
RADIERS EM CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS (CRF)

Marco Antonio Carnio



APLICAÇÕES DO CRF

- **Aplicações nas quais a distribuição de tensões é bastante variável ou não está bem definida (pavimentos, radiers, revestimento de túneis e estabilização de taludes)**
- **Elementos que trabalhem em duas ou três direções**
- **Seções densamente armadas nas quais a proximidade das armaduras dificulta a colocação do concreto**

APLICAÇÕES DO CRF

- **Elementos com pouca espessura onde as tolerâncias de colocação da armadura principal podem modificar substancialmente a altura útil ou gerar condicionantes em termos de durabilidade por insuficiência de recobrimentos**
- **Elementos pouco armados como substituição de armaduras mínimas**

RADIER EM CRF



Espessura	: 110 mm
Dosagem fibra	: 27 kg/m ³ (21 kg/m ³)
Fibra de aço tipo	: RL - 45/50 – BN (RC - 65/60 – BN)
Valor de R_e	: 48 %
Concreto	: C 25

1ª. Experiência 2000

Características da Construção:

Residências (2 pavimentos)

Alvenaria Estrutural

Blocos de concreto de 14 cm

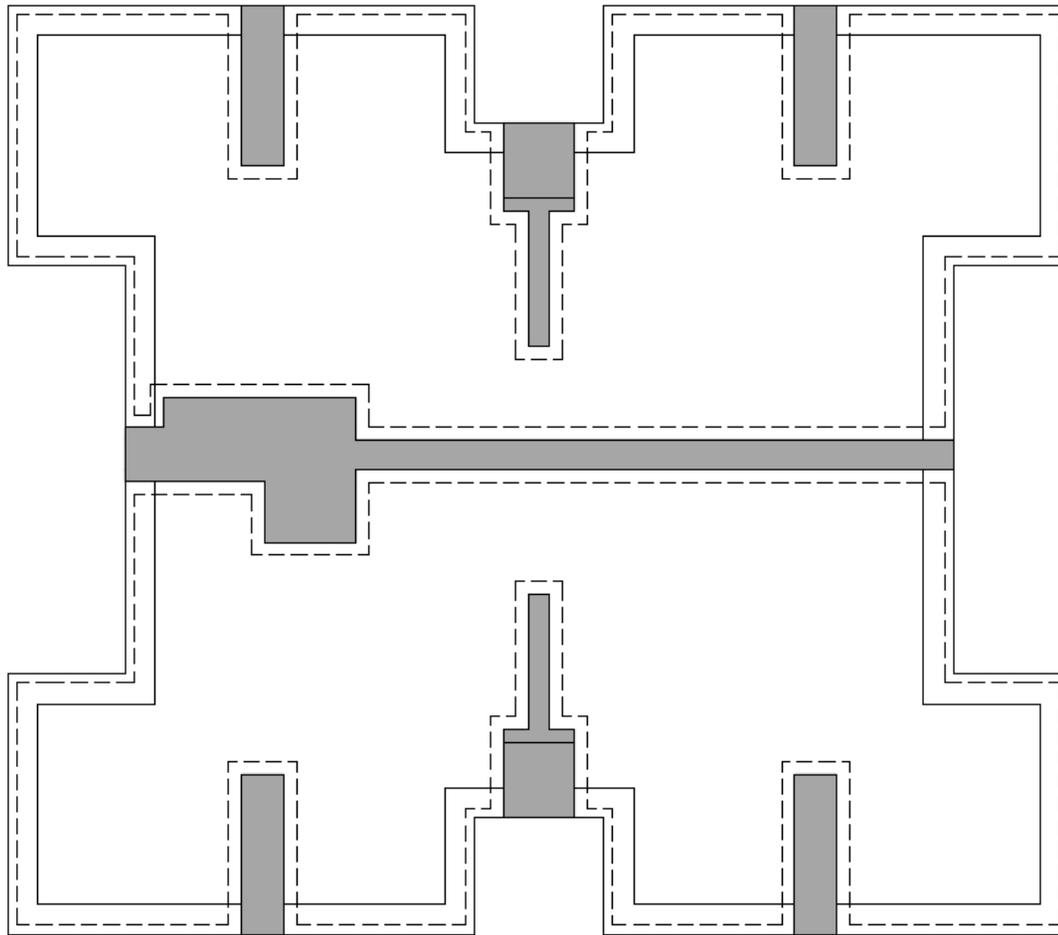
Radier:

Espessura: 11cm

Parâmetro do solo:

$K = 6000 \text{ tf/m}^3$ (0,060 N/mm³)

RADIER EM CRF



NOVA
Experiência

NOVA EXPERIÊNCIA

Características da Construção:

Térreo + 4 Pavimentos

Alvenaria estrutural

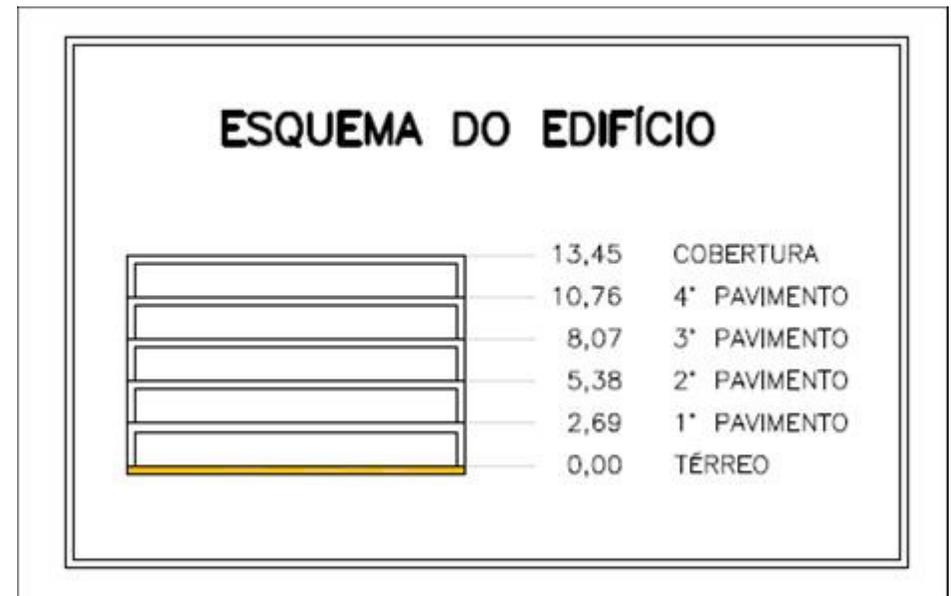
Blocos de concreto de 14 cm

Radier:

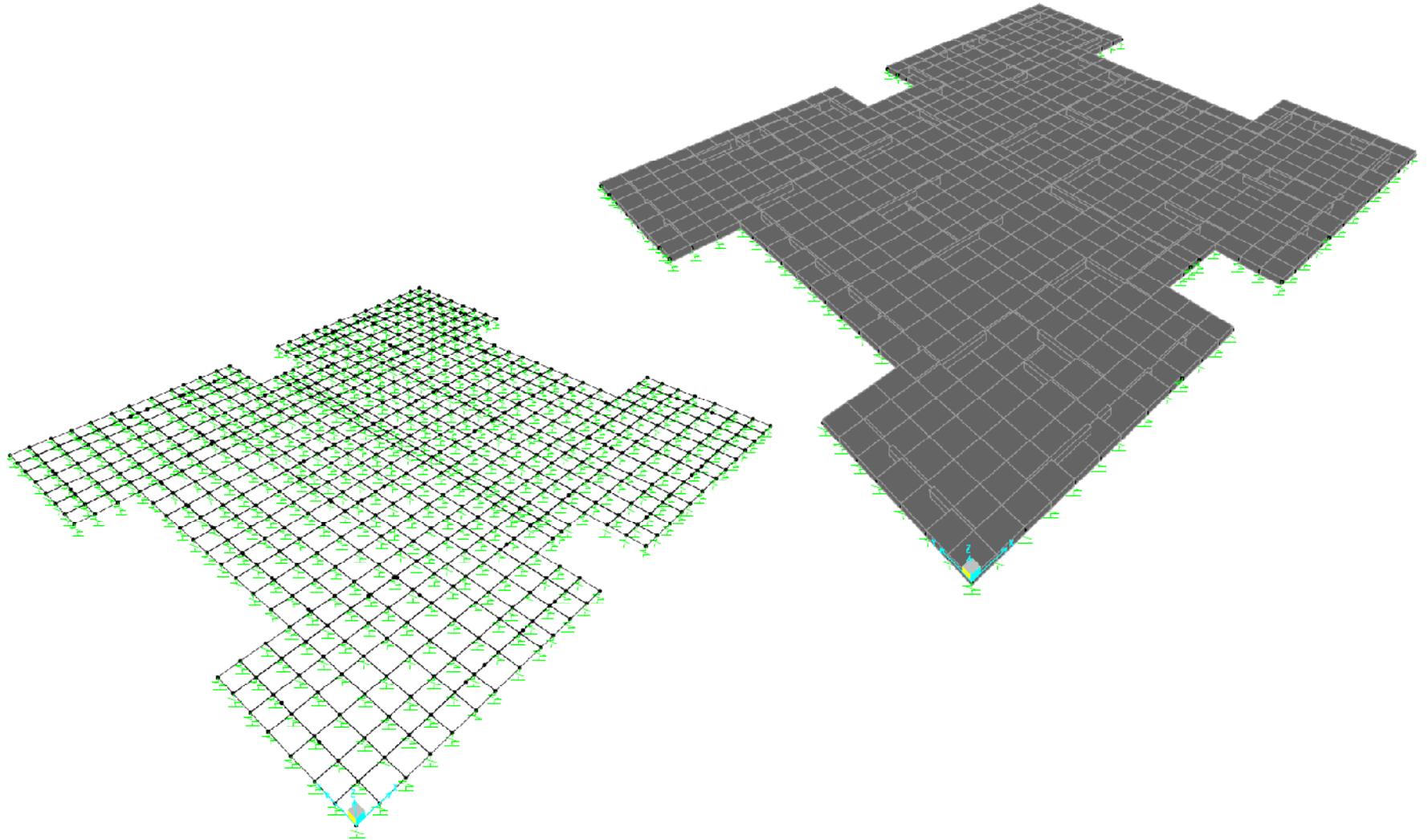
Espessura: 22 cm

Parâmetro do solo:

