

CONCRETO PROJETADO REFORÇADO COM FIBRAS PARA TÚNEIS

Prof. Dr. Antonio D. de Figueiredo
Departamento de Engenharia de Construção Civil
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Reforçado Com Fibras



Cidade das Artes, Valência (Espanha)

Concreto projetado branco reforçado com fibras

5 cm de espessura

Definição

Os concretos com fibras podem ser definidos como compósitos, ou seja, materiais constituídos de, pelo menos, duas fases distintas principais:

- O próprio concreto: denominado matriz
- E as fibras

Macro fibras de PP



Macrofibras poliméricas

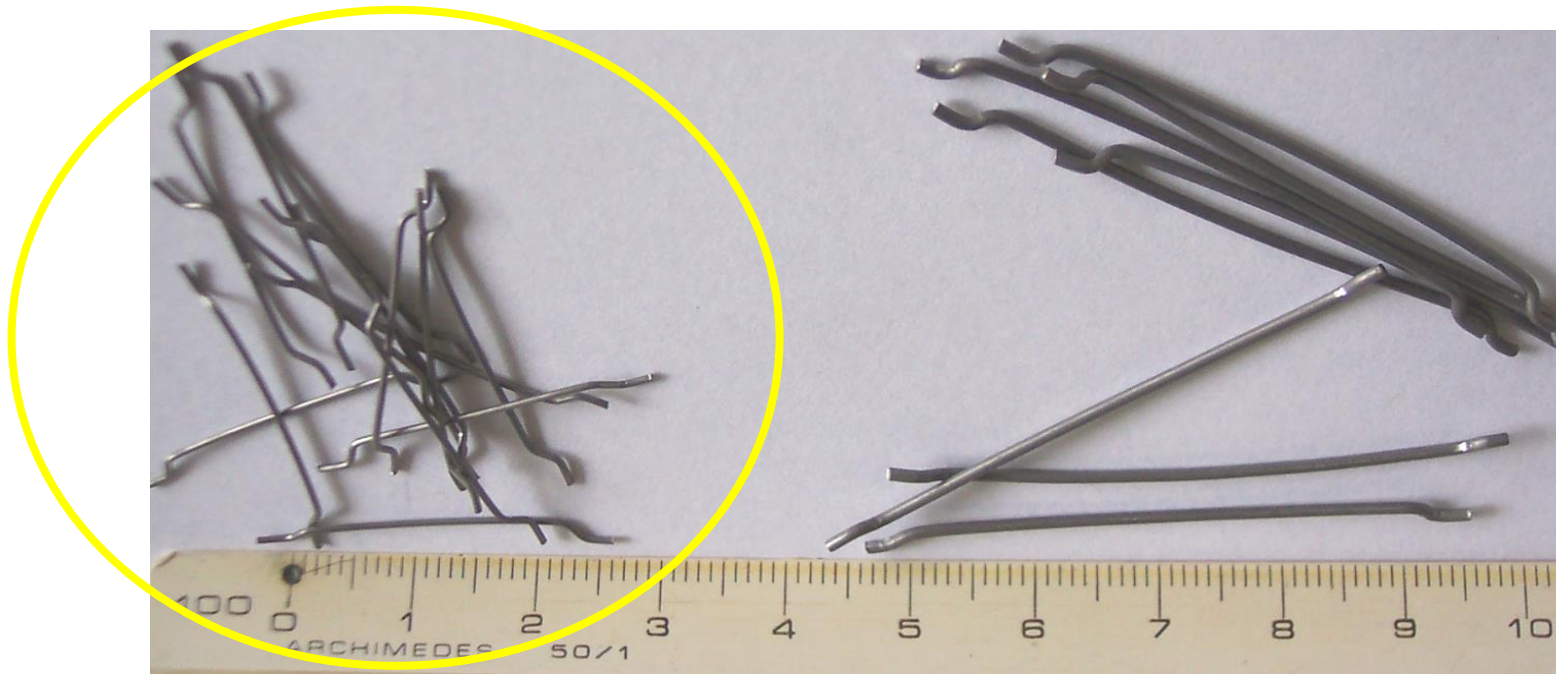


Atuam no reforço
do concreto

Fibras

As fibras são elementos descontínuos, cujo comprimento é bem maior que a maior dimensão da seção transversal.

Fibras de aço:



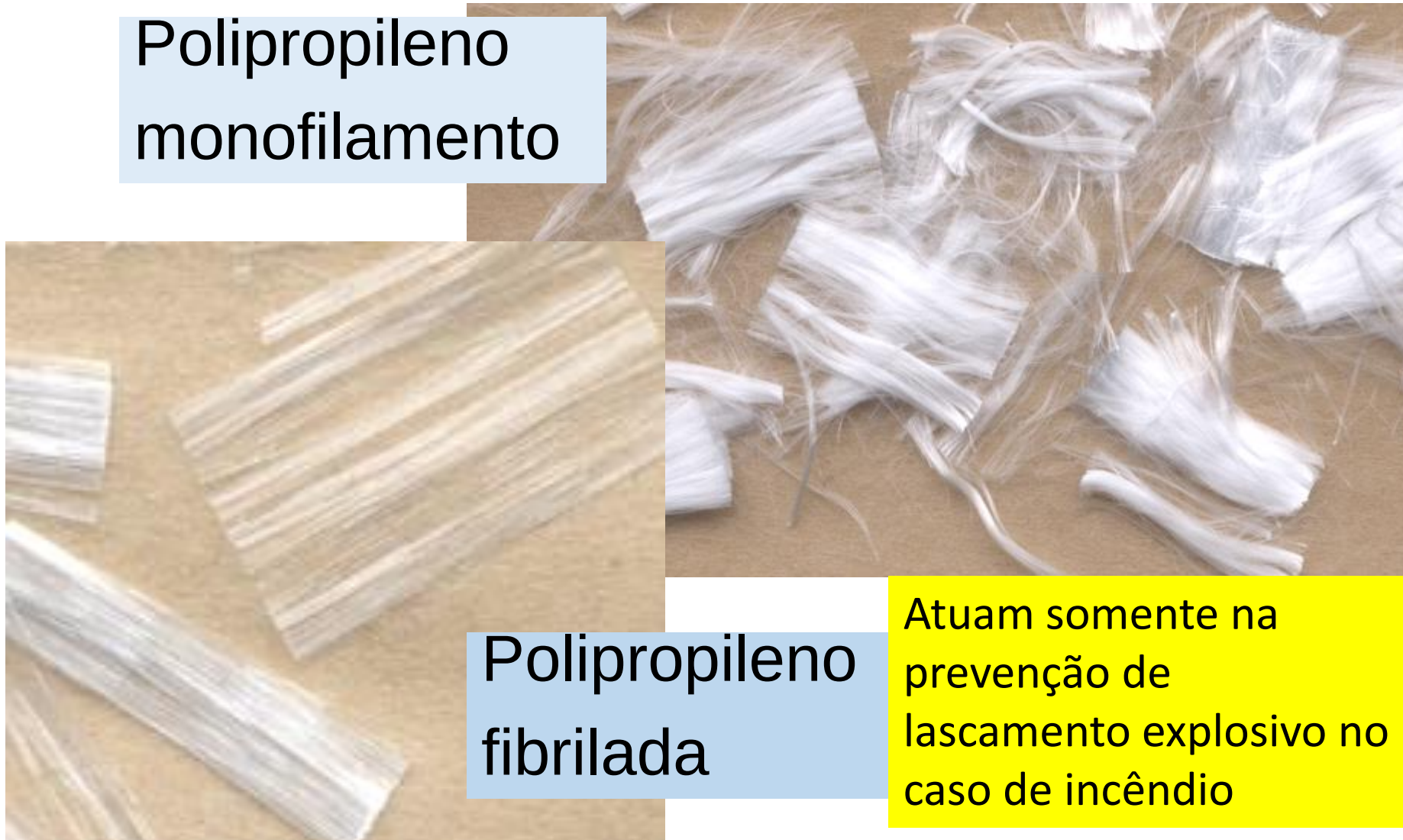
Fibras de aço já possuem normalização brasileira:
NBR 15530:07 – Fibras de aço para concreto - Especificação.

Micro fibras de PP

Polipropileno
monofilamento

Polipropileno
fibrilada

Atuam somente na
prevenção de
lascamento explosivo no
caso de incêndio



Efeito do uso das fibras

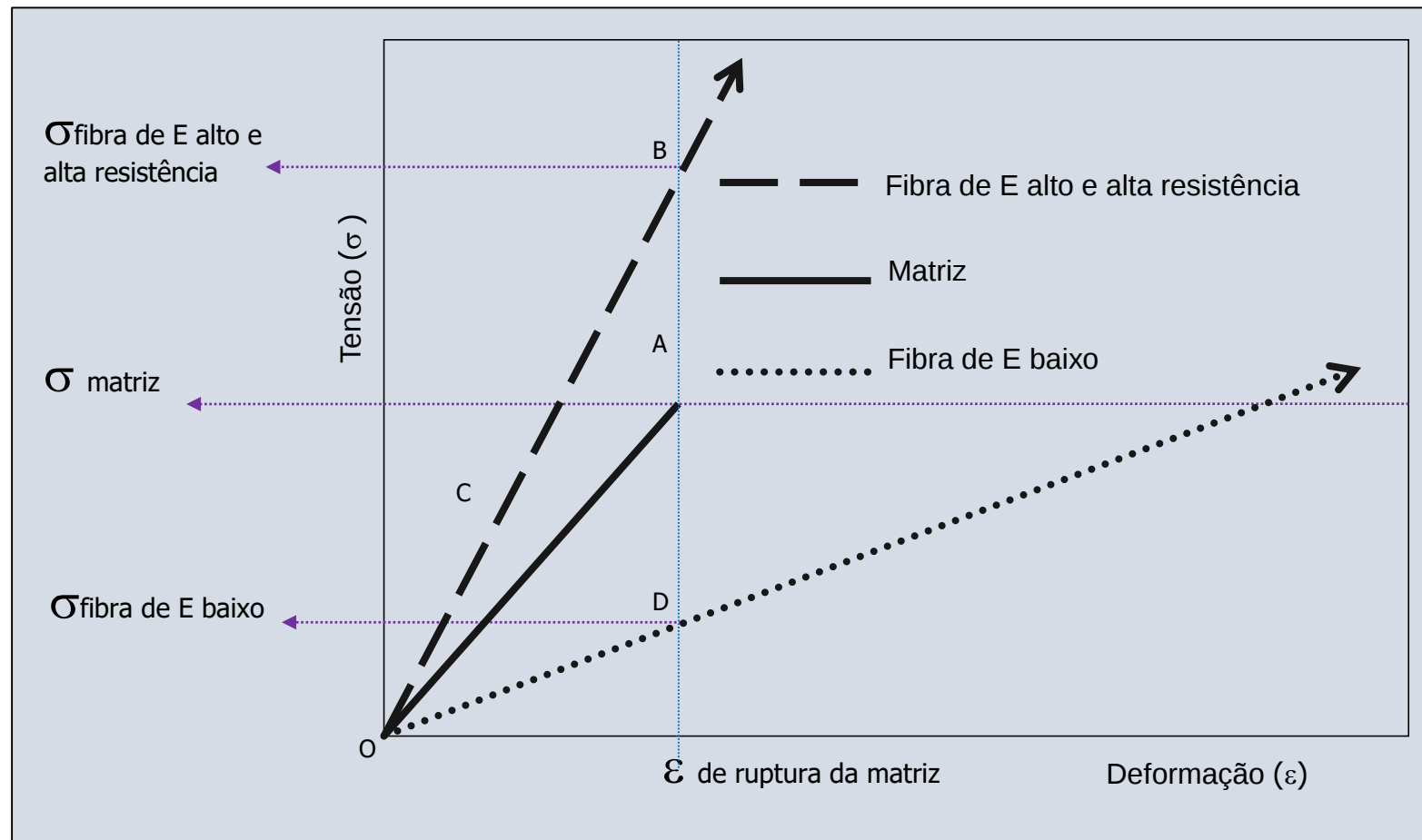
Trabalhabilidade :

- ✓ Dificultam mobilidade da mistura
- ✓ Aumentam desgaste do equipamento
- ✓ Diminuem risco de deslocamento

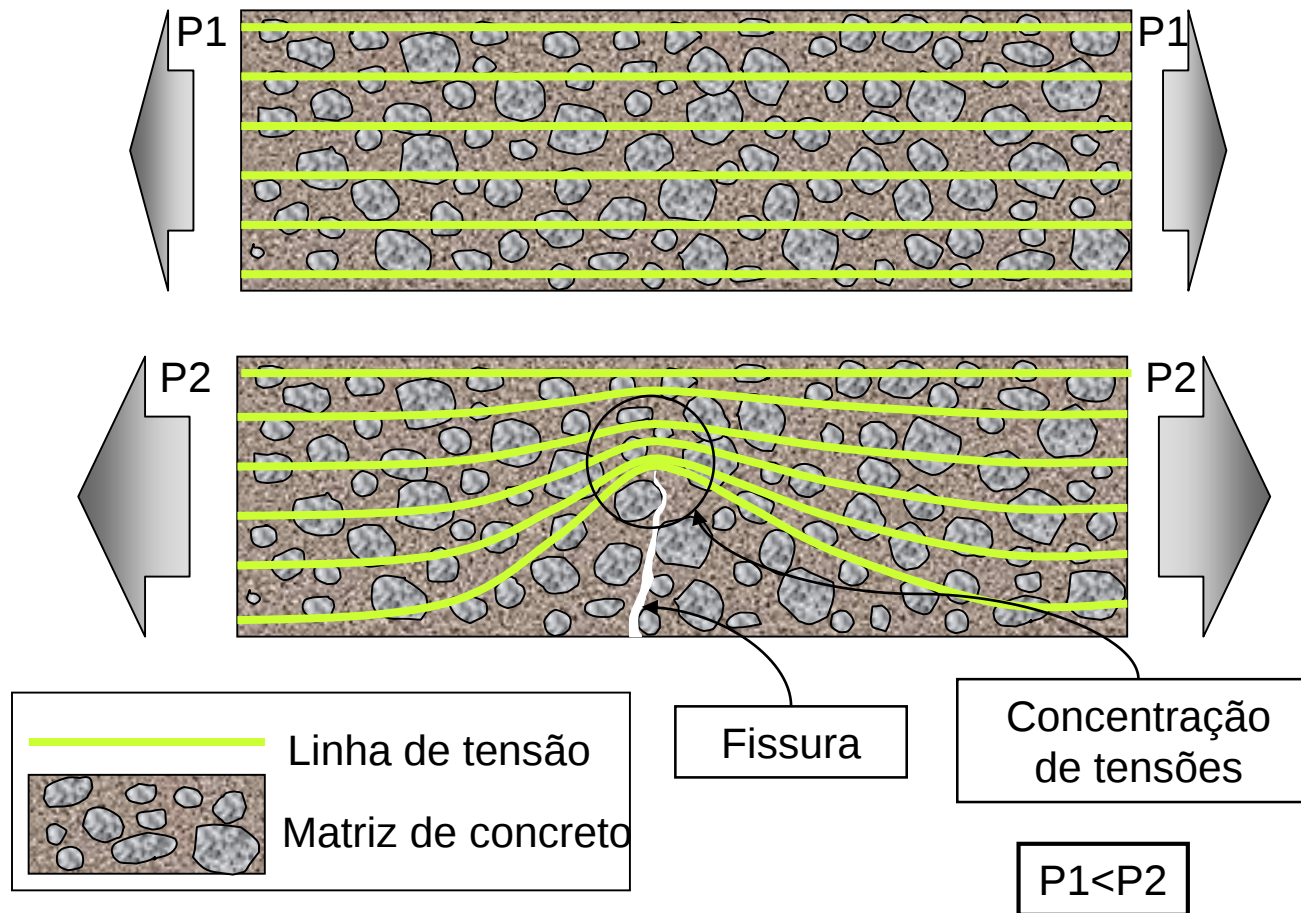
Concreto pseudo-dútil:

- Capacidade resistente pós-fissuração
- Múltipla fissuração

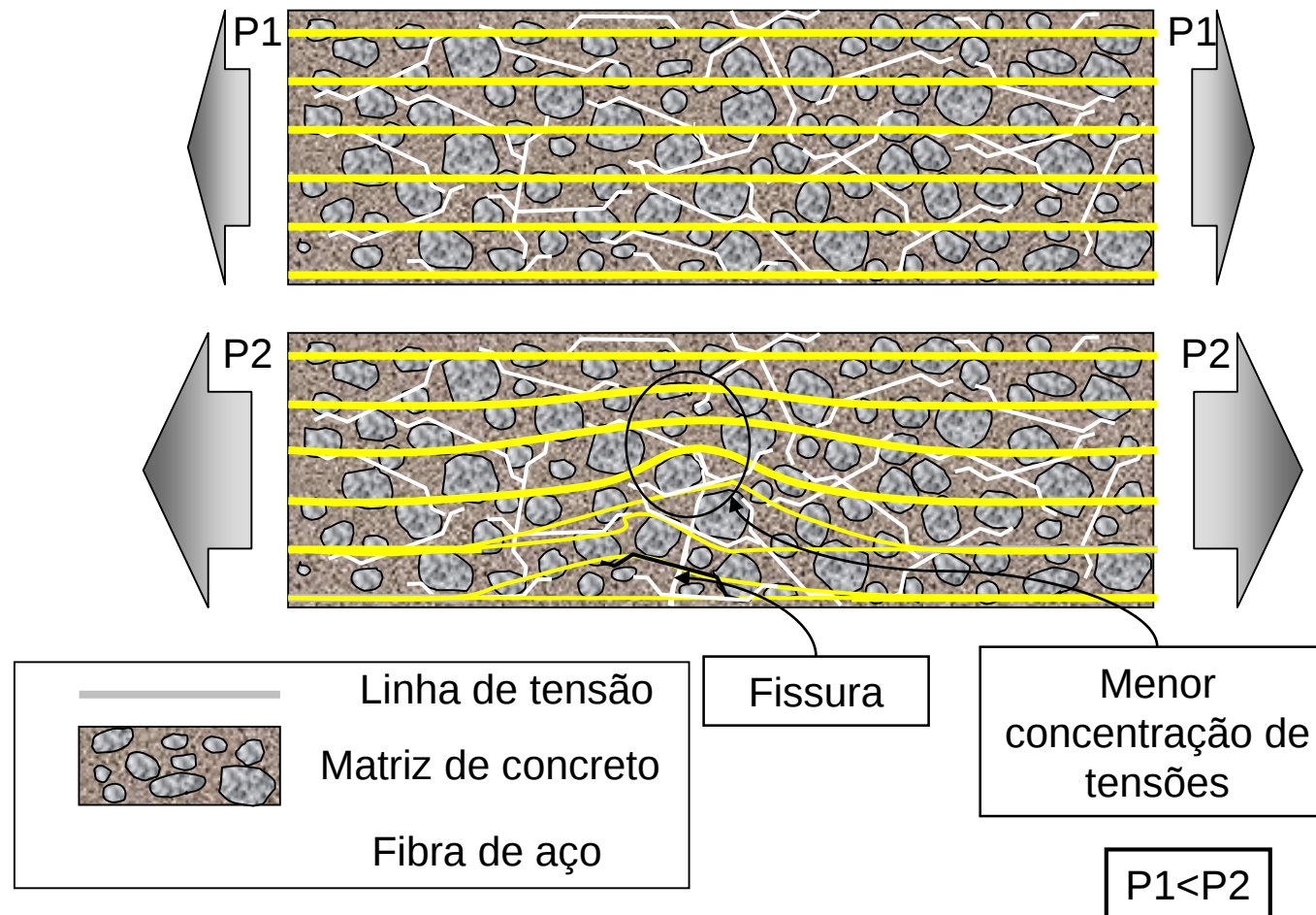
Tipo de reforço



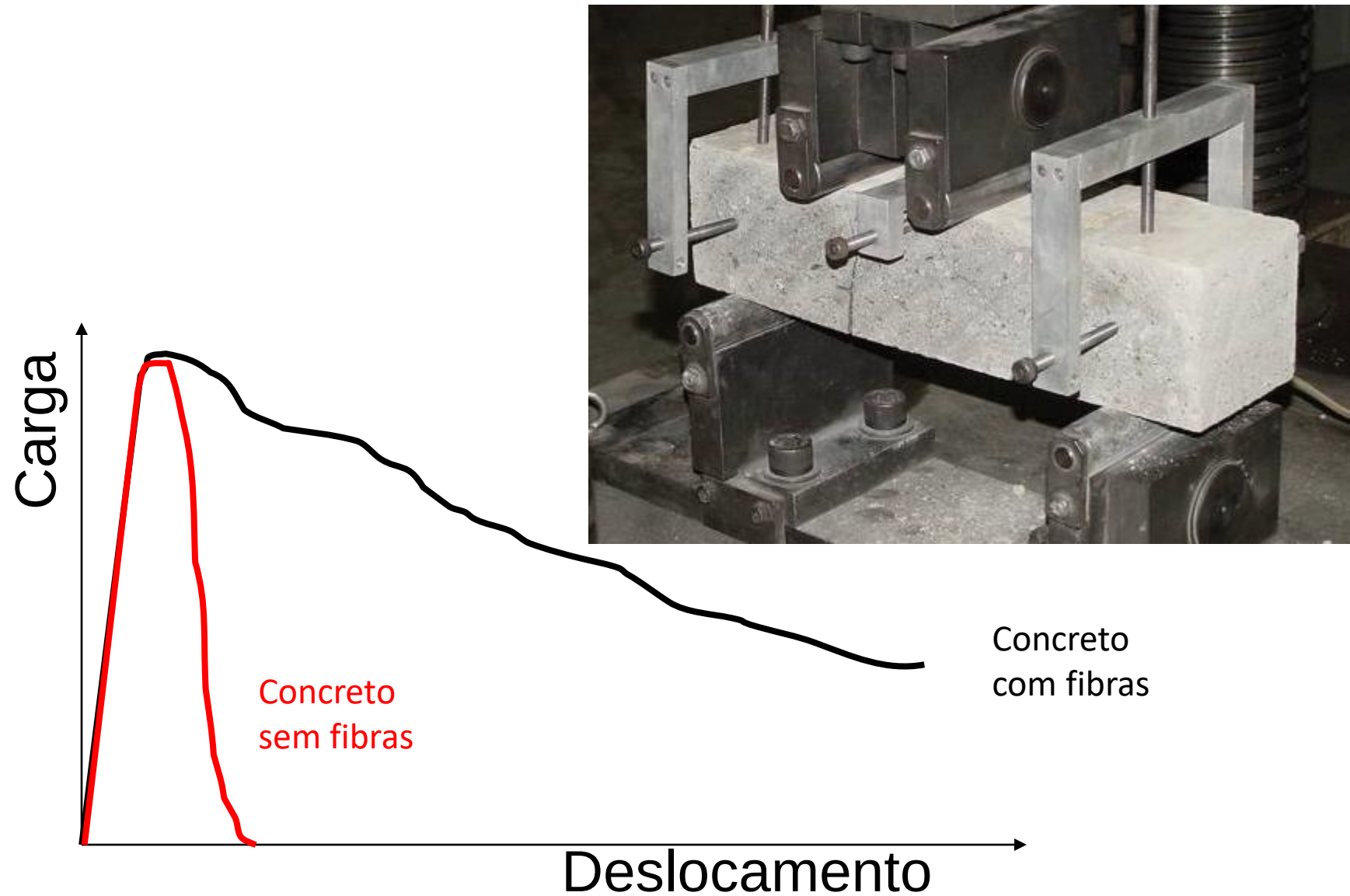
Fissuração em concreto não reforçado



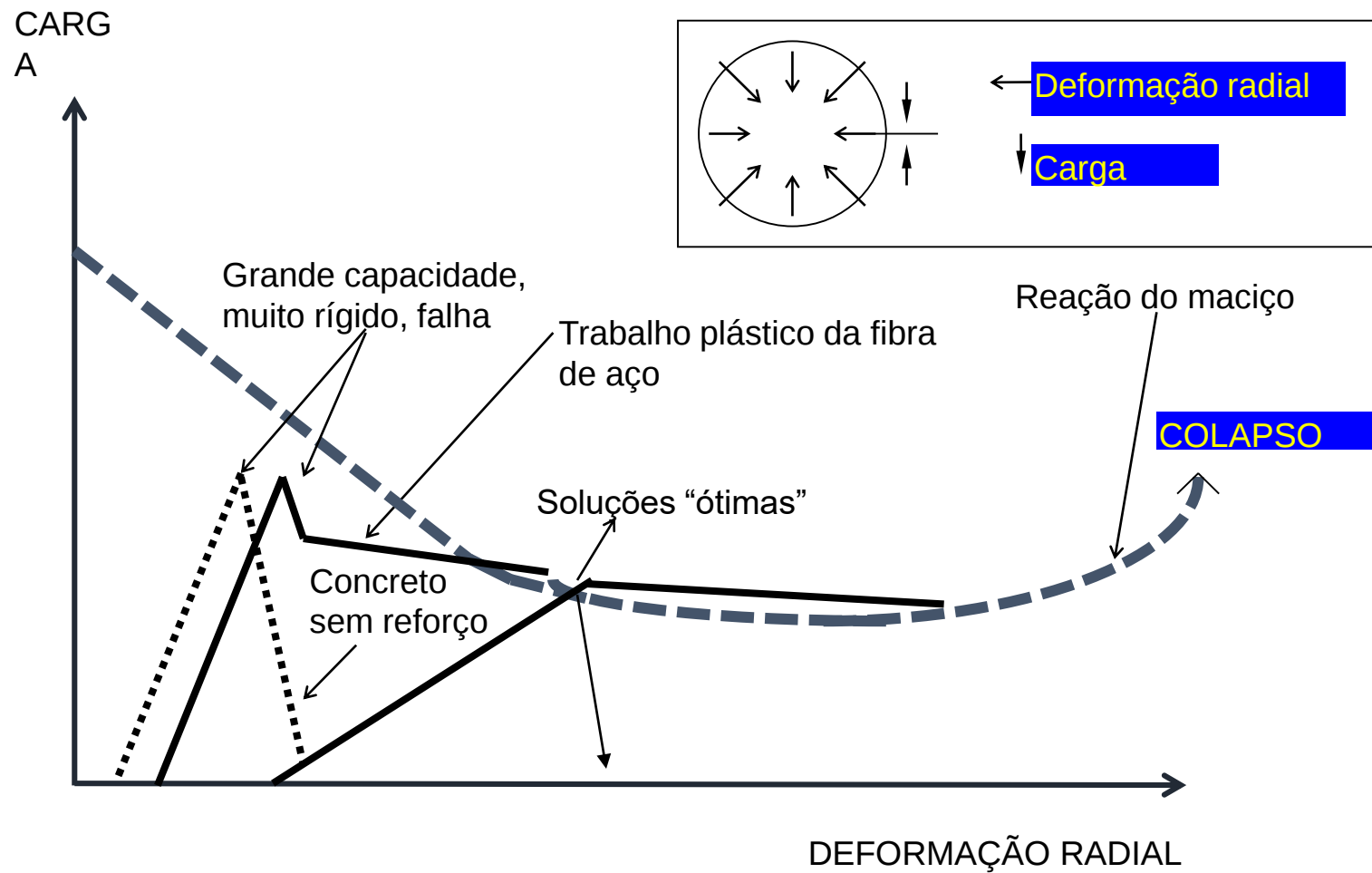
Fissuração em concreto não reforçado



Resistência residual



Modelo (NATM)



