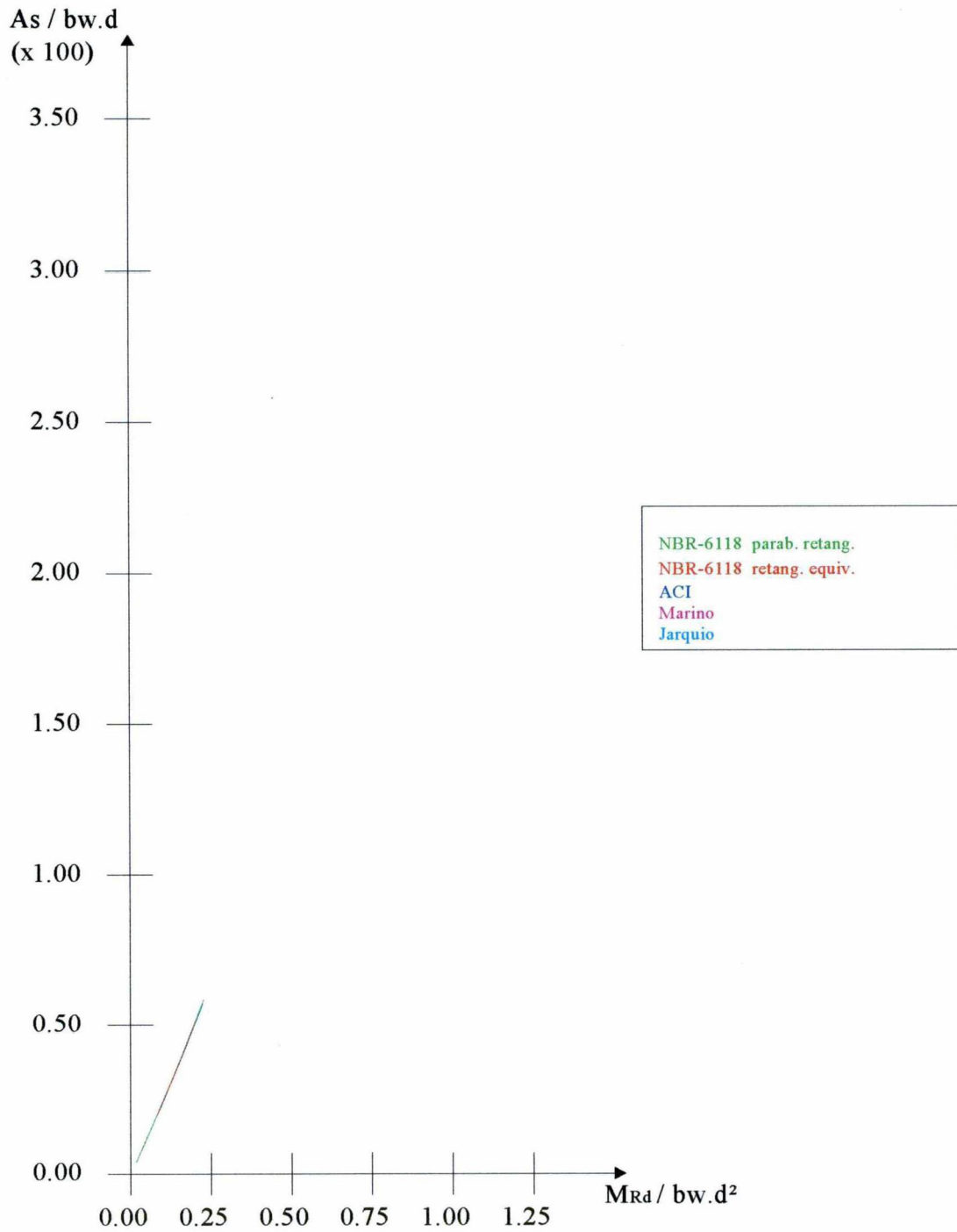
GRÁFICO 01 – TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  20MPaCONCRETO  $f_{ck}=20$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2

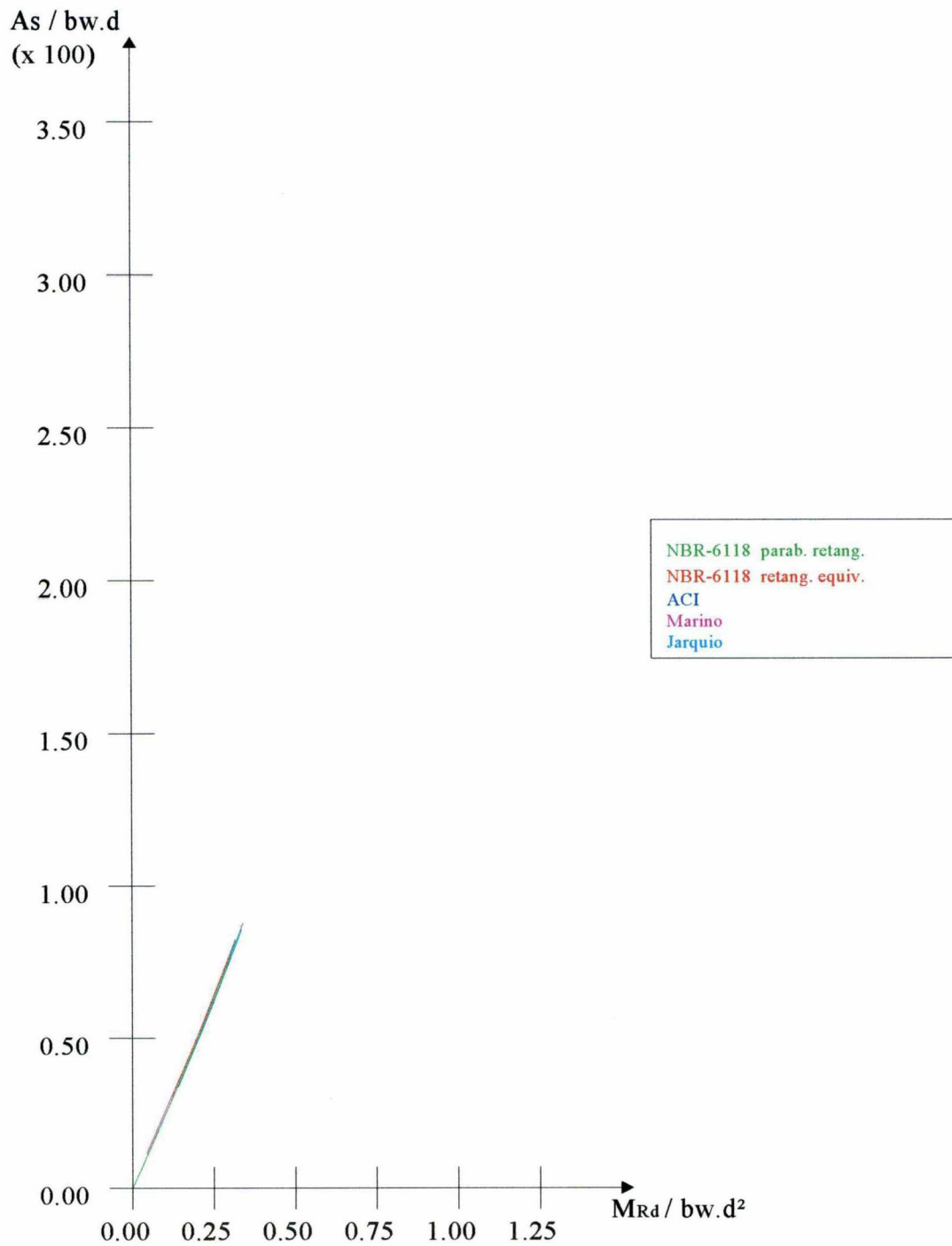
GRÁFICO 02 – TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  30MPaCONCRETO  $f_{ck}=30$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2

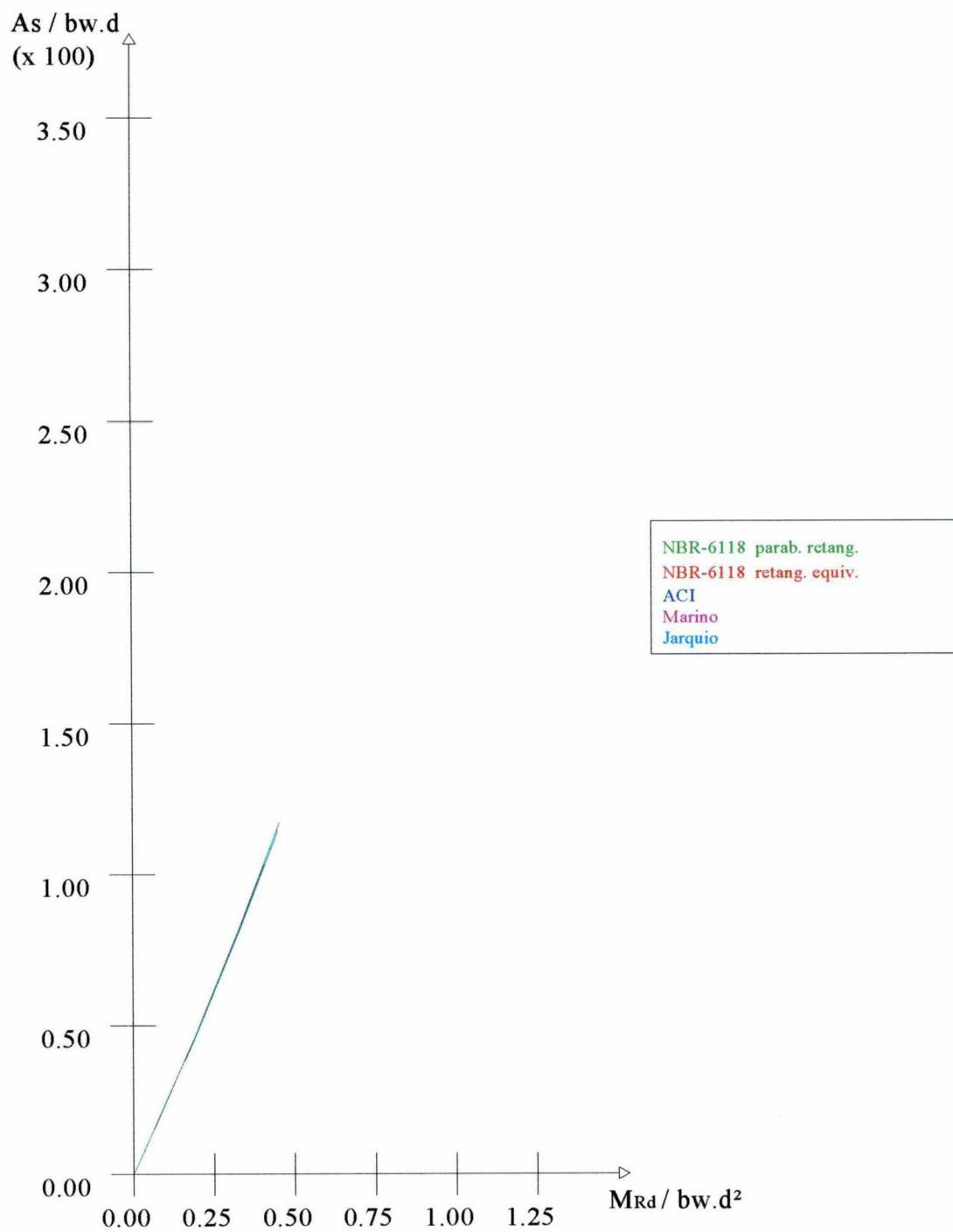
GRÁFICO 03 – TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  40MPaCONCRETO  $f_{ck}$ =40 MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2

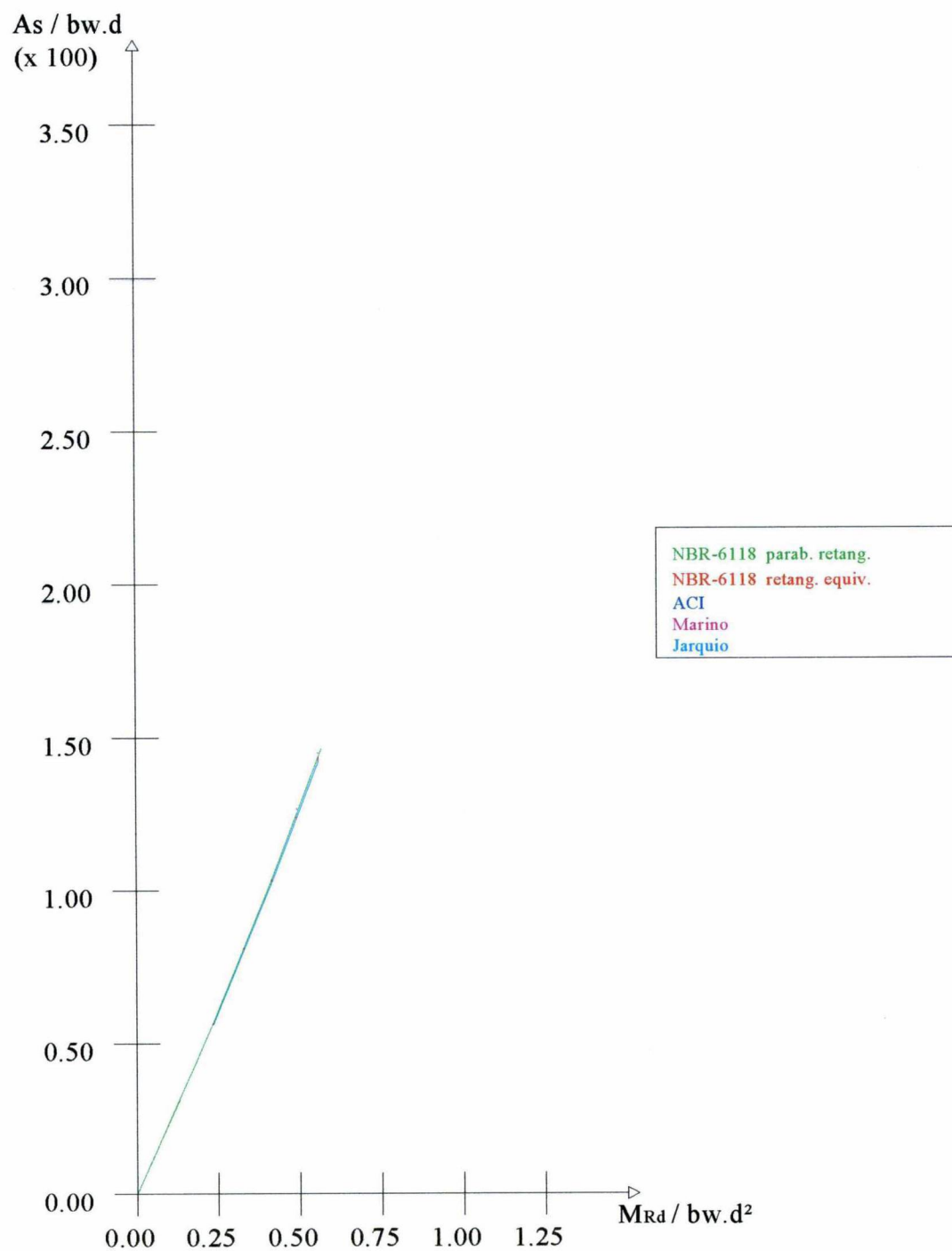
GRÁFICO 04 – TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  50MPaCONCRETO  $f_{ck}=50$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2

GRÁFICO 05 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  20MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=20$ MPa	$M_{Rd}$	0,0937	0,0021	0,0021	0,0000	0,0019	0,0026
		0,1192	0,0024	0,0025	0,0000	0,0022	0,0034
		0,1448	0,0023	0,0024	0,0000	0,0024	0,0039
		0,1703	0,0021	0,0022	0,0000	0,0023	0,0044
		0,1958	0,0022	0,0023	0,0000	0,0022	0,0050

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=20$ MPa	$M_{Rd}$	0,0937	0,94%	0,94%	0,00%	0,85%	1,16%
		0,1192	0,83%	0,87%	0,00%	0,76%	1,18%
		0,1448	0,65%	0,68%	0,00%	0,68%	1,10%
		0,1703	0,50%	0,52%	0,00%	0,54%	1,04%
		0,1958	0,45%	0,47%	0,00%	0,45%	1,02%

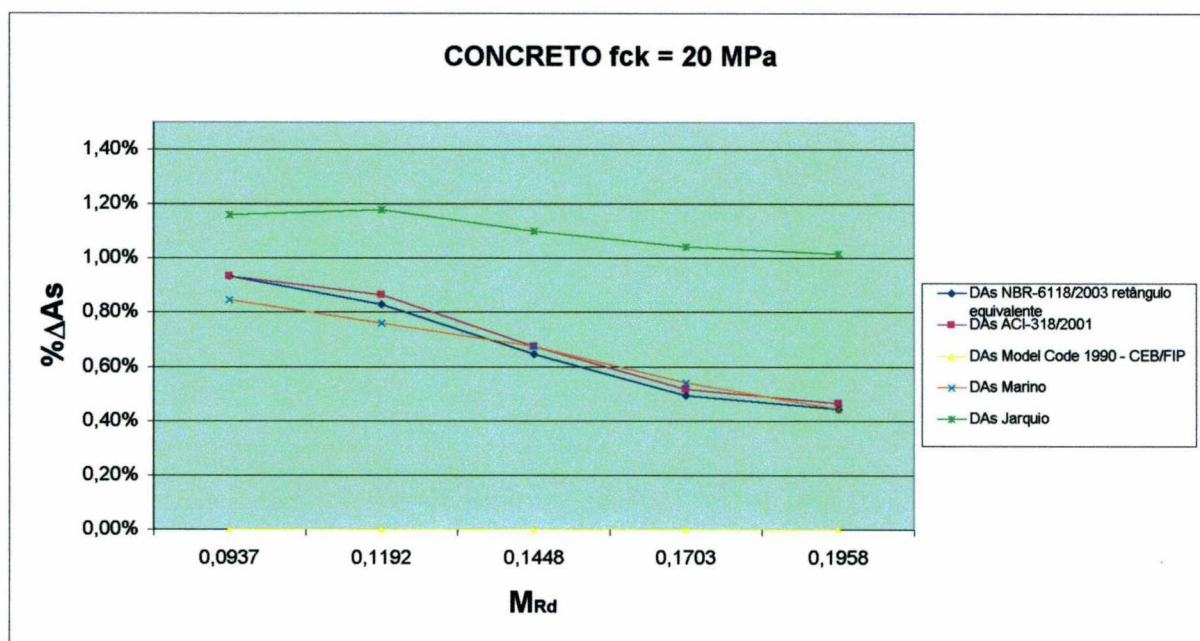


GRÁFICO 06 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  30MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=30$ MPa	$M_{Rd}$	0,1406	0,0030	0,0029	0,0000	0,0030	0,0039
		0,1775	0,0035	0,0035	0,0000	0,0036	0,0050
		0,2144	0,0038	0,0037	0,0000	0,0038	0,0058
		0,2512	0,0035	0,0036	0,0000	0,0035	0,0064
		0,2938	0,0032	0,0032	0,0000	0,0032	0,0074

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=30$ MPa	$M_{Rd}$	0,1406	0,89%	0,86%	0,00%	0,89%	1,16%
		0,1775	0,81%	0,81%	0,00%	0,84%	1,17%
		0,2144	0,72%	0,70%	0,00%	0,72%	1,11%
		0,2512	0,56%	0,58%	0,00%	0,56%	1,03%
		0,2938	0,43%	0,43%	0,00%	0,43%	1,00%