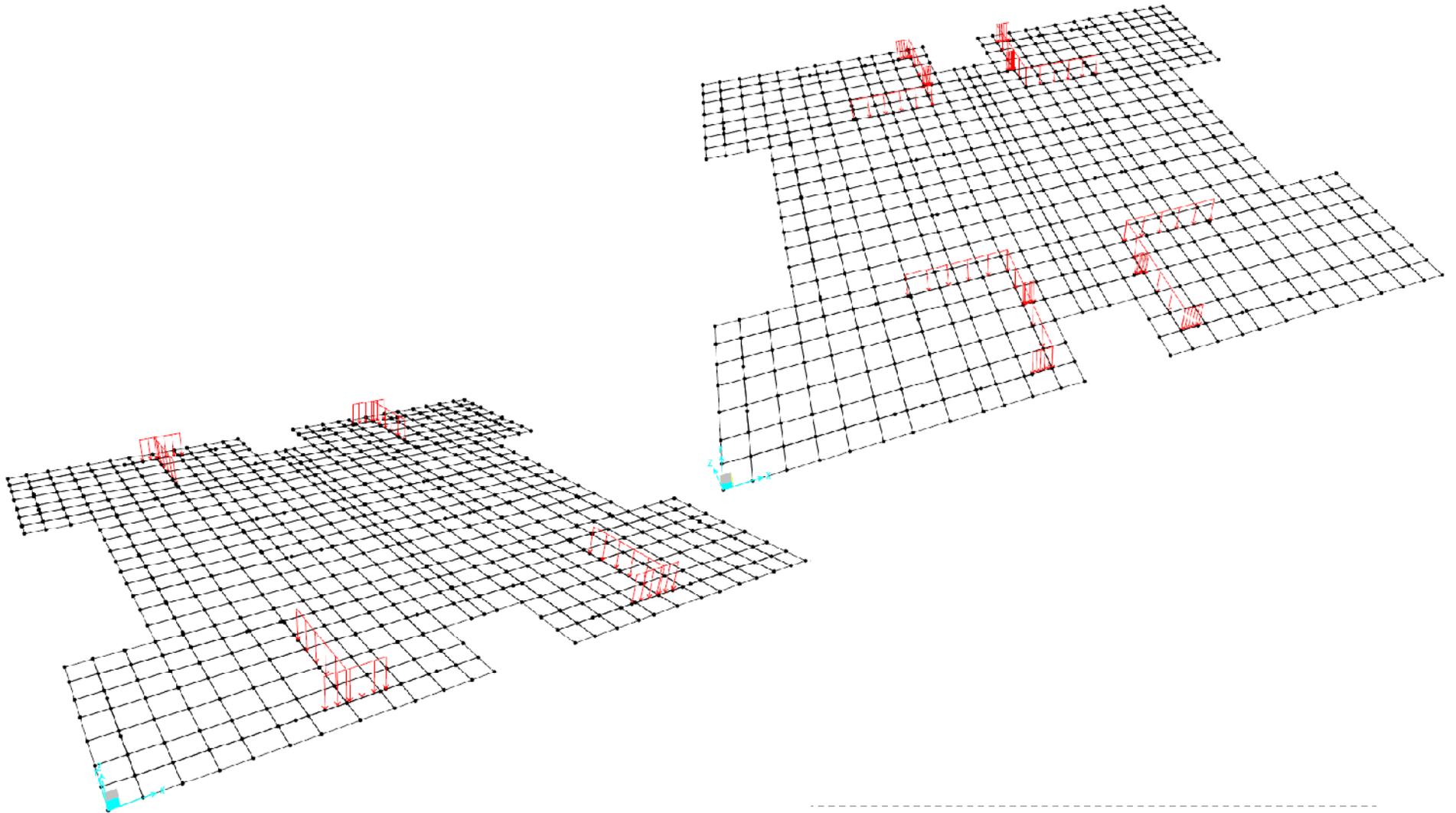
$K=1500 \text{ tf/m}^3$ ($0,015 \text{ N/mm}^3$)