Vantagens do CPRF em túneis

- O CPRFA pode ser aplicado imediatamente após a escavação (menor risco de acidentes)
- Maior velocidade de execução do túnel
 - com o CPRFA o ciclo (ST $\sim 50\text{m}^2$) 5 $\rightarrow$ 3 horas
 - maior exigência quanto à resistência inicial (CELESTINO, 1996)
- Maior controle da fissuração associada ao revestimento primário (ARMELIN et al. 1994)

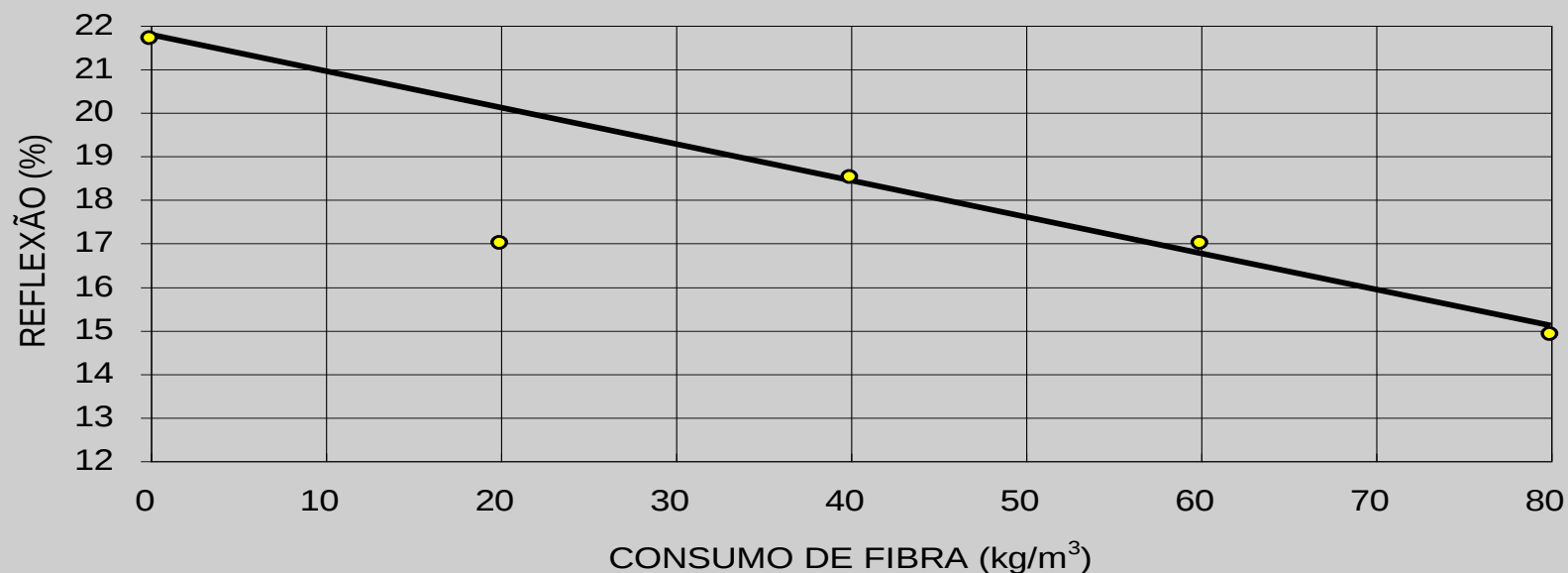
Vantagens do CPRFA em túneis

- A durabilidade do revestimento pode ser maior com fibras devido:
 - redução da fissuração.
 - fibra é um elemento descontínuo e muito menos sujeito à corrosão eletrolítica do que as barras contínuas das telas ou cambotas.

Vantagens do CPRFA em túneis

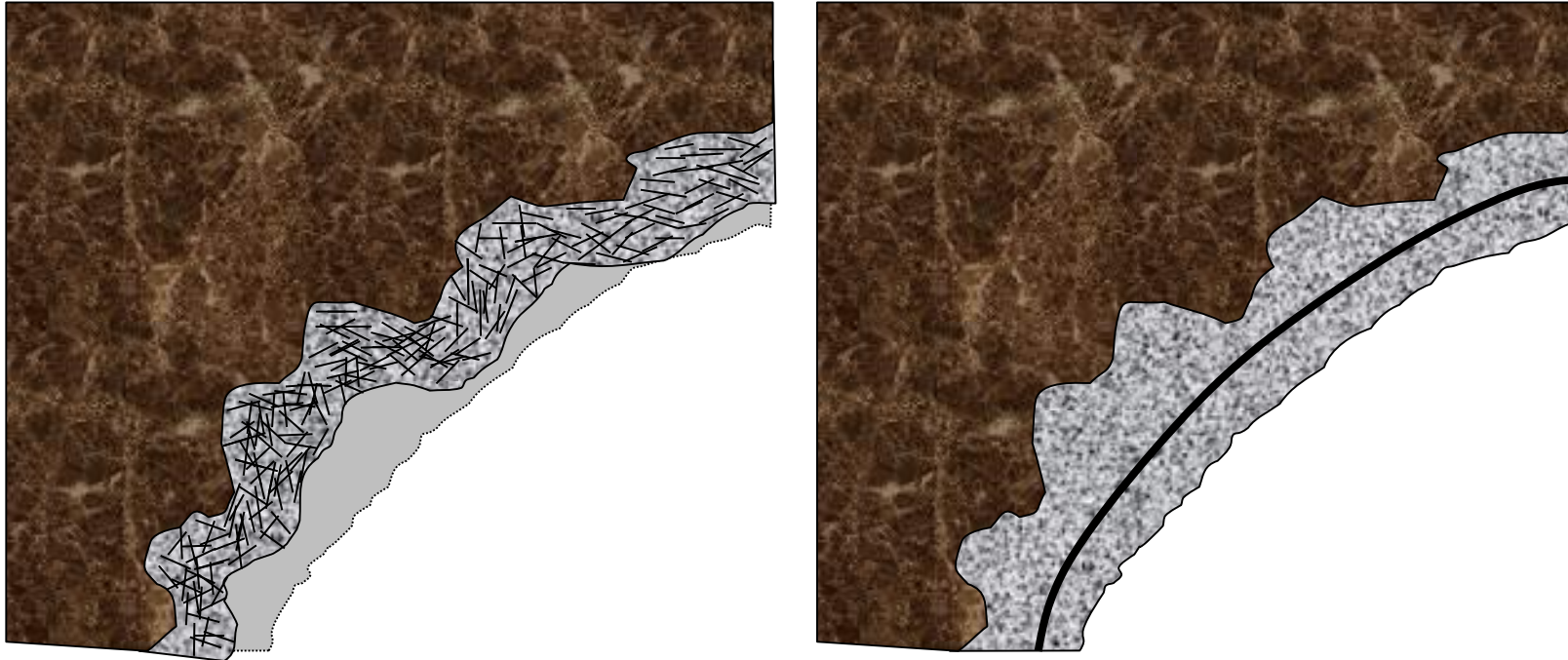
Redução da reflexão

- eliminação da tela
- eliminação de irregularidades
- maior umidificação



Reflexão = $21,7 - 0,08 \cdot CF$ com $r^2 = 0,996$

Concreto projetado com fibras para túneis



Concreto projetado reforçado com fibras:
Evita o volume excedente de preenchimento que ocorre
com o uso de tela metálica

Grandes desvantagens do CPRFA

Reflexão da própria fibra:

- Na via seca pode-se perder até 50% das fibras.
- Pior com a fibra de pp.
- Via úmida produz melhores resultados (para qualquer fibra).

Nem tudo é vantagem

- Frente parcializada: dificulta demolição
- Material na estrutura $\neq$ material na placa $\neq$ material moldado
- **Pré-qualificação do material = pré-qualificação do processo de projeção**



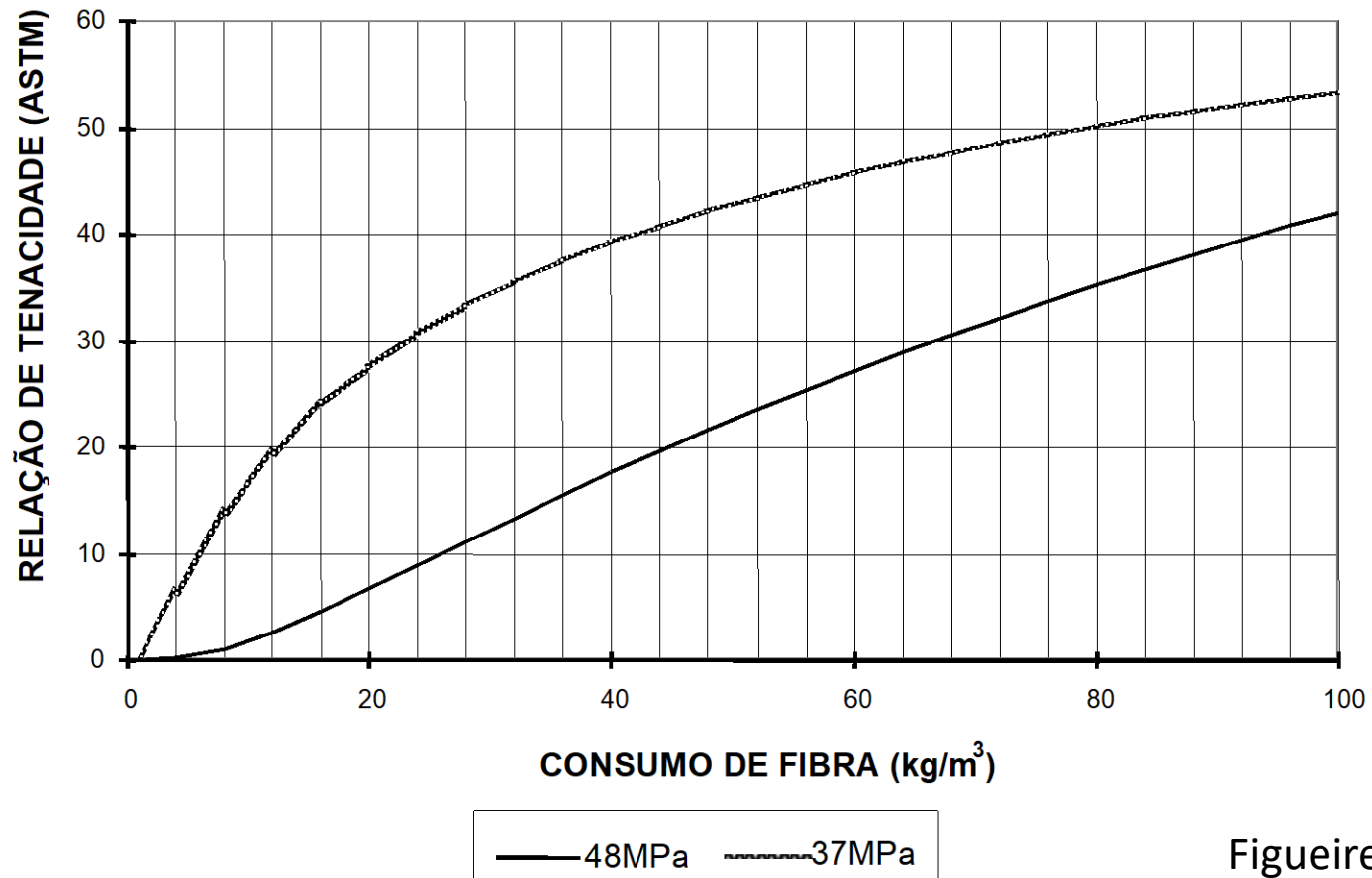
<http://www.metro.sp.gov.br/tecnologia/construcao/subterraneo/tesubterraneo.shtml>

DOSAGEM

É comum se fixar traços $\forall$ matriz e fibras (MEHTA e MONTEIRO, 1994; MORGAN, 1995).

ACI, 1988 referenciando a ASTM C1018 ignoram a influência das características da matriz (JOHNSTON e GRAY, 1986).

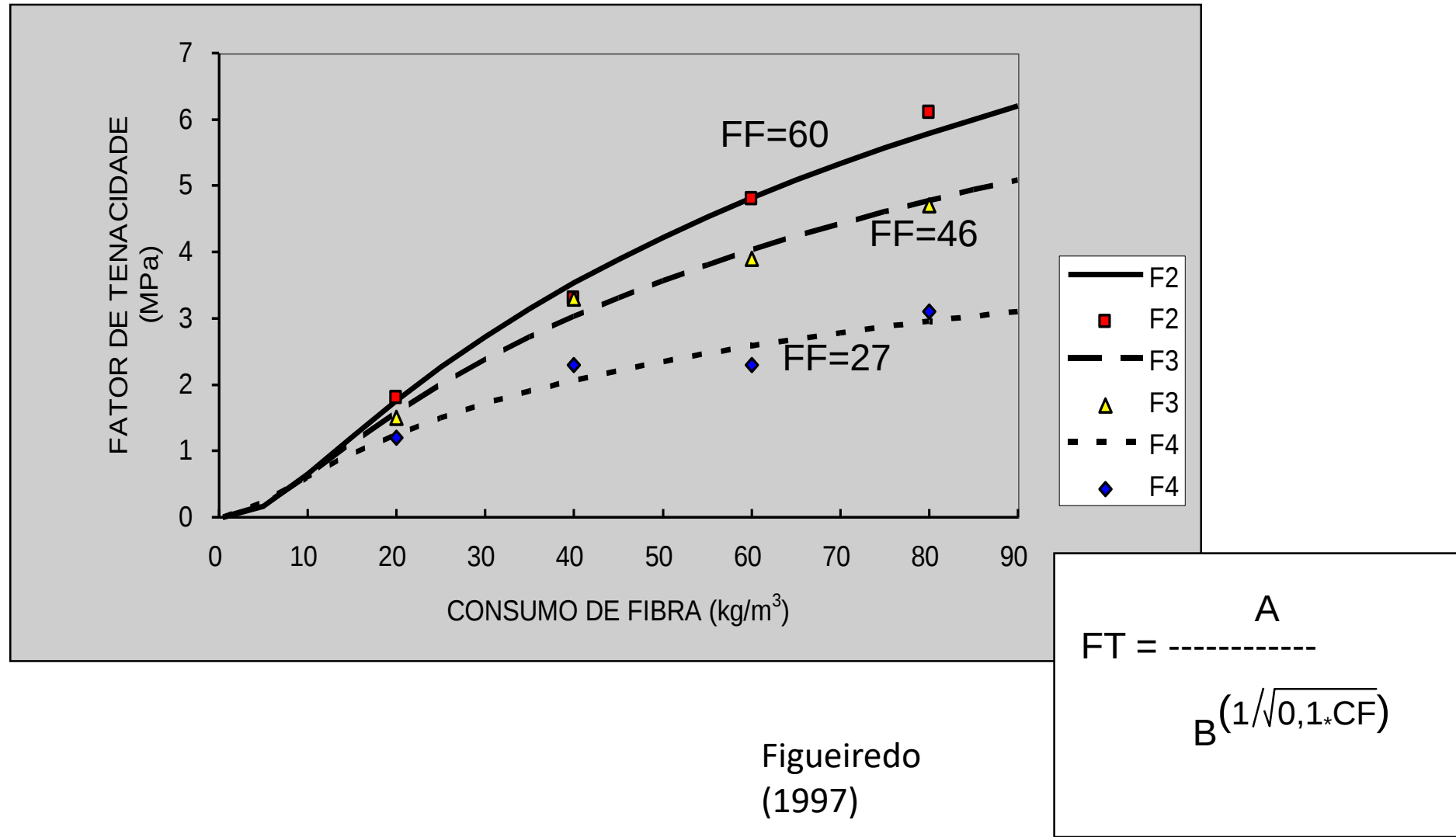
Há influência da matriz?



Figueiredo
(1997)

Há como dosar a fibra?

- Correlação exponencial para os fatores JSCE-SF4



O CPRF deve atuar como material estrutural

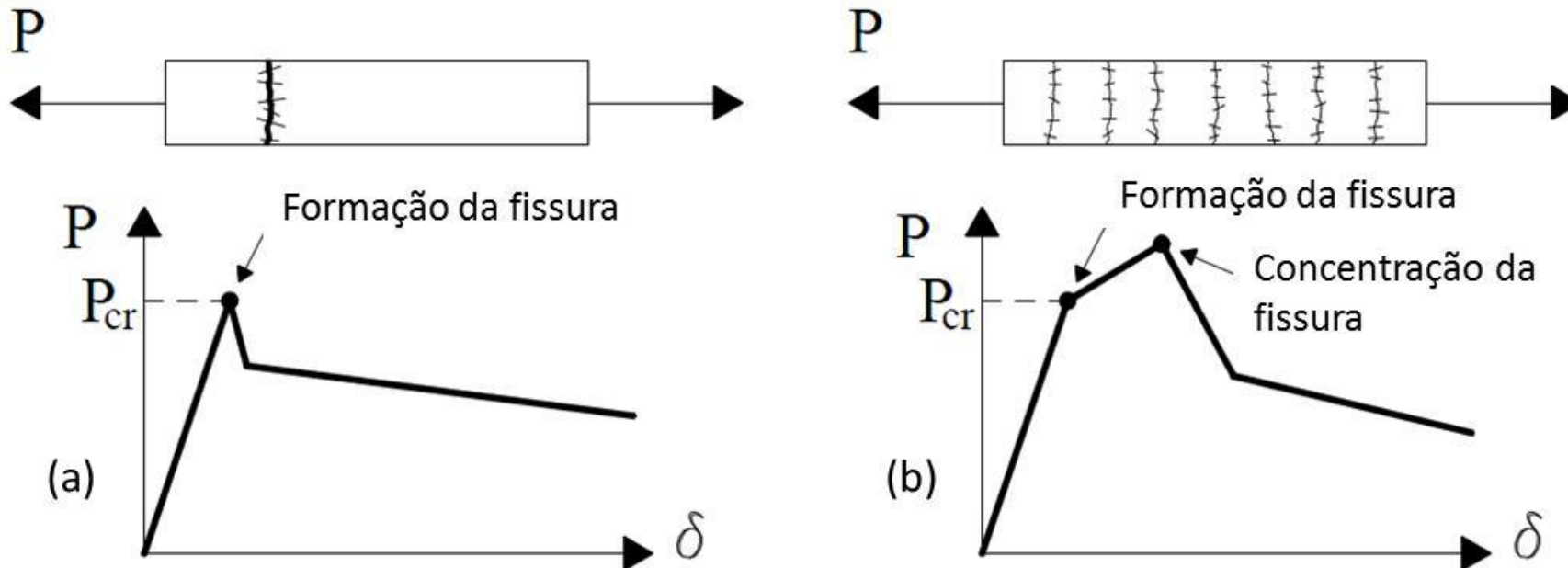
- **Primeiramente:** não há normas brasileiras de projeto estrutural e controle de qualidade no Brasil focando o CRF em geral
- Horizonte promissor: **Novo Código Modelo *fib***
- Adoção do modelo pela ABECE (2013)
- Não dá para aplicar ao concreto projetado diretamente.
- Há como adaptar a “filosofia”.