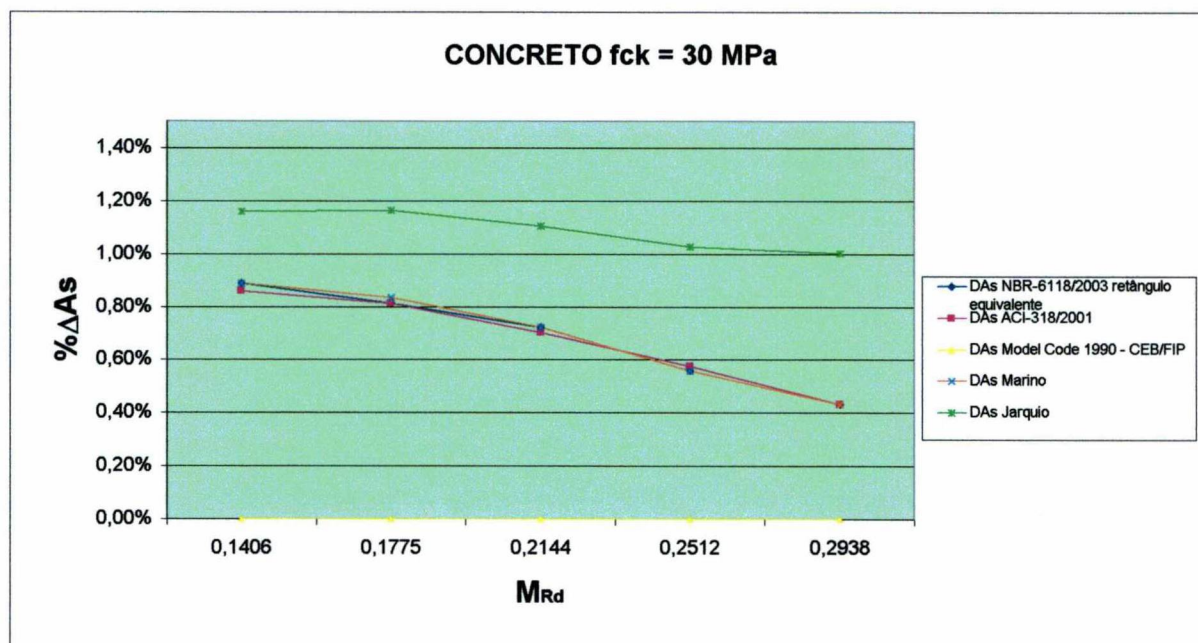


GRÁFICO 07 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  40MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

Concreto $f_{ck}=40$ MPa		$M_{Rd}$	$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio
			0,1874	0,0040	0,0041	0,0000	0,0041
0,2365	0,0047	0,0048	0,0000	0,0047	0,0064		
0,2857	0,0049	0,0050	0,0000	0,0049	0,0077		
0,3348	0,0047	0,0047	0,0000	0,0046	0,0086		
0,3840	0,0046	0,0046	0,0000	0,0045	0,0099		

Concreto $f_{ck}=40$ MPa		$M_{Rd}$	$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio
			0,1874	0,89%	0,91%	0,00%	0,91%
0,2365	0,82%	0,84%	0,00%	0,82%	1,12%		
0,2857	0,70%	0,71%	0,00%	0,70%	1,10%		
0,3348	0,56%	0,56%	0,00%	0,55%	1,04%		
0,3840	0,48%	0,48%	0,00%	0,47%	1,03%		

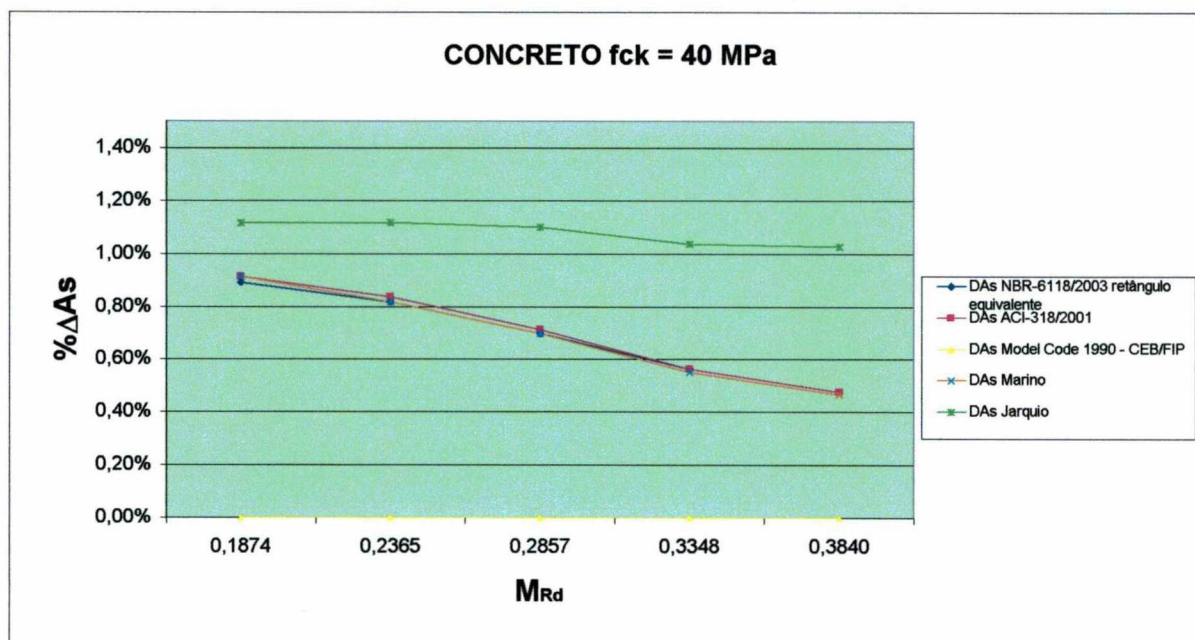
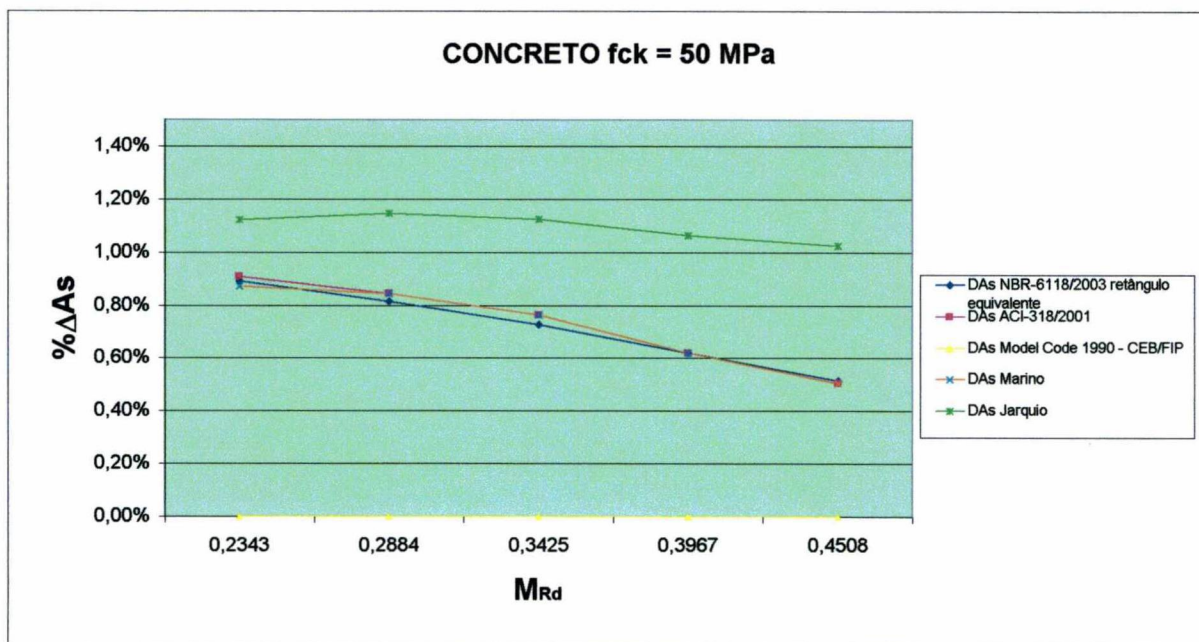


GRÁFICO 08 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D2 –  $f_{ck}$  50MPa

COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=50$ MPa	$M_{Rd}$	0,2343	0,0050	0,0051	0,0000	0,0049	0,0063
		0,2884	0,0057	0,0059	0,0000	0,0059	0,0080
		0,3425	0,0061	0,0064	0,0000	0,0064	0,0094
		0,3967	0,0061	0,0061	0,0000	0,0061	0,0104
		0,4508	0,0058	0,0057	0,0000	0,0057	0,0115

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=50$ MPa	$M_{Rd}$	0,2343	0,89%	0,91%	0,00%	0,87%	1,12%
		0,2884	0,82%	0,85%	0,00%	0,85%	1,15%
		0,3425	0,73%	0,76%	0,00%	0,76%	1,13%
		0,3967	0,62%	0,62%	0,00%	0,62%	1,06%
		0,4508	0,51%	0,51%	0,00%	0,51%	1,02%



## 5.3. DOMÍNIO 3

Os valores e as formulações considerados para todas as distribuições de tensões, no Domínio 3, estão descritos a seguir (FIGURA 26):

$$- f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c, \text{ onde } \gamma_c = 1,40;$$

$$- f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s, \text{ onde } \gamma_s = 1,15;$$

$$- \varepsilon_c;$$

$$- \varepsilon_s;$$

$$- x;$$

$$- z;$$

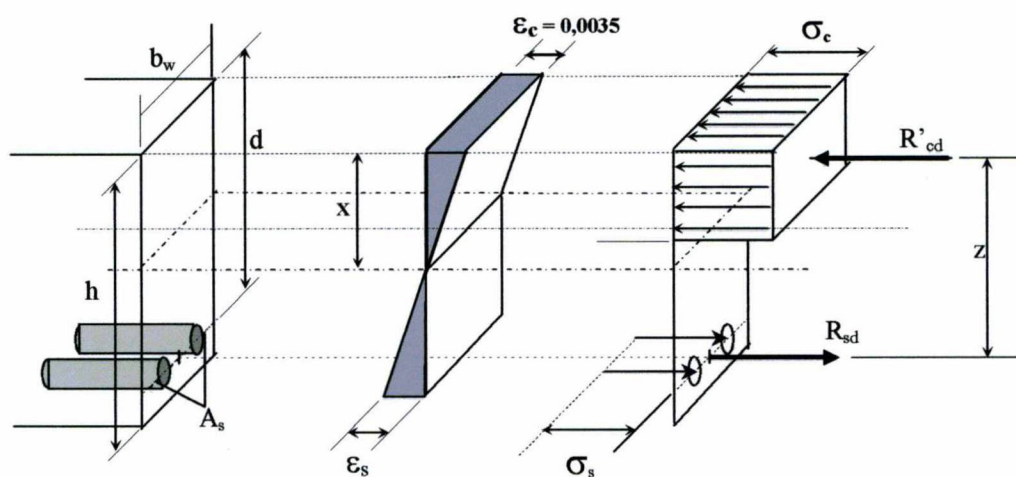
$$- d$$

$$- R_{sd} = R'_{cd};$$

$$- M_{Rd} = R'_{cd} \cdot z; \text{ e}$$

$$- A_s = R_{sd} / f_{yd}.$$

FIGURA 26 - SEÇÃO FLETIDA - DOMÍNIO 3



A posição da linha neutra; função de  $\varepsilon_c$ ,  $\varepsilon_s$  e  $d$ , resulta:

$$x = \left( \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_s} \right) \cdot d \quad (10)$$

Como no Domínio 3  $\epsilon_c$  é fixo em 3,5 ‰, a posição da linha neutra “x” varia apenas em função de  $\epsilon_s$ , de tal forma que:

$$- \epsilon_s = 0,0100 \rightarrow x = 0,2593.d$$

$$- \epsilon_s = 0,0080 \rightarrow x = 0,3043.d$$

$$- \epsilon_s = 0,0060 \rightarrow x = 0,3684.d$$

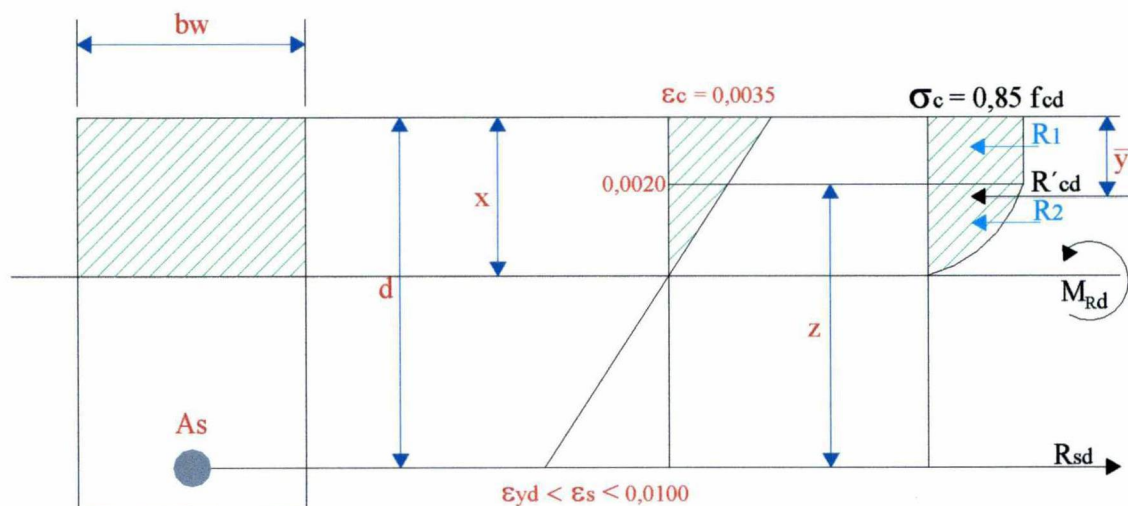
$$- \epsilon_s = 0,0040 \rightarrow x = 0,4667.d$$

$$- \epsilon_s = 0,0020 \rightarrow x = 0,6364.d$$

### 5.3.1 Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Parábola-retângulo

Para o Domínio 3 a distribuição de tensões no concreto corresponde a FIGURA 27.

FIGURA 27 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO – D3



Da FIGURA 27:

- Para todos  $\epsilon_s$

$$R'_{cd} = R_1 + R_2 \rightarrow R'_{cd} = 0,8095.x.b_w.\sigma_c$$

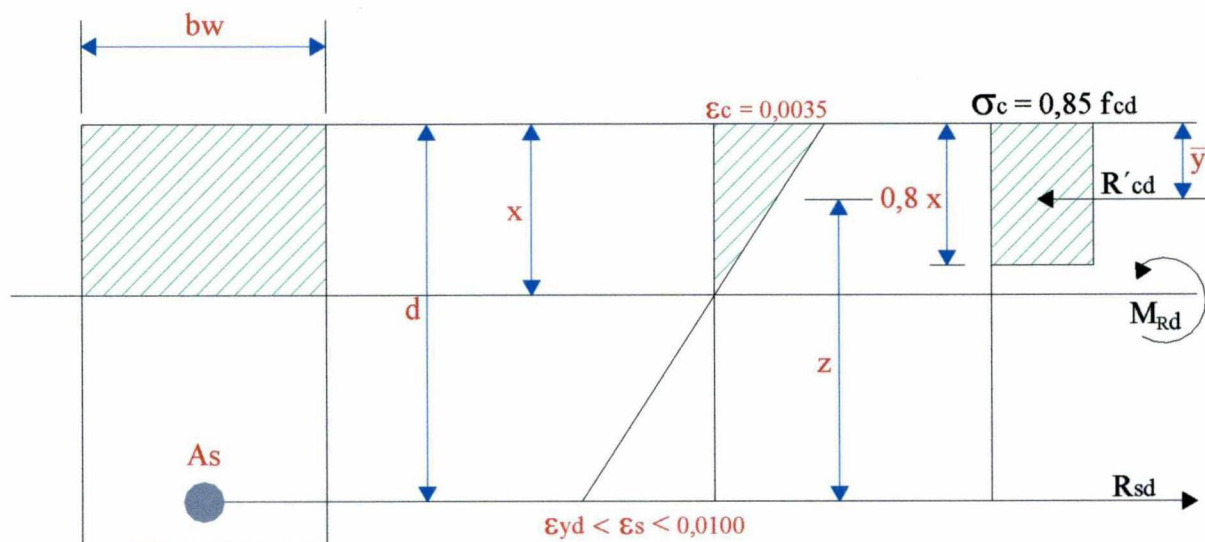
$$\bar{y} = 0,4159.x$$

$$z = d - 0,4159.x$$

### 5.3.2. Diagrama segundo a NBR 6118/2003 – Retângulo equivalente

No caso do retângulo equivalente da NBR 6118/2003, a mesma forma de cálculo simplificada do Domínio 2 também é válida para o Domínio 3, conforme FIGURA 28.

FIGURA 28 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - RETÂNGULO EQUIVALENTE – D3



- Para todos  $\epsilon_s$

$$R'_{cd} = 0,8 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

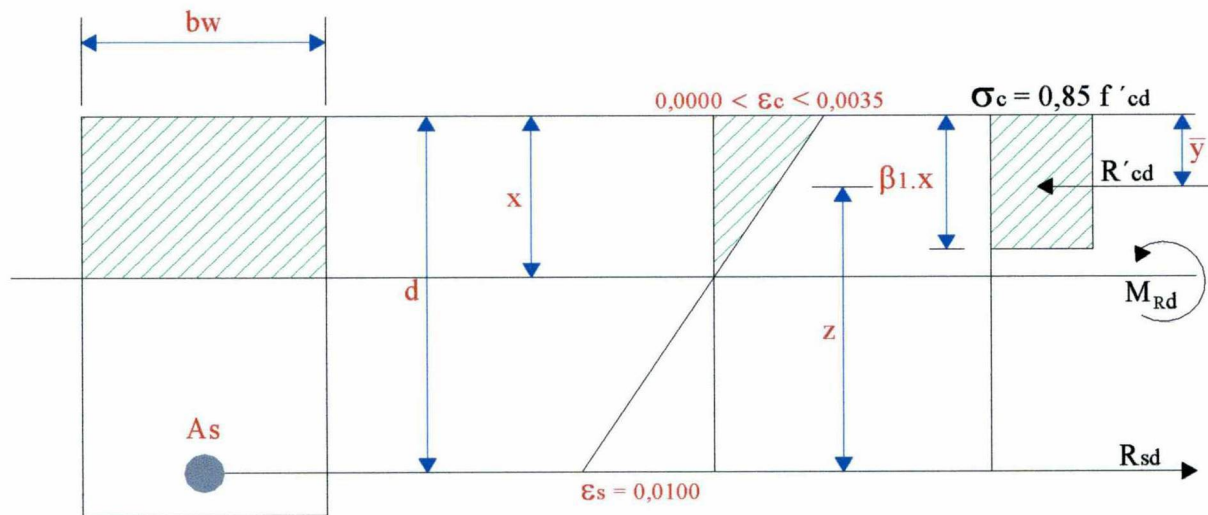
$$\bar{y} = 0,400 \cdot x$$

$$z = d - 0,400 \cdot x$$

### 5.3.3. ACI 318/2001

Para esta simulação será usado apenas o conceito referente a  $\beta_1$  (posição da linha neutra como função da resistência do concreto), conforme mostrado na FIGURA 29. Serão mantidos os conceitos de domínios, como apresentado pela NBR 6118/2003.

FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DO ACI/2001 – D3



- Para  $f_{ck} = 20\text{MPa}$  e  $30\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$R'_{cd} = 0,85 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,425 \cdot x$$

$$z = d - 0,425 \cdot x$$

- Para  $f_{ck} = 40\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0,779$$

$$R'_{cd} = 0,779 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,389 \cdot x$$

$$z = d - 0,389 \cdot x$$

- Para  $f_{ck} = 50\text{MPa}$

$$\beta_1 = 0,707$$

$$R'_{cd} = 0,705 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,354 \cdot x$$

$$z = d - 0,354 \cdot x$$

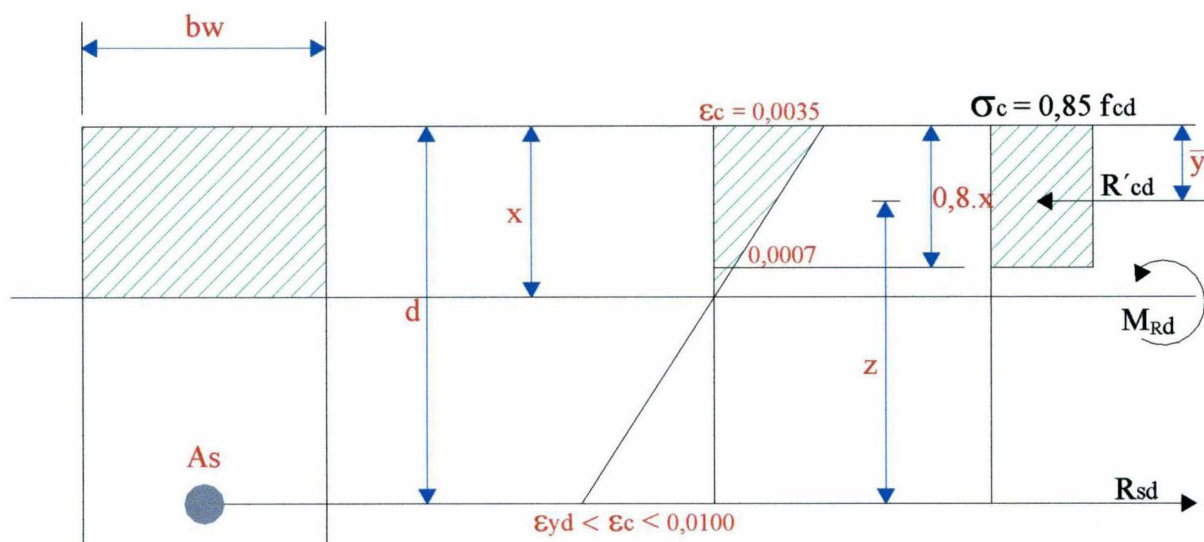
### 5.3.4. Model Code 1990/CEB-FIP

Para concretos com  $f_{ck}$  até 50 MPa o MC-90 admite o cálculo de vigas de concreto armado igual aos utilizados pela NBR 6118/2003 - Parábola-retângulo. Por isso os resultados serão exatamente iguais (FIGURA 27).