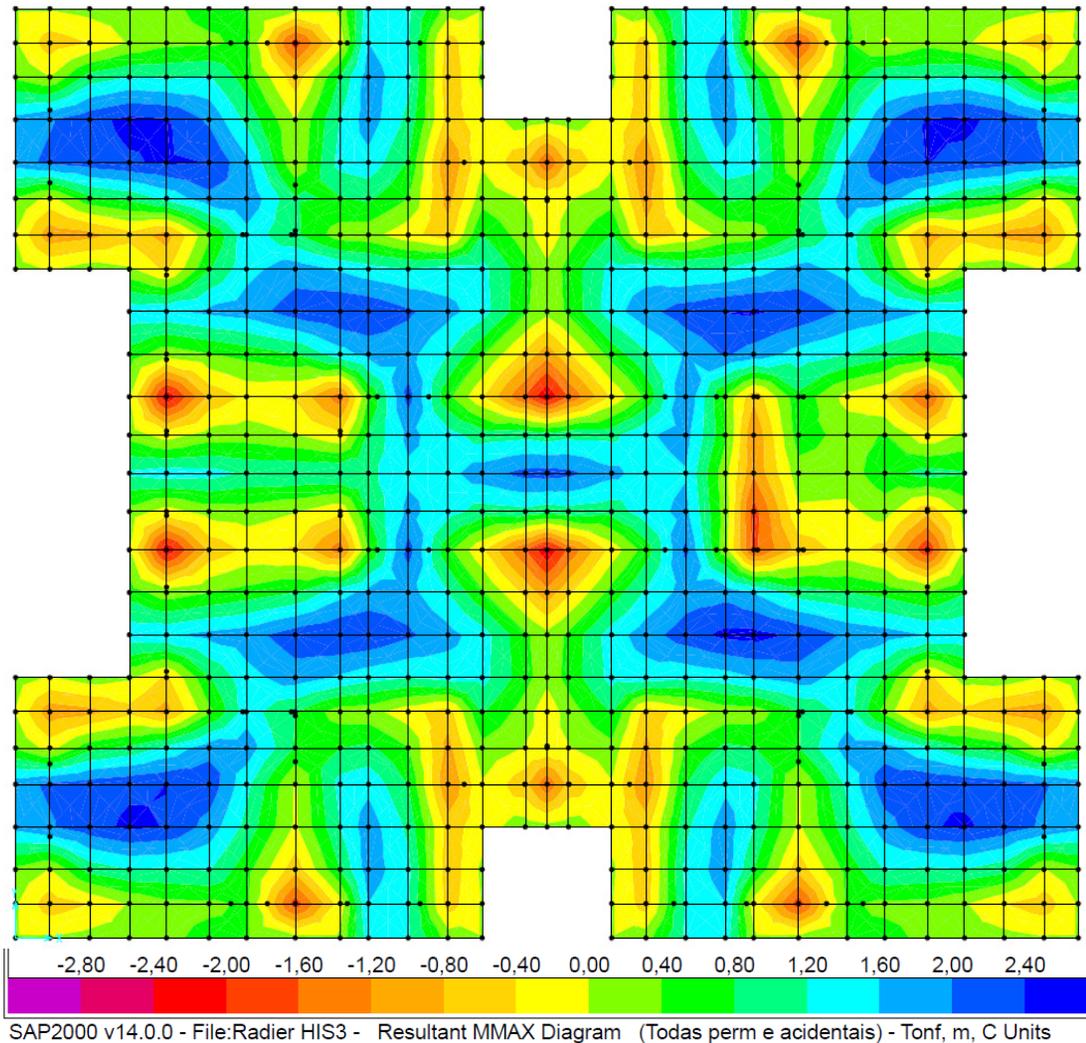
ANÁLISE ESTRUTURAL



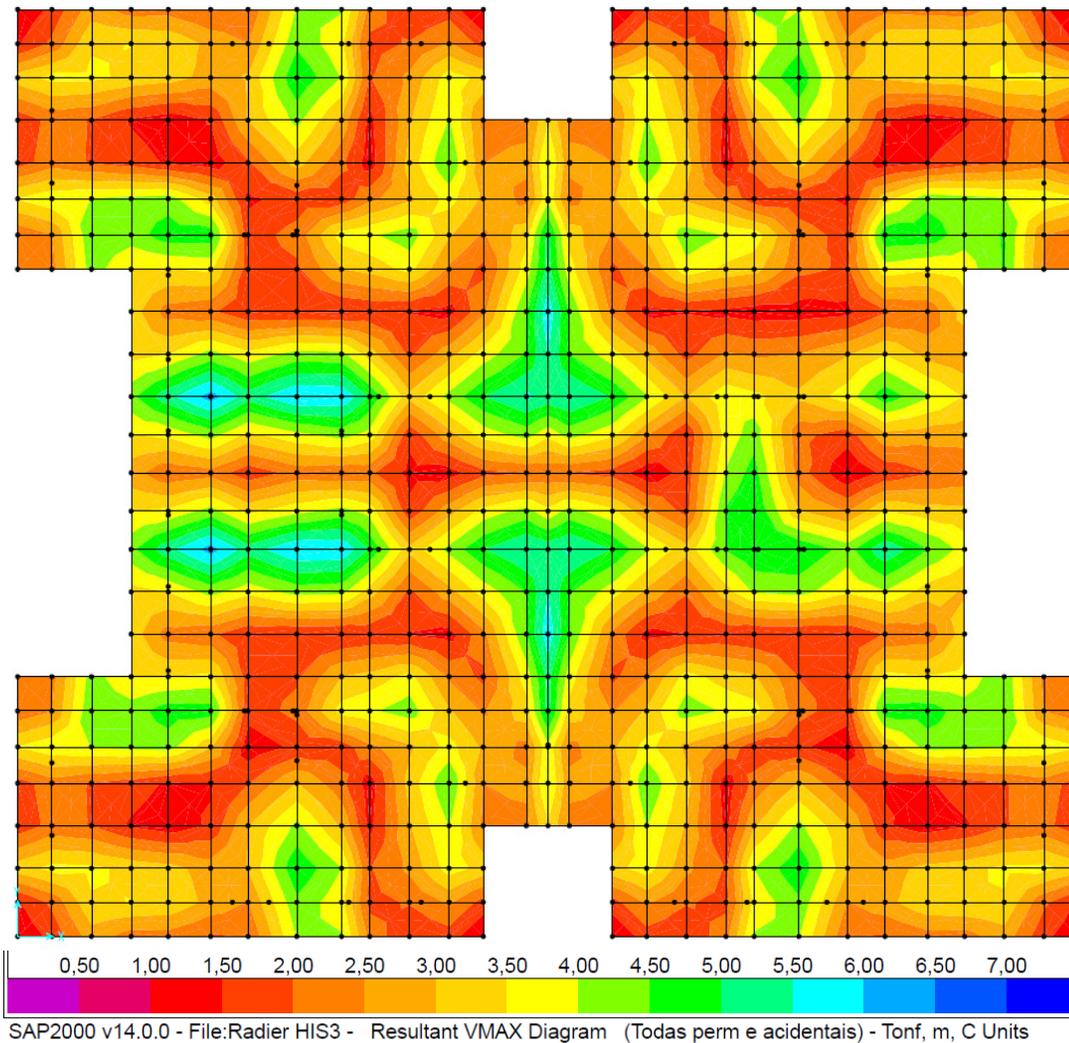
ANÁLISE ESTRUTURAL



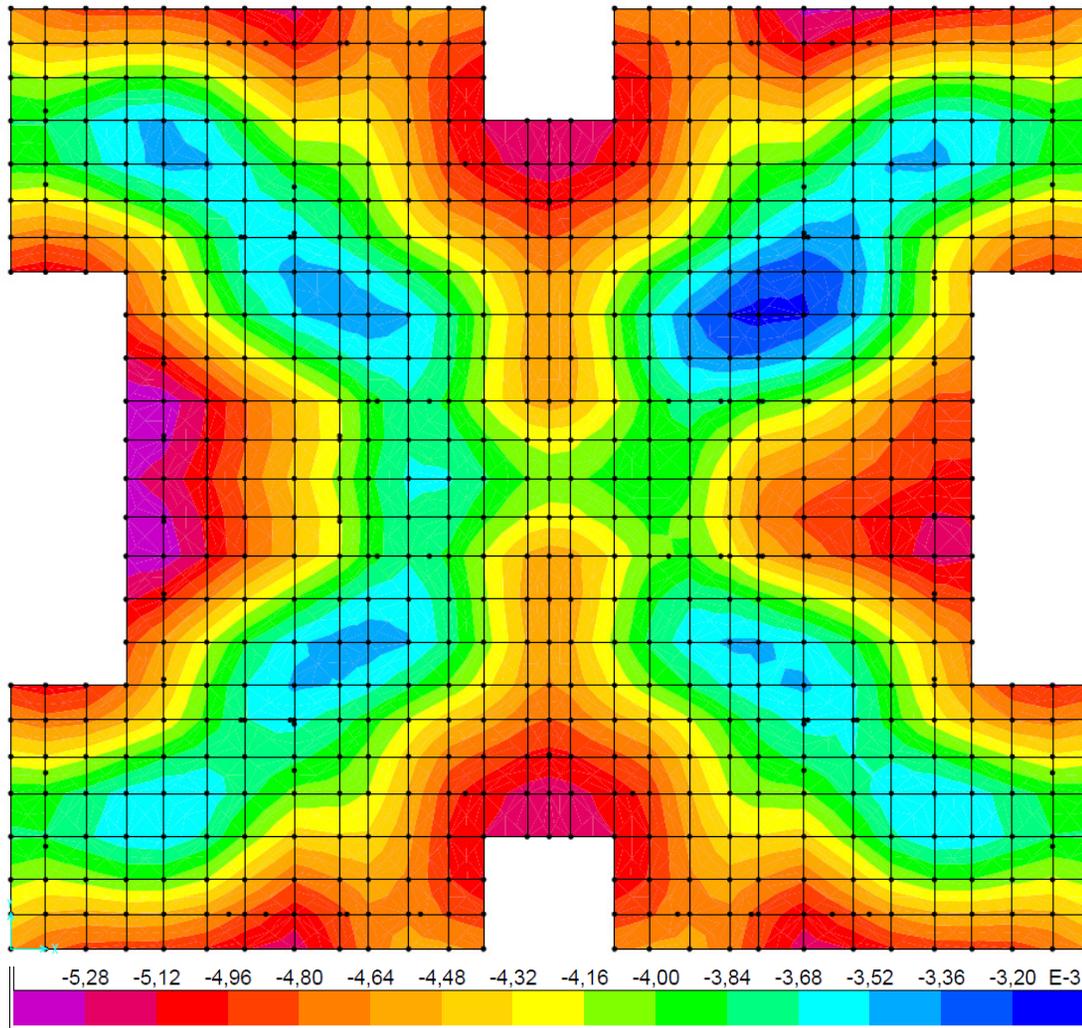
ANÁLISE ESTRUTURAL



ANÁLISE ESTRUTURAL



ANÁLISE ESTRUTURAL



PROPRIEDADES DO CRF

O Concreto Reforçado com Fibras (CRF) é um material compósito caracterizado por uma matriz cimentícia e fibras descontínuas aleatoriamente distribuídas na matriz. Essa matriz pode ser de concreto ou argamassa. As fibras podem ser metálicas (aço), sintéticas (polímeros), minerais (carbono, vidro) ou naturais.

PROPRIEDADES DO CRF

Especial atenção deve ser tomado com fibras cujo Módulo de Elasticidade sejam significativamente afetadas por fenômenos de tempo de carga e variações termo-higrométricas

Podem ser usadas misturas de diferentes tipos e tamanhos de fibras (chamado híbrido concreto reforçado com fibras).

PROPRIEDADES DO CRF

As propriedades mecânicas da matriz cimentícia são modificadas com a adição das fibras. No entanto, propriedades elásticas e a resistência à compressão não são significativamente afetadas pelas fibras, a menos que um alto teor de fibras seja usado.

PROPRIEDADES DO CRF

Comportamento à compressão.

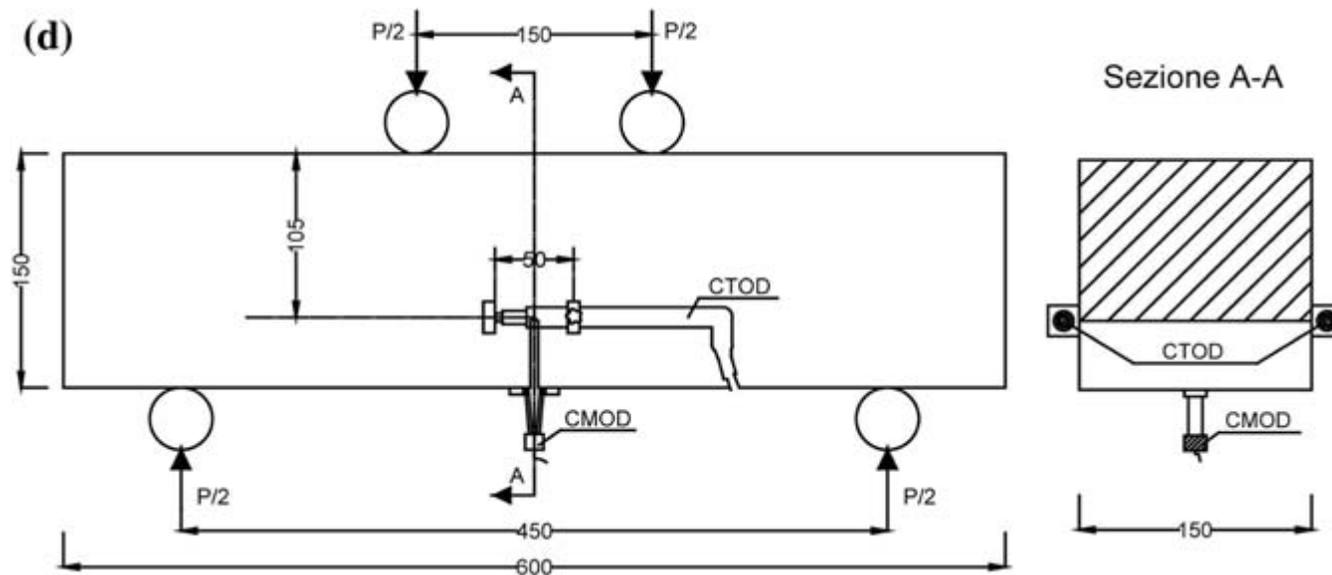
Geralmente, as relações do concreto simples comprimido podem ser aplicados ao CRF.