Novo Código Modelo *fib*

Baseado no trabalho:

M. di Prisco, G. Plizzari, L. Vandewalle **FIBER REINFORCED CONCRETE IN THE NEW FIB MODEL CODE**. 3rd *fib International Congress* - 2010

- Comportamentos básicos do CRF



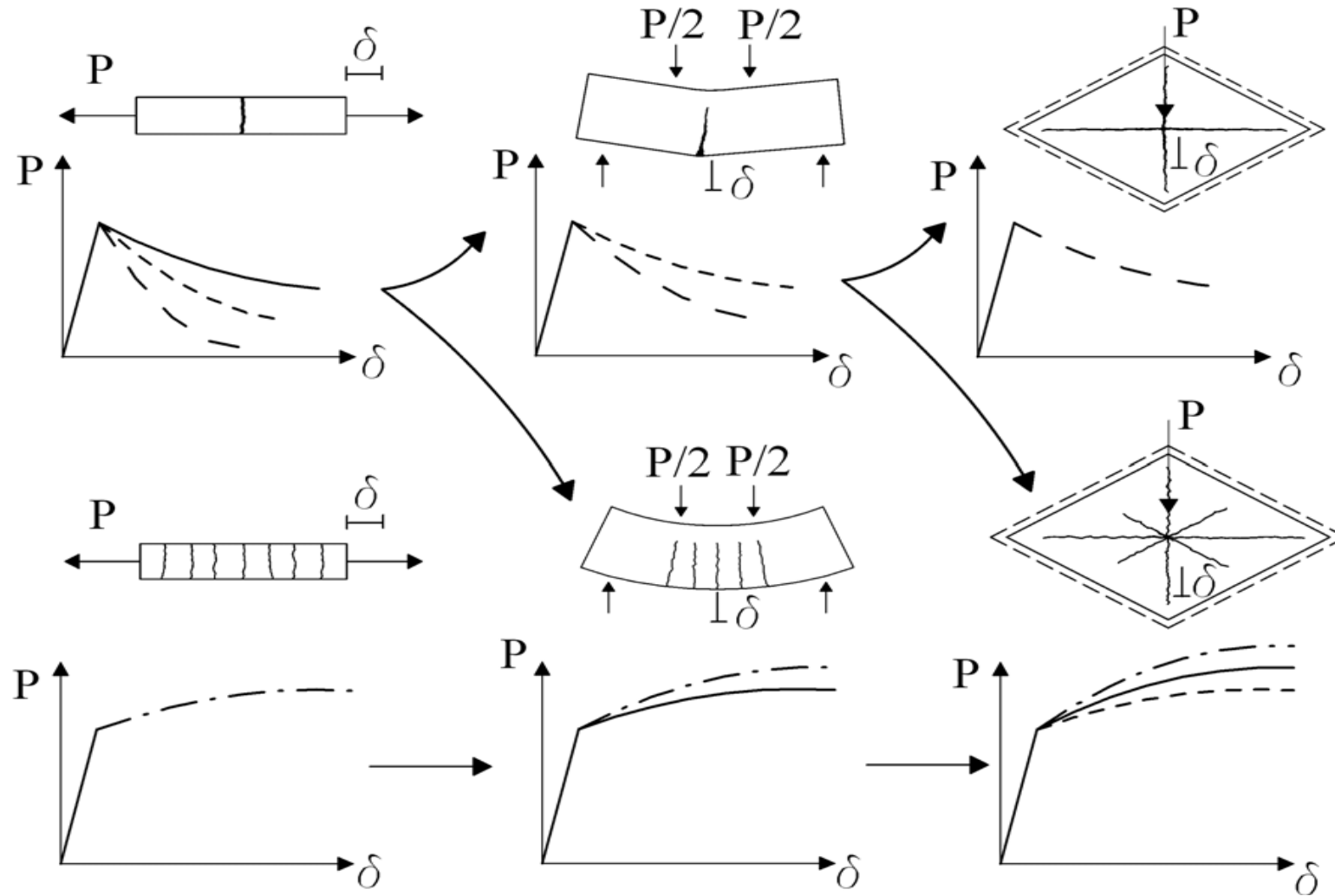
Leis constitutivas para tração uniaxial

- Para comportamento hardening ocorre a múltipla fissuração.
- A indicação da abertura de fissura não é necessária: faz-se a avaliação experimental direta em ensaio de tração axial, sem entalhe (dog-bone) para obter a relação σ - ϵ :
- Divide-se a deformação medida pelo braço de medida do extensômetro.



Novo Código Modelo *fib*

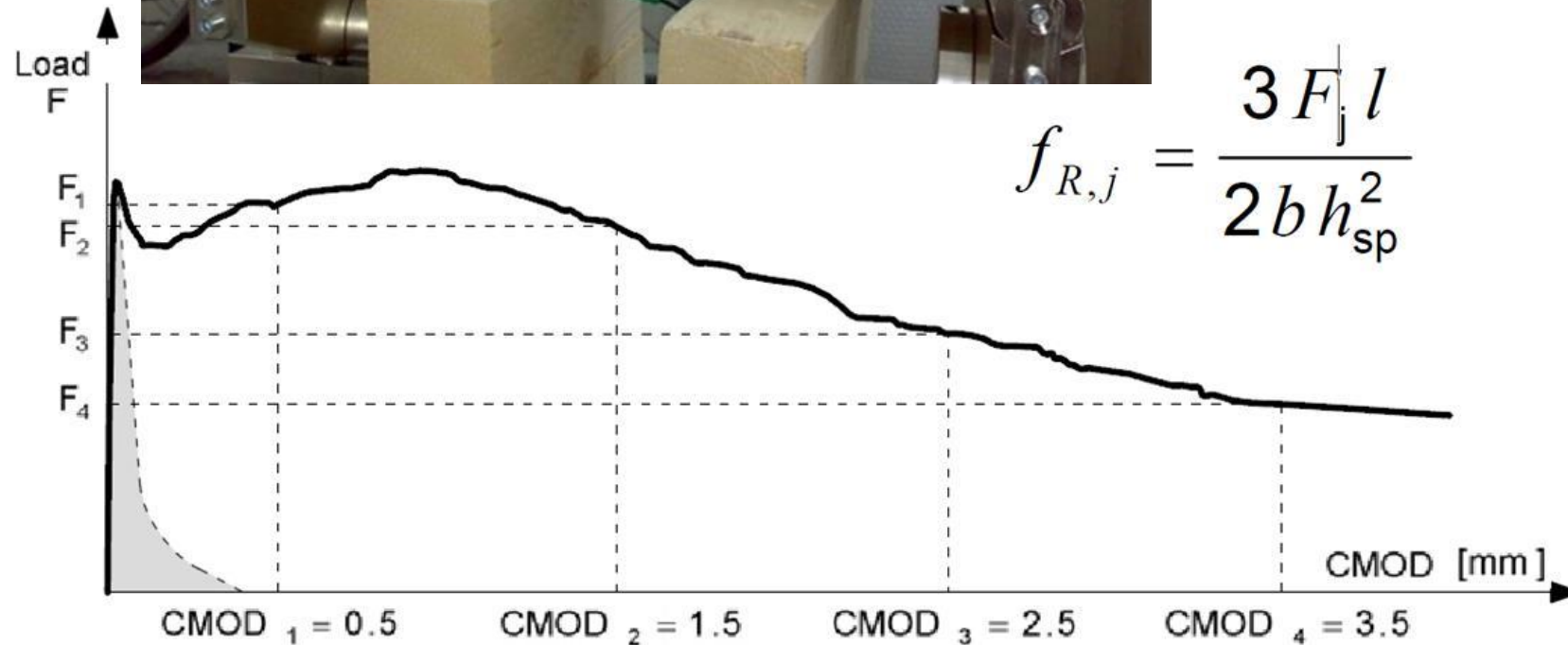
- Alternativas de controle do CRF



Novo Código Modelo *fib*

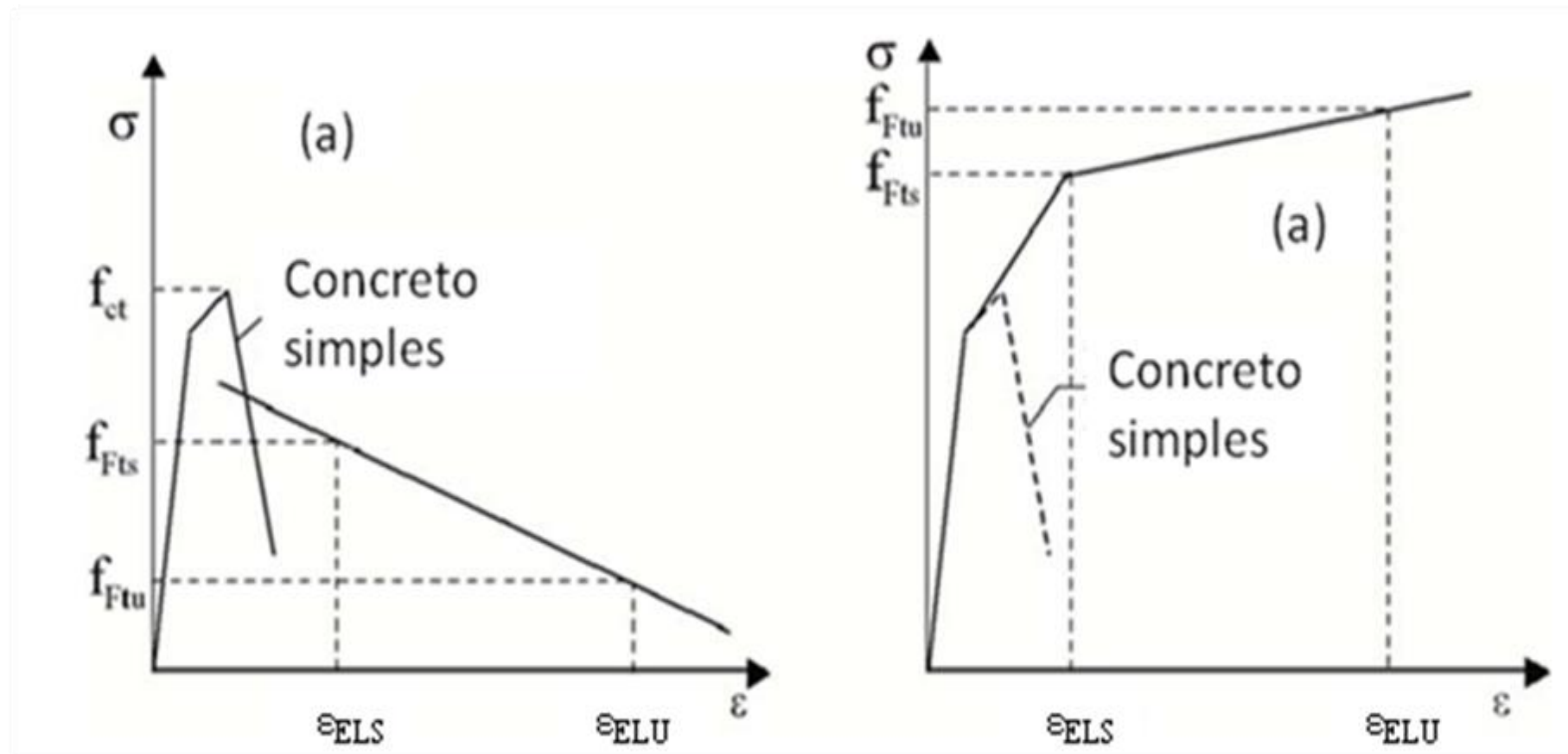


- Método básico de controle adotado EN 14651 (2007)



Novo Código Modelo *fib*

Comportamento básico e equações constitutivas.

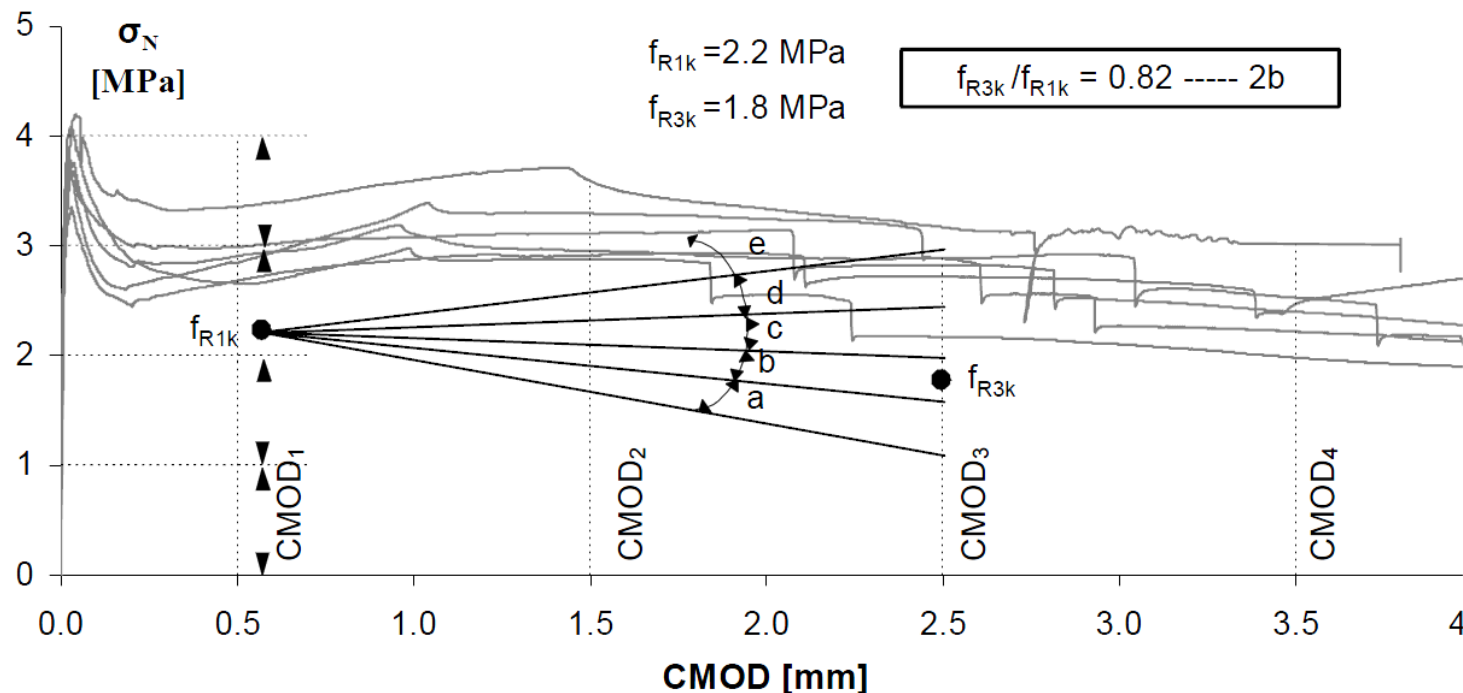


Novo Código Modelo *fib*

Comportamento básico e equações constitutivas.

$$\frac{f_{R1k}}{f_{Lk}} \geq 0,4$$
$$\frac{f_{R3k}}{f_{R1k}} \geq 0,5$$

"a" se $0.5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0.7$
"b" se $0.7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 0.9$
"c" se $0.9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1.1$
"d" se $1.1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} \leq 1.3$
"e" se $1.3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$



Ensaio não aplicável para o concreto projetado

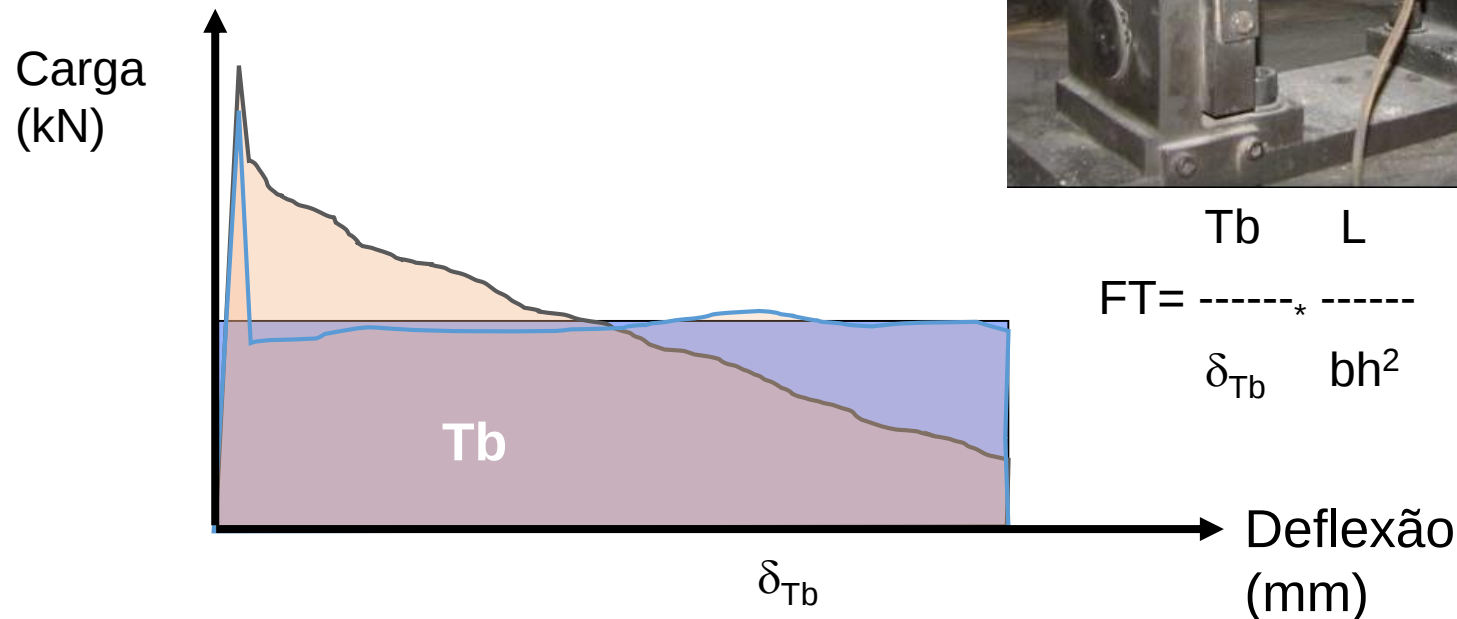
Controle específico do CPRF

- Necessariamente moldam-se placas e extraem-se testemunhos prismáticos das placas.
- Não há avaliação das estruturas (ato de fé que o parâmetro da placa é representativo da estrutura)



Controle tradicional JSCE-SF4 (1984)

- Controle por absorção de energia até 2 mm de deslocamento.
- Método totalmente antiquado e ultrapassado



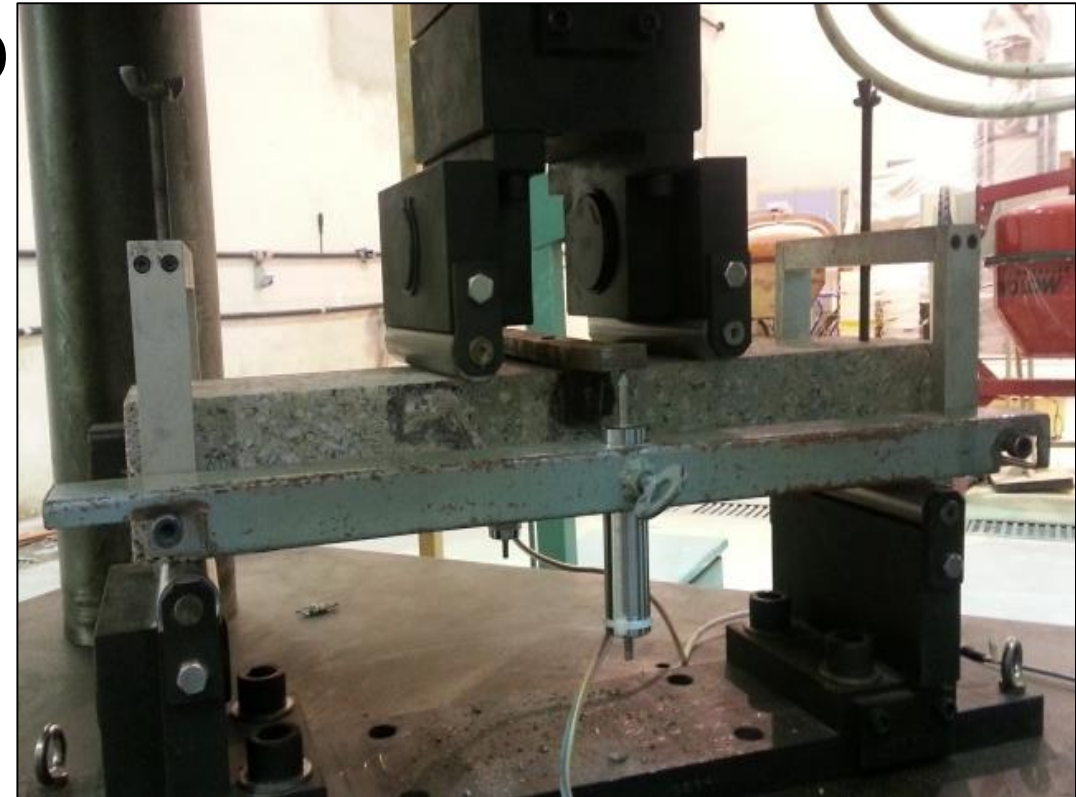
EFNARC: controle em placas e prismas cortados de placas moldadas



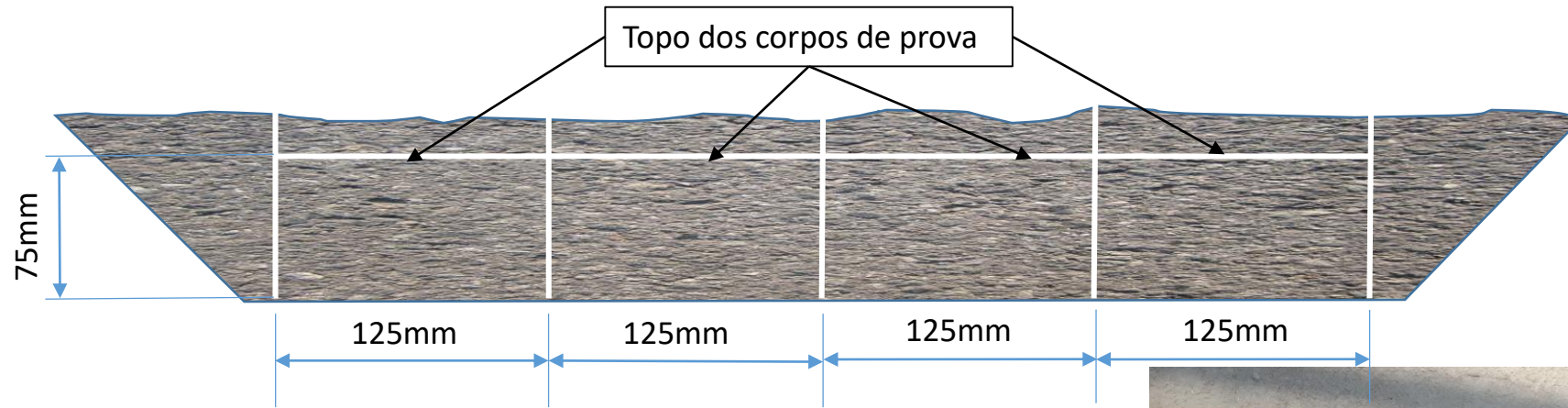
Requisitos mínimos de desempenho: **Reforço de fibras**

Resistência residual na flexão

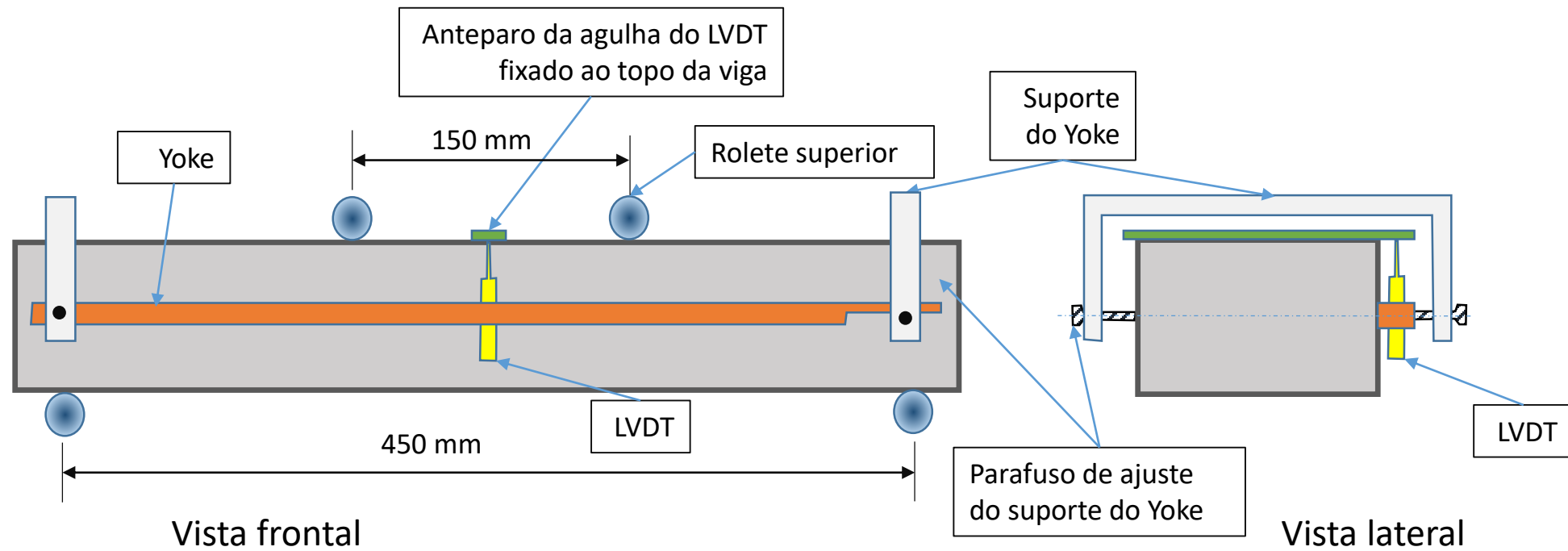
- O ensaio descrito no Anexo C em CPs preparados a partir de testemunhos extraídos de placas (Anexo B).
- Equivalente ao recomendado pela EFNARC (1996) e norma europeia EN14488-3:2006.