### 5.3.5. Método por MARINO

A distribuição de tensões é a mesma do retângulo equivalente da NBR 6118/2003, como mostrado na FIGURA 28 e na FIGURA 30.

FIGURA 30 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - MARINO – D3



- Para todos  $\epsilon_s$

$$R'_{cd} = 0,8000 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

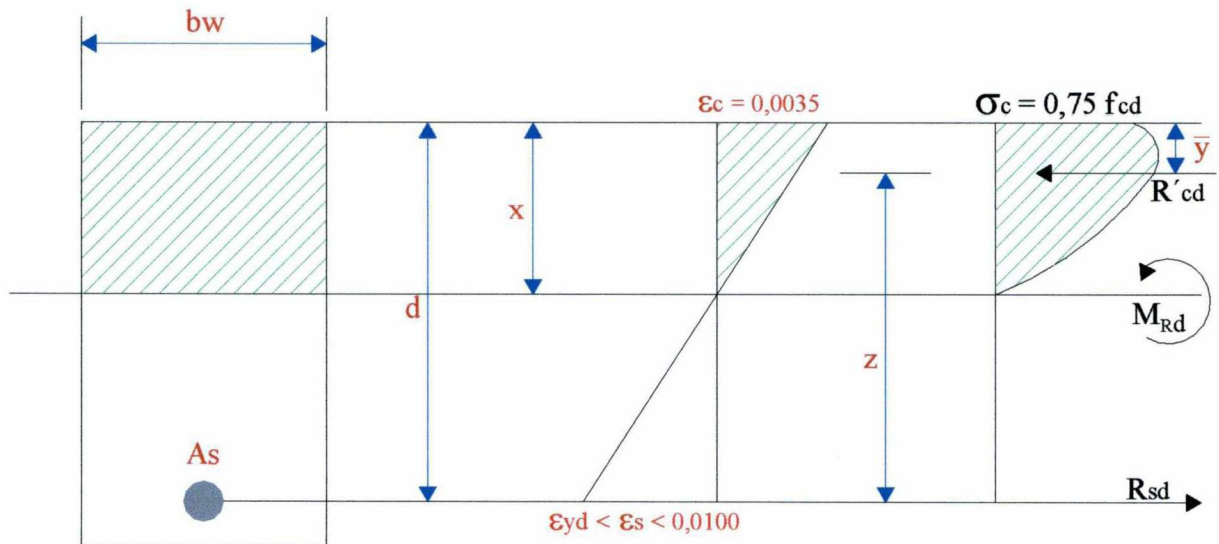
$$\bar{y} = 0,400 \cdot x$$

$$z = d - 0,400 \cdot x$$

### 5.3.6. Método por JARQUIO

Não havendo diferenciação quanto aos domínios de deformação, repete-se a mesma formulação do Domínio 2, conforme FIGURA 31.

FIGURA 31 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES - JARQUIO – D3



- Para todos  $\epsilon_s$

$$R'_{cd} = x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,417 \cdot x$$

$$z = d - 0,417 \cdot x$$

### 5.3.7. Apresentação dos resultados para o Domínio 3

A seguir estão apresentadas as tabelas originadas a partir das distribuições de tensões apresentadas para o Domínio 3.

DOMÍNIO 3																		
	Referências	f <sub>ck</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> (MPa)	b <sub>w</sub> (cm)	d (cm)	ε <sub>c</sub> (‰)	ε <sub>s</sub> (‰)	x (cm)	σ <sub>c</sub> (Mpa)	R' <sub>cd</sub> (kN)	R <sub>sd</sub> (kN)	z (cm)	MR <sub>d</sub> (kN.cm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 10,0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 .d	12,143	0,2548 .d.bw	0,2548 .d.bw	0,8922 .d	0,2274 .d <sup>2</sup> .bw	0,005861 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 .d	18,214	0,3823 .d.bw	0,3823 .d.bw	0,8922 .d	0,3410 .d <sup>2</sup> .bw	0,008792 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 .d	24,286	0,5097 .d.bw	0,5097 .d.bw	0,8922 .d	0,4547 .d <sup>2</sup> .bw	0,011723 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 .d	30,357	0,6371 .d.bw	0,6371 .d.bw	0,8922 .d	0,5684 .d <sup>2</sup> .bw	0,014653 .d.bw
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 8,0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 .d	12,143	0,2992 .d.bw	0,2992 .d.bw	0,8734 .d	0,2613 .d <sup>2</sup> .bw	0,006881 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 .d	18,214	0,4487 .d.bw	0,4487 .d.bw	0,8734 .d	0,3919 .d <sup>2</sup> .bw	0,010321 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 .d	24,286	0,5983 .d.bw	0,5983 .d.bw	0,8734 .d	0,5226 .d <sup>2</sup> .bw	0,013762 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 .d	30,357	0,7479 .d.bw	0,7479 .d.bw	0,8734 .d	0,6532 .d <sup>2</sup> .bw	0,017202 .d.bw
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 6,0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 .d	12,143	0,3621 .d.bw	0,3621 .d.bw	0,8468 .d	0,3067 .d <sup>2</sup> .bw	0,008329 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 .d	18,214	0,5432 .d.bw	0,5432 .d.bw	0,8468 .d	0,4600 .d <sup>2</sup> .bw	0,012494 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 .d	24,286	0,7243 .d.bw	0,7243 .d.bw	0,8468 .d	0,6133 .d <sup>2</sup> .bw	0,016659 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 .d	30,357	0,9054 .d.bw	0,9054 .d.bw	0,8468 .d	0,7666 .d <sup>2</sup> .bw	0,020823 .d.bw
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 4,0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 .d	12,143	0,4587 .d.bw	0,4587 .d.bw	0,8059 .d	0,3697 .d <sup>2</sup> .bw	0,010550 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 .d	18,214	0,6881 .d.bw	0,6881 .d.bw	0,8059 .d	0,5545 .d <sup>2</sup> .bw	0,015826 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 .d	24,286	0,9174 .d.bw	0,9174 .d.bw	0,8059 .d	0,7394 .d <sup>2</sup> .bw	0,021101 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 .d	30,357	1,1468 .d.bw	1,1468 .d.bw	0,8059 .d	0,9242 .d <sup>2</sup> .bw	0,026376 .d.bw
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 2,0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 .d	12,143	0,6255 .d.bw	0,6255 .d.bw	0,7353 .d	0,4600 .d <sup>2</sup> .bw	0,014387 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 .d	18,214	0,9383 .d.bw	0,9383 .d.bw	0,7353 .d	0,6900 .d <sup>2</sup> .bw	0,021581 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 .d	24,286	1,2510 .d.bw	1,2510 .d.bw	0,7353 .d	0,9199 .d <sup>2</sup> .bw	0,028774 .d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 .d	30,357	1,5638 .d.bw	1,5638 .d.bw	0,7353 .d	1,1499 .d <sup>2</sup> .bw	0,035968 .d.bw

DOMÍNIO 3																						
	Referências	f <sub>ck</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> (MPa)	b <sub>w</sub> (cm)	d (cm)	ε <sub>c</sub> (‰)	ε <sub>s</sub> (‰)	x (cm)	σ <sub>c</sub> (Mpa)	R' <sub>od</sub> (kN)	R <sub>ed</sub> (kN)	z (cm)	M <sub>Rd</sub> (kN.cm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub> NBR-6118- paráb (cm <sup>2</sup> )	ΔM <sub>Rd</sub> x A <sub>s</sub> (NBR-6118-paráb)		
																				+	-	%
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 10,0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	12,143	0,2519 .d.bw	0,2519 .d.bw	0,8963 .d	0,2257 .d.F.bw	0,005793 .d.bw	0,005861 .d.bw	0,0020	0,34%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	18,214	0,3778 .d.bw	0,3778 .d.bw	0,8963 .d	0,3386 .d.F.bw	0,008689 .d.bw	0,008792 .d.bw	0,0033	0,38%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	24,286	0,5037 .d.bw	0,5037 .d.bw	0,8963 .d	0,4515 .d.F.bw	0,011585 .d.bw	0,011723 .d.bw	0,0045	0,38%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	30,357	0,6296 .d.bw	0,6296 .d.bw	0,8963 .d	0,5643 .d.F.bw	0,014481 .d.bw	0,014653 .d.bw	0,0053	0,36%	
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 8,0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	12,143	0,2957 .d.bw	0,2957 .d.bw	0,8783 .d	0,2597 .d.F.bw	0,006800 .d.bw	0,006881 .d.bw	0,0032	0,47%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	18,214	0,4435 .d.bw	0,4435 .d.bw	0,8783 .d	0,3895 .d.F.bw	0,010200 .d.bw	0,010321 .d.bw	0,0047	0,36%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	24,286	0,5913 .d.bw	0,5913 .d.bw	0,8783 .d	0,5193 .d.F.bw	0,013600 .d.bw	0,013762 .d.bw	0,0061	0,44%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	30,357	0,7391 .d.bw	0,7391 .d.bw	0,8783 .d	0,6491 .d.F.bw	0,017000 .d.bw	0,017202 .d.bw	0,0076	0,44%	
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 6,0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	12,143	0,3579 .d.bw	0,3579 .d.bw	0,8526 .d	0,3052 .d.F.bw	0,008232 .d.bw	0,008329 .d.bw	0,0047	0,56%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	18,214	0,5368 .d.bw	0,5368 .d.bw	0,8526 .d	0,4577 .d.F.bw	0,012347 .d.bw	0,012494 .d.bw	0,0059	0,47%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	24,286	0,7158 .d.bw	0,7158 .d.bw	0,8526 .d	0,6103 .d.F.bw	0,016463 .d.bw	0,016659 .d.bw	0,0097	0,58%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	30,357	0,8947 .d.bw	0,8947 .d.bw	0,8526 .d	0,7629 .d.F.bw	0,020579 .d.bw	0,020823 .d.bw	0,0122	0,59%	
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 4,0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	12,143	0,4533 .d.bw	0,4533 .d.bw	0,8133 .d	0,3687 .d.F.bw	0,010427 .d.bw	0,010550 .d.bw	0,0085	0,81%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	18,214	0,6800 .d.bw	0,6800 .d.bw	0,8133 .d	0,5531 .d.F.bw	0,015640 .d.bw	0,015826 .d.bw	0,0115	0,73%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	24,286	0,9067 .d.bw	0,9067 .d.bw	0,8133 .d	0,7374 .d.F.bw	0,020853 .d.bw	0,021101 .d.bw	0,0173	0,82%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	30,357	1,1333 .d.bw	1,1333 .d.bw	0,8133 .d	0,9218 .d.F.bw	0,026067 .d.bw	0,026376 .d.bw	0,0219	0,83%	
ε <sub>c</sub> = 3,5 ε <sub>s</sub> = 2,0	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	12,143	0,6182 .d.bw	0,6182 .d.bw	0,7455 .d	0,4608 .d.F.bw	0,014218 .d.bw	0,014387 .d.bw	0,0208	1,45%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	18,214	0,9273 .d.bw	0,9273 .d.bw	0,7455 .d	0,6912 .d.F.bw	0,021327 .d.bw	0,021581 .d.bw	0,0313	1,45%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	24,286	1,2364 .d.bw	1,2364 .d.bw	0,7455 .d	0,9217 .d.F.bw	0,028436 .d.bw	0,028774 .d.bw	0,0426	1,48%	
	NBR-6118/2003 retângulo equivalente	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	30,357	1,5455 .d.bw	1,5455 .d.bw	0,7455 .d	1,1521 .d.F.bw	0,035545 .d.bw	0,035968 .d.bw	0,0530	1,47%	

DOMÍNIO 3																													
	Referências	fck (MPa)	$\gamma_c$	fcd (MPa)	fyt (MPa)	$\gamma_s$	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	$\epsilon_c$ (‰)	$\epsilon_s$ (‰)	x (cm)	$\sigma_c$ (Mpa)	R'ed (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MEd (kN.cm)	As (cm²)	As NBR-6118-parab (cm²)	$\Delta$ As NBR-6118-parab-retang									
																				+	-	%							
$\epsilon_c = 3,5$ $\epsilon_s = 10,0$	ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	12,143	0,2676	.d.bw	0,2676	.d.bw	0,8898	.d	0,2381	.dF.bw	0,006155	.d.bw	0,005861	.d.bw			
	ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	18,214	0,4014	.d.bw	0,4014	.d.bw	0,8898	.d	0,3572	.dF.bw	0,009232	.d.bw	0,008792	.d.bw		0,0039	0,44%
	ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	24,286	0,4905	.d.bw	0,4905	.d.bw	0,8991	.d	0,4410	.dF.bw	0,011281	.d.bw	0,011723	.d.bw		0,0044	0,38%
	ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	30,357	0,5564	.d.bw	0,5564	.d.bw	0,9082	.d	0,5054	.dF.bw	0,012798	.d.bw	0,014653	.d.bw		0,0054	0,37%
$\epsilon_c = 3,5$ $\epsilon_s = 8,0$	ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	.d	12,143	0,3141	.d.bw	0,3141	.d.bw	0,8707	.d	0,2735	.dF.bw	0,007225	.d.bw	0,006881	.d.bw		0,0035	0,51%
	ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	.d	18,214	0,4712	.d.bw	0,4712	.d.bw	0,8707	.d	0,4102	.dF.bw	0,010838	.d.bw	0,010321	.d.bw		0,0050	0,48%
	ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	.d	24,286	0,5758	.d.bw	0,5758	.d.bw	0,8816	.d	0,5076	.dF.bw	0,013243	.d.bw	0,013762	.d.bw		0,0053	0,39%
	ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	.d	30,357	0,6532	.d.bw	0,6532	.d.bw	0,8923	.d	0,5828	.dF.bw	0,015024	.d.bw	0,017202	.d.bw		0,0055	0,32%
$\epsilon_c = 3,5$ $\epsilon_s = 6,0$	ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	.d	12,143	0,3803	.d.bw	0,3803	.d.bw	0,8434	.d	0,3207	.dF.bw	0,008746	.d.bw	0,008329	.d.bw		0,0053	0,64%
	ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	.d	18,214	0,5704	.d.bw	0,5704	.d.bw	0,8434	.d	0,4811	.dF.bw	0,013119	.d.bw	0,012494	.d.bw		0,0069	0,55%
	ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	.d	24,286	0,6970	.d.bw	0,6970	.d.bw	0,8567	.d	0,5971	.dF.bw	0,016031	.d.bw	0,016659	.d.bw		0,0081	0,49%
	ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	.d	30,357	0,7907	.d.bw	0,7907	.d.bw	0,8696	.d	0,6876	.dF.bw	0,018187	.d.bw	0,020823	.d.bw		0,0087	0,42%
$\epsilon_c = 3,5$ $\epsilon_s = 4,0$	ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	.d	12,143	0,4817	.d.bw	0,4817	.d.bw	0,8017	.d	0,3861	.dF.bw	0,011078	.d.bw	0,010550	.d.bw		0,0101	0,96%
	ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	.d	18,214	0,7225	.d.bw	0,7225	.d.bw	0,8017	.d	0,5792	.dF.bw	0,016618	.d.bw	0,015826	.d.bw		0,0138	0,87%
	ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	.d	24,286	0,8829	.d.bw	0,8829	.d.bw	0,8185	.d	0,7226	.dF.bw	0,020306	.d.bw	0,021101	.d.bw		0,0147	0,70%
	ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	.d	30,357	1,0016	.d.bw	1,0016	.d.bw	0,8348	.d	0,8361	.dF.bw	0,023036	.d.bw	0,026376	.d.bw		0,0154	0,59%
$\epsilon_c = 3,5$ $\epsilon_s = 2,0$	ACI-318/2001	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	.d	12,143	0,6568	.d.bw	0,6568	.d.bw	0,7295	.d	0,4792	.dF.bw	0,015107	.d.bw	0,014387	.d.bw		0,0250	1,74%
	ACI-318/2001	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	.d	18,214	0,9852	.d.bw	0,9852	.d.bw	0,7295	.d	0,7188	.dF.bw	0,022660	.d.bw	0,021581	.d.bw		0,0387	1,79%
	ACI-318/2001	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	.d	24,286	1,2039	.d.bw	1,2039	.d.bw	0,7525	.d	0,9059	.dF.bw	0,027690	.d.bw	0,028774	.d.bw		0,0351	1,23%
	ACI-318/2001	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	.d	30,357	1,3658	.d.bw	1,3658	.d.bw	0,7747	.d	1,0581	.dF.bw	0,031413	.d.bw	0,035968	.d.bw		0,0360	1,00%

DOMÍNIO 3																						
	Referências	f <sub>ck</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> (MPa)	b <sub>w</sub> (cm)	d (cm)	ε <sub>c</sub> (‰)	ε <sub>s</sub> (‰)	x (cm)	σ <sub>c</sub> (Mpa)	R' <sub>cd</sub> (kN)	R <sub>sd</sub> (kN)	z (cm)	M <sub>Ed</sub> (kN.cm)	A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	A <sub>s</sub> NBR-6118-parab (cm <sup>2</sup> )	Δ A <sub>s</sub> (NBR-6118 parab-retang)		
																				+	-	%
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 10.0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	12,143	0,2548 .d.bw	0,2548 .d.bw	0,895 .d	0,2281 .d.bw	0,005861 .d.bw	0,005861 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	18,214	0,3823 .d.bw	0,3823 .d.bw	0,895 .d	0,3421 .d.bw	0,008792 .d.bw	0,008792 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	24,286	0,5097 .d.bw	0,5097 .d.bw	0,895 .d	0,4562 .d.bw	0,011723 .d.bw	0,011723 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	30,357	0,6371 .d.bw	0,6371 .d.bw	0,895 .d	0,5702 .d.bw	0,014653 .d.bw	0,014653 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 8.0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	12,143	0,2992 .d.bw	0,2992 .d.bw	0,881 .d	0,2636 .d.bw	0,006881 .d.bw	0,006881 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	18,214	0,4487 .d.bw	0,4487 .d.bw	0,881 .d	0,3953 .d.bw	0,010321 .d.bw	0,010321 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	24,286	0,5983 .d.bw	0,5983 .d.bw	0,881 .d	0,5271 .d.bw	0,013762 .d.bw	0,013762 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	30,357	0,7479 .d.bw	0,7479 .d.bw	0,881 .d	0,6589 .d.bw	0,017202 .d.bw	0,017202 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 6.0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	12,143	0,3621 .d.bw	0,3621 .d.bw	0,8618 .d	0,3121 .d.bw	0,008329 .d.bw	0,008329 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	18,214	0,5432 .d.bw	0,5432 .d.bw	0,8618 .d	0,4682 .d.bw	0,012494 .d.bw	0,012494 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	24,286	0,7243 .d.bw	0,7243 .d.bw	0,8618 .d	0,6242 .d.bw	0,016659 .d.bw	0,016659 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	30,357	0,9054 .d.bw	0,9054 .d.bw	0,8618 .d	0,7803 .d.bw	0,020823 .d.bw	0,020823 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 4.0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	12,143	0,4587 .d.bw	0,4587 .d.bw	0,825 .d	0,3784 .d.bw	0,010550 .d.bw	0,010550 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	18,214	0,6881 .d.bw	0,6881 .d.bw	0,825 .d	0,5677 .d.bw	0,015826 .d.bw	0,015826 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	24,286	0,9174 .d.bw	0,9174 .d.bw	0,825 .d	0,7569 .d.bw	0,021101 .d.bw	0,021101 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	30,357	1,1468 .d.bw	1,1468 .d.bw	0,825 .d	0,9461 .d.bw	0,026376 .d.bw	0,026376 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 2.0	Model Code 1990 - CEB/FIP	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	12,143	0,6255 .d.bw	0,6255 .d.bw	0,7614 .d	0,4763 .d.bw	0,014387 .d.bw	0,014387 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	18,214	0,9383 .d.bw	0,9383 .d.bw	0,7614 .d	0,7144 .d.bw	0,021581 .d.bw	0,021581 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	24,286	1,2510 .d.bw	1,2510 .d.bw	0,7614 .d	0,9525 .d.bw	0,028774 .d.bw	0,028774 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%
	Model Code 1990 - CEB/FIP	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	30,357	1,5638 .d.bw	1,5638 .d.bw	0,7614 .d	1,1906 .d.bw	0,035968 .d.bw	0,035968 .d.bw	0,0000	0,0000	0,00%