Comportamento à tração.

Com respeito ao comportamento à tração, que é o mais importante aspecto do CRF, vários métodos de ensaio são possíveis.

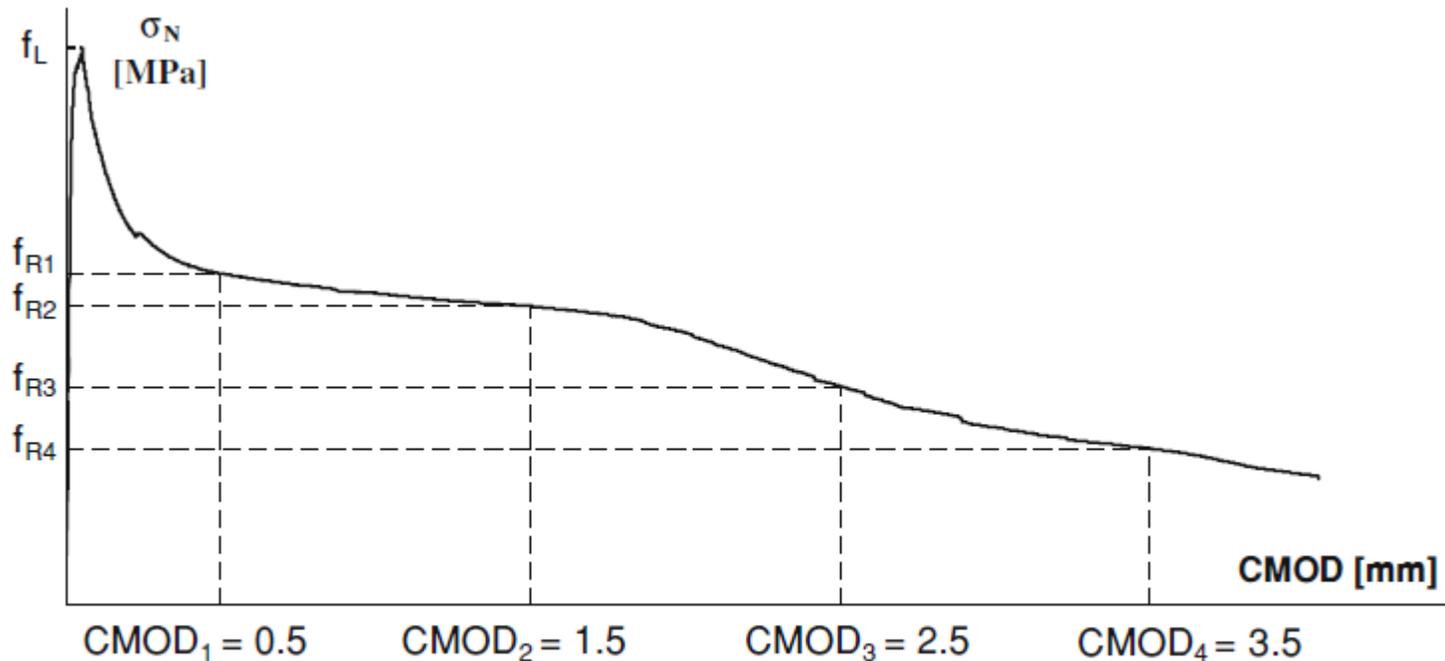
PROPRIEDADES DO CRF

As propriedades nominais podem ser determinadas pelo ensaio de flexão em vigas com cargas em 3 pontos, com entalhe (EN 14651).



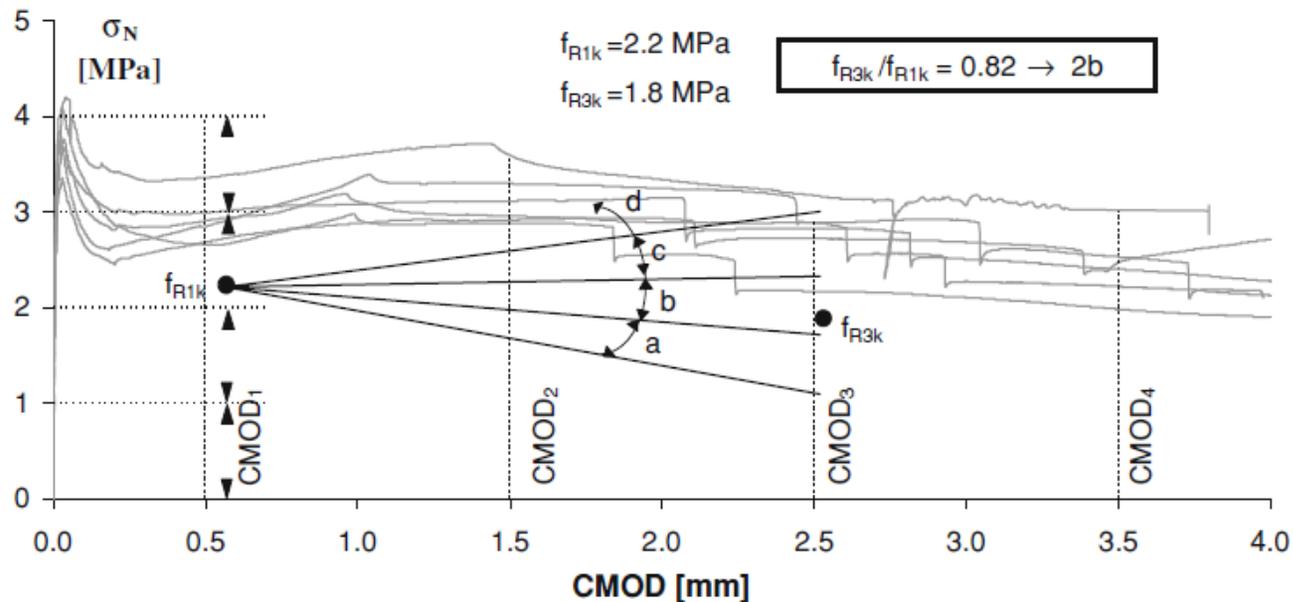
PROPRIEDADES DO CRF

O diagrama Carga-CMOD pode ser produzido e o parâmetro de resistência residual à tração por flexão ($f_{R,j}$) é avaliado à partir da relação Carga-CMOD.



PROPRIEDADES DO CRF

O CRF pode ser classificado pela resistência pós-fissuração e um comportamento linear pode ser assumido para considerar a resistência residual característica para condição de serviço (f_{R1k}) e resistência residual para condição última (f_{R3k})

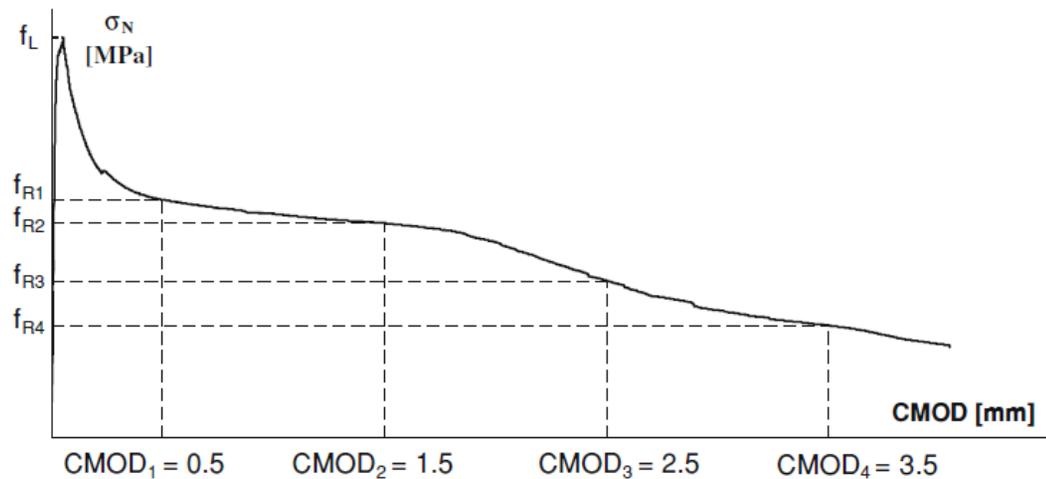


PROPRIEDADES DO CRF

As fibras podem substituir totalmente (ou parcialmente) as armaduras convencionais respeitando-se as seguintes relações:

$$f_{R1k} / f_{Lk} > 0,4$$

$$f_{R3k} / f_{R1k} > 0,5$$



MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO CRF

A aplicação estrutural do CRF pressupõe o uso de leis constitutivas de projeto para considerar a resistência residual pós fissura da matriz, proporcionado pela reforço das fibras. Outros casos como controle de fissuração a baixas idades (retração) ou resistência ao fogo são consideradas uso não estrutural do CRF.

Para aplicação estrutural, um mínimo de desempenho mecânico do CRF deve ser garantido.