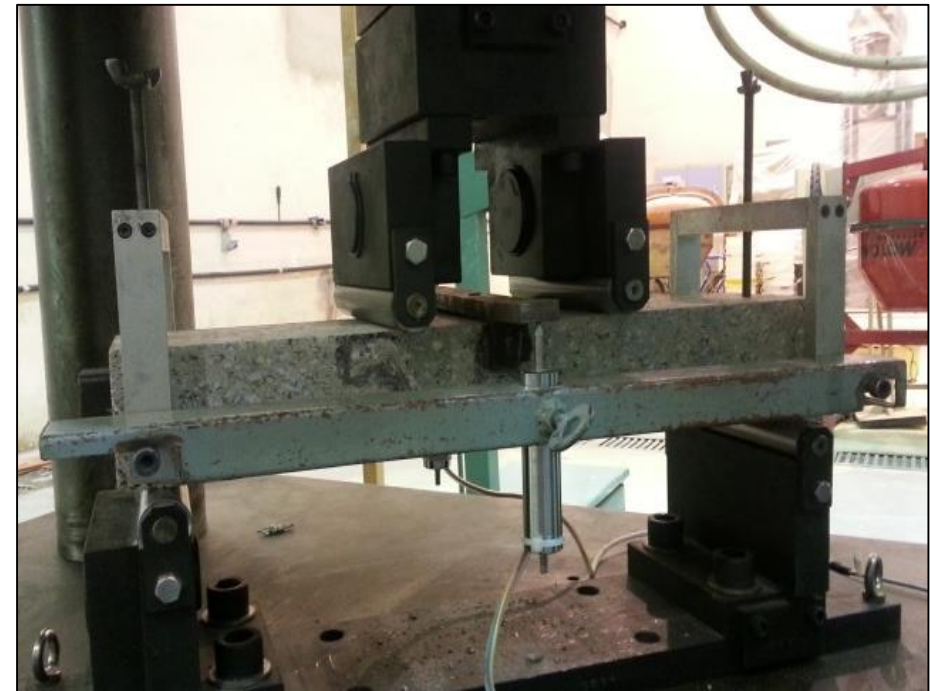
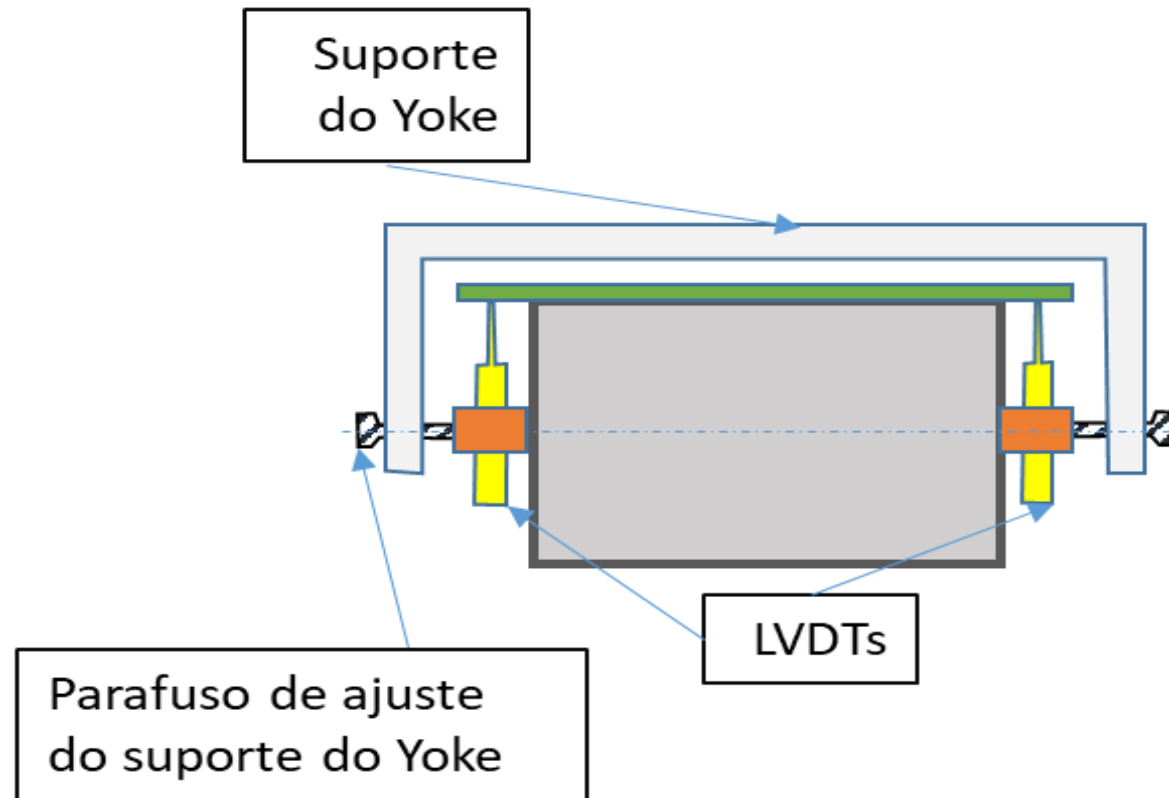
Resistência á tração e residual na flexão



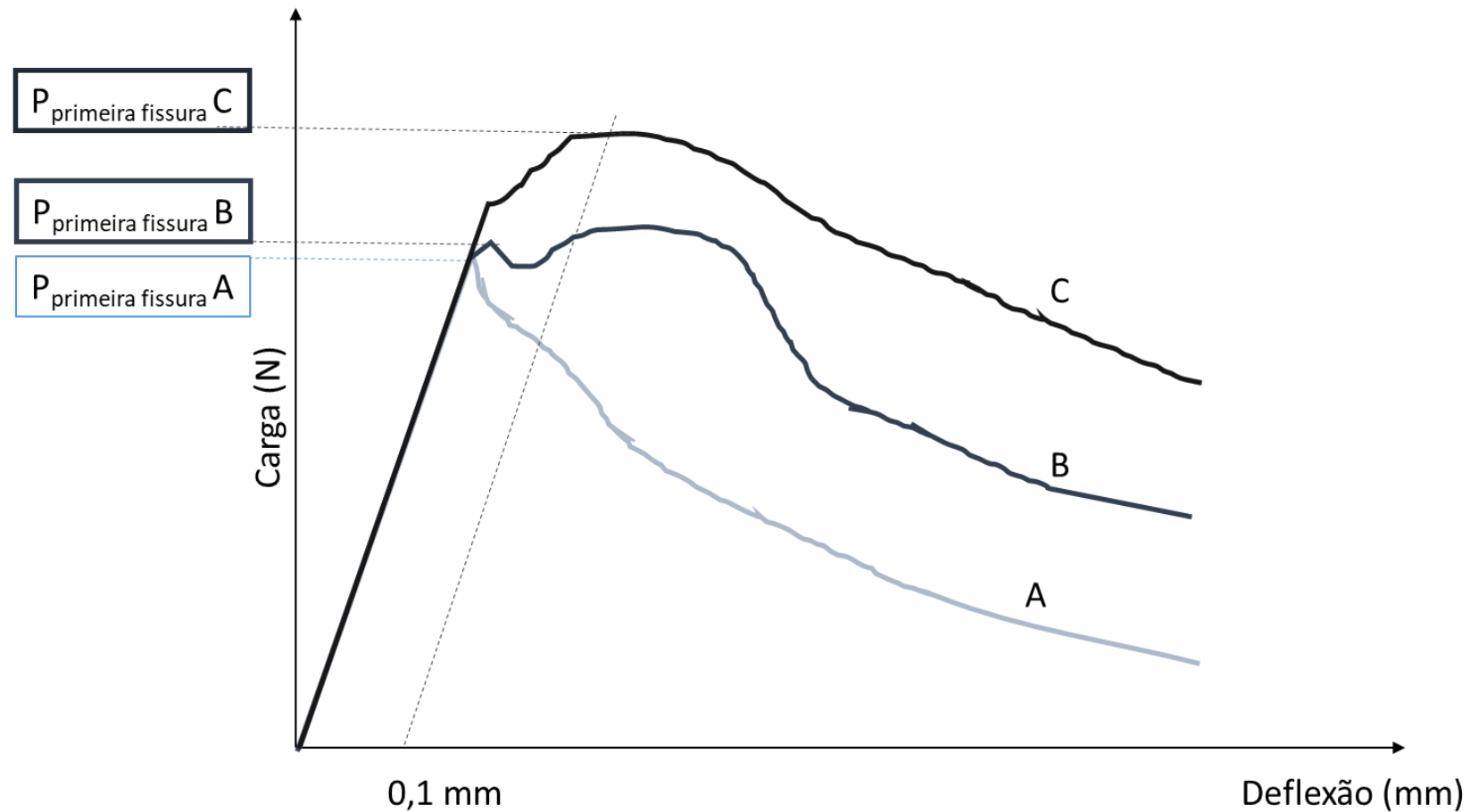
Resistência á tração e residual na flexão



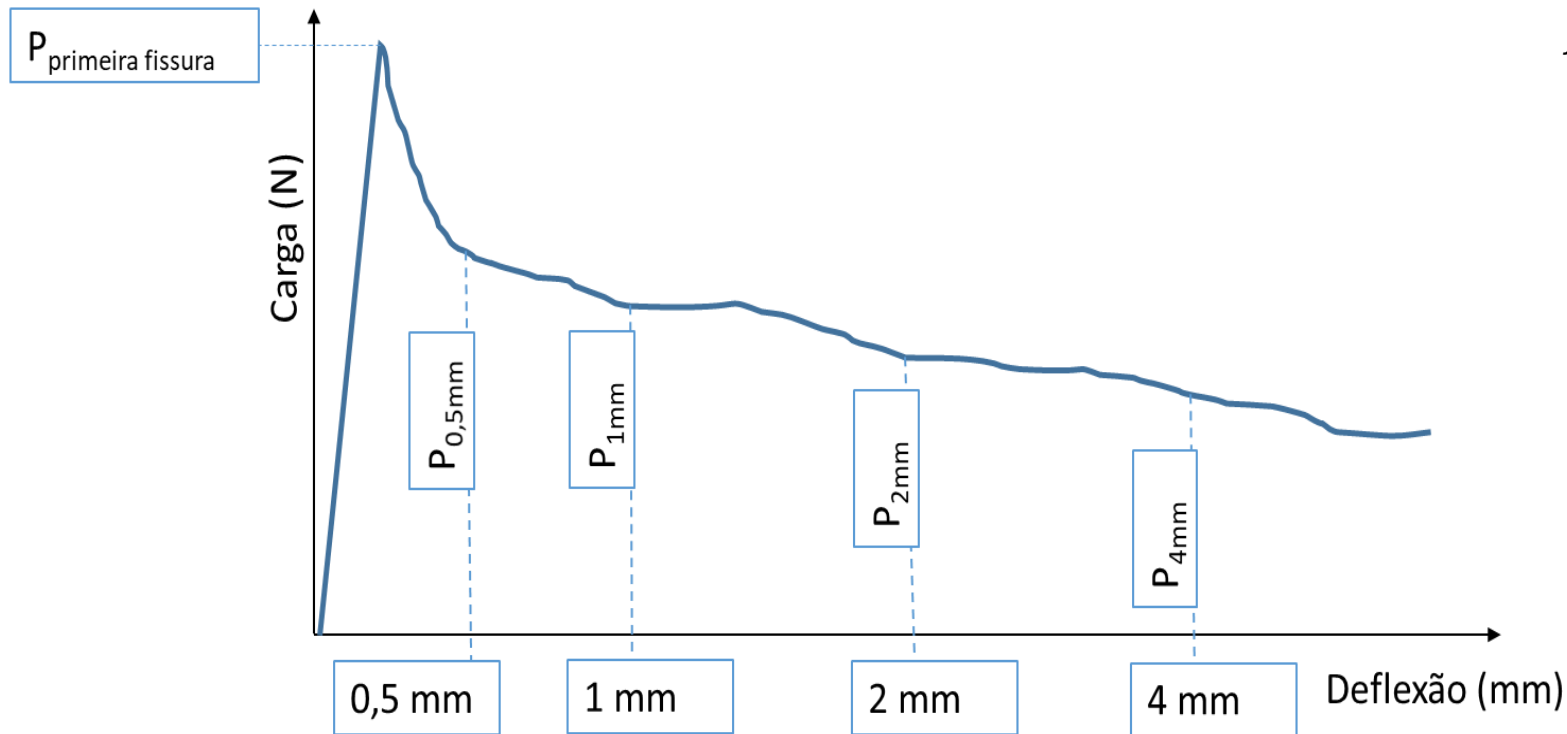
Resistência á tração e residual na flexão



Resistência á tração na flexão



Resistência residual na flexão: classes de resistência



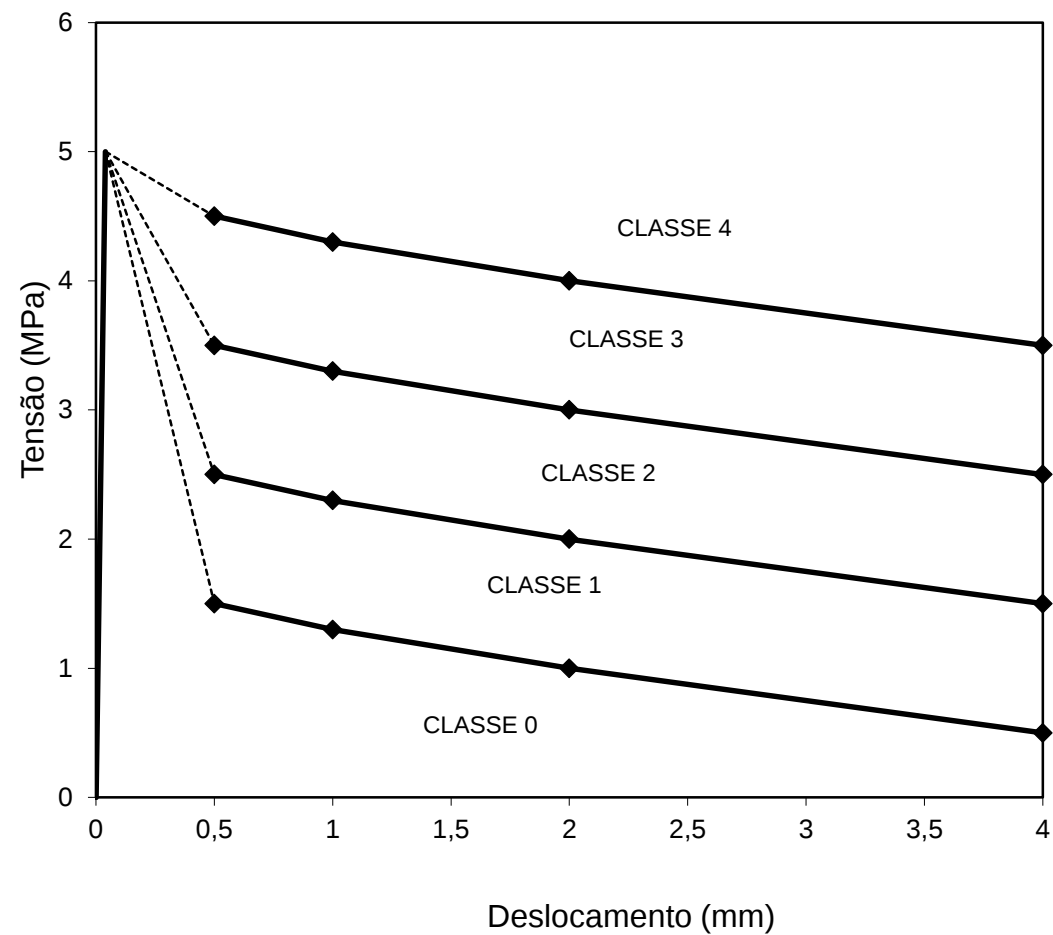
$$fe_{0,5mm}^i = P_{0,5mm}^i * \frac{L}{b^i * (h^i)^2}$$

$$fe_{1mm}^i = P_{1mm}^i * \frac{L}{b^i * (h^i)^2}$$

$$fe_{2mm}^i = P_{2mm}^i * \frac{L}{b^i * (h^i)^2}$$

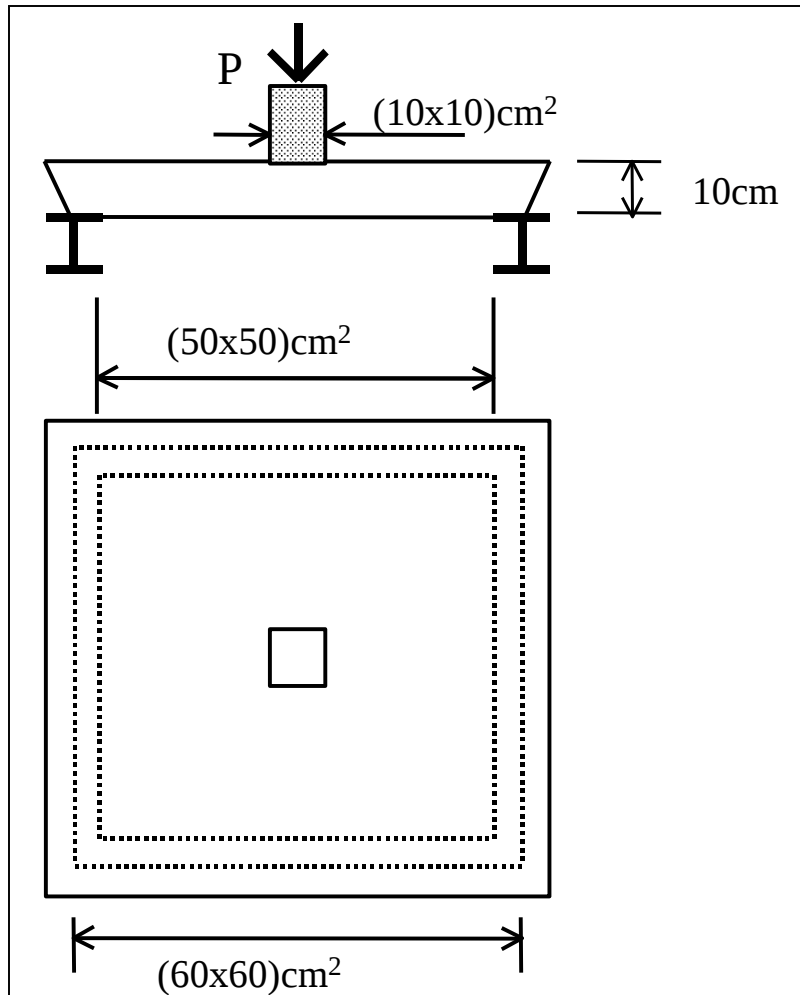
$$fe_{4mm}^i = P_{4mm}^i * \frac{L}{b^i * (h^i)^2}$$

Resistência residual na flexão: classes de resistência (EFNARC)



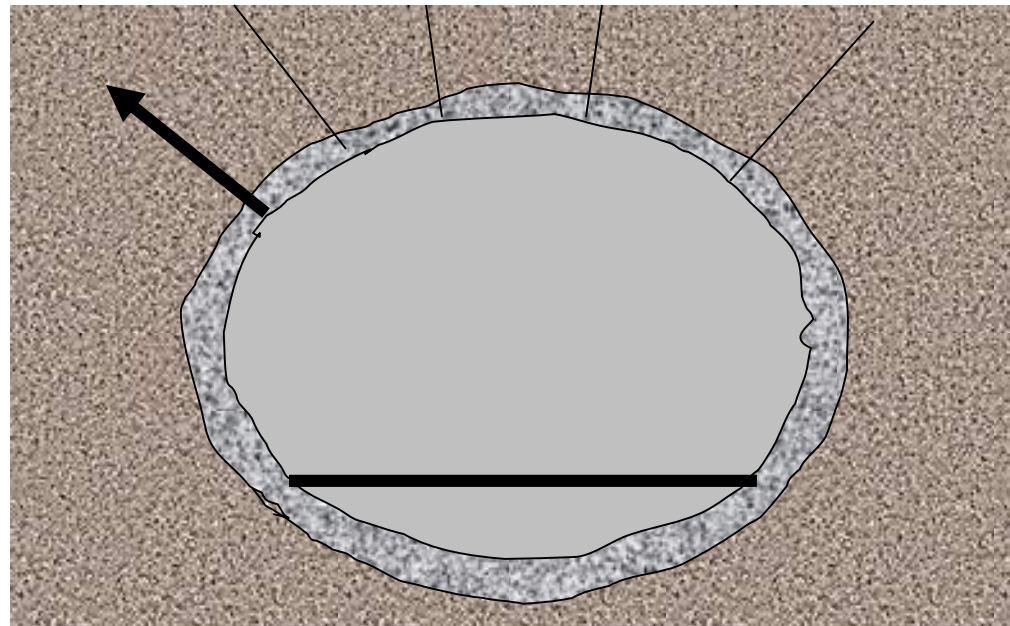
Classe de deformação	Deformação do corpo-de-prova (mm)	Resistência residual por classe (MPa)			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Inicial	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5
Baixa	1	1,3	2,3	3,3	4,3
Normal	2	1	2	3	4
Alta	4	0,5	1,5	2,5	3,5

Ensaio de punção de placas



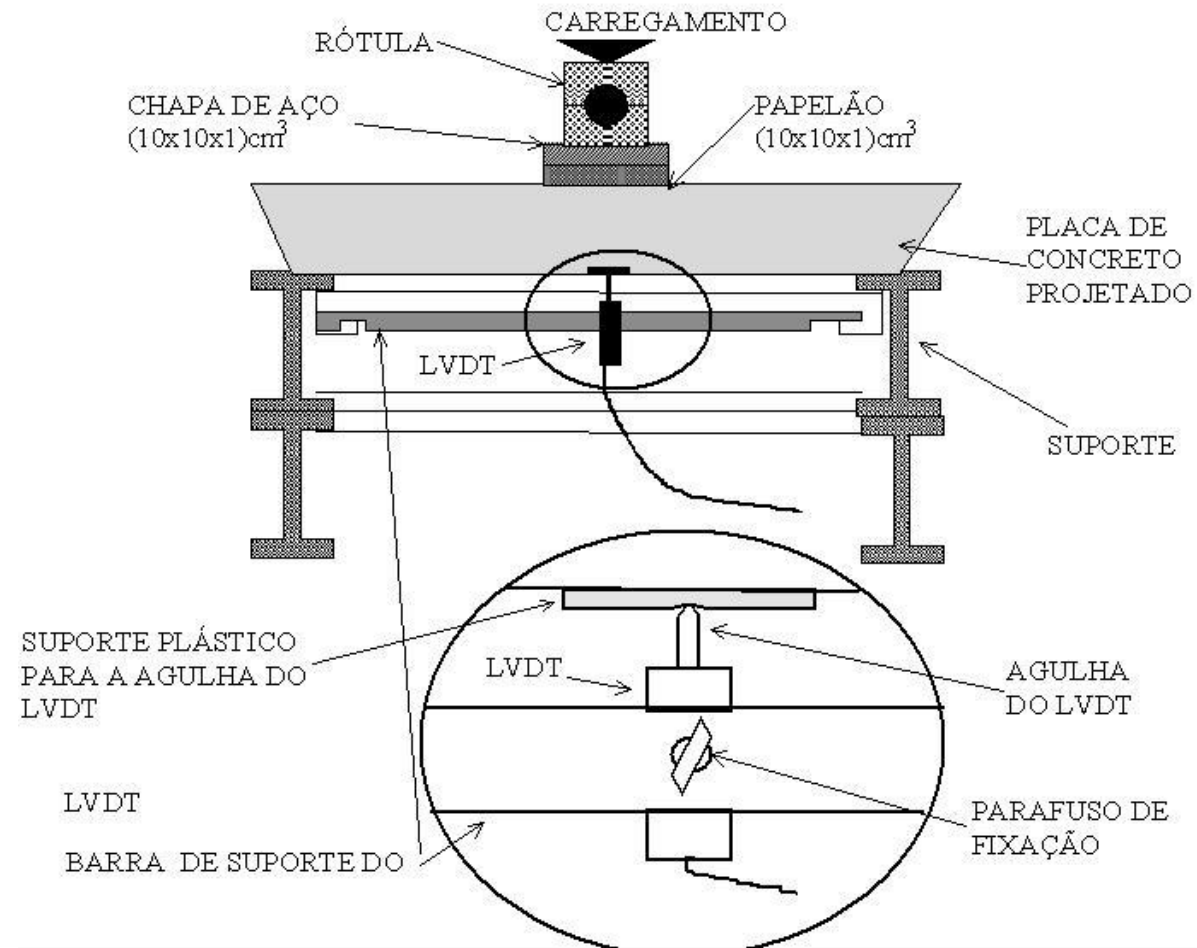
Representa o esforço de um tirante

Permite comparação entre fibras e telas metálicas



Ensaio de punção de placas

Sistema para melhorar a precisão



Ensaio de punção de placas

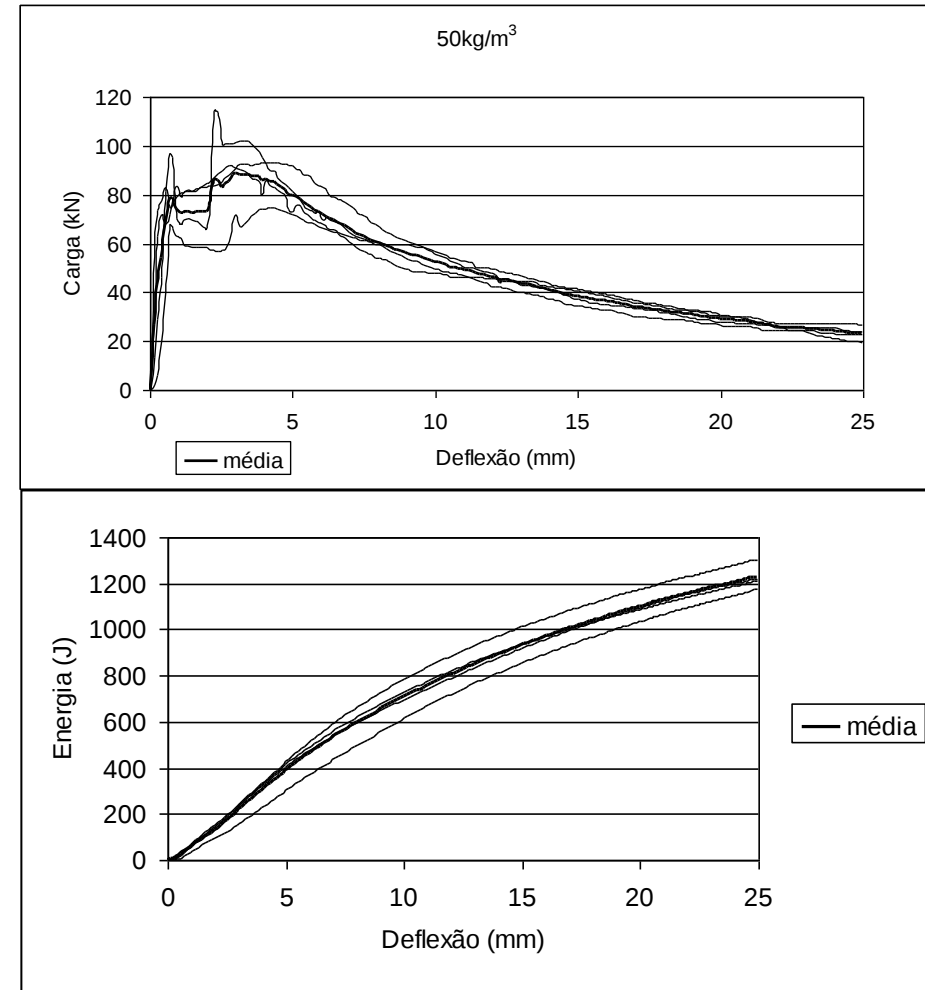
Grandes níveis de deslocamento geram grandes aberturas de fissuras e alterações da condição de apoio: grande variabilidade em geral.