DOMÍNIO 3																													
	Referências	fck (MPa)	γc	fcd (MPa)	fyk (MPa)	γs	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	εc (‰)	εs (‰)	χ (cm)	σc (Mpa)	R'ed (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MRd (kN.cm)	As (cm²)	As NBR-6118-parab (cm²)	Δ As (NBR-6118-parab-retang)									
																				+	-	%							
εc = 3,5 εs = 10,0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	12,143	0,2519	d.bw	0,2519	d.bw	0,8963	d	0,2257	d.F.bw	0,005793	d.bw	0,005861	d.bw		0,0020	0,34%
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	18,214	0,3778	d.bw	0,3778	d.bw	0,8963	d	0,3386	d.F.bw	0,008689	d.bw	0,008792	d.bw		0,0033	0,39%
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	24,286	0,5037	d.bw	0,5037	d.bw	0,8963	d	0,4515	d.F.bw	0,011585	d.bw	0,011723	d.bw		0,0045	0,38%
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593	d	30,357	0,6296	d.bw	0,6296	d.bw	0,8963	d	0,5643	d.F.bw	0,014481	d.bw	0,014653	d.bw		0,0053	0,36%
εc = 3,5 εs = 8,0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	d	12,143	0,2957	d.bw	0,2957	d.bw	0,8783	d	0,2597	d.F.bw	0,006800	d.bw	0,006881	d.bw		0,0032	0,47%
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	d	18,214	0,4435	d.bw	0,4435	d.bw	0,8783	d	0,3895	d.F.bw	0,010200	d.bw	0,010321	d.bw		0,0047	0,46%
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	d	24,286	0,5913	d.bw	0,5913	d.bw	0,8783	d	0,5193	d.F.bw	0,013600	d.bw	0,013762	d.bw		0,0061	0,44%
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043	d	30,357	0,7391	d.bw	0,7391	d.bw	0,8783	d	0,6491	d.F.bw	0,017000	d.bw	0,017202	d.bw		0,0076	0,44%
εc = 3,5 εs = 6,0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	d	12,143	0,3579	d.bw	0,3579	d.bw	0,8526	d	0,3052	d.F.bw	0,008232	d.bw	0,008329	d.bw		0,0047	0,56%
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	d	18,214	0,5368	d.bw	0,5368	d.bw	0,8526	d	0,4577	d.F.bw	0,012347	d.bw	0,012494	d.bw		0,0059	0,47%
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	d	24,286	0,7158	d.bw	0,7158	d.bw	0,8526	d	0,6103	d.F.bw	0,016463	d.bw	0,016659	d.bw		0,0097	0,58%
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684	d	30,357	0,8947	d.bw	0,8947	d.bw	0,8526	d	0,7629	d.F.bw	0,020579	d.bw	0,020823	d.bw		0,0122	0,59%
εc = 3,5 εs = 4,0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	d	12,143	0,4533	d.bw	0,4533	d.bw	0,8133	d	0,3687	d.F.bw	0,010427	d.bw	0,010550	d.bw		0,0085	0,81%
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	d	18,214	0,6800	d.bw	0,6800	d.bw	0,8133	d	0,5531	d.F.bw	0,015640	d.bw	0,015826	d.bw		0,0115	0,75%
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	d	24,286	0,9067	d.bw	0,9067	d.bw	0,8133	d	0,7374	d.F.bw	0,020853	d.bw	0,021101	d.bw		0,0173	0,82%
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667	d	30,357	1,1333	d.bw	1,1333	d.bw	0,8133	d	0,9218	d.F.bw	0,026067	d.bw	0,026376	d.bw		0,0219	0,83%
εc = 3,5 εs = 2,0	Marino	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	d	12,143	0,6182	d.bw	0,6182	d.bw	0,7455	d	0,4608	d.F.bw	0,014218	d.bw	0,014387	d.bw		0,0208	1,45%
	Marino	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	d	18,214	0,9273	d.bw	0,9273	d.bw	0,7455	d	0,6912	d.F.bw	0,021327	d.bw	0,021581	d.bw		0,0313	1,45%
	Marino	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	d	24,286	1,2364	d.bw	1,2364	d.bw	0,7455	d	0,9217	d.F.bw	0,028436	d.bw	0,028774	d.bw		0,0426	1,48%
	Marino	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364	d	30,357	1,5455	d.bw	1,5455	d.bw	0,7455	d	1,1521	d.F.bw	0,035545	d.bw	0,035968	d.bw		0,0530	1,47%

DOMÍNIO 3																						
	Referências	fck (MPa)	γc	fcd (MPa)	fyk (MPa)	γs	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	εc (‰)	εs (‰)	x (cm)	σc (Mpa)	R'ed (kN)	Rsd (kN)	z (cm)	MRd (kN.cm)	As (cm²)	As NBR-6118- parab (cm²)	Δ As (NBR-6118 parab-retang)		
																				+	-	%
εc = 3,5 εs = 10,0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	10,714	0,2778 .d.bw	0,2778 .d.bw	0,8919 .d	0,2477 .dF.bw	0,006389 .d.bw	0,005861 .d.bw	0,0077	1,31%	
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	16,071	0,4167 .d.bw	0,4167 .d.bw	0,8919 .d	0,3716 .dF.bw	0,009583 .d.bw	0,008792 .d.bw	0,0120	1,36%	
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	21,429	0,5556 .d.bw	0,5556 .d.bw	0,8919 .d	0,4955 .dF.bw	0,012778 .d.bw	0,011723 .d.bw	0,0158	1,35%	
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	10,0	0,2593 .d	26,786	0,6944 .d.bw	0,6944 .d.bw	0,8919 .d	0,6194 .dF.bw	0,015972 .d.bw	0,014653 .d.bw	0,0199	1,36%	
εc = 3,5 εs = 8,0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	10,714	0,3261 .d.bw	0,3261 .d.bw	0,8731 .d	0,2847 .dF.bw	0,007500 .d.bw	0,006881 .d.bw	0,0115	1,67%	
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	16,071	0,4891 .d.bw	0,4891 .d.bw	0,8731 .d	0,4271 .dF.bw	0,011250 .d.bw	0,010321 .d.bw	0,0170	1,65%	
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	21,429	0,6522 .d.bw	0,6522 .d.bw	0,8731 .d	0,5694 .dF.bw	0,015000 .d.bw	0,013762 .d.bw	0,0230	1,67%	
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	8,0	0,3043 .d	26,786	0,8152 .d.bw	0,8152 .d.bw	0,8731 .d	0,7118 .dF.bw	0,018750 .d.bw	0,017202 .d.bw	0,0290	1,69%	
εc = 3,5 εs = 6,0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	10,714	0,3947 .d.bw	0,3947 .d.bw	0,8464 .d	0,3341 .dF.bw	0,009079 .d.bw	0,008329 .d.bw	0,0181	2,17%	
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	16,071	0,5921 .d.bw	0,5921 .d.bw	0,8464 .d	0,5011 .dF.bw	0,013618 .d.bw	0,012494 .d.bw	0,0258	2,06%	
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	21,429	0,7895 .d.bw	0,7895 .d.bw	0,8464 .d	0,6682 .dF.bw	0,018158 .d.bw	0,016659 .d.bw	0,0366	2,20%	
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	6,0	0,3684 .d	26,786	0,9868 .d.bw	0,9868 .d.bw	0,8464 .d	0,8352 .dF.bw	0,022697 .d.bw	0,020823 .d.bw	0,0457	2,19%	
εc = 3,5 εs = 4,0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	10,714	0,5000 .d.bw	0,5000 .d.bw	0,8054 .d	0,4027 .dF.bw	0,011500 .d.bw	0,010550 .d.bw	0,0342	3,24%	
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	16,071	0,7500 .d.bw	0,7500 .d.bw	0,8054 .d	0,6041 .dF.bw	0,017250 .d.bw	0,015826 .d.bw	0,0501	3,17%	
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	21,429	1,0000 .d.bw	1,0000 .d.bw	0,8054 .d	0,8054 .dF.bw	0,023000 .d.bw	0,021101 .d.bw	0,0685	3,25%	
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	4,0	0,4667 .d	26,786	1,2500 .d.bw	1,2500 .d.bw	0,8054 .d	1,0068 .dF.bw	0,028750 .d.bw	0,026376 .d.bw	0,0860	3,26%	
εc = 3,5 εs = 2,0	Jarquio	20,0	1,40	14,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	10,714	0,6818 .d.bw	0,6818 .d.bw	0,7346 .d	0,5009 .dF.bw	0,015682 .d.bw	0,014387 .d.bw	0,0871	6,05%	
	Jarquio	30,0	1,40	21,429	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	16,071	1,0227 .d.bw	1,0227 .d.bw	0,7346 .d	0,7513 .dF.bw	0,023523 .d.bw	0,021581 .d.bw	0,1336	6,19%	
	Jarquio	40,0	1,40	28,571	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	21,429	1,3636 .d.bw	1,3636 .d.bw	0,7346 .d	1,0018 .dF.bw	0,031364 .d.bw	0,028774 .d.bw	0,1758	6,11%	
	Jarquio	50,0	1,40	35,714	500,0	1,15	434,783	bw	d	3,5	2,0	0,6364 .d	26,786	1,7045 .d.bw	1,7045 .d.bw	0,7346 .d	1,2522 .dF.bw	0,039205 .d.bw	0,035968 .d.bw	0,2188	6,08%	

Como não é possível uma comparação direta das taxas de armadura, também foram definidos gráficos Momento ( $M_{Rd}/b_w \cdot d^2$ ) x Taxa de Armadura ( $A_s/b_w \cdot d$ )x100 para cada resistência característica de concreto (20,30,40 e 50MPa.)

A seguir são apresentados os gráficos e planilhas considerando momentos e taxas de armadura para as diferentes distribuições de tensão. Vale salientar que para o MC 90 não houve diferença alguma, pois até o concreto de 50 MPa a NBR 6118/2003 e o MC 90 são iguais.

Nos gráficos comparativos ( $M_{Rd} \times \% \Delta A_s$ ) nota-se a sobreposição de curvas para as distribuições de tensões da NBR 6118/2003 – Retângulo equivalente, ACI 318/2001 e Marino por este três resultarem em percentuais de diferenças de taxa de armadura muito aproximados.

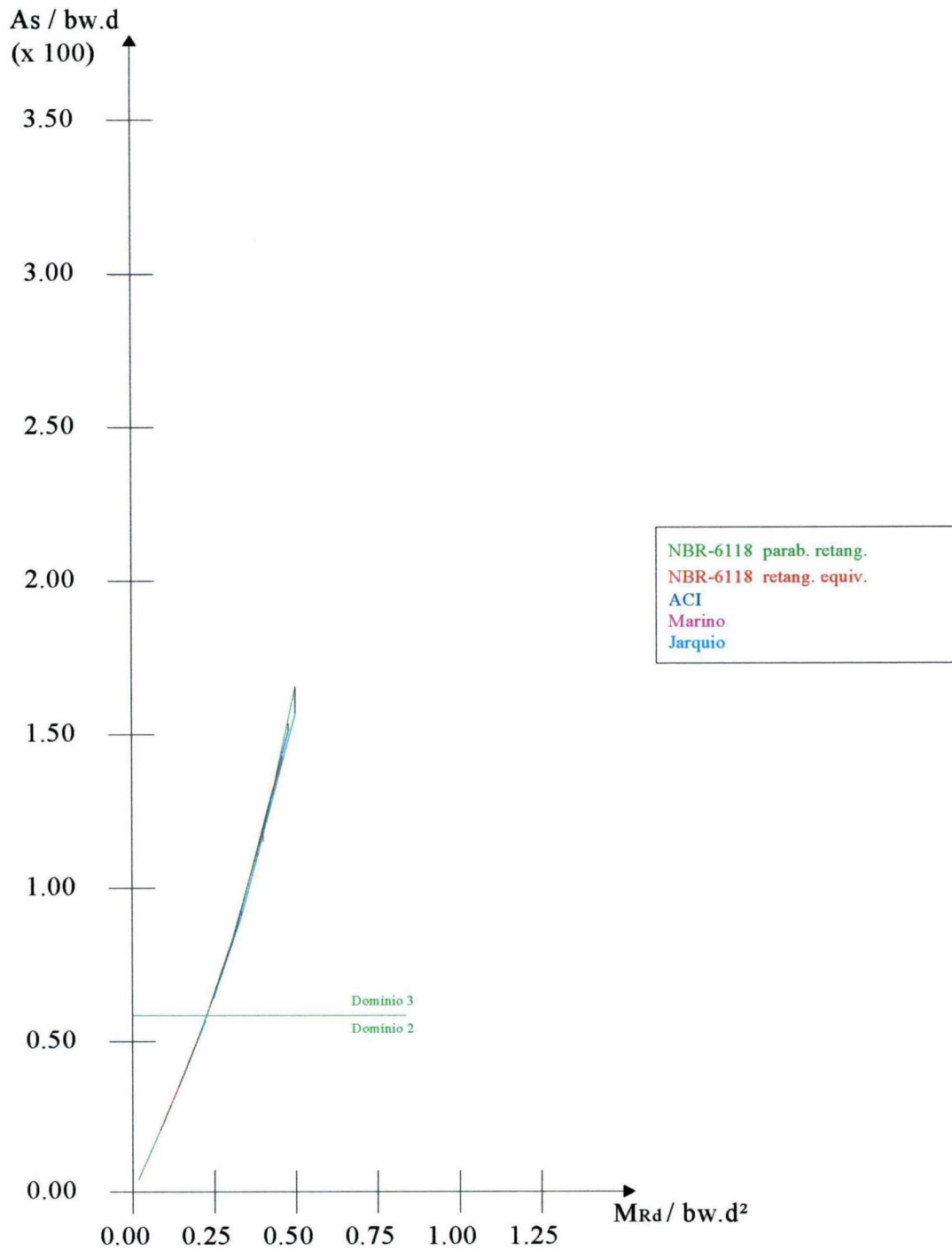
GRÁFICO 09 – TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  20MPaCONCRETO  $f_{ck}=20$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2 e 3

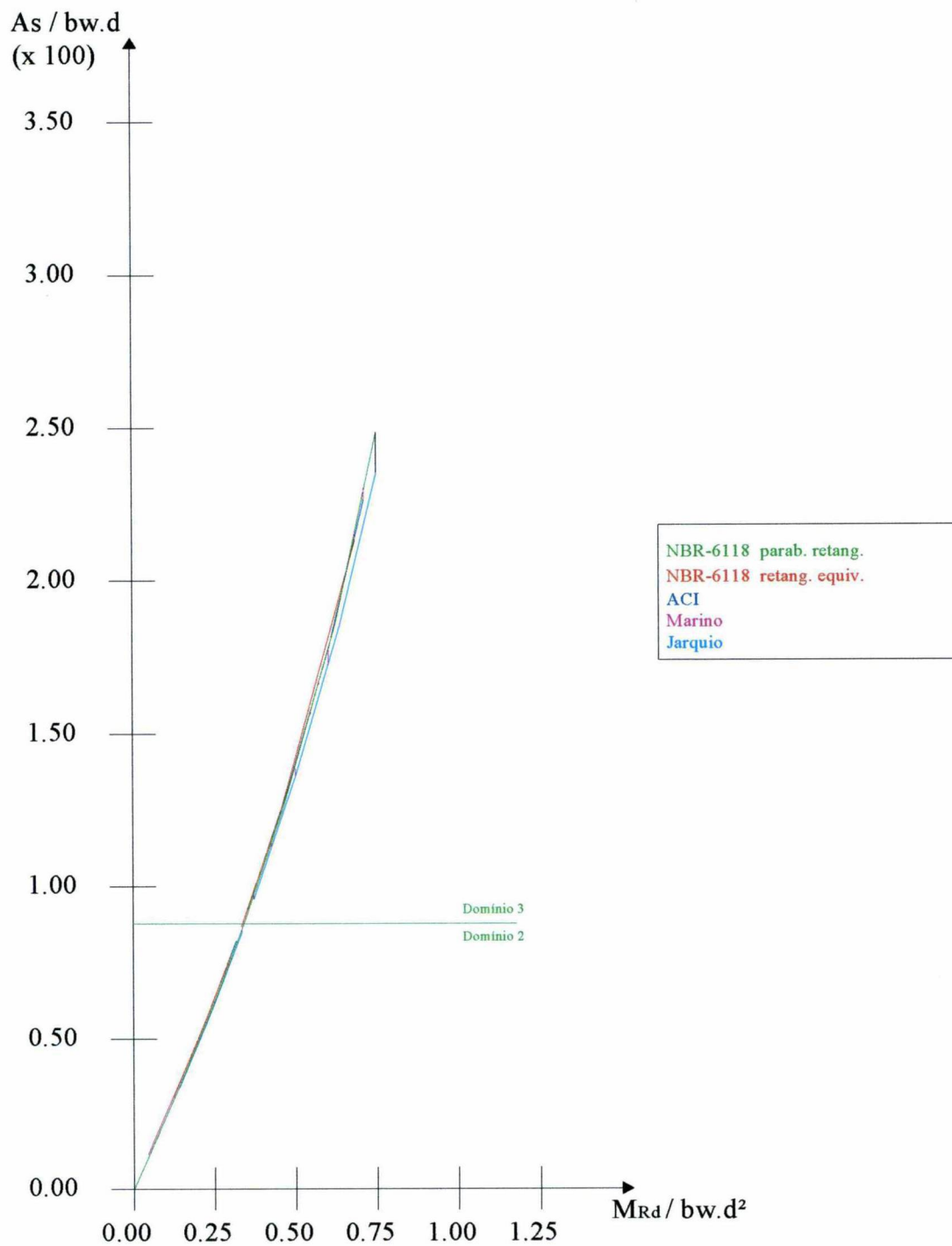
GRÁFICO 10 – TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  30MPaCONCRETO  $f_{ck}=30$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2 e 3