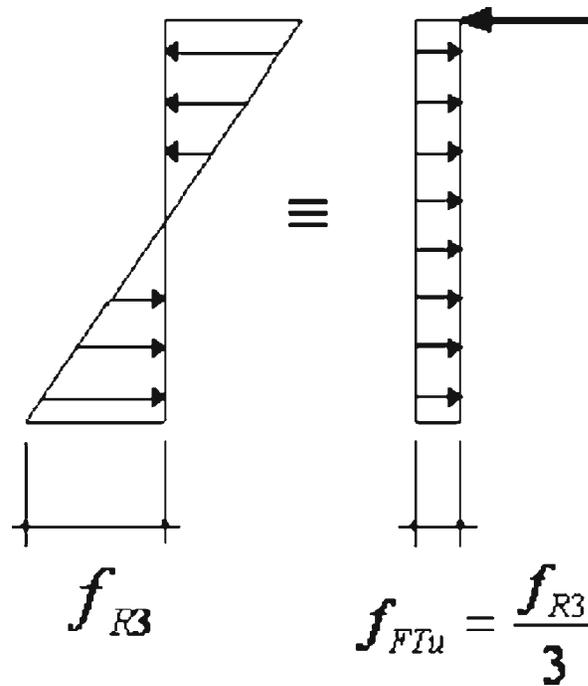
MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO CRF

Fibras podem ser utilizadas para melhorar o comportamento no Estado Limite de Serviço (ELS), controlando fissuras e suas aberturas, aumentando assim durabilidade.

Fibras podem ser usadas para melhorar o comportamento no Estado Limite Último (ELU) substituindo parcialmente ou totalmente as armaduras convencionais.

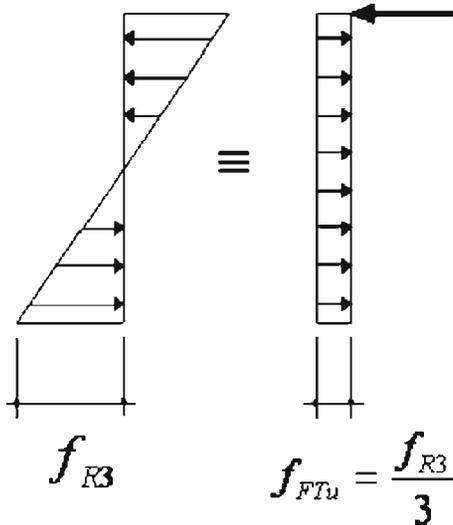
MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO CRF

Comportamento rígido plástico



DIMENSIONAMENTO DO RADIER

Dimensionamento à flexão



Esforço Resistente

Parcela da Fibra

$$M_{rd} = \frac{f_{R3} \cdot b \cdot h^2}{\gamma_c \cdot 6} = \frac{30}{1,5} \cdot 100 \cdot (22)^2}{6} = 1,61 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

Parcela da Armadura (Q196)

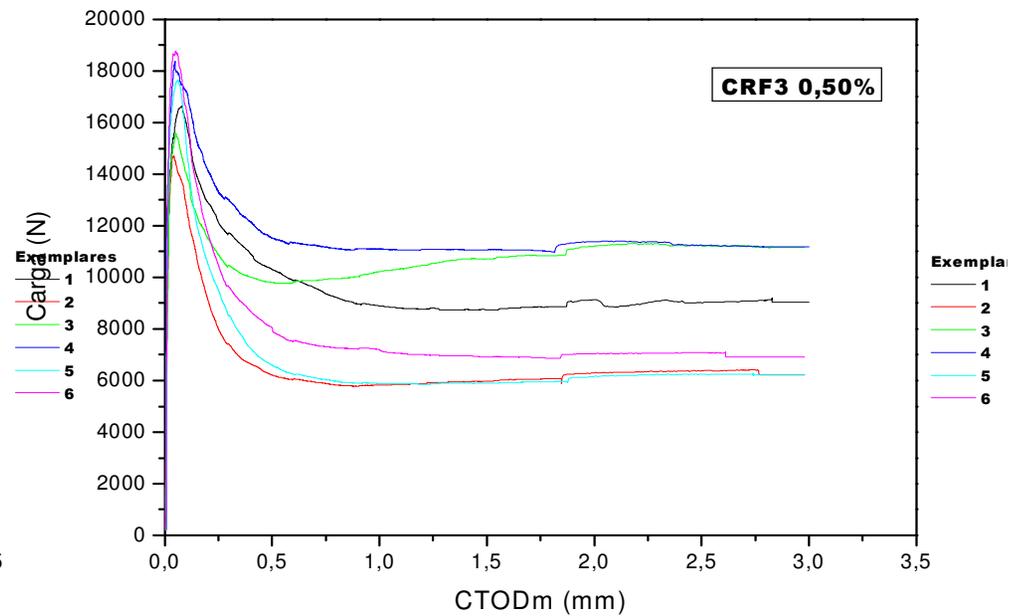
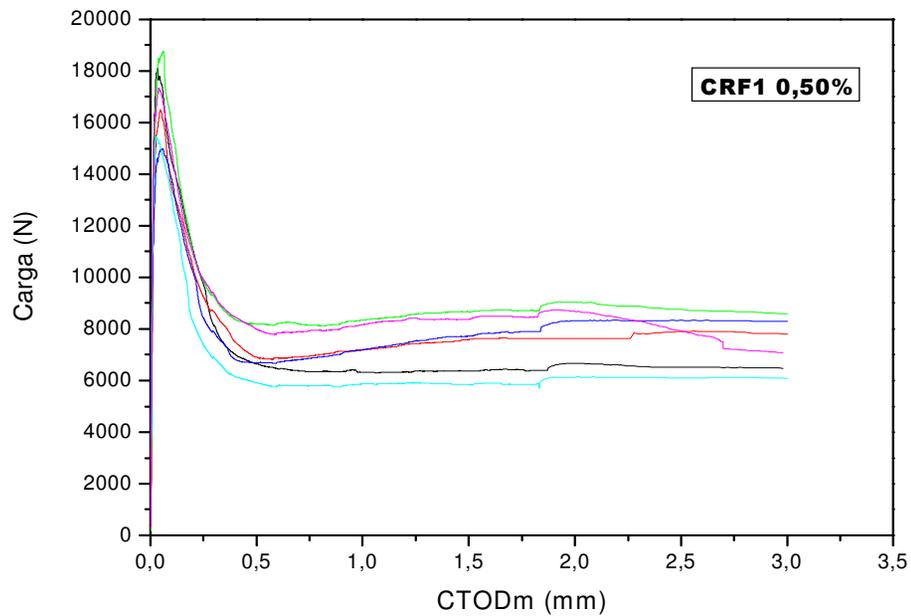
$$M_{rd} = 0,9 \cdot h \cdot A_s \cdot f_{yd} = 0,9 \cdot 22 \cdot 1,96 \cdot \frac{5,0}{1,15} = 1,69 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

$$M_{(total)rd} = 3,30 \text{ tf} \cdot \text{m}$$

Espessura	: 22 cm
Dosagem fibra de aço	: 20 kg/m ³ (25 kg/m ³)
Concreto	: C 30

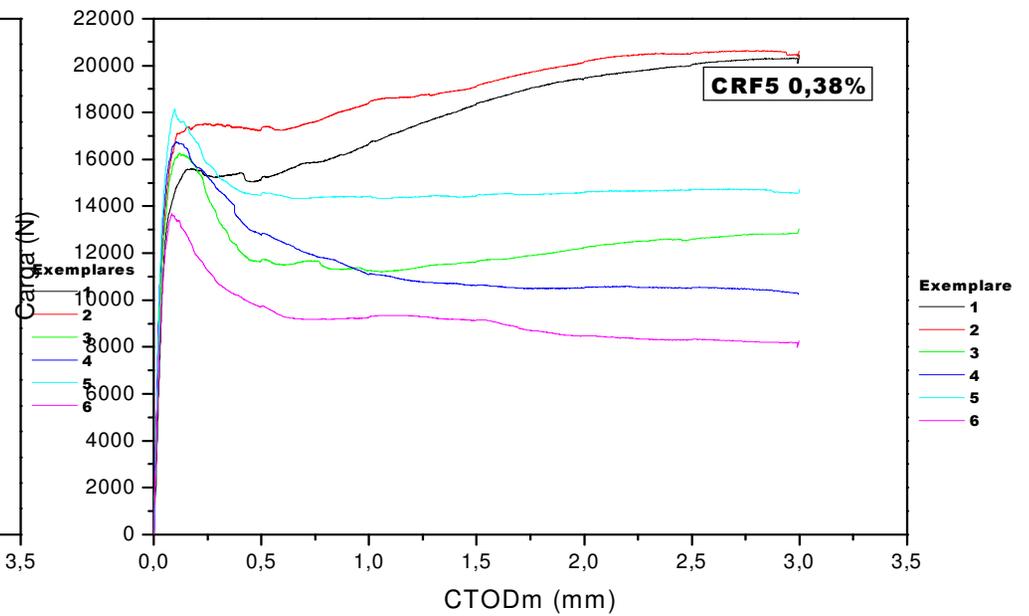
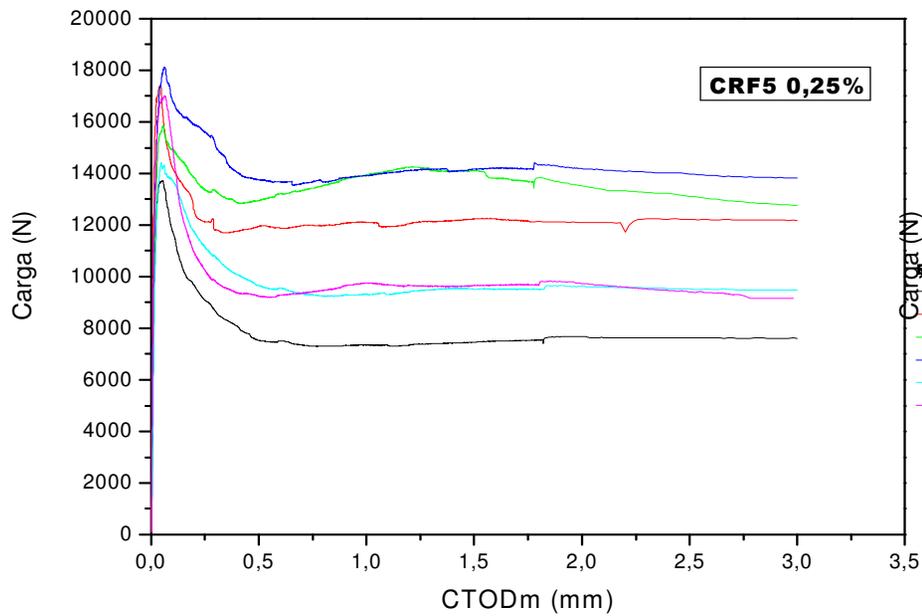
RESULTADOS DE ENSAIOS DE CRF