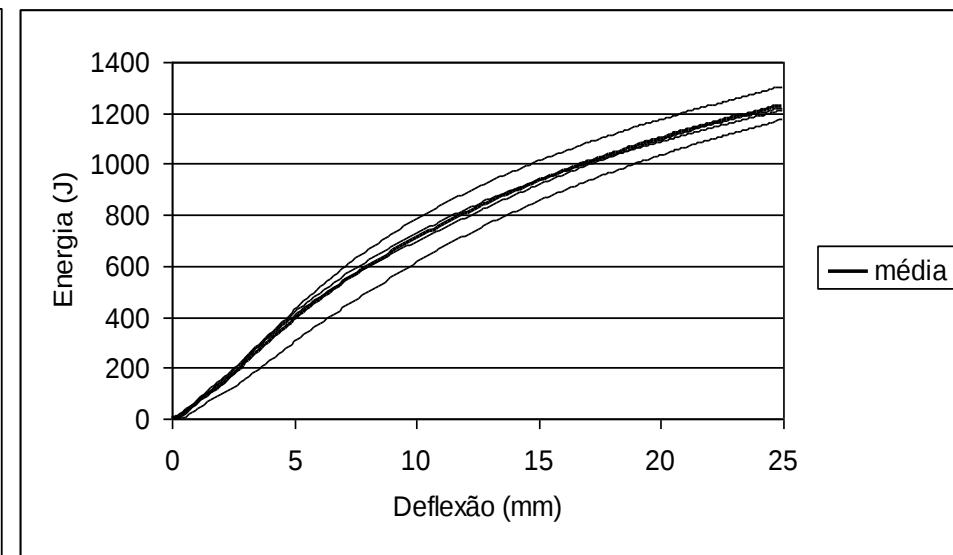
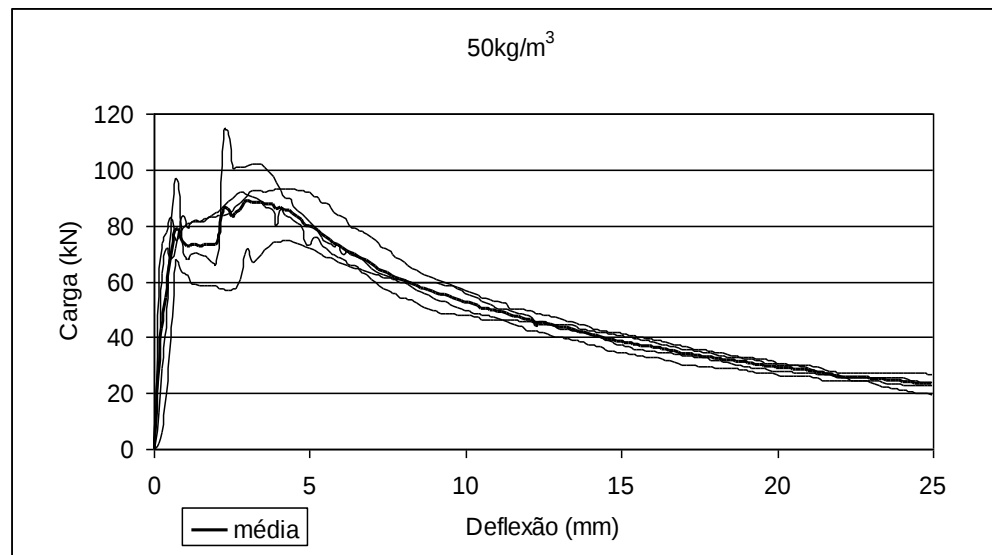
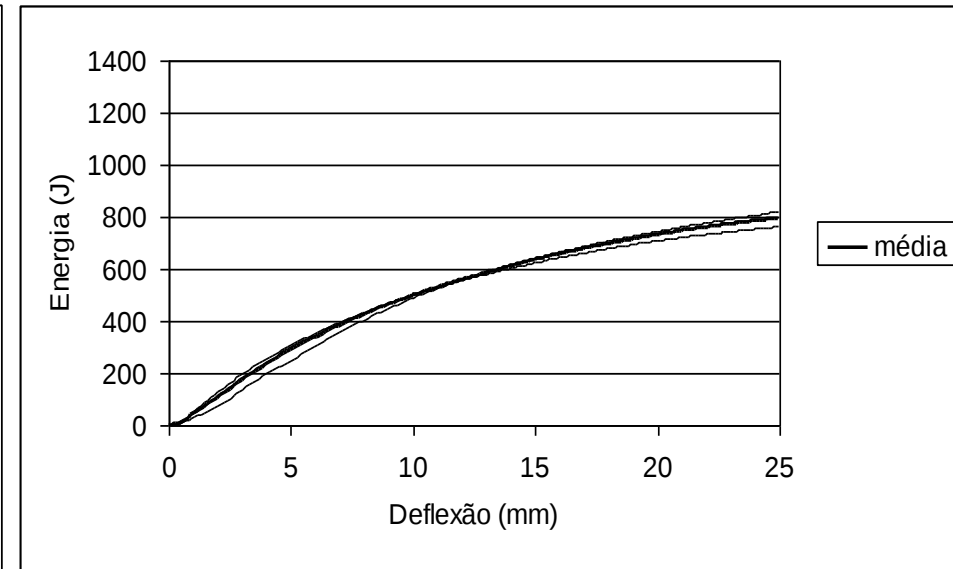
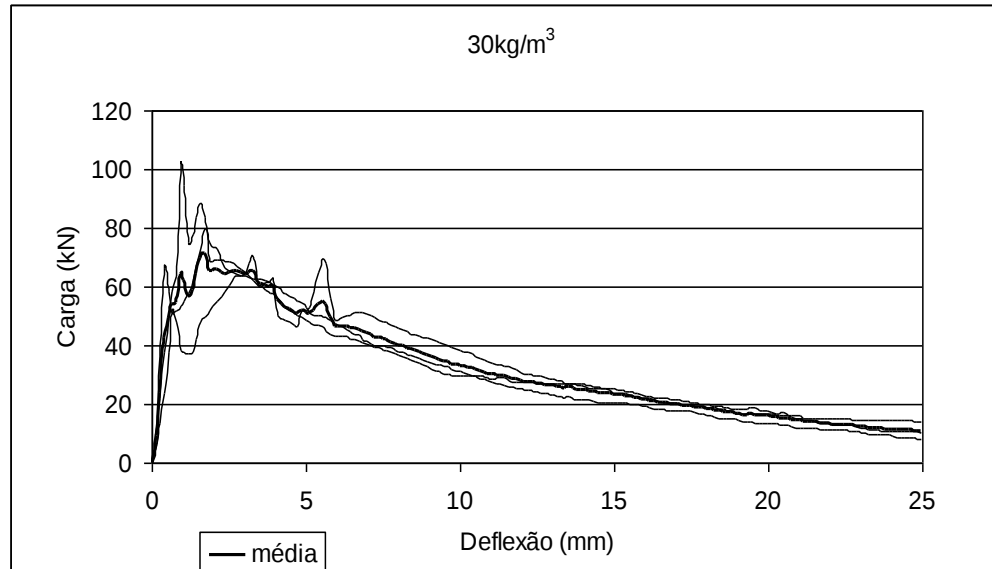
Absorção de energia

- Caráter totalmente empírico!

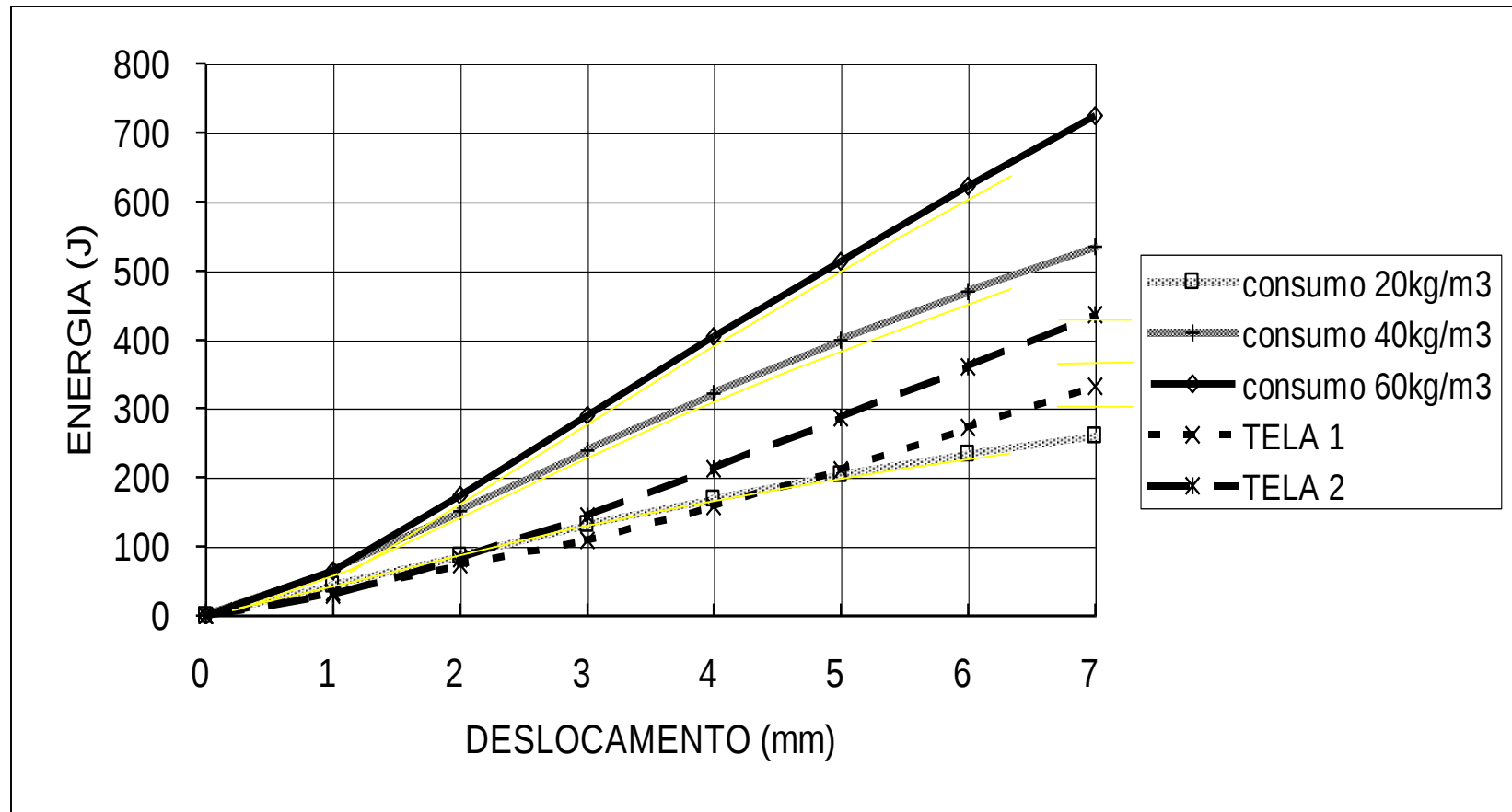
Nível (EFNARC)	Energia absorvida (J)
A	500
B	700
C	1000



Ensaio de punção de placas

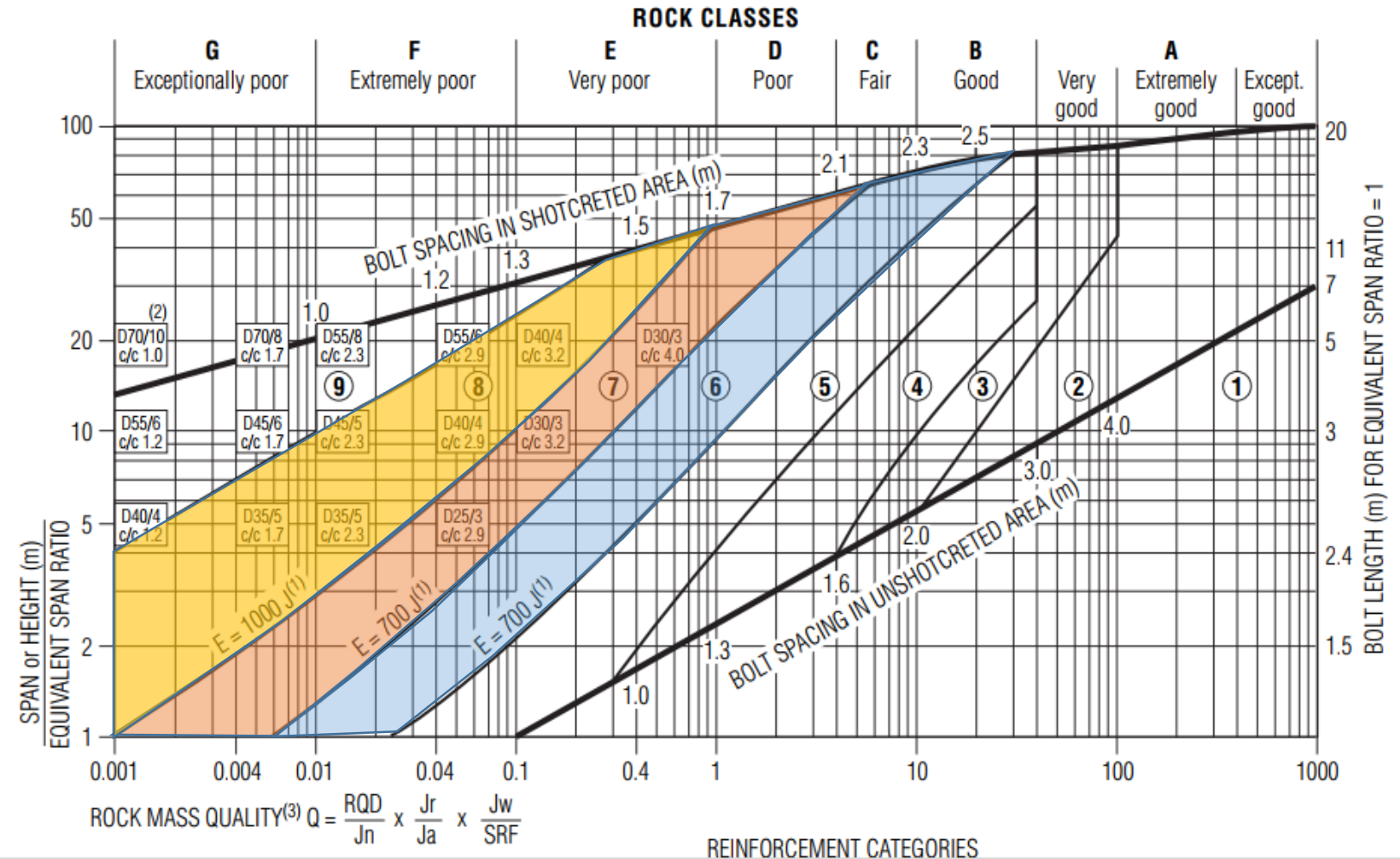


Exemplo FIBRA vs. TELA



Absorção de energia: ensaio de punção de placas

- O projetista deve definir os níveis de absorção de energia mínimos a serem especificados para o CPRF.
- Referência sugerida Australian Shotcrete Society, através do Concrete Institute of Australia (2010).



Alternativas de ensaio de placa

ASTM C1550:2005

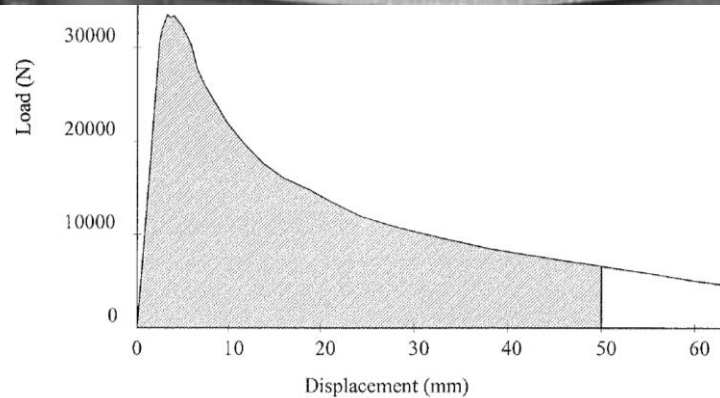
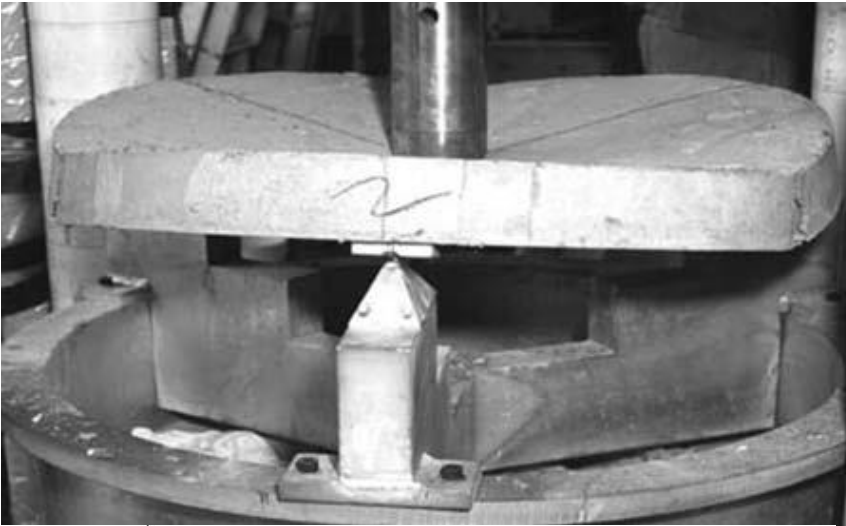
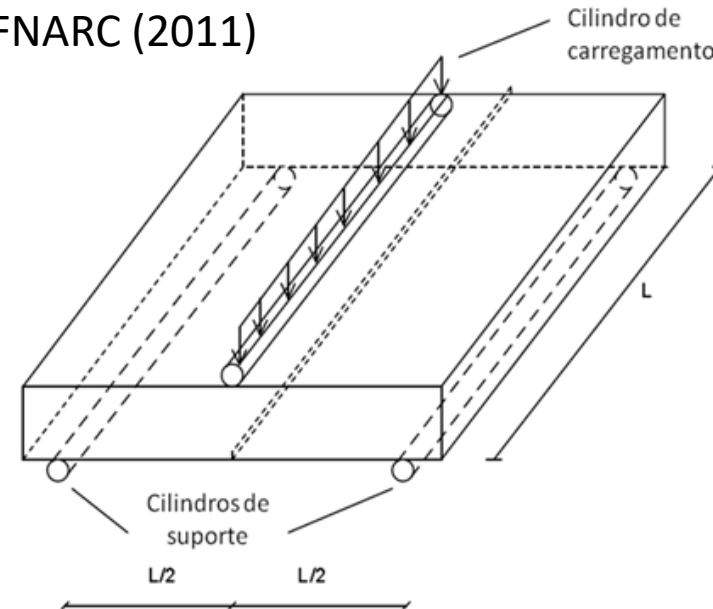


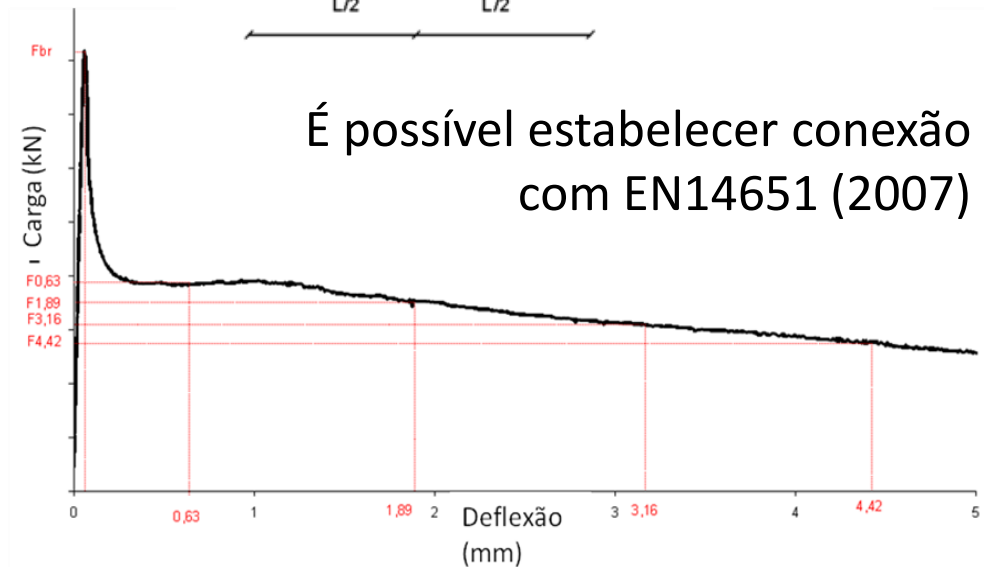
Figure 3.11 – The area under a typical load-displacement curve in an RD panel.