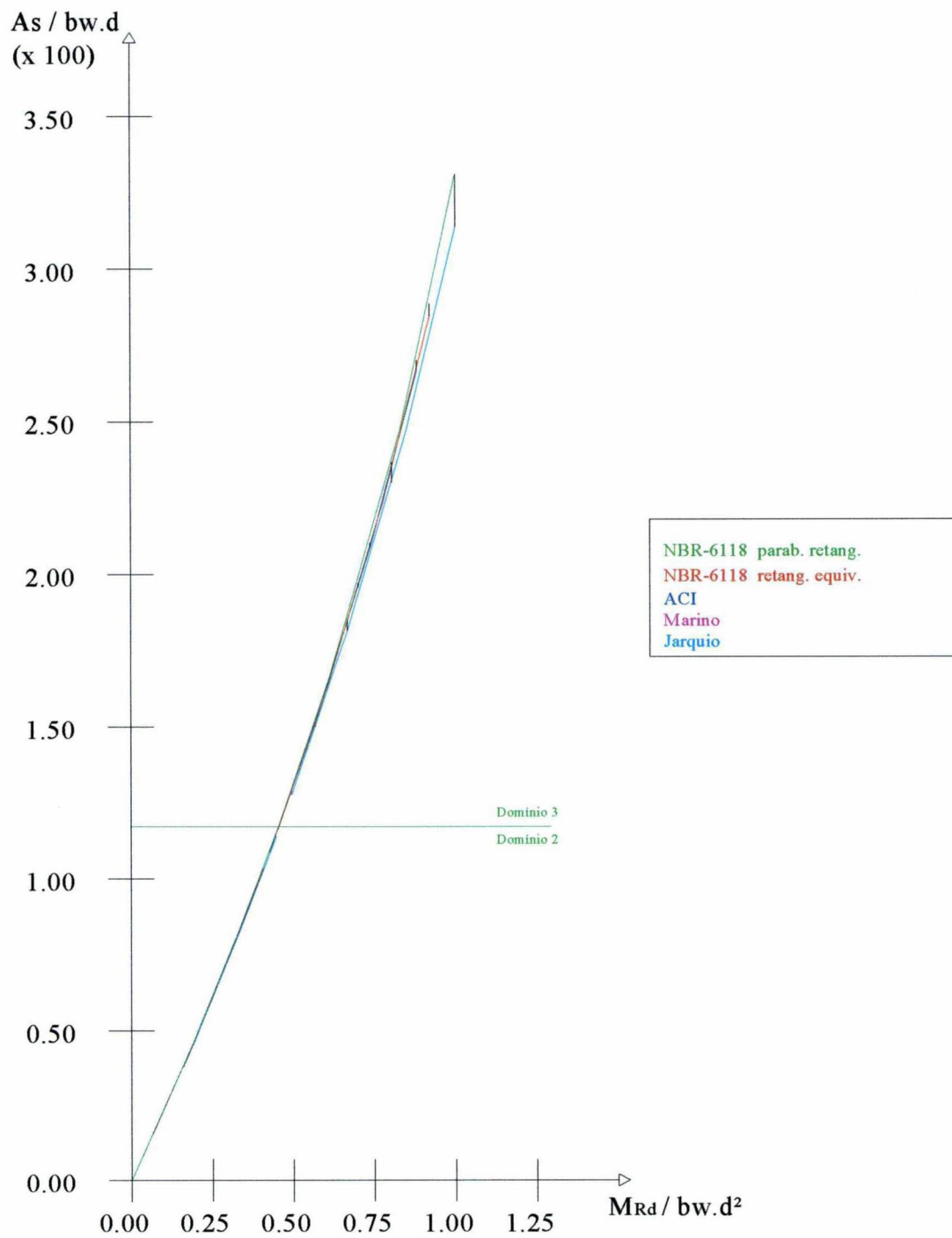
GRÁFICO 11 – TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  40MPaCONCRETO  $f_{ck}=40$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2 e 3

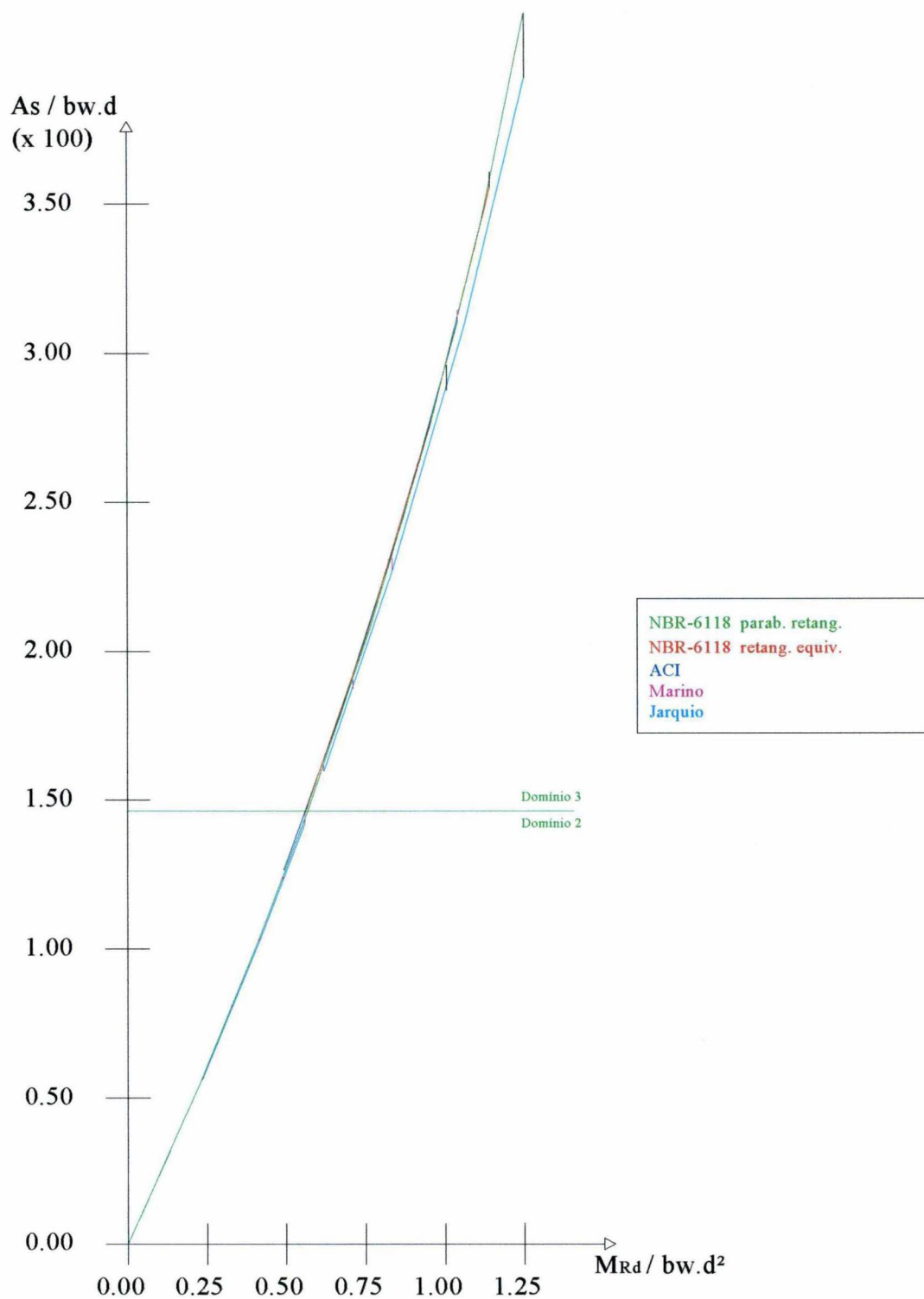
GRÁFICO 12 – TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  50MPaCONCRETO  $f_{ck}=50$  MPa, AÇO CA-50 - Domínio 2 e 3

GRÁFICO 13 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  20MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

Concreto $f_{ck}=20$ MPa		$M_{Rd}$	$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio
			0,2477	0,0027	0,0026	0,0000	0,0027
0,3010	0,0046	0,0045	0,0000	0,0046	0,0133		
0,3542	0,0074	0,0074	0,0000	0,0074	0,0220		
0,4101	0,0123	0,0123	0,0000	0,0123	0,0358		
0,4608	0,0207	0,0207	0,0000	0,0207	0,0584		

Concreto $f_{ck}=20$ MPa		$M_{Rd}$	$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio
			0,2477	0,42%	0,40%	0,00%	0,42%
0,3010	0,57%	0,56%	0,00%	0,57%	1,66%		
0,3542	0,75%	0,75%	0,00%	0,75%	2,25%		
0,4101	1,03%	1,03%	0,00%	1,03%	3,06%		
0,4608	1,46%	1,46%	0,00%	1,46%	4,22%		

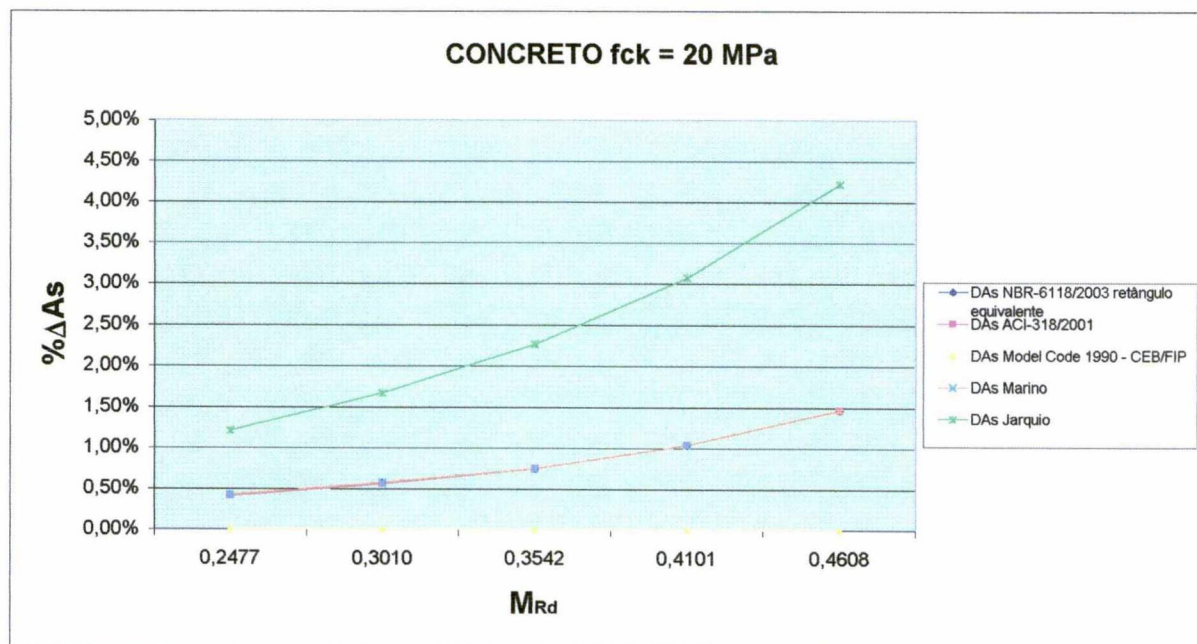


GRÁFICO 14 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 – F<sub>ck</sub> 30MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

Concreto fck=30 MPa		M <sub>Rd</sub>	ΔAs NBR-6118/2003 retângulo equivalente	ΔAs ACI-318/2001	ΔAs Model Code 1990 - CEB/FIP	ΔAs Marino	ΔAs Jarquio
			0,3716	0,0027	0,0026	0,0000	0,0027
		0,4515	0,0046	0,0045	0,0000	0,0046	0,0133
		0,5314	0,0074	0,0074	0,0000	0,0074	0,0220
		0,6113	0,0123	0,0123	0,0000	0,0123	0,0358
		0,6912	0,0207	0,0207	0,0000	0,0207	0,0584

Concreto fck=30 MPa		M <sub>Rd</sub>	ΔAs NBR-6118/2003 retângulo equivalente	ΔAs ACI-318/2001	ΔAs Model Code 1990 - CEB/FIP	ΔAs Marino	ΔAs Jarquio
			0,3716	0,42%	0,40%	0,00%	0,42%
		0,4515	0,57%	0,56%	0,00%	0,57%	1,66%
		0,5314	0,75%	0,75%	0,00%	0,75%	2,25%
		0,6113	1,03%	1,03%	0,00%	1,03%	3,06%
		0,6912	1,46%	1,46%	0,00%	1,46%	4,22%

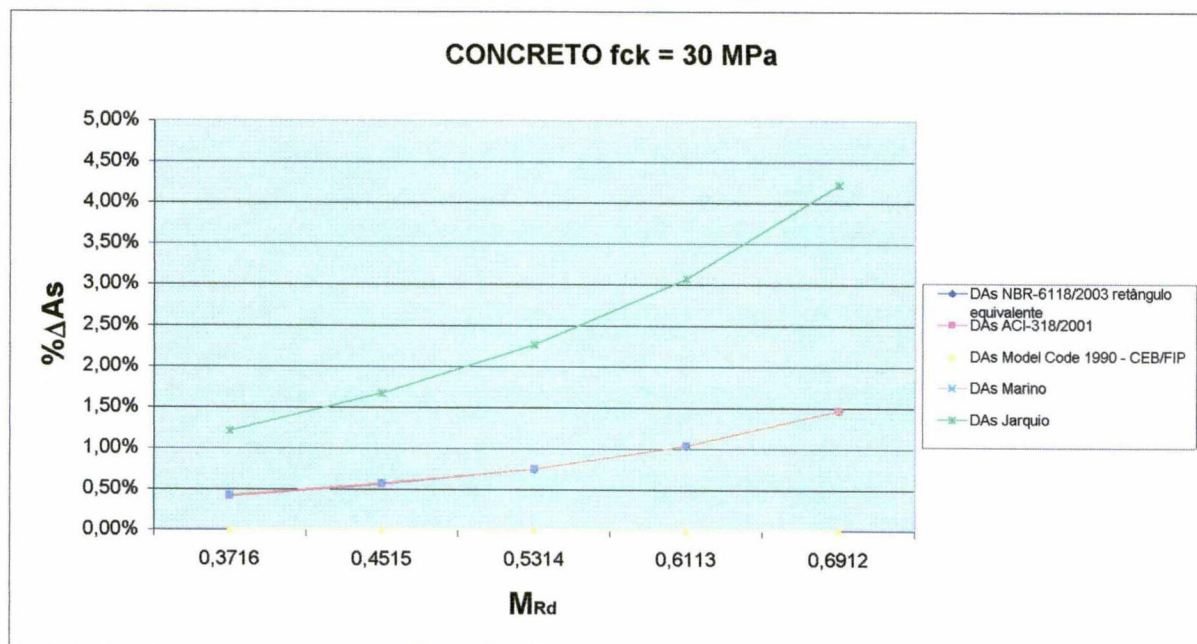


GRÁFICO 15 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  40MPa

COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

Concreto $f_{ck}=40$ MPa		$M_{Rd}$	$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio
			0,4955	0,0054	0,0055	0,0000	0,0054
0,5923	0,0088	0,0088	0,0000	0,0088	0,0257		
0,6890	0,0138	0,0139	0,0000	0,0138	0,0403		
0,7857	0,0217	0,0219	0,0000	0,0217	0,0627		
0,8825	0,0348	0,0351	0,0000	0,0348	0,0976		

Concreto $f_{ck}=40$ MPa		$M_{Rd}$	$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio
			0,4955	0,42%	0,43%	0,00%	0,42%
0,5923	0,55%	0,55%	0,00%	0,55%	1,64%		
0,6890	0,72%	0,73%	0,00%	0,72%	2,14%		
0,7857	0,96%	0,97%	0,00%	0,96%	2,82%		
0,8825	1,31%	1,32%	0,00%	1,31%	3,75%		

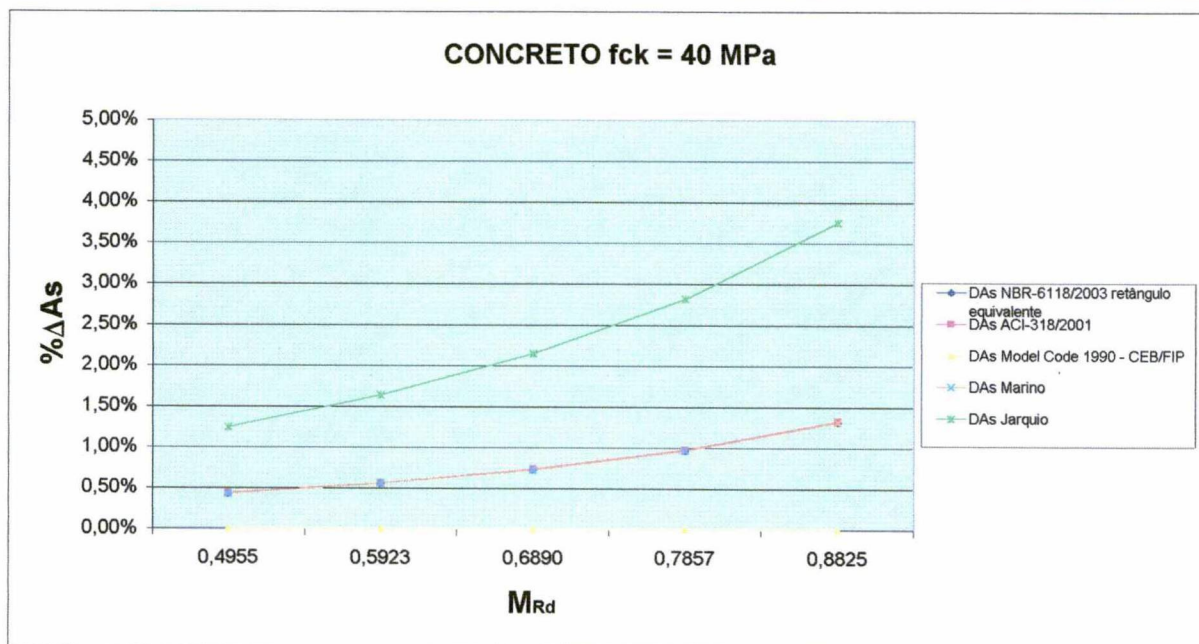
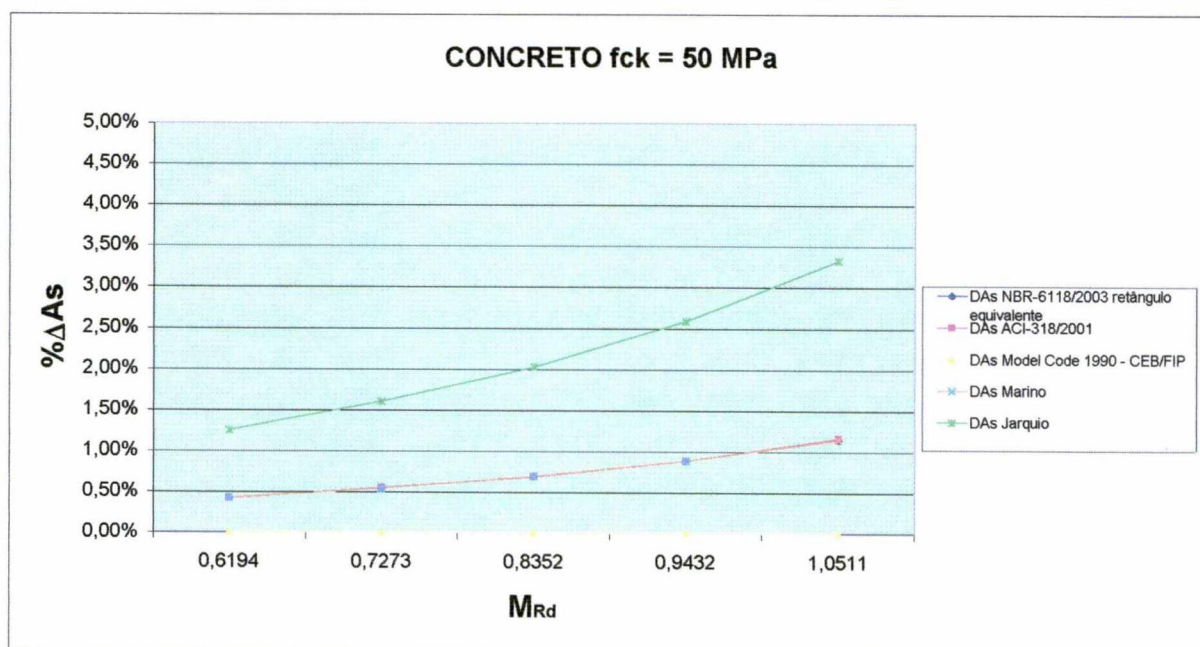


GRÁFICO 16 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA – D3 –  $f_{ck}$  50MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS COM A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=50$ MPa	$M_{Rd}$	0,6194	0,0067	0,0066	0,0000	0,0067	0,0199
		0,7273	0,0105	0,0106	0,0000	0,0105	0,0308
		0,8352	0,0159	0,0157	0,0000	0,0159	0,0458
		0,9432	0,0237	0,0236	0,0000	0,0237	0,0683
		1,0511	0,0356	0,0360	0,0000	0,0356	0,1010

		$\Delta As$ NBR-6118/2003 retângulo equivalente	$\Delta As$ ACI-318/2001	$\Delta As$ Model Code 1990 - CEB/FIP	$\Delta As$ Marino	$\Delta As$ Jarquio	
Concreto $f_{ck}=50$ MPa	$M_{Rd}$	0,6194	0,42%	0,41%	0,00%	0,42%	1,25%
		0,7273	0,54%	0,55%	0,00%	0,54%	1,60%
		0,8352	0,69%	0,68%	0,00%	0,69%	2,02%
		0,9432	0,88%	0,88%	0,00%	0,88%	2,59%
		1,0511	1,14%	1,16%	0,00%	1,14%	3,32%



## 6. CONCRETOS COM $f_{ck} > 50$ MPa

Embora a NBR 6118/2003 não seja aplicada para concretos com resistência superior a 50 MPa (Grupo II da NBR 8953/1992), foi realizado um estudo comparativo com o tradicional diagrama parábola-retângulo da NBR 6118/2003 usado como referência no Capítulo 5 desta dissertação. A comparação foi feita em relação à distribuições de tensões em regiões de concreto comprimido proposta pelo MC 90/CEB-FIP.