Diagramas Carga – Abertura de Trinca



RESULTADOS DE ENSAIOS DE CRF

Diagramas Carga – Abertura de Trinca



RESULTADOS DE ENSAIOS DE CRF

CRF1 0,50% - 4,50 Kg/m3		Tipo de viga: moldada Idade de ensaio: 28 dias					
Exemplar	P _{máx}	CTOD _o	f _{ff}	f _{eq (0-0,6)}	f _{eq (0,6-3,0)}	D _o	D ₁
no.	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
1	18065	0,0321	4,916	2,212	1,740	0,450	0,787
2	16459	0,0464	4,479	2,359	2,072	0,527	0,878
3	18742	0,0595	5,100	2,522	2,375	0,495	0,942
4	14959	0,0559	4,070	2,135	2,151	0,525	1,007
5	15422	0,0262	4,196	1,866	1,592	0,445	0,853
6	17282	0,0393	4,703	2,546	2,303	0,541	0,904
Média	16822	0,0432	4,577	2,273	2,039	0,497	0,895
Desvio Padrão	1484	0,013	0,404	0,258	0,311	0,041	0,076
CV (%)	9	30	9	11	15	8	8

Parâmetros de Projeto
(Norma UNI)

CRF3 0,50% - 4,50 Kg/m3		Tipo de viga: moldada Idade de ensaio: 28 dias					
Exemplar	P _{máx}	CTOD _o	f _{ff}	f _{eq (0-0,6)}	f _{eq (0,6-3,0)}	D _o	D ₁
no.	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
1	16631	0,0773	4,525	3,190	2,411	0,705	0,756
2	14701	0,0428	4,000	2,013	1,650	0,503	0,820
3	15585	0,0499	4,241	2,842	2,947	0,670	1,037
4	18358	0,0464	4,995	3,530	2,994	0,707	0,848
5	17647	0,0583	4,802	2,319	1,623	0,483	0,700
6	18765	0,0499	5,106	2,615	1,866	0,512	0,714
Média	16948	0,0541	4,612	2,752	2,248	0,597	0,767
Desvio Padrão	1599	0,012	0,435	0,558	0,627	0,108	0,124
CV (%)	9	23	9	20	28	18	16

RESULTADOS DE ENSAIOS DE CRF

CRF5 0,25% - 20 Kg/m3		Tipo de viga: moldada Idade de ensaio: 28 dias					
Exemplar	P _{máx}	CTODO	f _f	f _{eq (0-0,6)}	f _{eq (0,6-3,0)}	D ₀	D ₁
no.	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
1	13730	0,0523	3,736	2,349	2,054	0,629	0,874
2	17397	0,0416	4,734	3,215	3,302	0,679	1,027
3	15839	0,0559	4,310	3,623	3,765	0,841	1,039
4	18123	0,0619	4,931	4,099	3,897	0,831	0,951
5	14427	0,0464	3,926	2,928	2,586	0,746	0,883
6	17010	0,0630	4,629	2,667	2,633	0,576	0,987
Média	16088	0,0535	4,378	3,147	3,039	0,717	0,960
Desvio Padrão	1737	0,008	0,473	0,641	0,731	0,108	0,070
CV (%)	11	16	11	20	24	15	7

Parâmetros de Projeto
(Norma UNI)

CRF5 0,38% - 30 Kg/m3		Tipo de viga: moldada Idade de ensaio: 28 dias					
Exemplar	P _{máx}	CTODO	f _f	f _{eq (0-0,6)}	f _{eq (0,6-3,0)}	D ₀	D ₁
no.	(N)	(mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)		
1	15556	0,0797	4,233	4,157	5,614	0,982	1,350
2	17103	0,0535	4,654	4,739	5,598	1,018	1,181
3	18204	0,0583	4,953	3,164	3,546	0,639	1,121
4	18683	0,0440	5,084	3,452	2,834	0,679	0,821
5	20074	0,0559	5,462	3,967	3,967	0,726	1,000
6	13653	0,0416	3,715	2,619	2,253	0,705	0,860
Média	17212	0,0555	4,684	3,683	3,968	0,792	1,056
Desvio Padrão	2313	0,014	0,630	0,758	1,398	0,165	0,202
CV (%)	13	24	13	21	35	21	19