Vinh (2003)

EFNARC (2011)

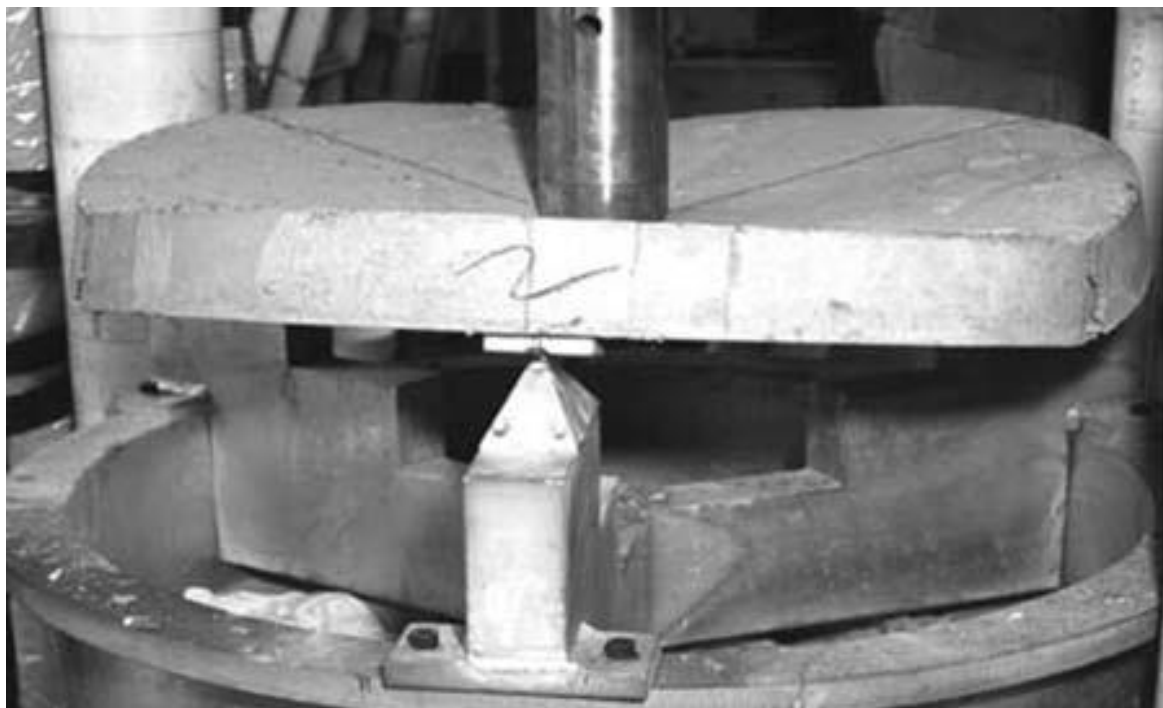


É possível estabelecer conexão
com EN14651 (2007)



Absorção de energia: ensaio de punção de placas

- No caso de haver capacitação laboratorial disponível, o método de ensaio a ser preferencialmente utilizado para a determinação do nível de absorção de energia é o ASTM C1550:2005.
 - Os níveis de absorção de energia equivalentes:



Classe de absorção de energia	Absorção de energia em Joule para uma deflexão de 25 mm.	Absorção de energia em Joule ASTM C1550:2005
A	500	200
B	700	280
C	1000	400

Novas análises:

- Trabalho em desenvolvimento com César Luiz Silva (2016) e Isaac Galobardes:
- Uso do ensaio Barcelona conjugado ao ensaio indutivo para caracterização do concreto projetado reforçado com fibras de aço.

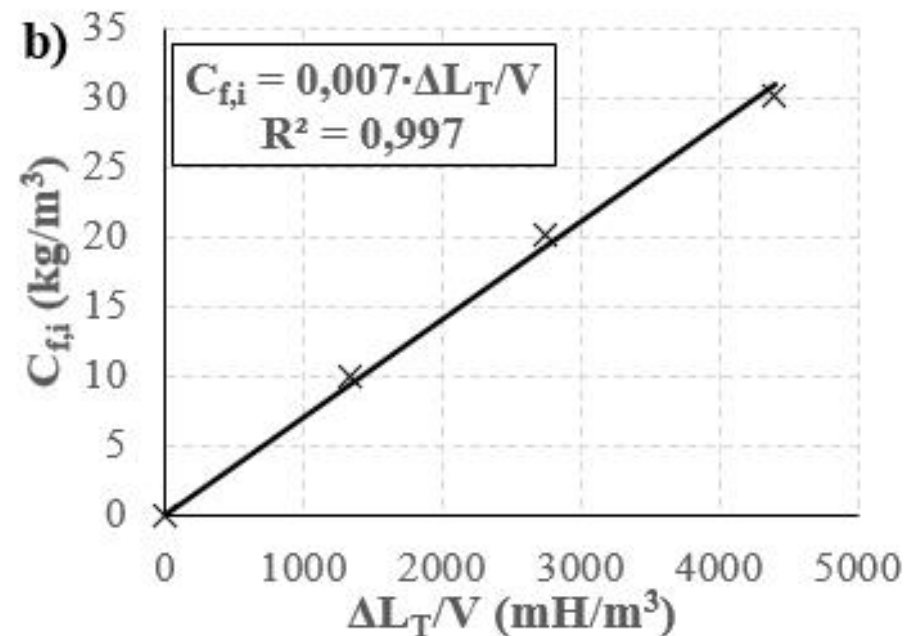
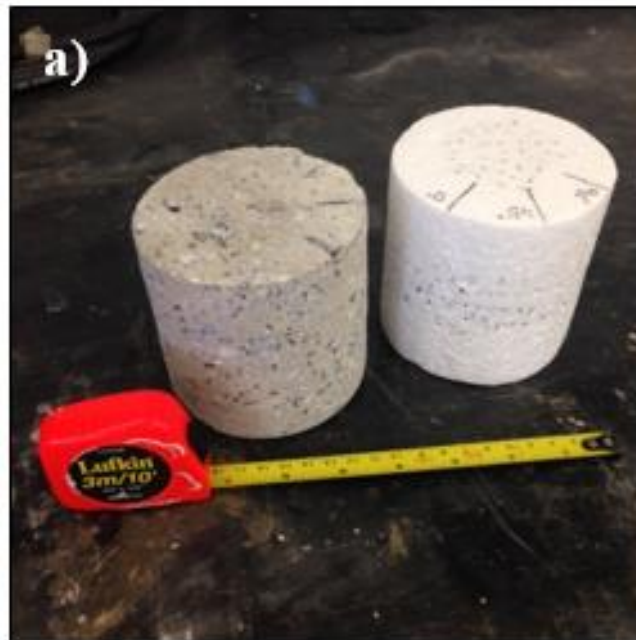


Alternativa para controlar o teor de fibras de aço no concreto projetado

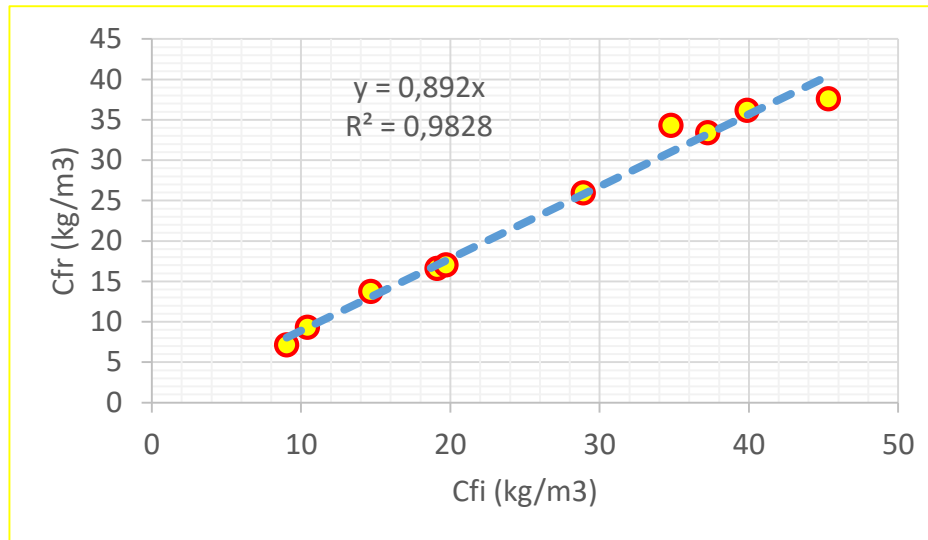
➤ Dissertação César L. Silva (2016)

- Calibração do Método indutivo

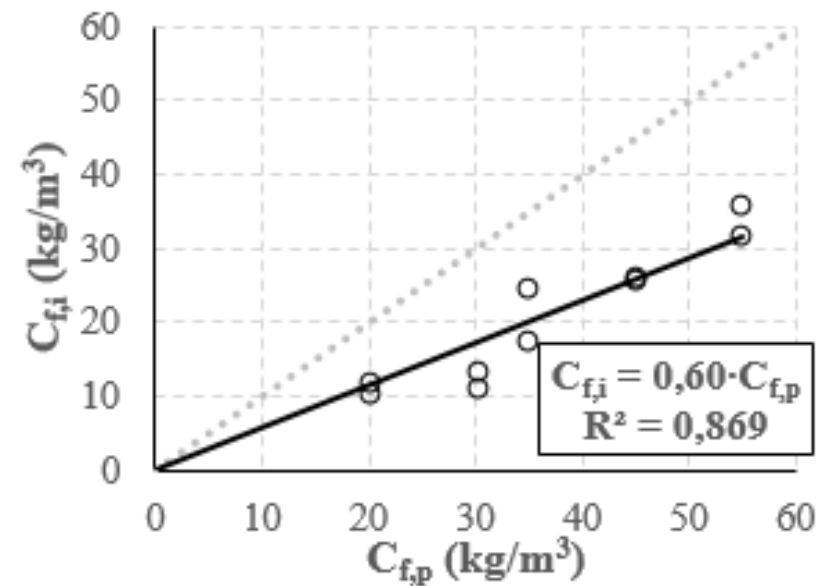
Cilindro de isopor utilizado na calibração do método indutivo a) e gráfico com a equação de calibração b)



Alternativa para controlar o teor de fibras de aço no concreto projetado



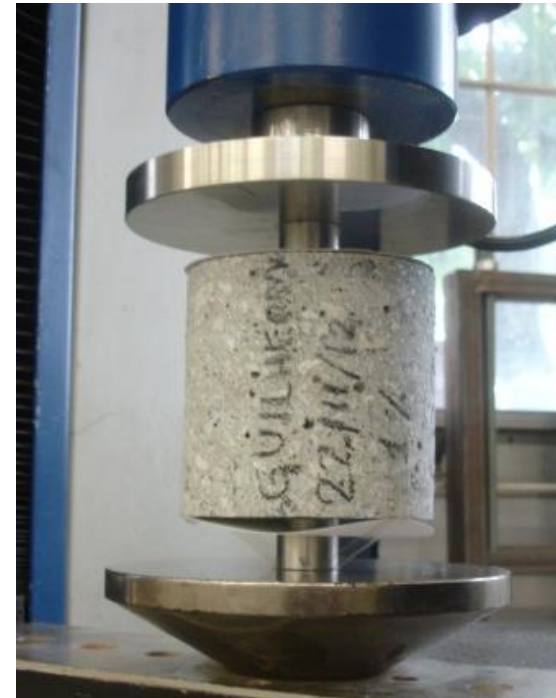
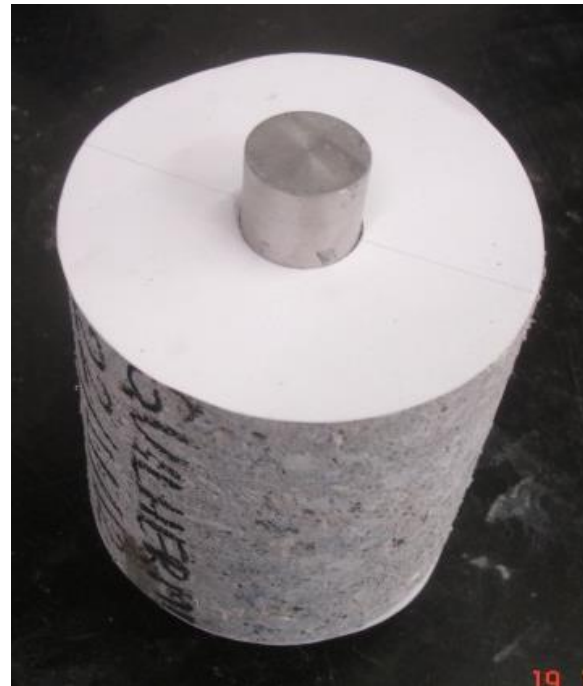
Correlação entre os teores de fibras obtidos pelo método indutivo e por reconstituição de traço



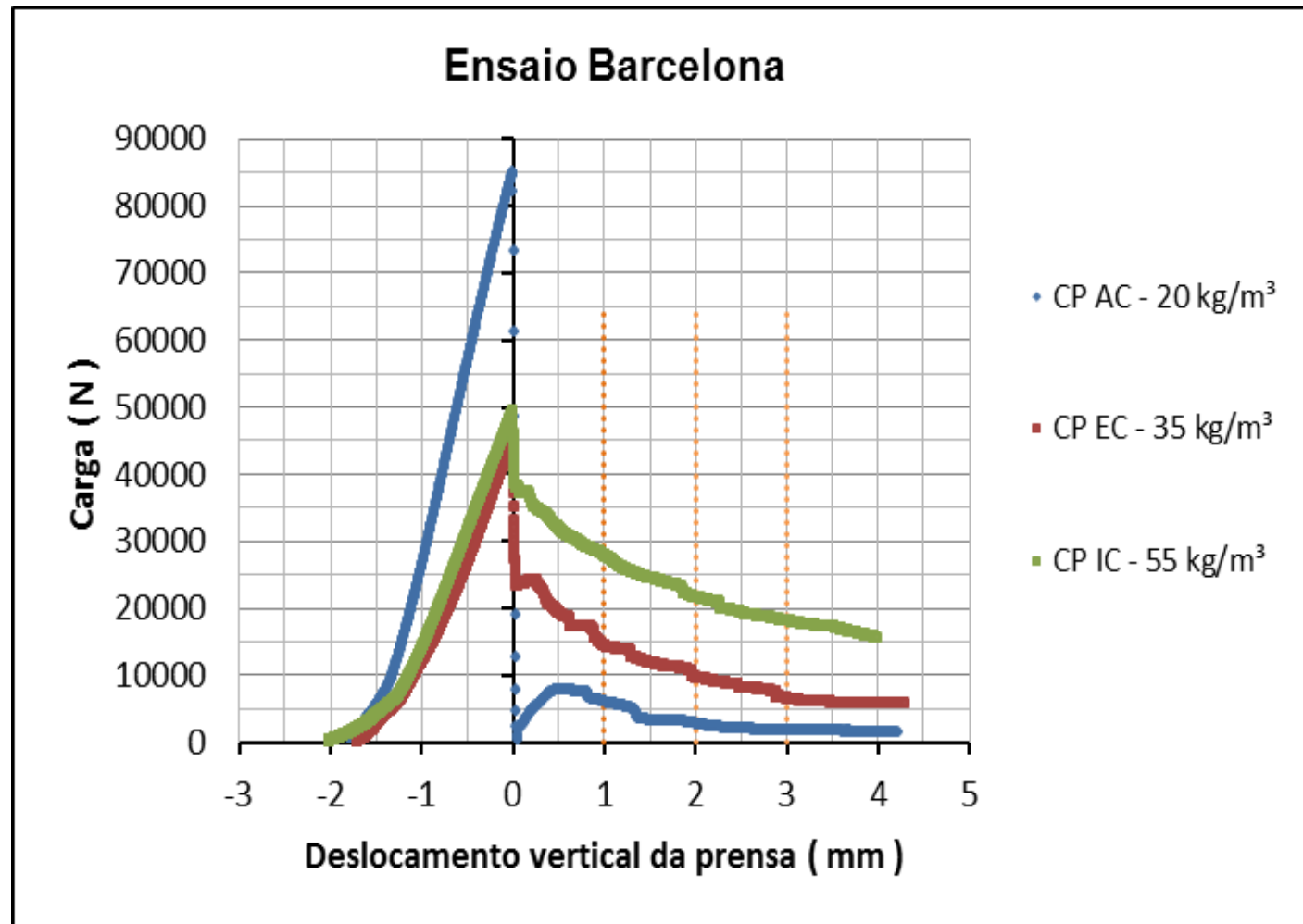
Correlação entre os teores de fibras obtidos pelo método indutivo e o teórico

Ensaio de duplo puncionamento (Barcelona)

- Para a realização do controle do CPRF também pode-se adotar o ensaio de duplo puncionamento
- IBRACON/ABECE - Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras. CT 303.

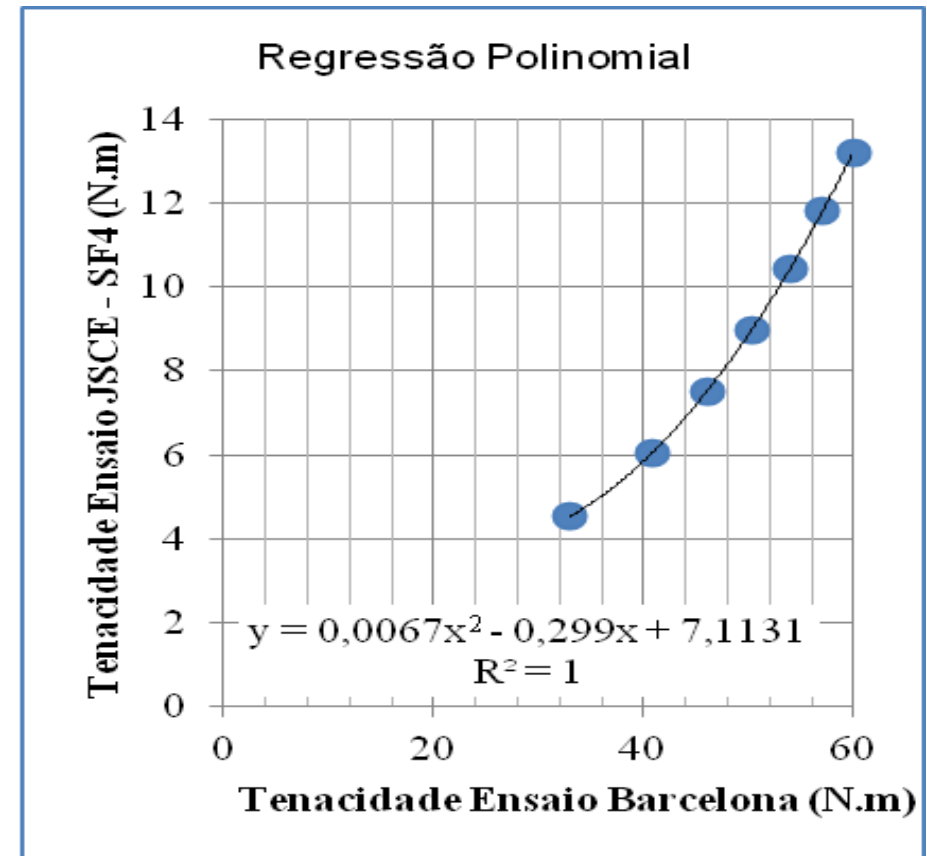


Ensaio Barcelona: resultados típicos



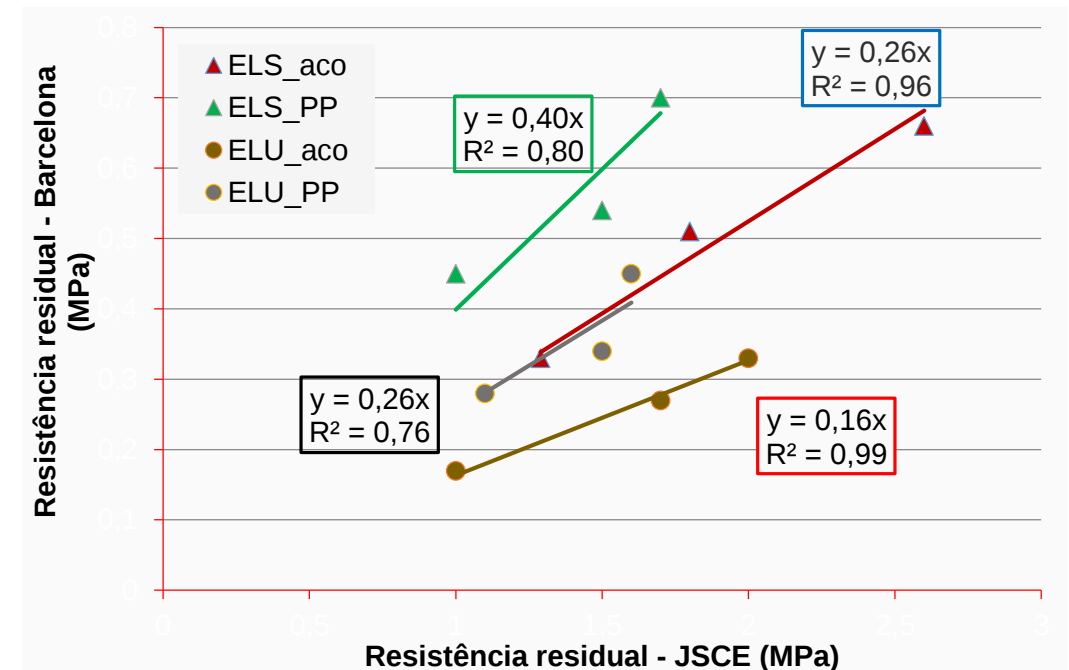
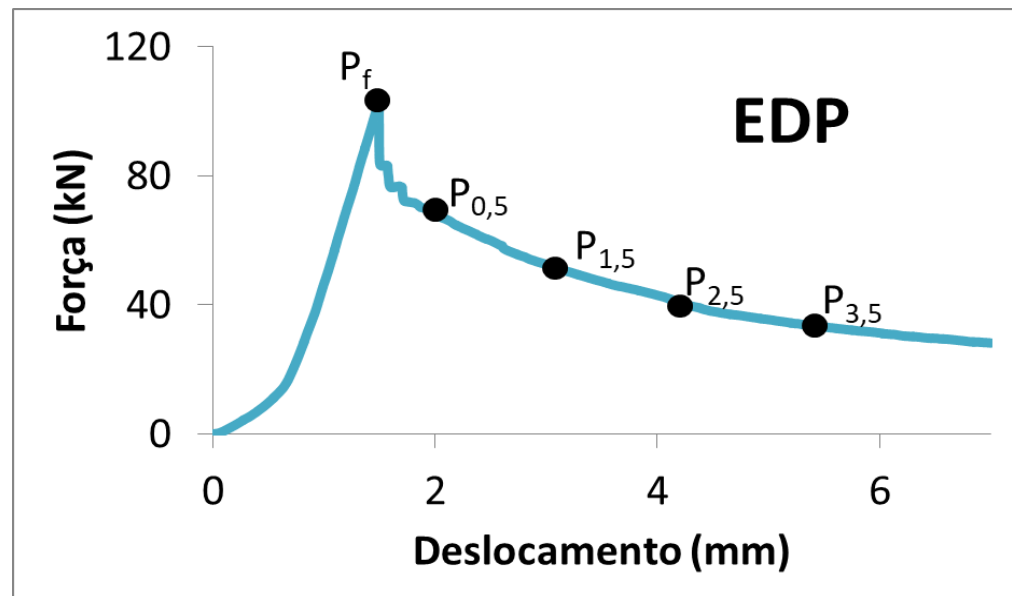
Ensaio de duplo puncionamento (Barcelona)

- 6 CPs de 10cm X 10cm, extraídos de placas ou da estrutura.
- Calibração: estudos prévios.
- Correlação também pode ser por energia