Optou-se pelo MC 90/CEB-FIP por este ter confiabilidade mundial, tratar a distribuição de tensões na região comprimida do concreto de forma semelhante a da NBR 6118/2003 para concretos do Grupo I e também por possuir uma normalização para concretos com resistência superior a 50 MPa.

A maneira escolhida para se efetuar a comparação foi através de planilhas considerando vigas de seção retangular e posterior verificação das diferenças de taxas de armadura (gráficos  $M_{Rd} \times A_s$ ). Para cada concreto, adotou-se o Domínio 3 e os valores pré-fixados foram:

a) Deformações estipuladas para o Domínio 3:

- $\epsilon_c$  = variável para cada  $f_{ck}$ ; e
- $\epsilon_s$  = 0,0020; 0,0040; 0,0060; 0,0080 e 0,0100.

b) Resistências adotadas para o concreto:

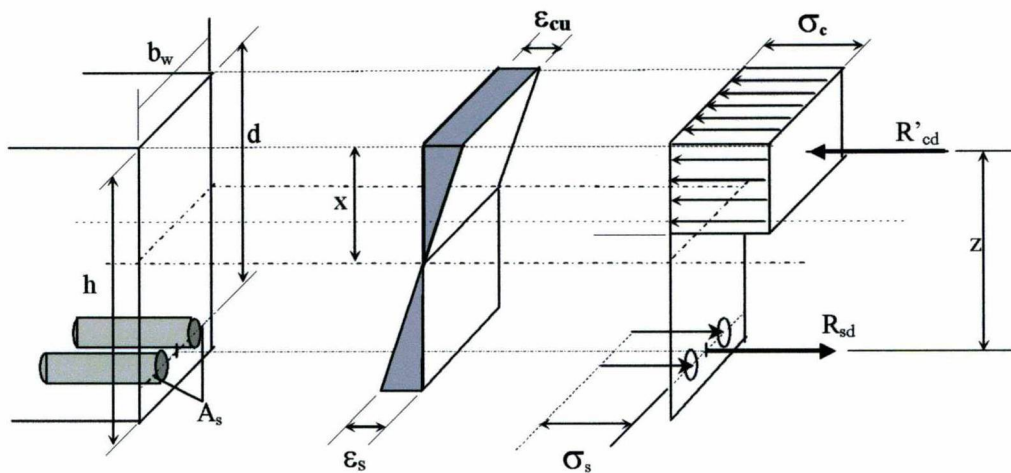
- $f_{ck}$  = 60, 70, 80 e 90 MPa.

Os valores e as formulações que são constantes para o Domínio 3, estão descritos a seguir (FIGURA 32):

- $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ , onde  $\gamma_c = 1,40$ ;
- $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$ , onde  $\gamma_s = 1,15$ ;
- $\epsilon_c$ ;

- $\epsilon_s$ ;
- $x$ ;
- $z$ ;
- $d$
- $R_{sd} = R'_{cd}$ ;
- $M_{Rd} = R'_{cd} \cdot z$ ; e
- $A_s = R_{sd} / f_{yd}$ .

FIGURA 32 - SEÇÃO FLETIDA - DOMÍNIO 3 – CONCRETOS DO GRUPO II



## 6.2. NBR 6118/2003 – PARÁBOLA-RETÂNGULO

Serão considerados os mesmos valores apresentados no item 5.3.2 desta dissertação, alterando a resistência do concreto. Como a NBR 6118/2003 não relaciona as deformações do concreto com sua resistência característica, simplesmente repete-se o formulário, inclusive os valores de “x”.

Como no Domínio 3,  $\epsilon_c$  é fixo em 3,5 ‰, as alturas “x” para cada  $\epsilon_s$ , em função de “d”, são:

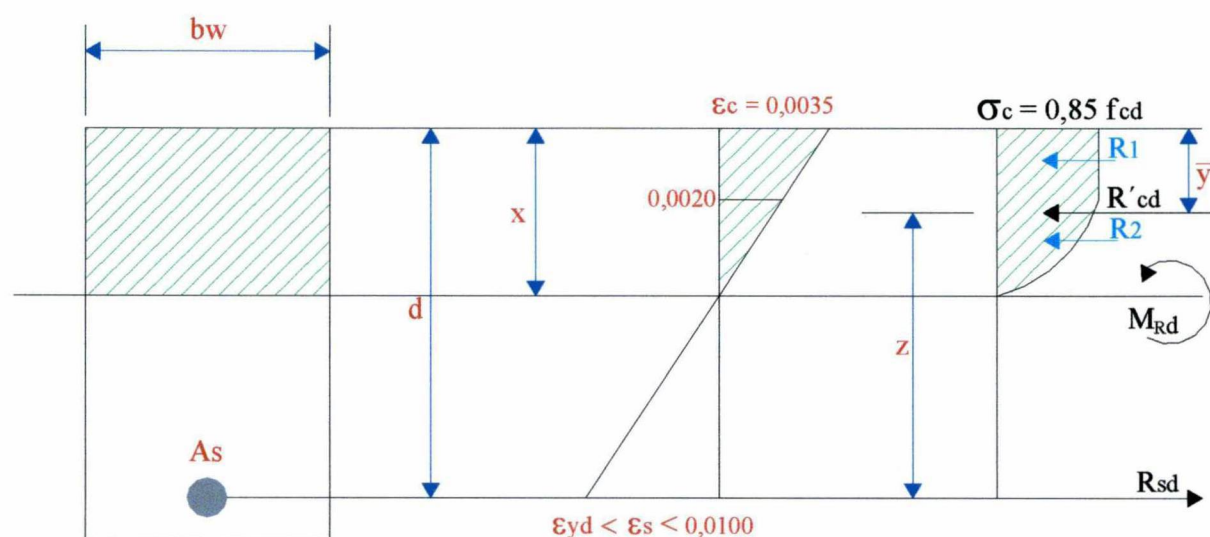
- $\epsilon_s = 0,0100 \rightarrow x = 0,2593.d$
- $\epsilon_s = 0,0080 \rightarrow x = 0,3043.d$
- $\epsilon_s = 0,0060 \rightarrow x = 0,3684.d$

$$- \varepsilon_s = 0,0040 \rightarrow x = 0,4667.d$$

$$- \varepsilon_s = 0,0020 \rightarrow x = 0,6364.d$$

A distribuição de tensões da NBR 6118/2003 para Domínio 3 e concretos do Grupo II corresponde a FIGURA 33.

FIGURA 33 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES DA NBR 6118/2003 - DOMÍNIO 3 – CONCRETOS DO GRUPO II



- Para todos  $\varepsilon_s$

$$R'_{cd} = R_1 + R_2 \rightarrow R'_{cd} = 0,8095 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

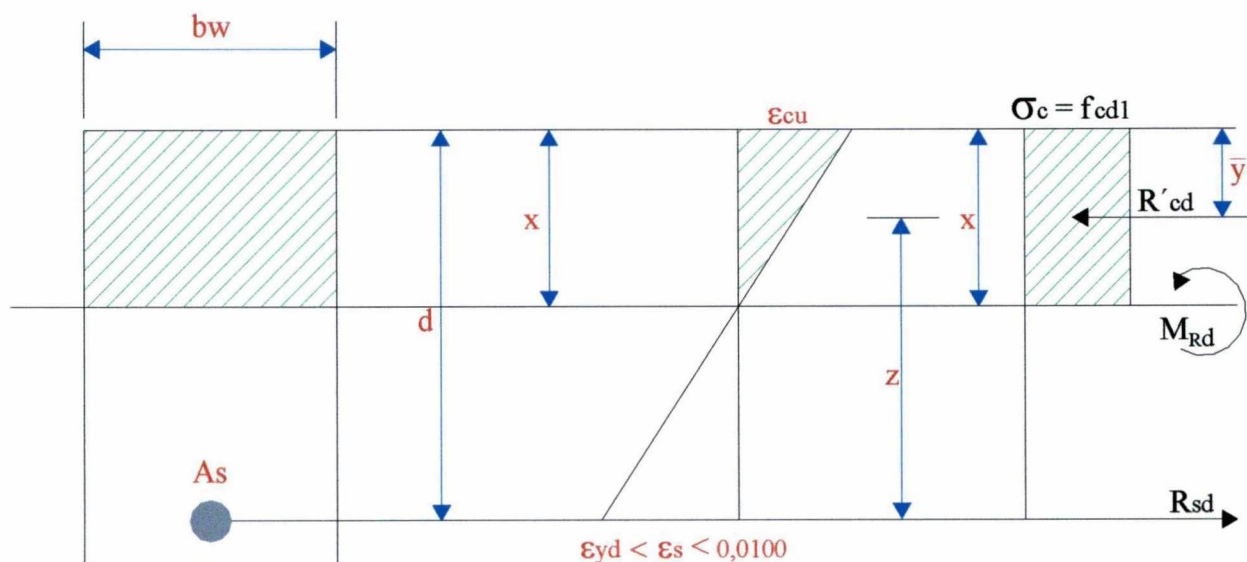
$$\bar{y} = 0,4159 \cdot x$$

$$z = d - 0,4159 \cdot x$$

## 6.2. MODEL CODE 1990/CEB-FIP

Para concretos com resistências superiores a 50 MPa o MC-90 admite para a distribuição de tensões na região comprimida a utilização de um retângulo equivalente conforme FIGURA 34, com a altura “x” e largura variáveis em função de  $f_{cd1}$ .

FIGURA 34 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES SEGUNDO O MC 90 – CONCRETOS DO GRUPO II



$$\varepsilon_{cu} = 0,004 - 0,002 \cdot (f_{ck}/100) \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (11)$$

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot (1 - (f_{ck}/250)) \cdot f_{cd} \quad (f_{ck} \text{ em MPa}) \quad (12)$$

**- Para  $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$**

$$\varepsilon_{cu} = 0,0028$$

$$x = 0,2188 \cdot d$$

$$f_{cd1} = 0,6460 \cdot f_{cd}$$

$$R'_{cd} = 0,6460 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,500 \cdot x$$

$$z = d - 0,500 \cdot x$$

**- Para  $f_{ck} = 70 \text{ MPa}$**

$$\varepsilon_{cu} = 0,0026$$

$$x = 0,2063 \cdot d$$

$$f_{cd1} = 0,6120 \cdot f_{cd}$$

$$R'_{cd} = 0,6120 \cdot x \cdot b_w \cdot \sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,500 \cdot x$$

$$z = d - 0,500 \cdot x$$

**- Para  $f_{ck} = 80$  MPa**

$$\epsilon_{cu} = 0,0024$$

$$x = 0,1935.d$$

$$f_{cd1} = 0,5780.f_{cd}$$

$$R'_{cd} = 0,5780.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,500.x$$

$$z = d - 0,500.x$$

**- Para  $f_{ck} = 90$  MPa**

$$\epsilon_{cu} = 0,0022$$

$$x = 0,1803.d$$

$$f_{cd1} = 0,5440.f_{cd}$$

$$R'_{cd} = 0,5440.x.b_w.\sigma_c$$

$$\bar{y} = 0,500.x$$

$$z = d - 0,500.x$$

### 6.3. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

A seguir serão apresentadas as planilhas e gráficos para os comparativos entre os dois modelos.

CONCRETOS DO GRUPO II - Domínio 3																		
	Referências	f <sub>ck</sub> (MPa)	γ <sub>c</sub>	f <sub>cd</sub> (MPa)	f <sub>yk</sub> (MPa)	γ <sub>s</sub>	f <sub>yd</sub> (MPa)	b <sub>w</sub> (cm)	d (cm)	ε <sub>c</sub> (‰)	ε <sub>s</sub> (‰)	x (cm)	σ <sub>c</sub> (MPa)	R' <sub>cd</sub>	R <sub>sd</sub>	z	M <sub>Rd</sub>	A <sub>s</sub>
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 10.0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 d	36,429	0,7645 d.bw	0,7645 d.bw	0,8922 d	0,6821 d <sup>2</sup> bw	0,017584 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 d	42,500	0,8919 d.bw	0,8919 d.bw	0,8922 d	0,7958 d <sup>2</sup> bw	0,020515 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 d	48,571	1,0194 d.bw	1,0194 d.bw	0,8922 d	0,9095 d <sup>2</sup> bw	0,023446 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	10,0	0,2593 d	54,643	1,1468 d.bw	1,1468 d.bw	0,8922 d	1,0231 d <sup>2</sup> bw	0,026376 d.bw
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 8.0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 d	36,429	0,8975 d.bw	0,8975 d.bw	0,8734 d	0,7839 d <sup>2</sup> bw	0,020642 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 d	42,500	1,0471 d.bw	1,0471 d.bw	0,8734 d	0,9145 d <sup>2</sup> bw	0,024083 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 d	48,571	1,1967 d.bw	1,1967 d.bw	0,8734 d	1,0452 d <sup>2</sup> bw	0,027523 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	8,0	0,3043 d	54,643	1,3462 d.bw	1,3462 d.bw	0,8734 d	1,1758 d <sup>2</sup> bw	0,030963 d.bw
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 6.0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 d	36,429	1,0864 d.bw	1,0864 d.bw	0,8468 d	0,9200 d <sup>2</sup> bw	0,024988 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 d	42,500	1,2675 d.bw	1,2675 d.bw	0,8468 d	1,0733 d <sup>2</sup> bw	0,029153 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 d	48,571	1,4486 d.bw	1,4486 d.bw	0,8468 d	1,2266 d <sup>2</sup> bw	0,033317 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	6,0	0,3684 d	54,643	1,6297 d.bw	1,6297 d.bw	0,8468 d	1,3799 d <sup>2</sup> bw	0,037482 d.bw
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 4.0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 d	36,429	1,3762 d.bw	1,3762 d.bw	0,8059 d	1,1091 d <sup>2</sup> bw	0,031651 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 d	42,500	1,6055 d.bw	1,6055 d.bw	0,8059 d	1,2939 d <sup>2</sup> bw	0,036927 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 d	48,571	1,8349 d.bw	1,8349 d.bw	0,8059 d	1,4787 d <sup>2</sup> bw	0,042202 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	4,0	0,4667 d	54,643	2,0642 d.bw	2,0642 d.bw	0,8059 d	1,6636 d <sup>2</sup> bw	0,047477 d.bw
ε <sub>c</sub> = 3.5 ε <sub>s</sub> = 2.0	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 d	36,429	1,8766 d.bw	1,8766 d.bw	0,7353 d	1,3799 d <sup>2</sup> bw	0,043161 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 d	42,500	2,1893 d.bw	2,1893 d.bw	0,7353 d	1,6099 d <sup>2</sup> bw	0,050355 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 d	48,571	2,5021 d.bw	2,5021 d.bw	0,7353 d	1,8399 d <sup>2</sup> bw	0,057548 d.bw
	NBR-6118/2003 parábola-retângulo	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	b <sub>w</sub>	d	3,5	2,0	0,6364 d	54,643	2,8149 d.bw	2,8149 d.bw	0,7353 d	2,0699 d <sup>2</sup> bw	0,064742 d.bw

CONCRETOS DO GRUPO II - Domínio 3																		
	Referências	fck (MPa)	$\gamma_c$	fcd (MPa)	fyk (MPa)	$\gamma_s$	fyd (MPa)	bw (cm)	d (cm)	$\epsilon_c$ (‰)	$\epsilon_s$ (‰)	x (cm)	$\sigma_c$ (MPa)	R'cd	Rsd	z	MRd	As
$\epsilon_c = \text{máx}$ $\epsilon_s = 10.0$	Model Code 1990 - CEB/FIP	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,8	10,0	0,2188 d	27,686	0,6056 .d .bw	0,6056 .d .bw	0,8906 .d	0,5394 .d <sup>2</sup> .bw	0,013929 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,6	10,0	0,2063 d	30,600	0,6314 .d .bw	0,6314 .d .bw	0,8968 .d	0,5663 .d <sup>2</sup> .bw	0,014523 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,4	10,0	0,1935 d	33,029	0,6393 .d .bw	0,6393 .d .bw	0,9032 .d	0,5774 .d <sup>2</sup> .bw	0,014703 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,2	10,0	0,1803 d	34,971	0,6306 .d .bw	0,6306 .d .bw	0,9098 .d	0,5738 .d <sup>2</sup> .bw	0,014505 .d .bw
$\epsilon_c = \text{máx}$ $\epsilon_s = 8.0$	Model Code 1990 - CEB/FIP	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,8	8,0	0,2593 d	27,686	0,7178 .d .bw	0,7178 .d .bw	0,8704 .d	0,6247 .d <sup>2</sup> .bw	0,016509 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,6	8,0	0,2453 d	30,600	0,7506 .d .bw	0,7506 .d .bw	0,8774 .d	0,6585 .d <sup>2</sup> .bw	0,017263 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,4	8,0	0,2308 d	33,029	0,7622 .d .bw	0,7622 .d .bw	0,8846 .d	0,6743 .d <sup>2</sup> .bw	0,017531 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,2	8,0	0,2157 d	34,971	0,7543 .d .bw	0,7543 .d .bw	0,8922 .d	0,6729 .d <sup>2</sup> .bw	0,017349 .d .bw
$\epsilon_c = \text{máx}$ $\epsilon_s = 6.0$	Model Code 1990 - CEB/FIP	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,8	6,0	0,3182 d	27,686	0,8809 .d .bw	0,8809 .d .bw	0,8409 .d	0,7408 .d <sup>2</sup> .bw	0,020261 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,6	6,0	0,3023 d	30,600	0,9251 .d .bw	0,9251 .d .bw	0,8488 .d	0,7853 .d <sup>2</sup> .bw	0,021278 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,4	6,0	0,2857 d	33,029	0,9437 .d .bw	0,9437 .d .bw	0,8571 .d	0,8089 .d <sup>2</sup> .bw	0,021704 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,2	6,0	0,2683 d	34,971	0,9383 .d .bw	0,9383 .d .bw	0,8659 .d	0,8124 .d <sup>2</sup> .bw	0,021580 .d .bw
$\epsilon_c = \text{máx}$ $\epsilon_s = 4.0$	Model Code 1990 - CEB/FIP	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,8	4,0	0,4118 d	27,686	1,1400 .d .bw	1,1400 .d .bw	0,7941 .d	0,9053 .d <sup>2</sup> .bw	0,026220 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,6	4,0	0,3939 d	30,600	1,2055 .d .bw	1,2055 .d .bw	0,803 .d	0,9680 .d <sup>2</sup> .bw	0,027725 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,4	4,0	0,3750 d	33,029	1,2386 .d .bw	1,2386 .d .bw	0,8125 .d	1,0063 .d <sup>2</sup> .bw	0,028487 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,2	4,0	0,3548 d	34,971	1,2409 .d .bw	1,2409 .d .bw	0,8226 .d	1,0208 .d <sup>2</sup> .bw	0,028541 .d .bw
$\epsilon_c = \text{máx}$ $\epsilon_s = 2.0$	Model Code 1990 - CEB/FIP	60,0	1,40	42,857	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,8	2,0	0,5833 d	27,686	1,6150 .d .bw	1,6150 .d .bw	0,7083 .d	1,1440 .d <sup>2</sup> .bw	0,037145 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	70,0	1,40	50,000	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,6	2,0	0,5652 d	30,600	1,7296 .d .bw	1,7296 .d .bw	0,7174 .d	1,2408 .d <sup>2</sup> .bw	0,039780 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	80,0	1,40	57,143	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,4	2,0	0,5455 d	33,029	1,8016 .d .bw	1,8016 .d .bw	0,7273 .d	1,3102 .d <sup>2</sup> .bw	0,041436 .d .bw
	Model Code 1990 - CEB/FIP	90,0	1,40	64,286	500,0	1,15	434,783	bw	d	2,2	2,0	0,5238 d	34,971	1,8318 .d .bw	1,8318 .d .bw	0,7381 .d	1,3521 .d <sup>2</sup> .bw	0,042132 .d .bw