DIMENSIONAMENTO DO RADIER

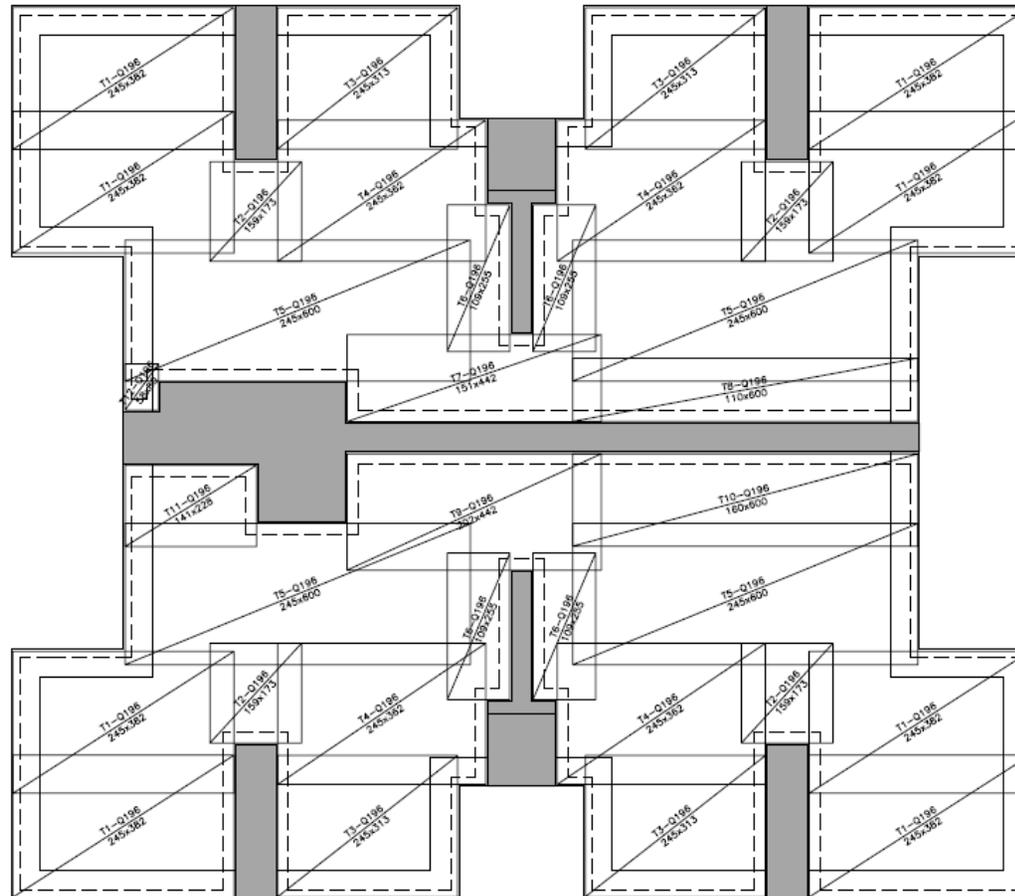
Dimensionamento ao cisalhamento

$$V_{sd} = 1,4 \cdot 8,0 = 11,2 \text{ tf}$$

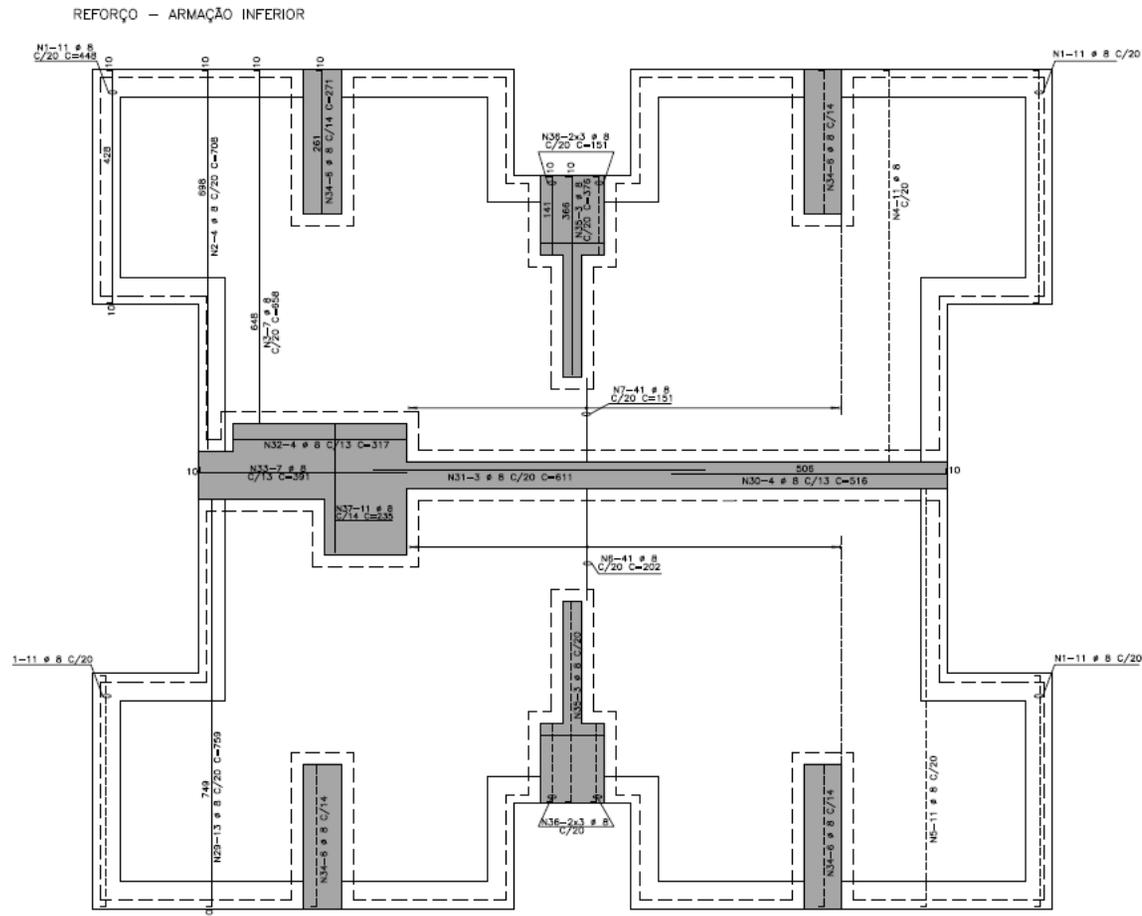
$$V_{Rd1} = 12,58 \text{ tf}$$

DIMENSIONAMENTO DO RADIER

ARMAÇÃO INFERIOR - FIBRAS DE AÇO + TELA Q196

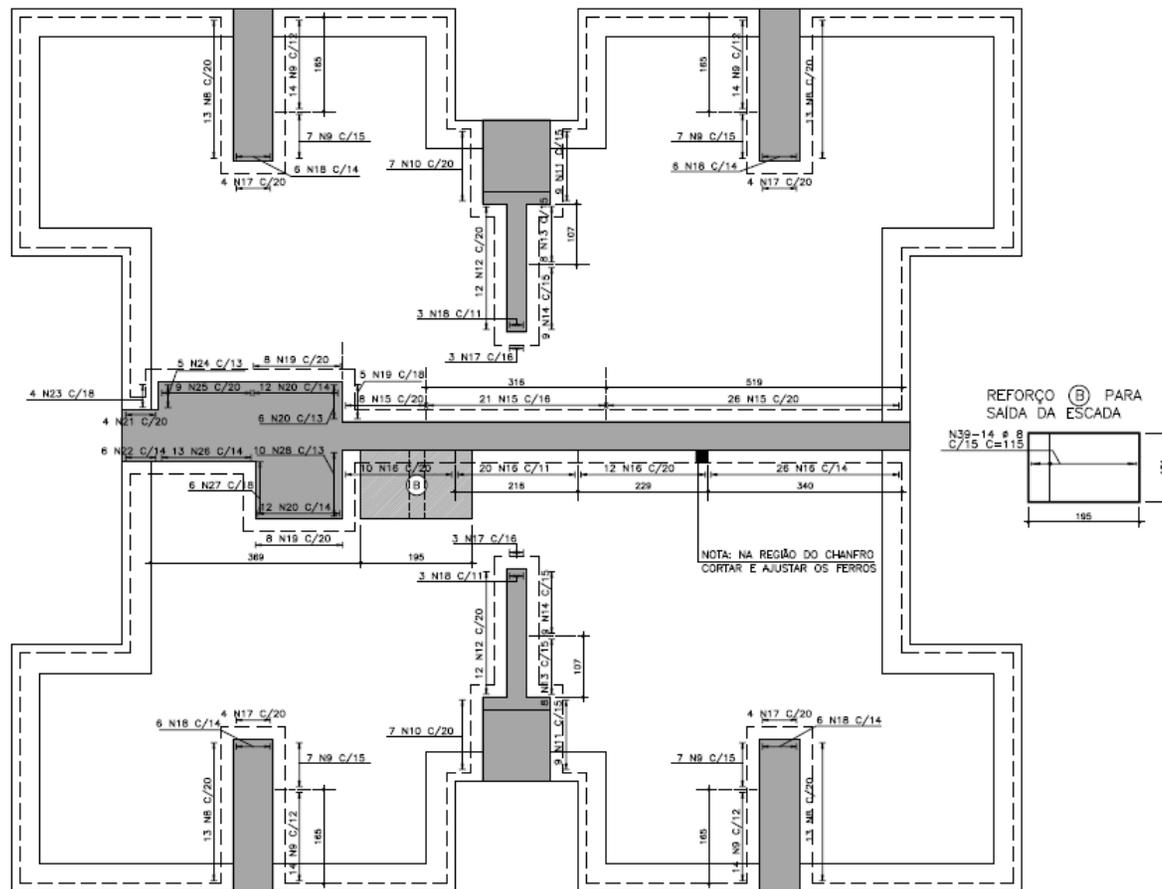


DIMENSIONAMENTO DO RADIER



DIMENSIONAMENTO DO RADIER

ARMAÇÃO ESPECIAL PARA REBAIXOS



DIMENSIONAMENTO DO RADIER



PERSPECTIVAS PARA APLICAÇÃO ESTRUTURAL DO CRF



Model Code 2010
First complete draft
Volume 1
March 2010

5 Materials

5.6 Fibres and fibre-reinforced concrete

5.6.1 Introduction

5.6.2 Material properties

5.6.3 Classification

5.6.4 Constitutive laws

5.6.5 Stress-strain relationship for SLS

5.6.6 Partial safety factors for ULS

5.6.7 Orientation factor

PERSPECTIVAS PARA APLICAÇÃO ESTRUTURAL DO CRF



Model Code 2010

First complete draft

Volume 2

March 2010

7 Design

7.7 Verification of safety and serviceability of FRC structures

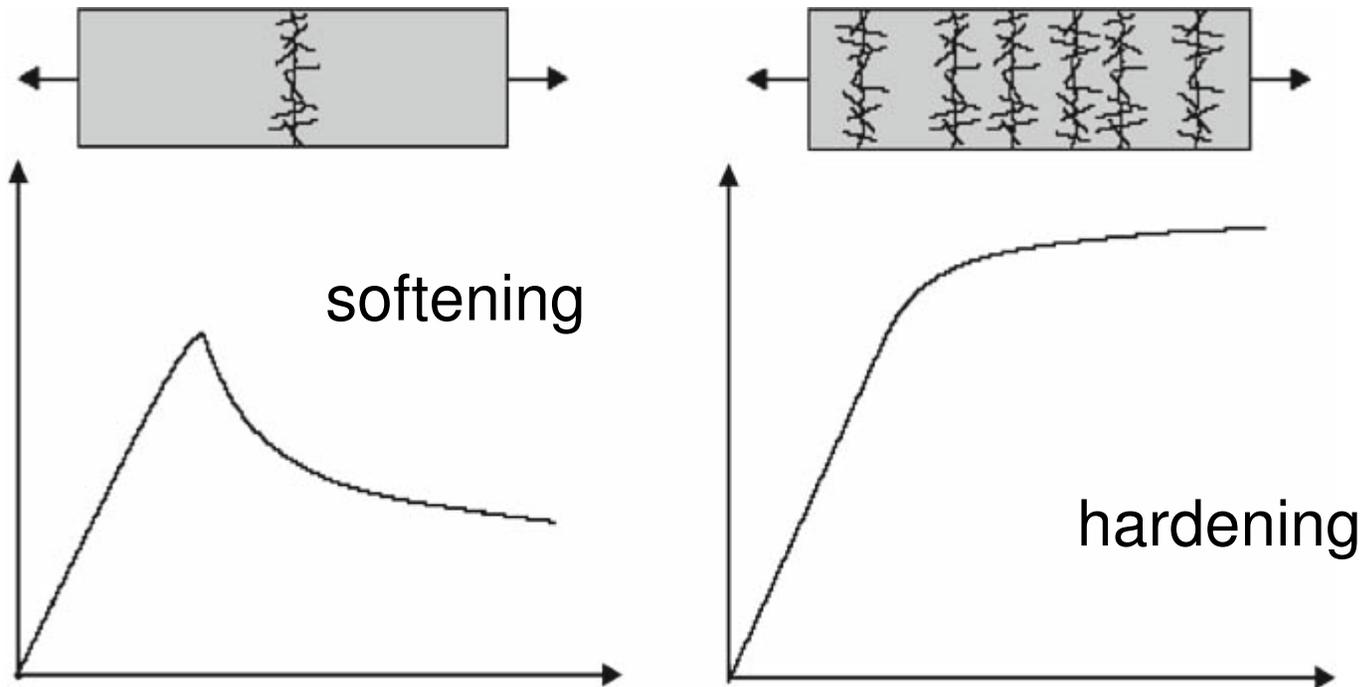
7.7.1 Classification

7.7.2 Design principles

7.7.3 Verification of safety (ULS)

7.7.4 Serviceability Limit State (SLS)

MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO CRF

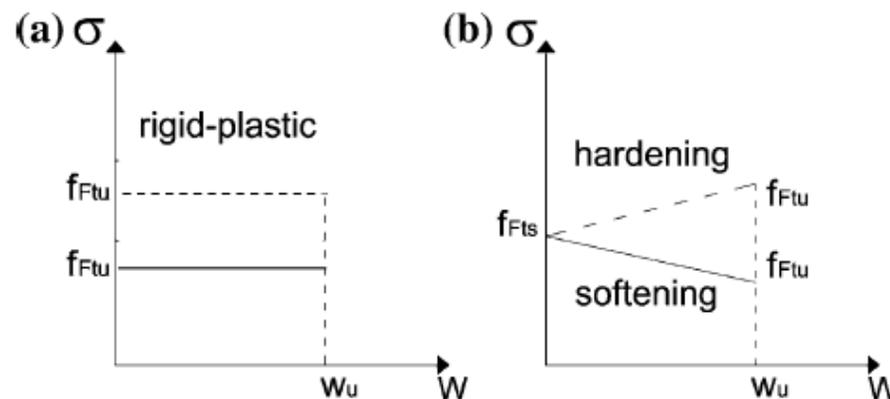


Dependendo de sua composição, o CRF pode ser considerado com comportamento “softening” ou “hardening”

MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO CRF

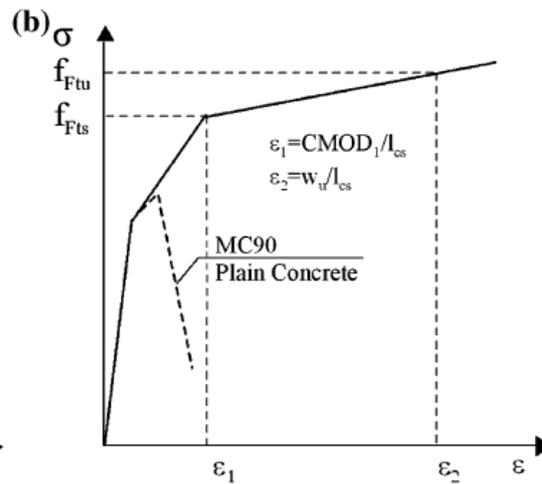
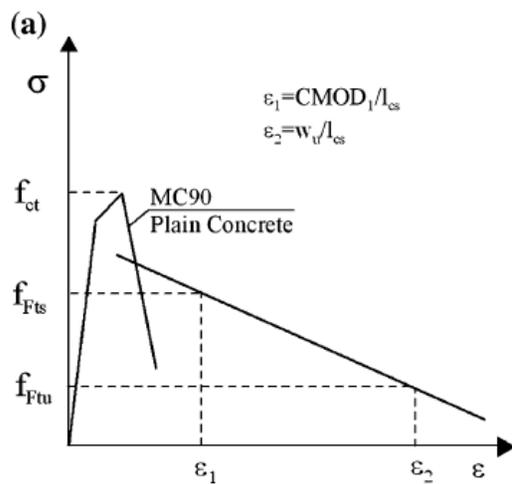
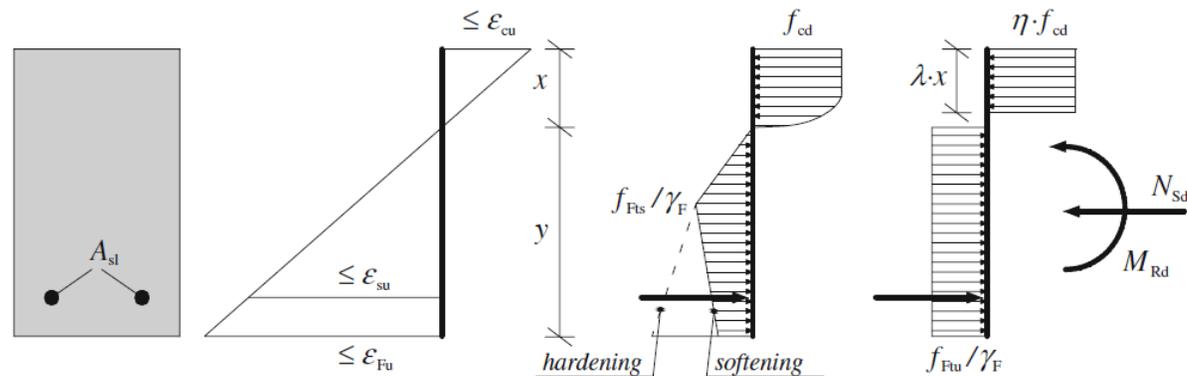
Dois modelos simplificados de leis constitutivas de Tensão-Abertura de trinca podem ser deduzidos dos testes de flexão em vigas:

- Comportamento rígido plástico
- Comportamento linear pós-fissuração (hardening ou softening)

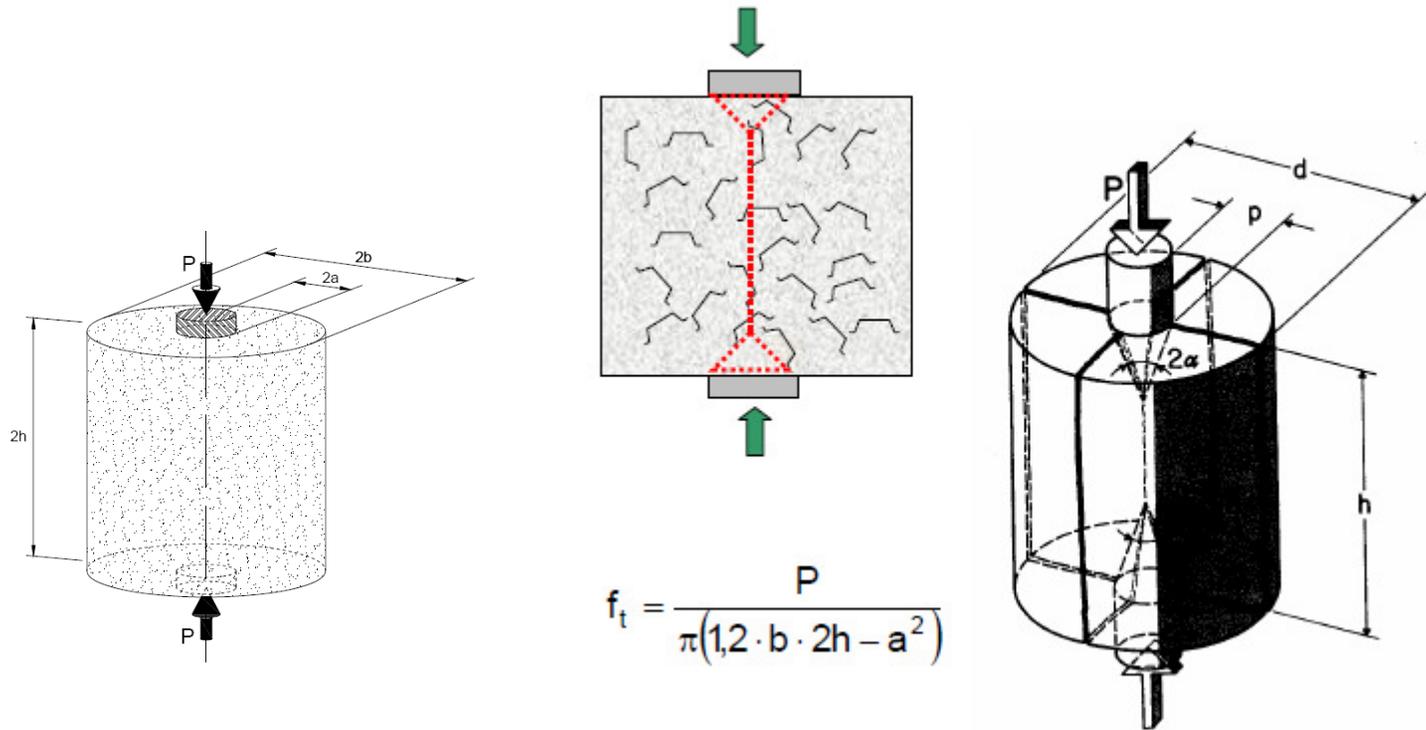


MODELO DE DIMENSIONAMENTO DO CRF

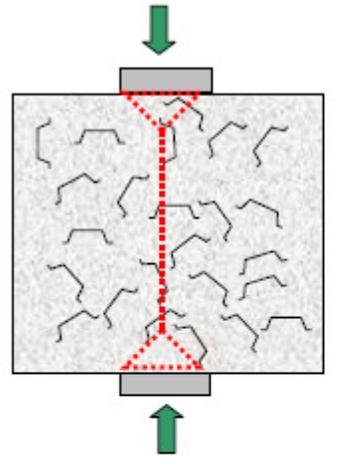
Comportamento linear pós-fissuração (hardening ou softening)



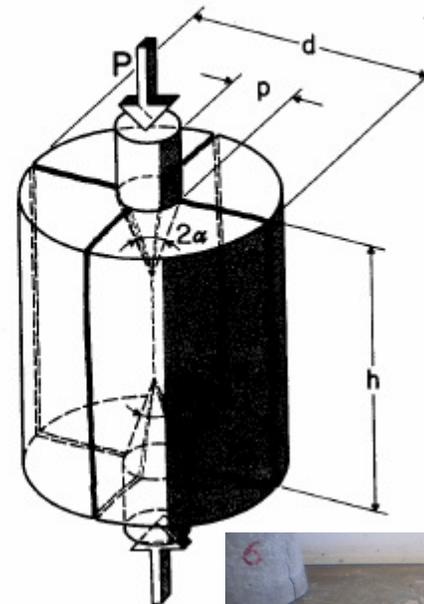
CONTROLE TECNOLÓGICO DO CRF



CONTROLE TECNOLÓGICO DO CRF



$$f_t = \frac{P}{\pi(1,2 \cdot b \cdot 2h - a^2)}$$



CONTROLE TECNOLÓGICO DO CRF