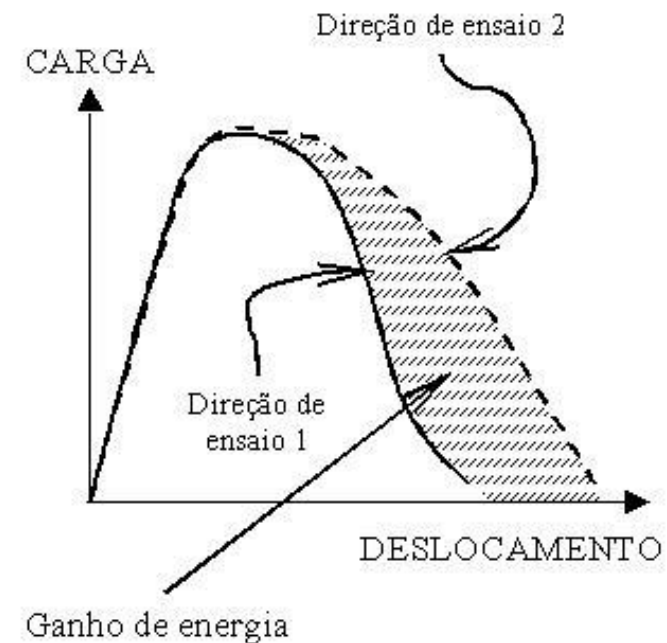
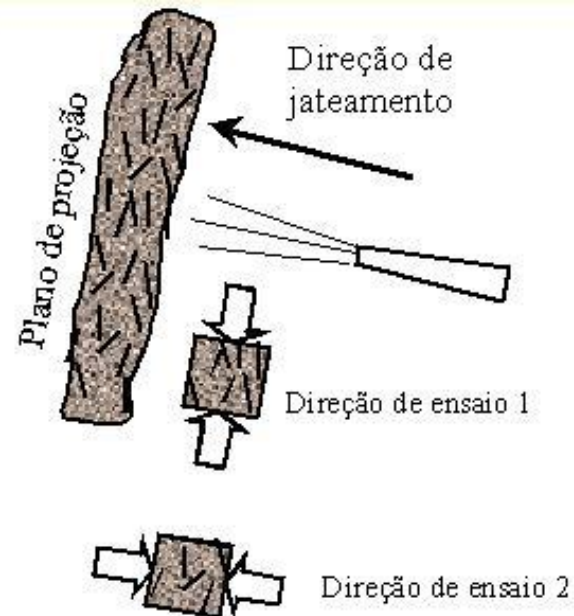
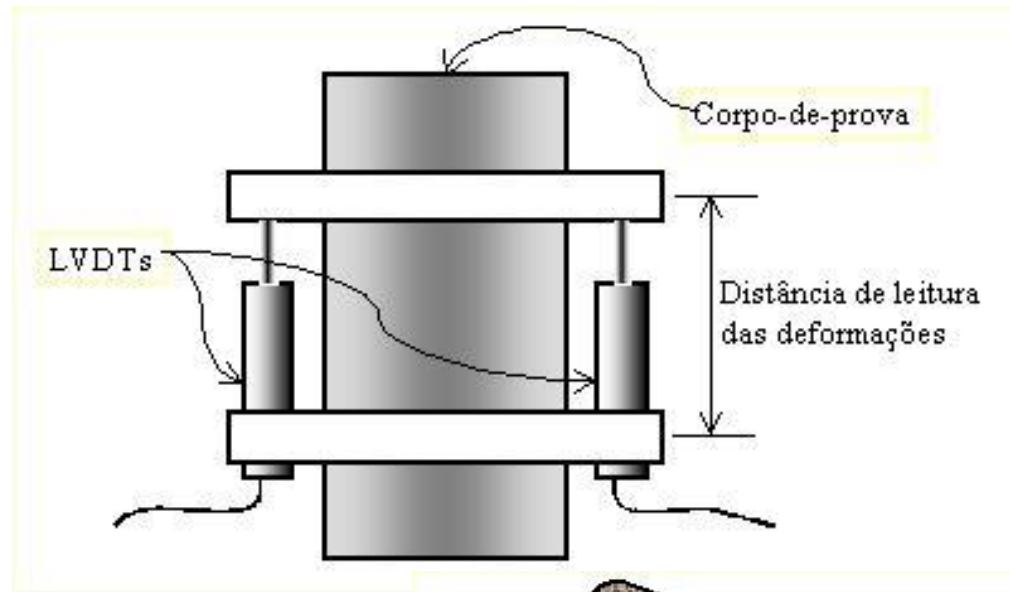


Ensaio de duplo puncionamento (Barcelona)

Toaldo et al., 2013
Monte et al., 2014



Resistência à compressão



Proposta de padrão de amostragem (EFNARC, 1996)

Tipo de ensaio de controle		Área máxima em m ² de concreto produzido entre testes		
		Controle Reduzido	Controle Normal	Controle Rigoroso
Resistência à compressão nas primeiras idades (até 24 horas)		100	50	20
Resistência à compressão nas maiores idades		500	250	100
Controle do CPRF – Tipo 1	Resistência à tração na flexão		500	250
	Resistência residual na flexão		1000	500
	Absorção de energia em placas		1000	500
Controle do CPRF – Tipo 2	Ensaio de duplo punção		500	250
Conteúdo incorporado de fibra			250	100
Espessura da camada projetada		50	25	10

Documentação de referência – Normas internacionais

- ASTM C1550:2005 – Standard test method for flexural toughness of fiber-reinforce concrete (using centrally loaded round panel).
- EN 14889-2:2006 – Fibres for concrete – Part 2: Polymer fibres – Definitions, specifications and conformity.
- EN 14488-3:2006 – Testing sprayed concrete — Part 3: Flexural strengths (first peak, ultimate and residual) of fibre reinforced beam specimens.
- EN 14488-5:2006 – Testing sprayed concrete — Part 5: Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens.

Documentação de referencia – CT303 IBRACON/ABECE

- Práticas Recomendadas IBRACON/ABECE
- **Controle da qualidade do concreto reforçado com fibras.** CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE. 2017a.
- **Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade.** CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE. 2017b.
- **Macrofibras de vidro álcali resistentes (AR) para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade.** CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE. 2017c.
- **Projeto de Estruturas de Concreto Reforçado com Fibras.** CT 303 – Comitê Técnico IBRACON/ABECE. 2016.

Requisitos quanto aos materiais e dosagem

- **A quantidade de cada um dos materiais deve ser determinada em estudo prévio de dosagem com comprovação de que tenha atendido aos requisitos de desempenho especificados.**
- **Este estudo prévio deve ser realizado utilizando-se os equipamentos e mão de obra específicos da obra em questão, tal qual é definido pela norma **ABNT NBR 14026:2012****

Requisitos quanto aos materiais

Fibras de aço:

- As fibras de aço a serem utilizadas na produção do CPRF devem, ao menos, atender aos requisitos estabelecidos na norma **ABNT NBR 15530:2007**.
- Recomenda-se não ultrapassar a metade do diâmetro interno do mangote para evitar bloqueios.
- A critério do projetista, podem ser estabelecidos outros requisitos complementares para as fibras.

Requisitos quanto aos materiais

Macrofibras poliméricas:

- As macrofibras poliméricas, com diâmetro superior a 0,3 mm, a serem utilizadas como reforço do CPRF devem atender aos requisitos estabelecidos na **Prática Recomendada IBRACON/ABECE - Macrofibras poliméricas para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade (CT 303)**.
- A critério do projetista, podem ser estabelecidos outros requisitos complementares para as macrofibras.

Requisitos quanto aos materiais

Macrofibras de vidro:

- Devem ser **álcali-resistentes** e atender aos requisitos estabelecidos na **Prática Recomendada IBRACON/ABECE - Macrofibras de vidro álcali resistentes (AR) para concreto destinado a aplicações estruturais: definições, especificações e conformidade (CT 303)**.
- A critério do projetista, podem ser estabelecidos outros requisitos complementares para as macrofibras de vidro.

Requisitos quanto aos materiais

Microfibras poliméricas:

- As microfibras poliméricas, com diâmetro inferior a 0,3 mm, a serem utilizadas com papel de **proteção passiva quanto ao lascamento explosivo** durante a ocorrência de um **incêndio** devem atender o especificado na norma **BS EN 14889-2:2006** para as fibras **Classe Ia ou Ib**, para fibras **monofilamento e fibriladas, respectivamente**.
- A critério do projetista, podem ser estabelecidos outros requisitos complementares para as microfibras.

Dosagem das fibras

- A dosagem de fibras ou macrofibras deve ocorrer em **estudo prévio de dosagem** com comprovação de que tenha atendido aos requisitos de desempenho especificados, **conforme exigido pela norma ABNT NBR 14026:2012.**
- Há uma recomendação de procedimento incorporado na prática recomendada.

Requisitos mínimos de desempenho: **Reforço de fibras**

- O projetista deve definir os padrões de desempenho associados ao CPRF para cada aplicação e o ensaio que deve ser utilizado para a sua verificação.
- Não se pode utilizar o CRF para finalidades estruturais baseando-se apenas em prescrições empíricas de consumos de fibras.
- Nesta especificação procurou-se adotar os ensaios mais aplicáveis às condições laboratoriais existentes.

Absorção de energia: ensaio de punção de placas

- Para a qualificação do CPRF e nos estudos de dosagem (**estudos prévios à obra**).
- Dispensável para o controle de qualidade caso haja correlação com outros ensaios (EDP).
- Método EFNARC (1996) e norma EN14488-3:2006. Apresentado no Anexo D, com inclusão de ajustes (FIGUEIREDO, 1997).
 - Mesma placa moldada para extração de prismas para o ensaio de flexão.

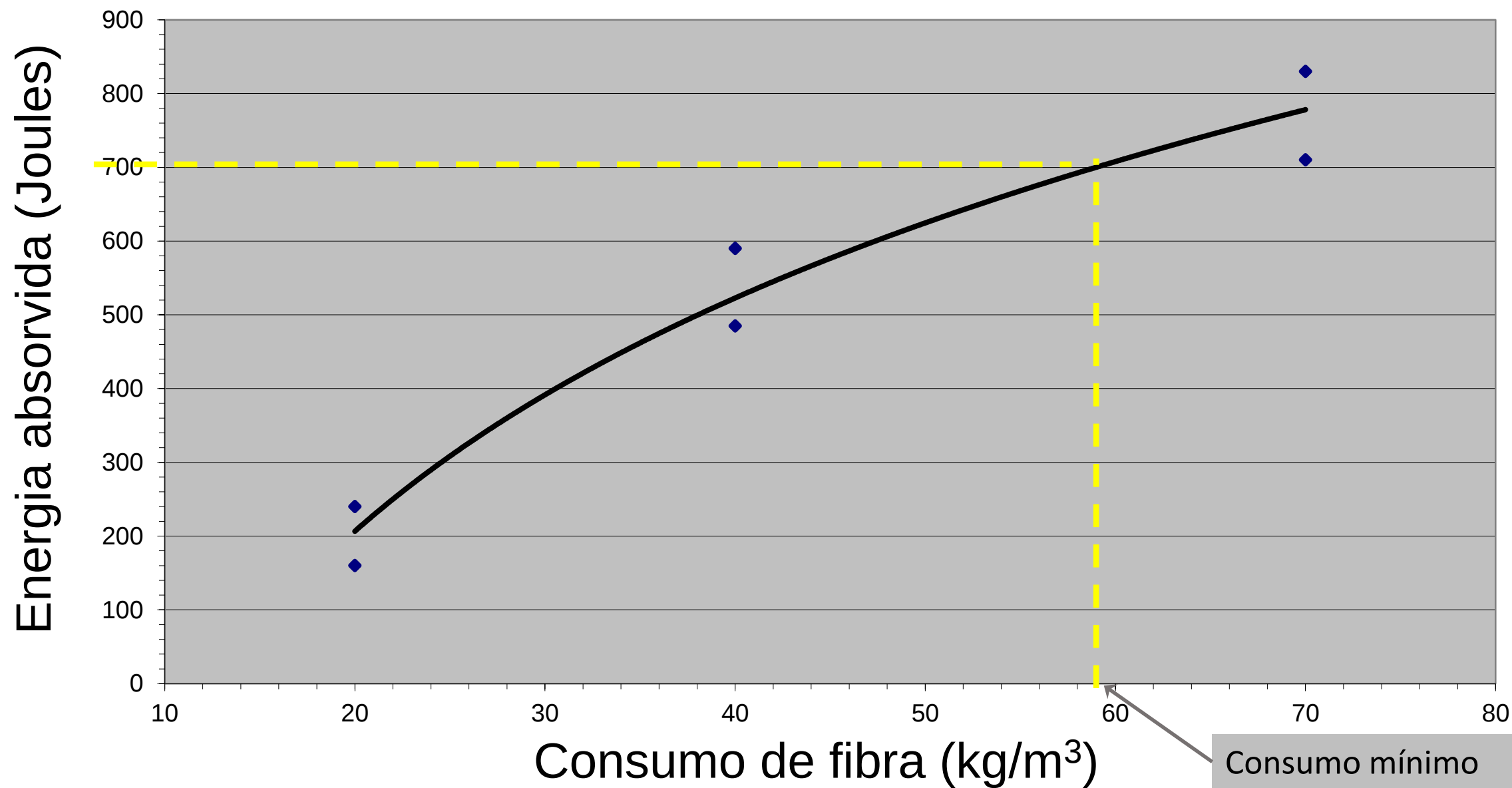
Teor de fibras efetivamente incorporado ao concreto

- Este ensaio deve ser utilizado durante os estudos prévios de dosagem e qualificação do CPRF, como também no controle regular da qualidade de modo a verificar o teor de fibras efetivamente incorporado ao material.
- Há métodos propostos para estado fresco e para estado endurecido.

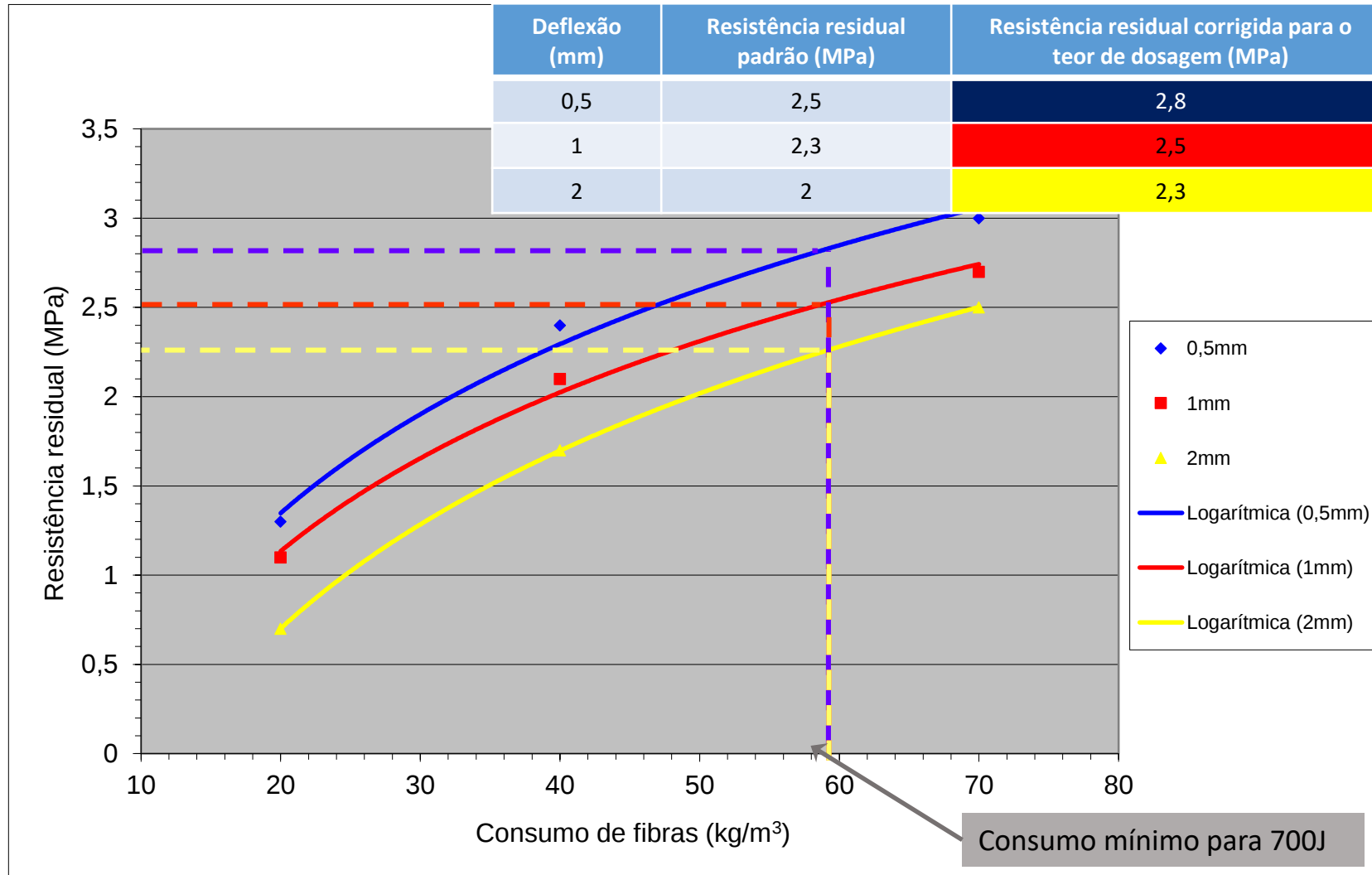
Programa de controle de qualidade: Estudos prévios

- Realizar estudo de dosagem: A normalização brasileira (ABNT NBR 14026:2012) exige que estes estudos sejam realizados de modo a validar a solução previamente à execução da obra. Fundamental:
 - Uso da mesma mão de obra.
 - Uso dos mesmos equipamentos.
- Oportunidade de correlação dos resultados com ensaio de duplo puncionamento.

Gráfico de dosagem para o ensaio de punção de placas



Importante: ajuste dos parâmetros!



Trabalhabilidade

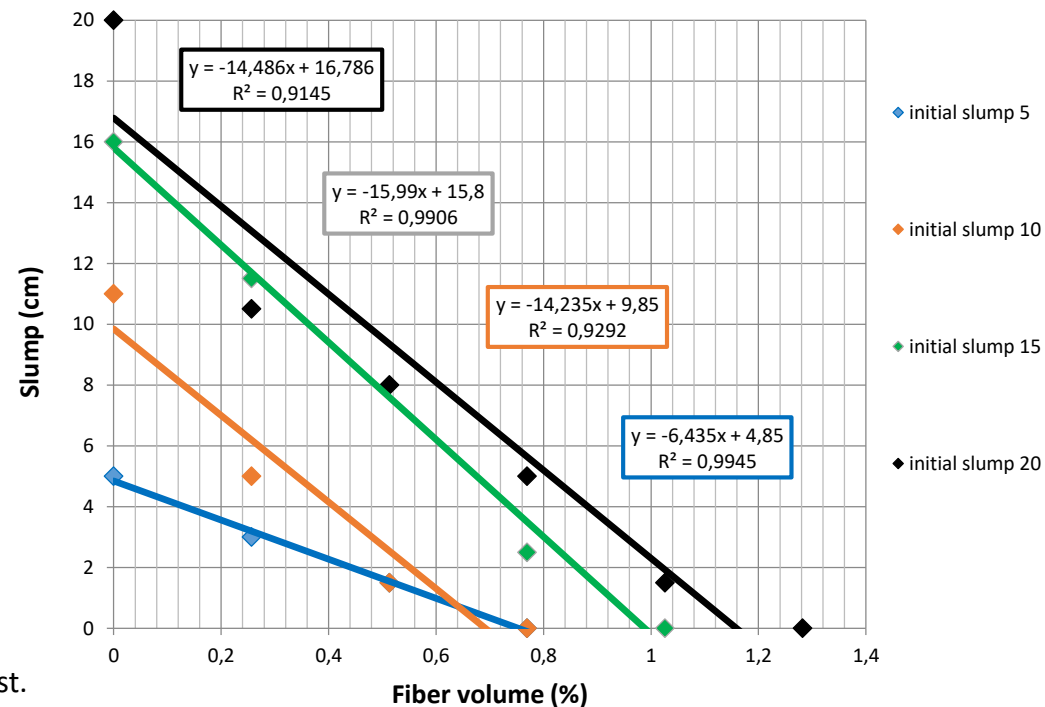
- Efeito no concreto:

Efeito sobre a consistência do concreto

O efeito da adição das macrofibras na consistência do concreto será determinado em um concreto de referência (Anexo D).

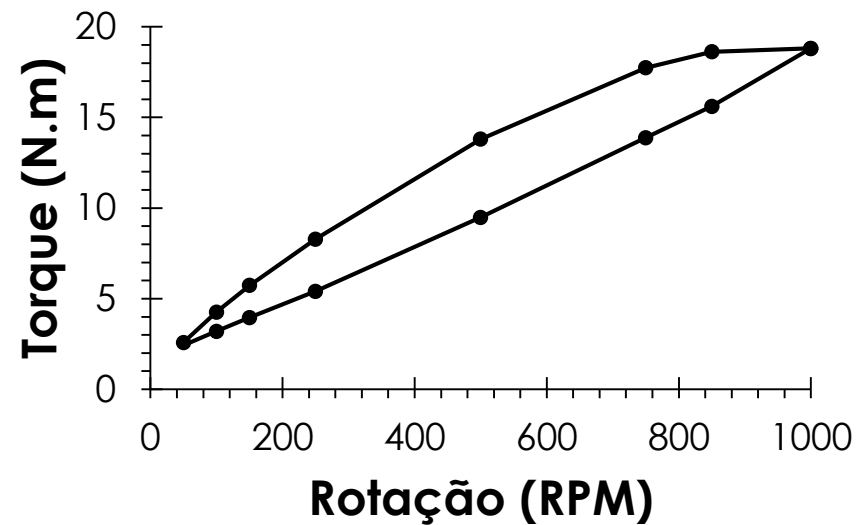
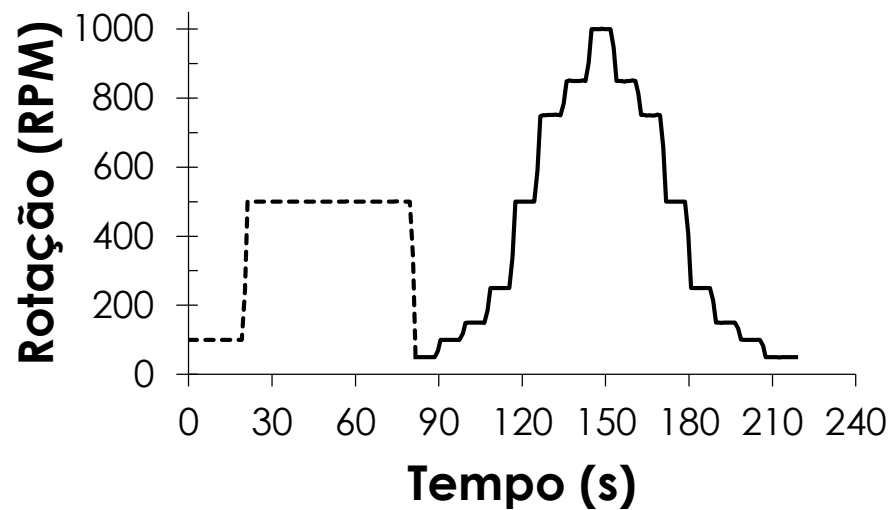


FIGUEIREDO, A.D.; CECCATO, M. R. Workability Analysis of Steel Fiber Reinforced Concrete Using Slump and Ve-Be Test. Materials Research, p. 1, 2015.