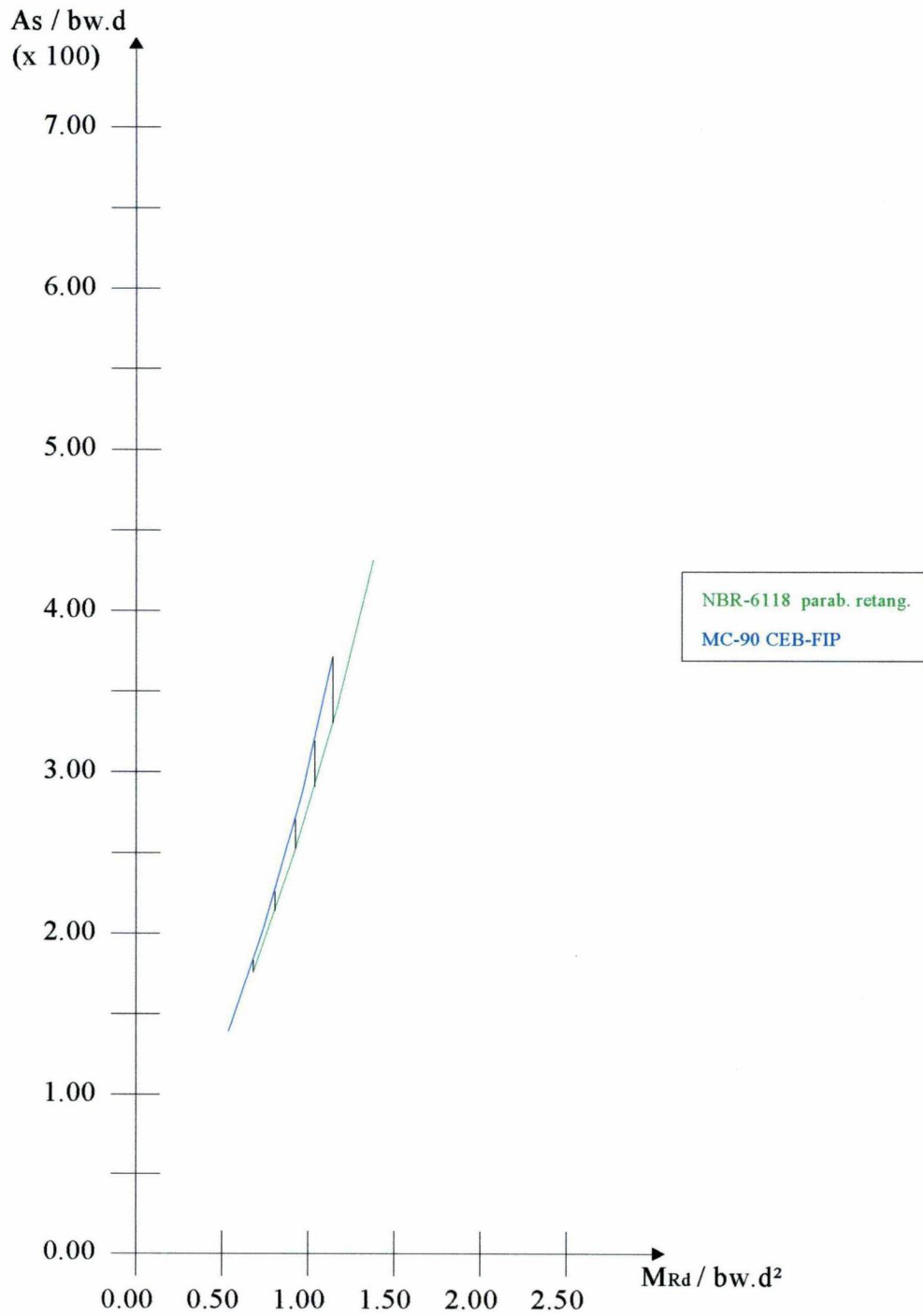
GRÁFICO 17 -  $M_{RD}$  X TAXAS DE ARMADURA -  $f_{ck}$  60 MPaCONCRETO  $f_{ck}=60$  MPa, AÇO CA-50

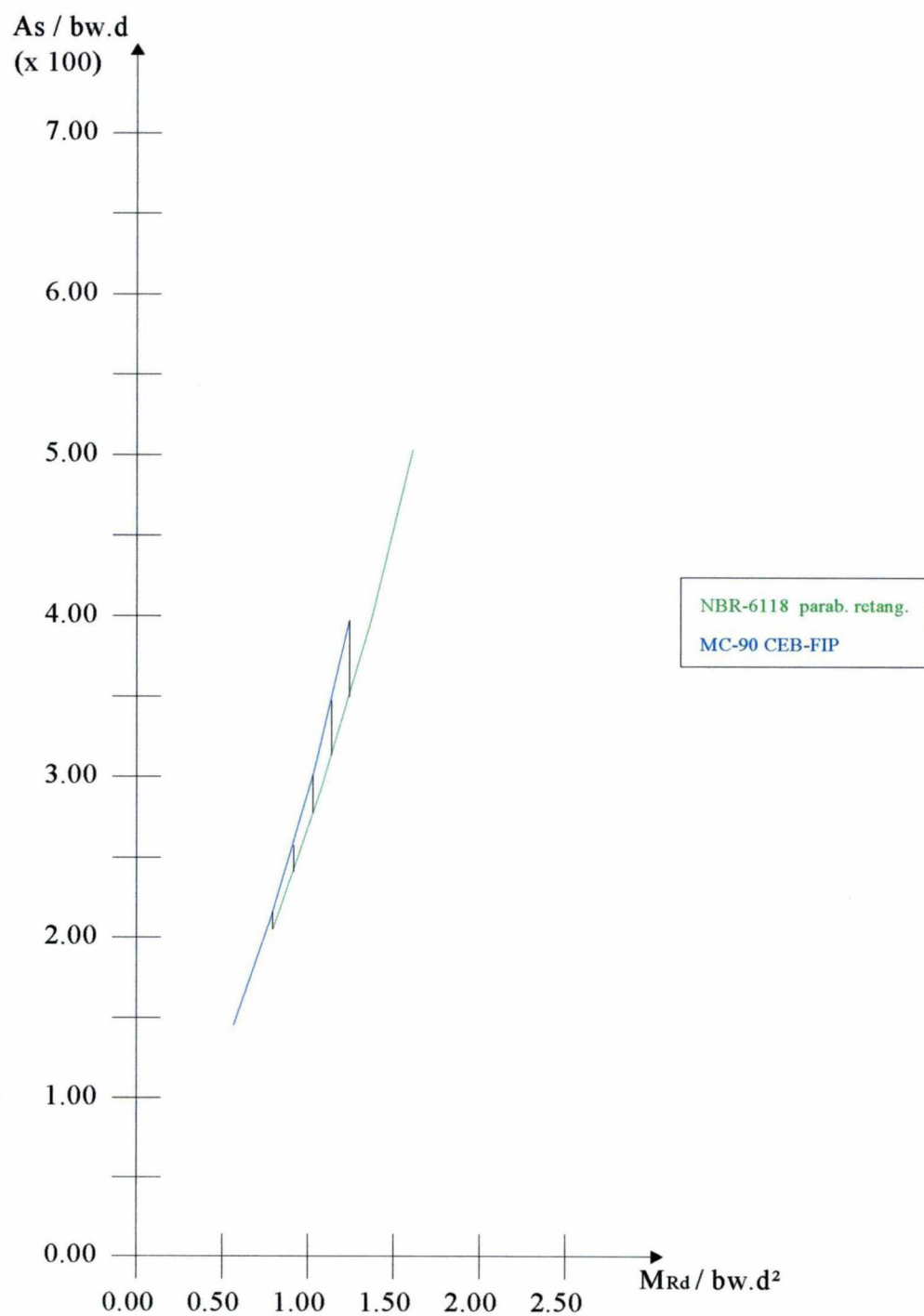
GRÁFICO 18 -  $M_{RD}$  X TAXAS DE ARMADURA -  $f_{ck}$  70 MPaCONCRETO  $f_{ck}=70$  MPa, AÇO CA-50

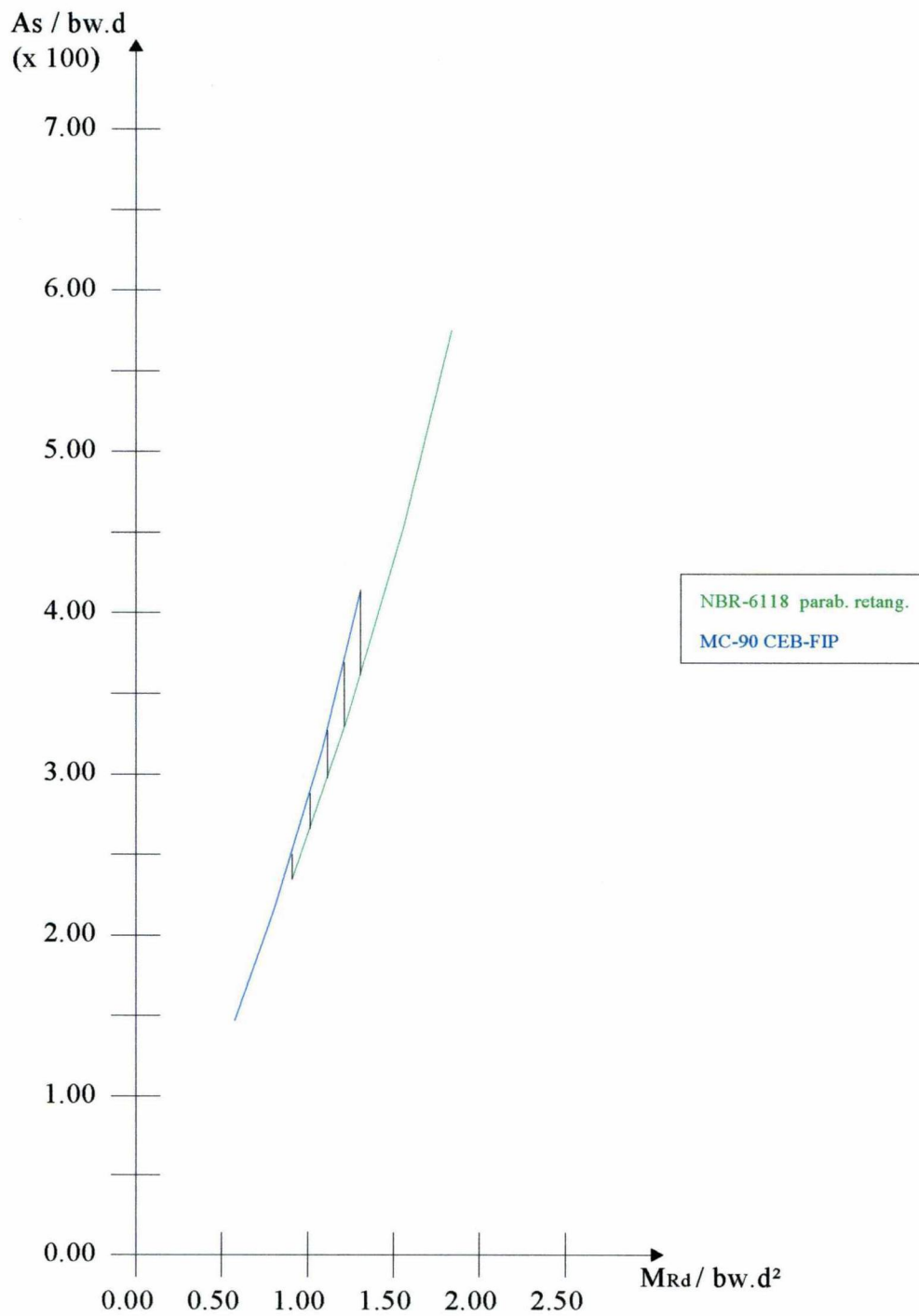
GRÁFICO 19 -  $M_{RD}$  X TAXAS DE ARMADURA -  $f_{ck}$  80 MPaCONCRETO  $f_{ck}=80$  MPa, AÇO CA-50

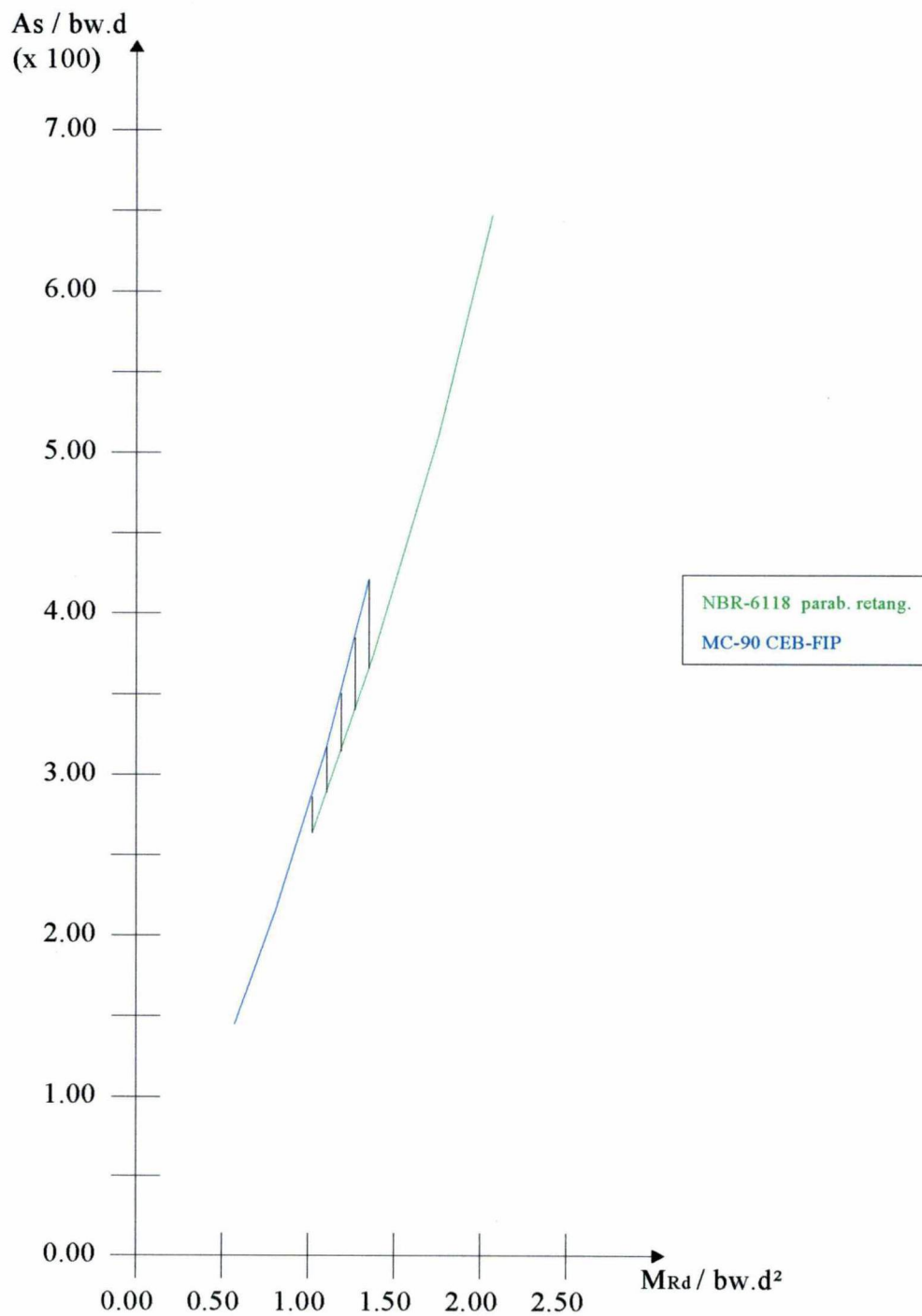
GRÁFICO 20 -  $M_{RD}$  X TAXAS DE ARMADURA -  $f_{ck}$  90 MPaCONCRETO  $f_{ck}=90$  MPa, AÇO CA-50

GRÁFICO 21 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA –  $f_{ck}$  60 MPa

COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS ENTRE A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO E MC-90/CEB-FIP

			$A_s$ do MC-90	$A_s$ da NBR-6118/2003	$\Delta A_s$	% $\Delta A_s$
<b>Concreto <math>f_{ck}=60</math> MPa</b>	<b>M<sub>Rd</sub></b>	0,6821	1,8326	1,7584	0,0742	4,22%
		0,8084	2,2602	2,1401	0,1201	5,61%
		0,9276	2,7103	2,5240	0,1863	7,38%
		1,0396	3,1908	2,9100	0,2808	9,65%
		1,1140	3,7145	3,2982	0,4163	12,62%

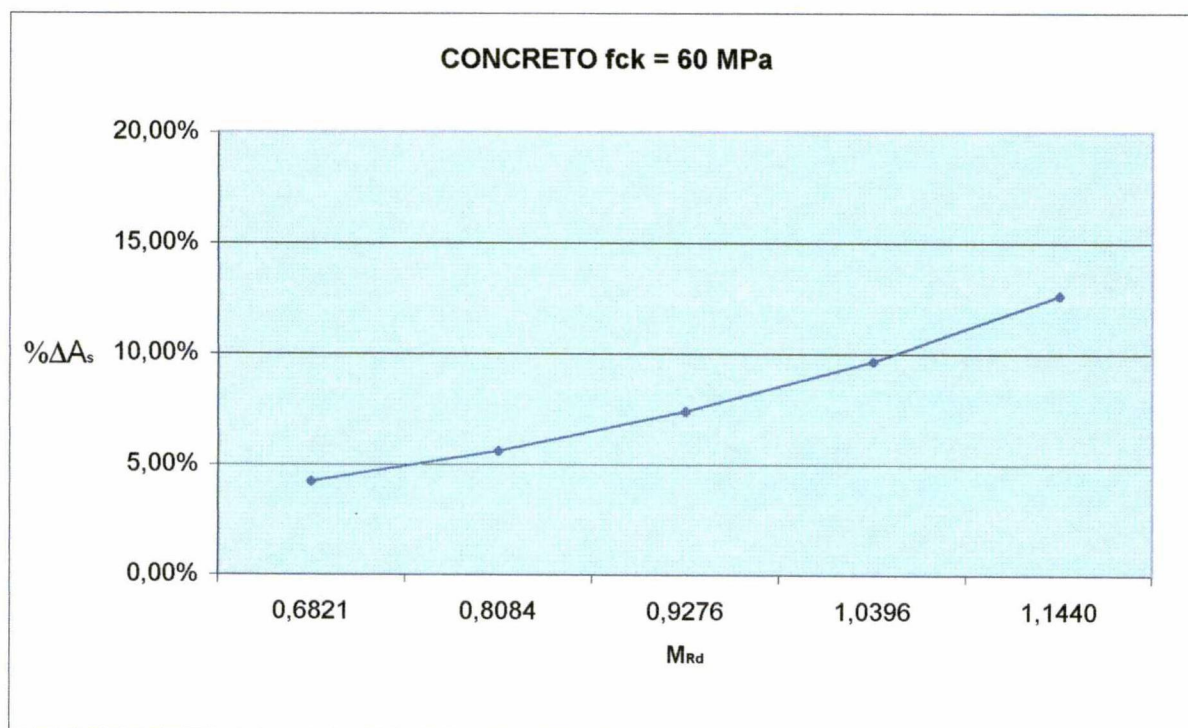


GRÁFICO 22 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA -  $f_{ck}$  70 MPa

COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS ENTRE A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO E MC-90/CEB-FIP

			$A_s$ do MC-90	$A_s$ da NBR-6118/2003	$\Delta A_s$	% $\Delta A_s$
Concreto $f_{ck}=70$ MPa	MRd	0,7958	2,1625	2,0515	0,1110	5,41%
		0,9151	2,5761	2,4102	0,1659	6,88%
		1,0291	3,0115	2,7705	0,2410	8,70%
		1,1378	3,4755	3,1325	0,3430	10,95%
		1,2408	3,9780	3,4962	0,4818	13,78%

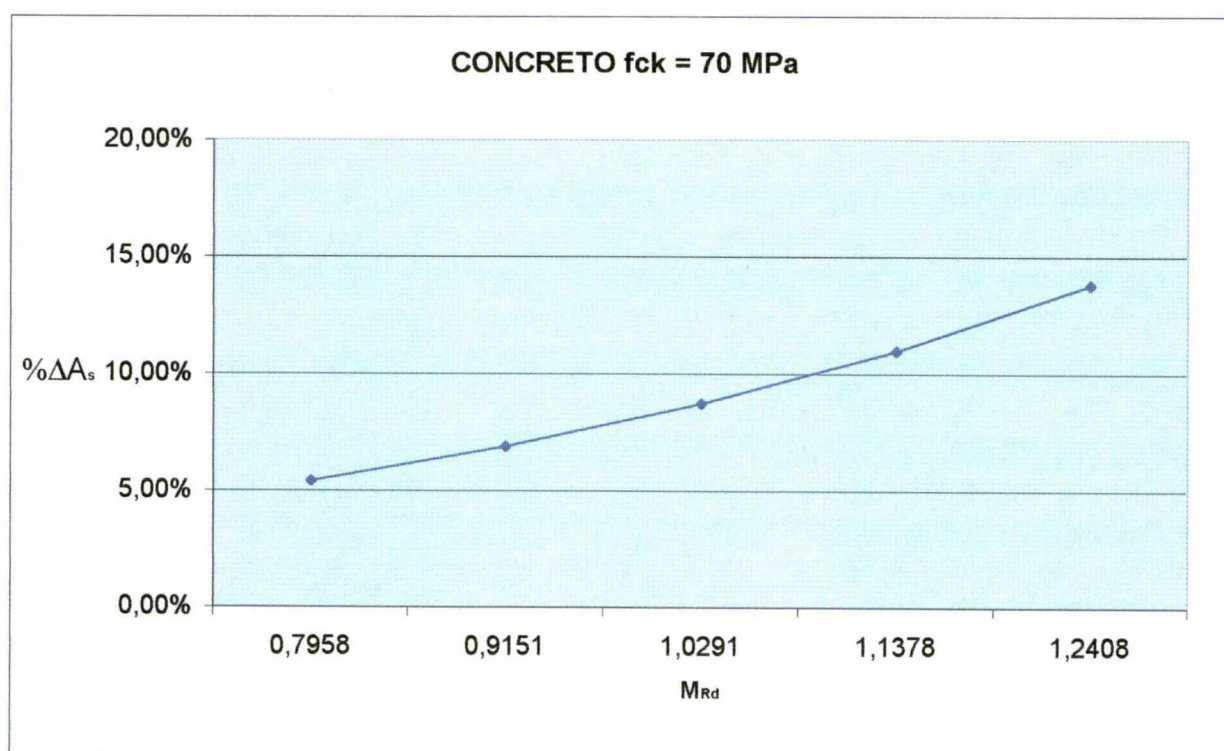


GRÁFICO 23 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA –  $f_{ck}$  80 MPa

COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS ENTRE A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO E MC-90/CEB-FIP

			$A_s$ do MC-90	$A_s$ da NBR-6118/2003	$\Delta A_s$	% $\Delta A_s$
<b>Concreto <math>f_{ck}=80</math> MPa</b>	<b>M<sub>Rd</sub></b>	0,9095	2,5045	2,3446	0,1599	6,82%
		1,0151	2,8814	2,6602	0,2212	8,32%
		1,1171	3,2765	2,9770	0,2995	10,06%
		1,2155	3,6948	3,2950	0,3998	12,13%
		1,3102	4,1436	3,6140	0,5296	14,65%

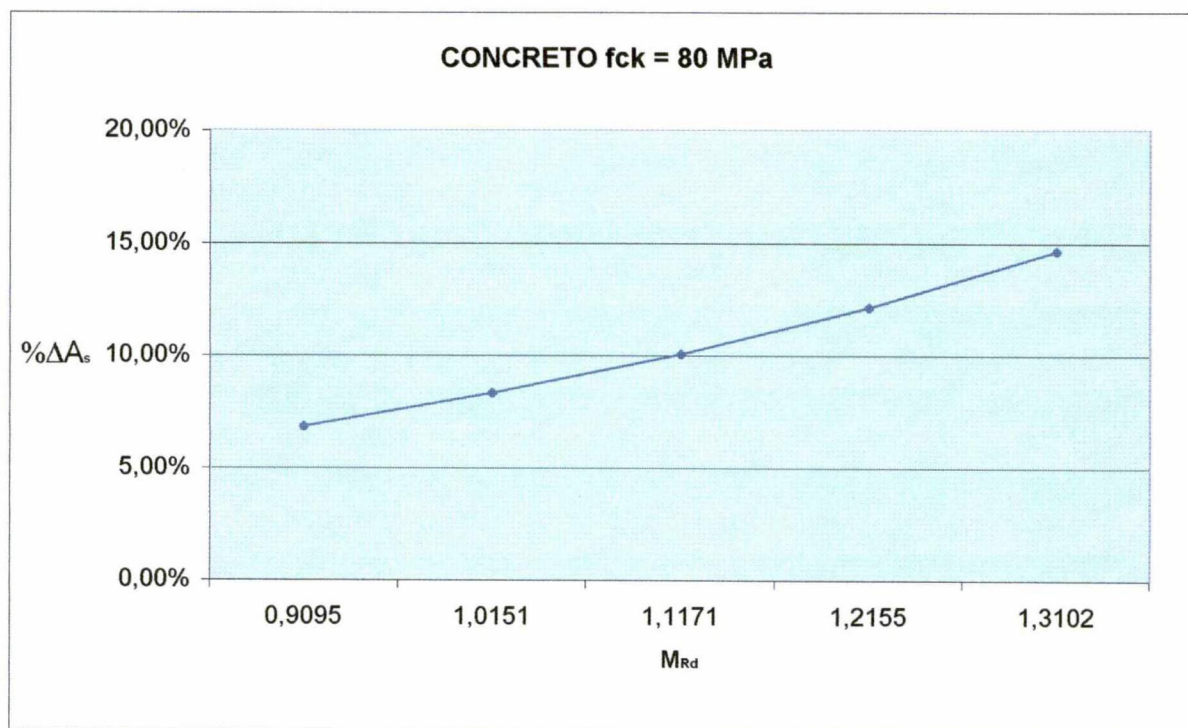
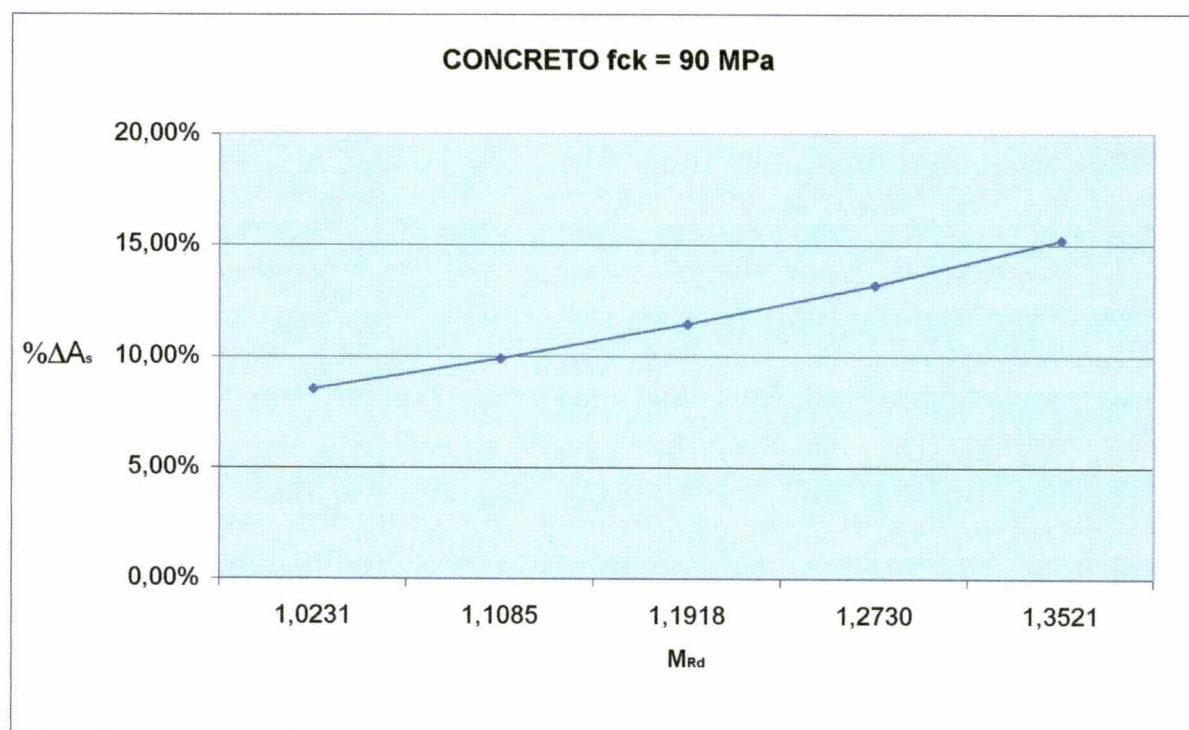


GRÁFICO 24 – COMPARATIVO DE TAXAS DE ARMADURA -  $f_{ck}$  90 MPa

## COMPARATIVO DE DIFERENÇA DE TAXA DE ARMADURA PARA MOMENTOS FIXADOS ENTRE A NBR-6118/2003 - PARÁBOLA-RETÂNGULO E MC-90/CEB-FIP

			$A_s$ do MC-90	$A_s$ da NBR-6118/2003	$\Delta A_s$	% $\Delta A_s$
<b>Concreto <math>f_{ck}=90</math> MPa</b>	<b><math>M_{Rd}</math></b>	1,0231	2,8623	2,6376	0,2247	8,52%
		1,1085	3,1772	2,8913	0,2859	9,89%
		1,1918	3,5053	3,1457	0,3596	11,43%
		1,2730	3,8494	3,4008	0,4486	13,19%
		1,3521	4,2132	3,6565	0,5567	15,22%



Para quantificar as diferenças de taxa de armadura, e suas respectivas percentagens, empregou-se momentos comuns as curvas do MC 90 e da NBR 6118/2003. Para todos os concretos foram tomados cinco pontos, o menor valor sendo o momento da NBR 6118/2003 e o maior do MC 90. Os três momentos restantes foram tomados de pontos intermediários a estes.

A maior diferença de taxa de armadura ocorreu, como era de se esperar, para o concreto de 90 MPa, chegando a 15,22%. Para o concreto de 60 MPa chegou-se a diferenças de taxa de armadura da ordem de 12,00%.

Ao contrário do que ocorreu para os concretos do Grupo I, todas as taxas de armadura correspondente a NBR 6118/2003 resultam inferiores às do MC 90.

Pelos resultados obtidos fica evidente que a utilização do diagrama tensão-deformação da NBR 6118/2003 para concretos do Grupo II ( $f_{ck} > 50$  MPa) não é possível.

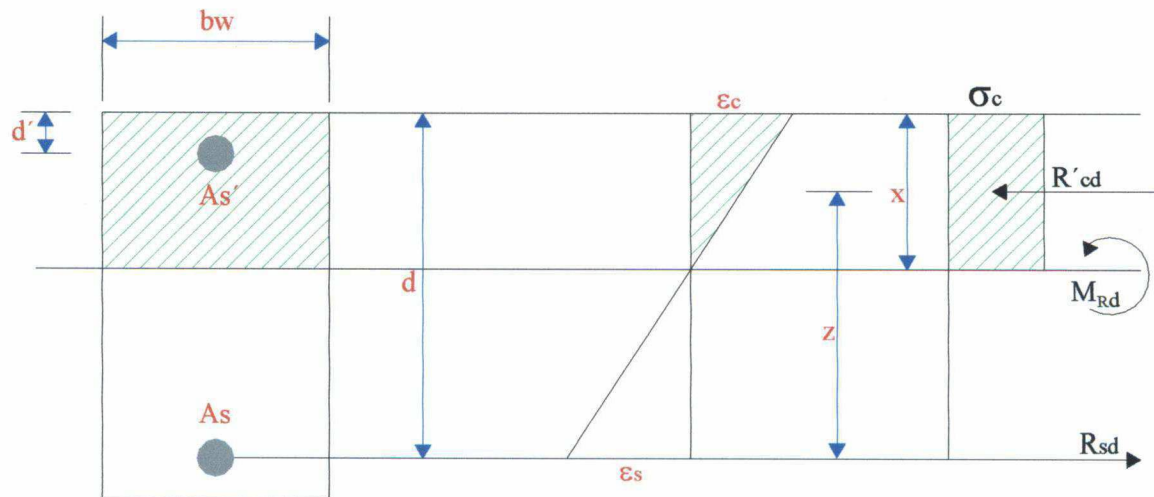
#### 6.4. PLANILHAS DE CÁLCULO PARA CONCRETOS DO GRUPO II

Diante dos resultados observados nas comparações dos concretos do Grupo II, resolveu-se apresentar planilhas de dimensionamento, considerando concretos com  $f_{ck} > 50$  MPa, para vigas de seções retangulares ou seções “T” sujeitas à flexão simples. O modelo da planilha escolhido foi a do curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Paraná (MARINO (1985)), tomando como base o MC 90.

O aço que escolhido foi o CA-50, e os concretos foram todos os do Grupo II (C55, C60, C70 e C80).

Para as distribuições de tensão na região comprimida foi adotado o modelo do retângulo equivalente do MC 90, como mostrado na FIGURA 35.

FIGURA 35 – DISTRIBUIÇÃO DE TENSÕES PARA CONCRETOS DO GRUPO II – ADAPTAÇÃO DO MC 90



Os parâmetros apresentados nas planilhas correspondem a:

$$\beta_x = x / d$$

$$\beta_z = z / d$$

$$\beta_c = 0,85 \cdot (1 - (f_{ck}/250)) \cdot \beta_x \cdot \beta_z \quad (f_{ck} \text{ em MPa})$$

$$\beta_s = \sigma_s / f_{yd}$$

$$\beta_s' = \sigma_s' / f_{yd}$$

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

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$$

$$R'_{cd} = [0,85 \cdot (1 - (f_{ck}/250)) \cdot \beta_x \cdot \beta_z] \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} \quad (f_{ck} \text{ em MPa})$$

$$R_{sd} = A_s \cdot \sigma_s$$

As equações básicas para dimensionamento resultam:

$$\boxed{M_{Rd} = \beta_c \cdot (b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} \quad (13)$$

e

$$\boxed{A_s = \frac{M_{Rd}}{\beta_z \cdot d \cdot \beta_s \cdot f_{yd}}} \quad (14)$$









## 7. CONCLUSÕES

### 7.1. CONCLUSÕES GERAIS

Pela pesquisa podemos concluir que, para concretos com resistência característica até 50 MPa, todos os modelos apresentados se comportaram bem e com resultados muito próximos. Foram mostradas as diferenças para as morfologias dos diagramas tensão-deformação e suas correspondentes distribuições de tensões em regiões comprimidas de elementos de concreto armado sujeitos à flexão simples.

A NBR 6118/2003 se enquadra no panorama mundial para projetos de vigas com concretos de até 50 MPa, não necessitando ajustes no que se refere ao seu diagrama tensão-deformação, nem à distribuição de tensões das regiões comprimidas.

No entanto, vale a pena destacar a eficiência da distribuição de tensões em regiões de concreto comprimido proposta pelo ACI para concretos do Grupo I da NBR 8953/1992. É importante observar que este modelo é o único que procura ser mais próximo dos diagramas tensão-deformação do concreto, como mostrado na FIGURA 03. Este modelo, na determinação da altura do bloco de tensões de compressão, leva em consideração a resistência característica do concreto, ou seja, procura retratar os diferentes comportamentos das curvas tensão-deformação para as diferentes resistências do concreto.

Em se tratando de concretos com resistências superiores a de 50 MPa (Grupo II da NBR 8953/1992), o uso direto da NBR 6118/2003 não pode ser considerado. Para tal, podem ser utilizadas as tabelas desenvolvidas para concretos que tenham resistência desta magnitude, considerando as disposições estabelecidas pelo MC 90/CEB-FIP.

## 7.2. MÉTODO ADOTADO

O método escolhido para a realização desta dissertação pode ser considerado adequado, fornecendo subsídios para comparações dos modelos escolhidos. Entende-se que, se esta dissertação pudesse ser também experimental, melhores resultados poderiam ter sido obtidos. A indisponibilidade de laboratórios nos forçou a ficarmos apenas com o método investigatório e comparativo.

## 7.3. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros sugerimos:

- Estudo experimental físico para melhor calibrar os modelos existentes.
- Comparação admitindo valores ainda maiores para as resistências características do concreto.
- Estudo do comportamento do ACI para concretos com resistências superiores a 50 MPa.
- Considerações do Eurocode 2.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 318/99 and commentary**: Building code requirements for reinforced concrete. ACI Detroit Michigan, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência - Classificação. Rio de Janeiro, 1992

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. São Carlos: UFSCar, 2001.

DONZA, H.; CABRERA, O.; IRASSAR, E. F. **High strength concrete with different fine aggregate**. Journal Cemente and Concrete Research 32, 2002.

FERGUSON, P. M.; BREEN, J. E.; JIRSA, J. O. **Reinforced concrete fundamentals**. 5. ed. New York: Wiley, 1988.

FURNAS, Equipe de – Laboratório de Concreto. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto – Solicitações normais e estados limites últimos**. São Paulo: Guanabara Dois, 1986.

GESOGLU, M.; GÜNEYISI, E.; ÖZTURAN, T. **Effects of end conditions on compressive strength and static elastic modulus of very high strength concrete**. Journal Cemente and Concrete Research 32, 2002.

GIACCIO, G.; ZERBINO, R. **Failure mechanism of concrete – combined effects of coarse aggregates and strength level**. Journal Advanced Cement and Basics Materials 7, 1998.

GUERRIN, A. **Tratado de Concreto Armado**. Hermus.

HU, S.; GUAN, X.; DING, Q. **Research on optimizing components of microfine high performance composites cementitious materials**. Journal Cemente and Concrete Research 32, 2002.

JARQUIO, R. V. **Parabolic stress method of analysis in reinforced concrete design – Basic concepts**. ACI/ASCE.

LARRARD, F.; SEDRAN, T. **Mixture-proportioning of high performance concrete**. Journal Cemente and Concrete Research 32, 2002.

LEONHARDT, F.; MÖNNIG, E. **Construções de concreto – princípios básicos do dimensionamento de estruturas de concreto armado - Vol. 1**. Rio de Janeiro: Livrarias Interciência, 1977.

MANCEBO, J. H. Ribeiro. **Contribuição ao estudo do módulo de elasticidade do concreto de cimento portland**. Niterói: UFF-Dissertação de Mestrado, 2000.

MARINO, M. A. **Seções transversais de concreto armado sujeitas a solicitações normais**. Companhia Paranaense de Energia Elétrica – Copel: Printec, 1979.

MARINO, M. A. **Noções de concreto armado – Vol. 1.** Diretório Acadêmico de Engenharia Civil - UFPR, 1985.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto : estrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: Pini, 1994.

MONTOYA, P. J.; MESEGUER, A. G.; CABRE, F. M. **Hormigon Armado.** Barcelona: Gustavo Gili, 1991.

PAPADAKIS, V. G.; TSIMAS, S. **Supplementary cementing materials in concrete – Part I: A fundamental estimation of the efficiency factor.** Journal Cemente and Concrete Research 32, 2002.

PAPADAKIS, V. G.; TSIMAS, S. **Supplementary cementing materials in concrete – Part II: Efficiency and design.** Journal Cemente and Concrete Research 32, 2002.

PERSSON, B. **Quasi-instantaneous and long-term deformations of high performance concrete with sealed curing.** Journal Advanced Cement and Basics Materials 8, 1998.

PFEIL, W. **Concreto armado.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

QUIRÓS, J.M.I.B; VALLE, E. G. **La influencia del diagram tensión deformación en el cálculo a flexión de secciones realizadas con hormigones de alta resistencia.** Hormigon y Acero-Nº 191, 1994.

SANTOS, L. M. **Cálculo de concreto armado.** São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

SUSSEKIND, J. C. **Curso de concreto.** 3. ed. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1983.

WANG, C.; SALMON, C. G. **Reforced concrete design.** 3. ed. Harpe & Rem, 1979.