Reometria rotacional

- Aproximadamente 18L de concreto
- Ciclo de cisalhamento
- Etapa de re-homogeneização
- Variação de velocidade 50 – 1000 – 50 RPM
- Patamares de velocidade (9s)
- Obtenção do Torque (N.m)

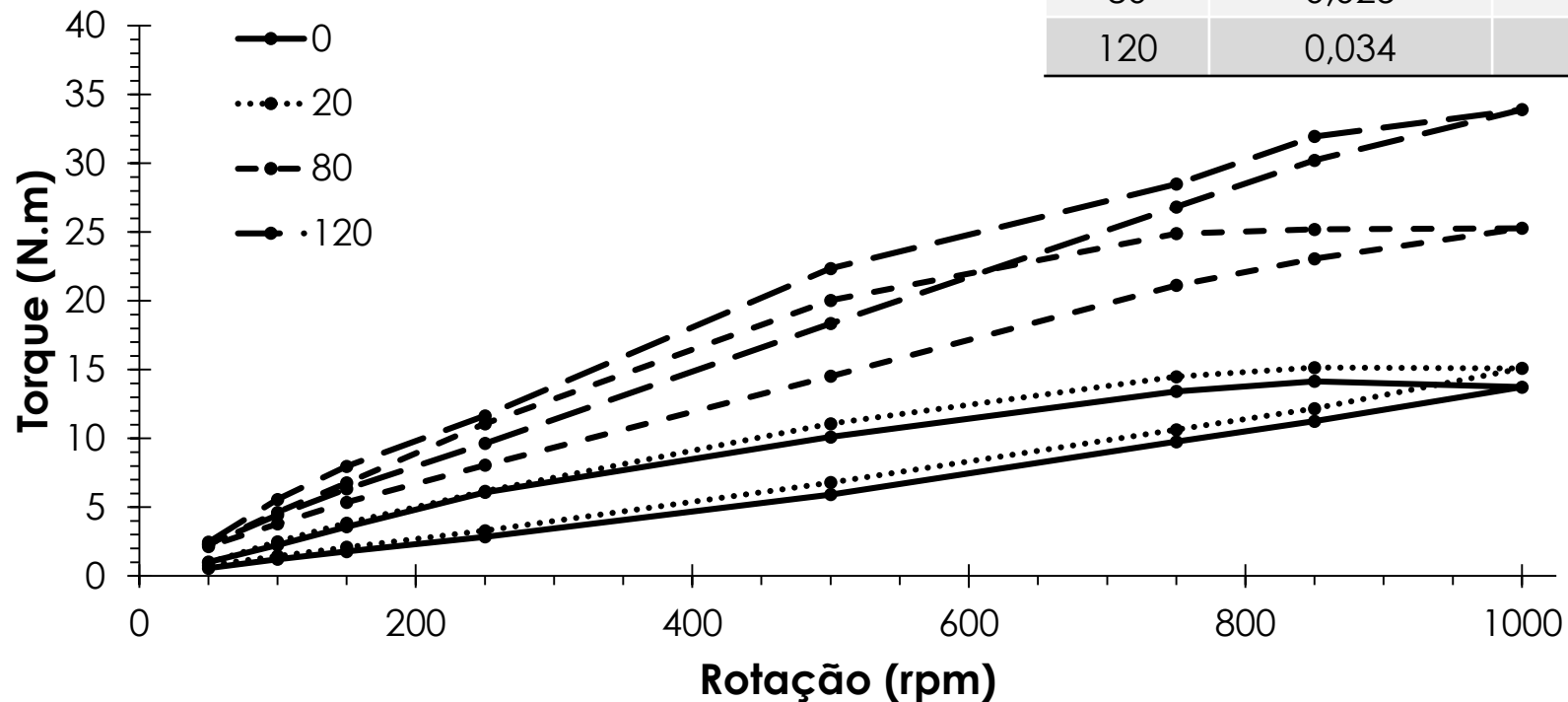


Resultados

Reometria rotacional:

- Comportamento reológico pseudoplástico
- 20 kg/m³ de fibra: Impacto pouco significativo

Teor de fibra	"Viscosidade plástica"	Torque de escoamento (N.m)
0	0,014	0,56
20	0,015	0,77
80	0,025	2,15
120	0,034	2,29



Trabalhabilidade e mistura



OURIÇOS

Trabalhabilidade e mistura

Para o concreto projetado o aumento da coesão e perda de mobilidade do concreto significa uma melhora na trabalhabilidade, pois minimiza riscos de deslocamentos e garante a estabilidade dimensional do concreto recém-desformado.

A adição das fibras poliméricas reduz a taxa de exsudação do concreto diminuindo a retração global do material por dificultar a movimentação de água no seu interior

Durabilidade

Ocorrem dúvidas frequentes com relação à durabilidade do concreto reforçado com fibras de aço devido à observação de fibras oxidadas na superfície de pavimentos e túneis:

A corrosão das fibras na superfície do concreto está associada à carbonatação superficial do concreto.

O volume de óxidos gerados não é suficiente para produzir o lascamento da superfície

Durabilidade

Corrosão da fibra é mais difícil:

- Menor diferença de potencial
- Pesquisas indicam que o desempenho do concreto reforçado com fibras é superior ao convencional, seja com ataques severos de cloretos, seja por efeito de congelamento. (Bentur & Mindess, 1990)

Outra grande preocupação:
Temperaturas muito elevadas durante o
incêndio
Elevado grau de saturação do concreto

Incêndios em túneis

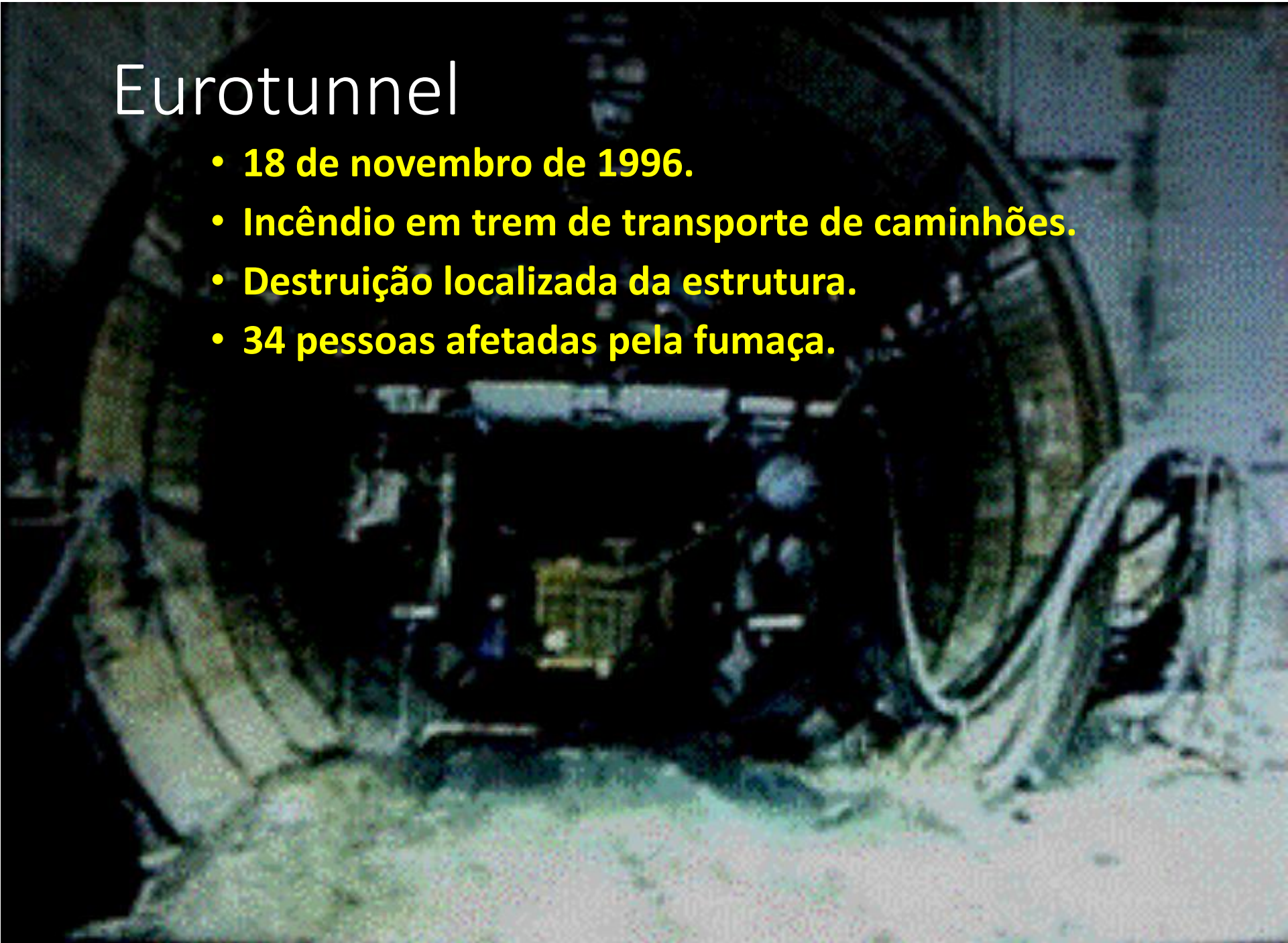
Não é um assunto novo

- Holland Tunnel (1949)



Eurotunnel

- 18 de novembro de 1996.
- Incêndio em trem de transporte de caminhões.
- Destruição localizada da estrutura.
- 34 pessoas afetadas pela fumaça.

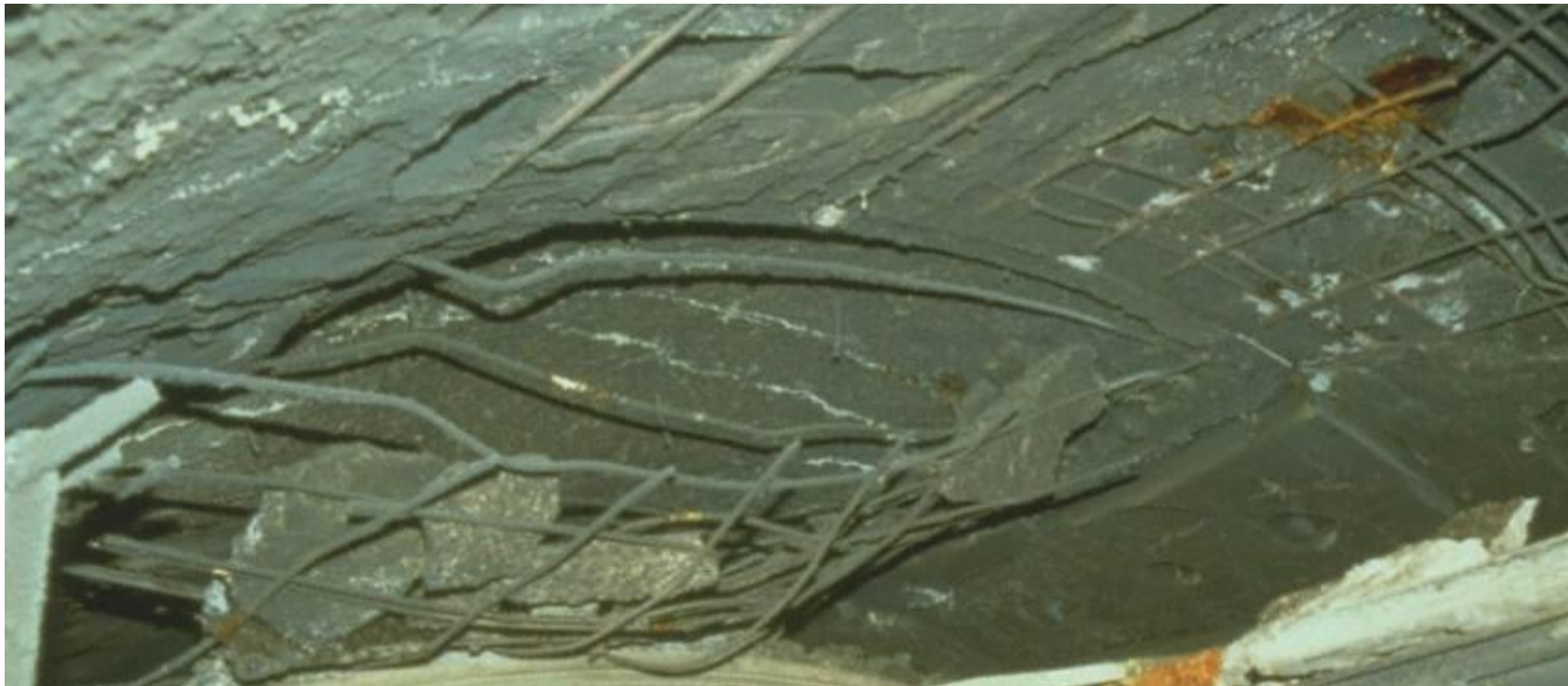




- Sistema construtivo: ‘shield’
- Aduelas foram totalmente destruídas

Mont Blanc

- **Divisa da Itália com a França**
- **24 de março de 1999**
- **41 vítimas fatais**



Tauern Tunnel

- Salzburg
- Um morto e 71 feridos
- O fogo iniciou-se a partir da colisão de um caminhão de transporte de tintas
- Temperatura no túnel superou os 1000°C e provocou danos na estrutura



Túnel São Gotardo



- Suíça na região de Ticino
- Outubro de 2001
- 11 mortos
- Destruição da estrutura

Tunel Sasago, Japão (dezembro, 2012)

- Houve colapso da estrutura de concreto:
- Another survivor told NHK that he saw "a concrete part of the ceiling fall off all of a sudden when I was driving inside. I saw a fire coming from a crushed car."

<http://www.ibtimes.com/least-3-killed-japan-tunnel-collapse-fire-913342>



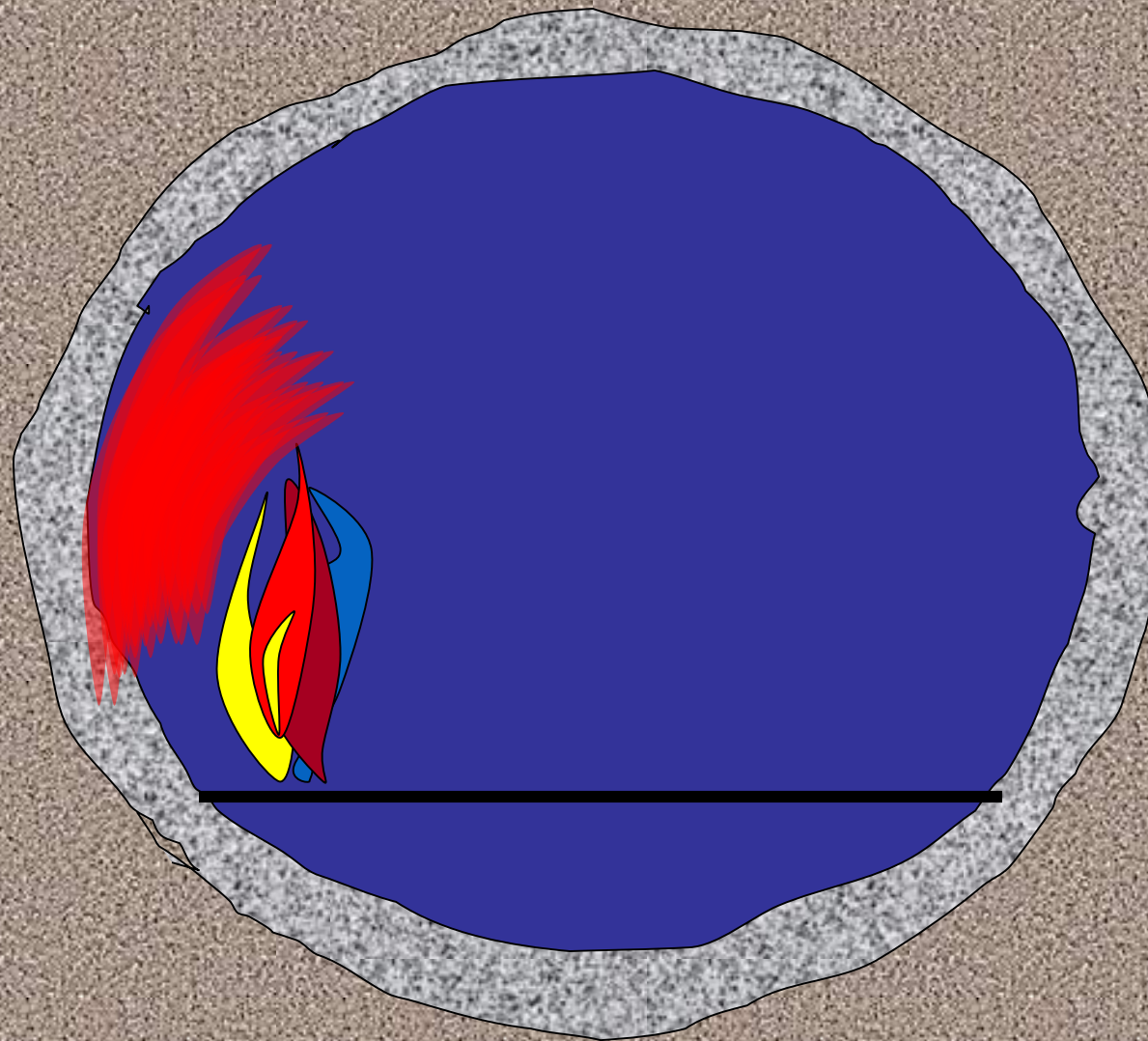
Um exemplo nacional: Metrô de SP

- Agosto de 2001.
- Ocorreu incêndio na Linha Vermelha causado pelo rompimento de um cabo de energia.
- Houve uma vítima fatal e 26 feridos.
- A tragédia poderia ter sido muito maior.
- Sem danos à estrutura.

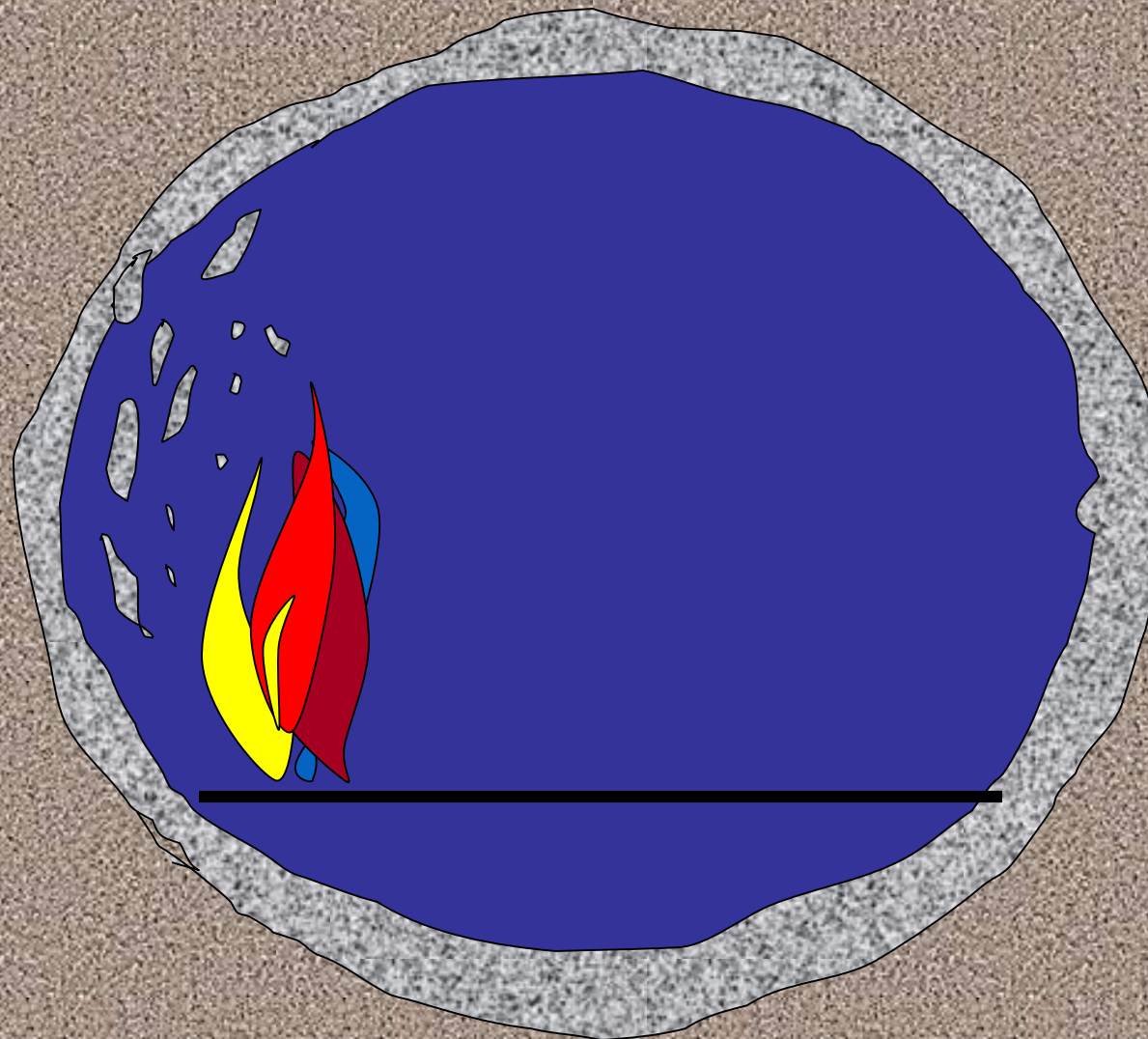
Incêndio Rodoanel de SP em 2016



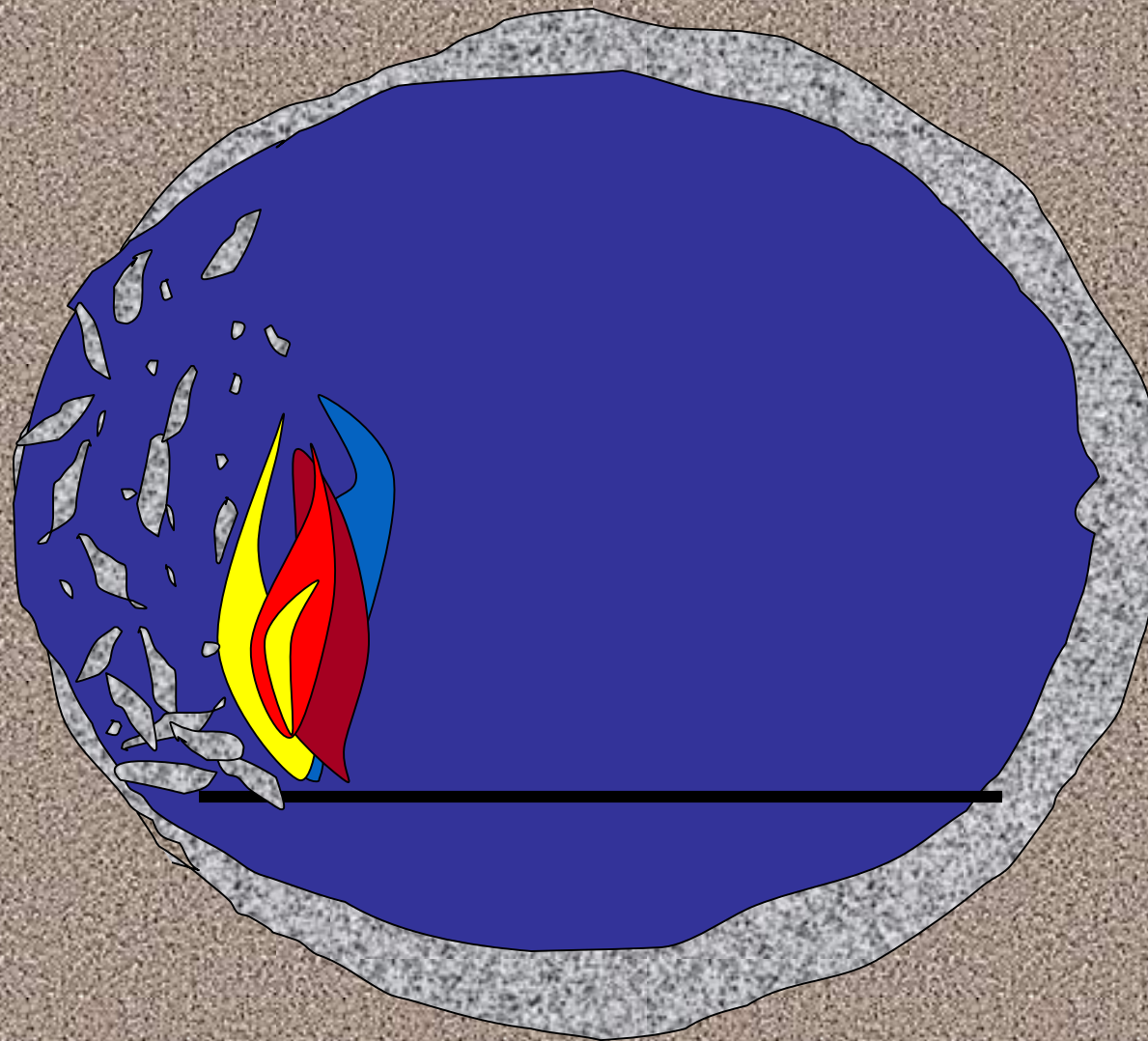
Incêndio no túnel



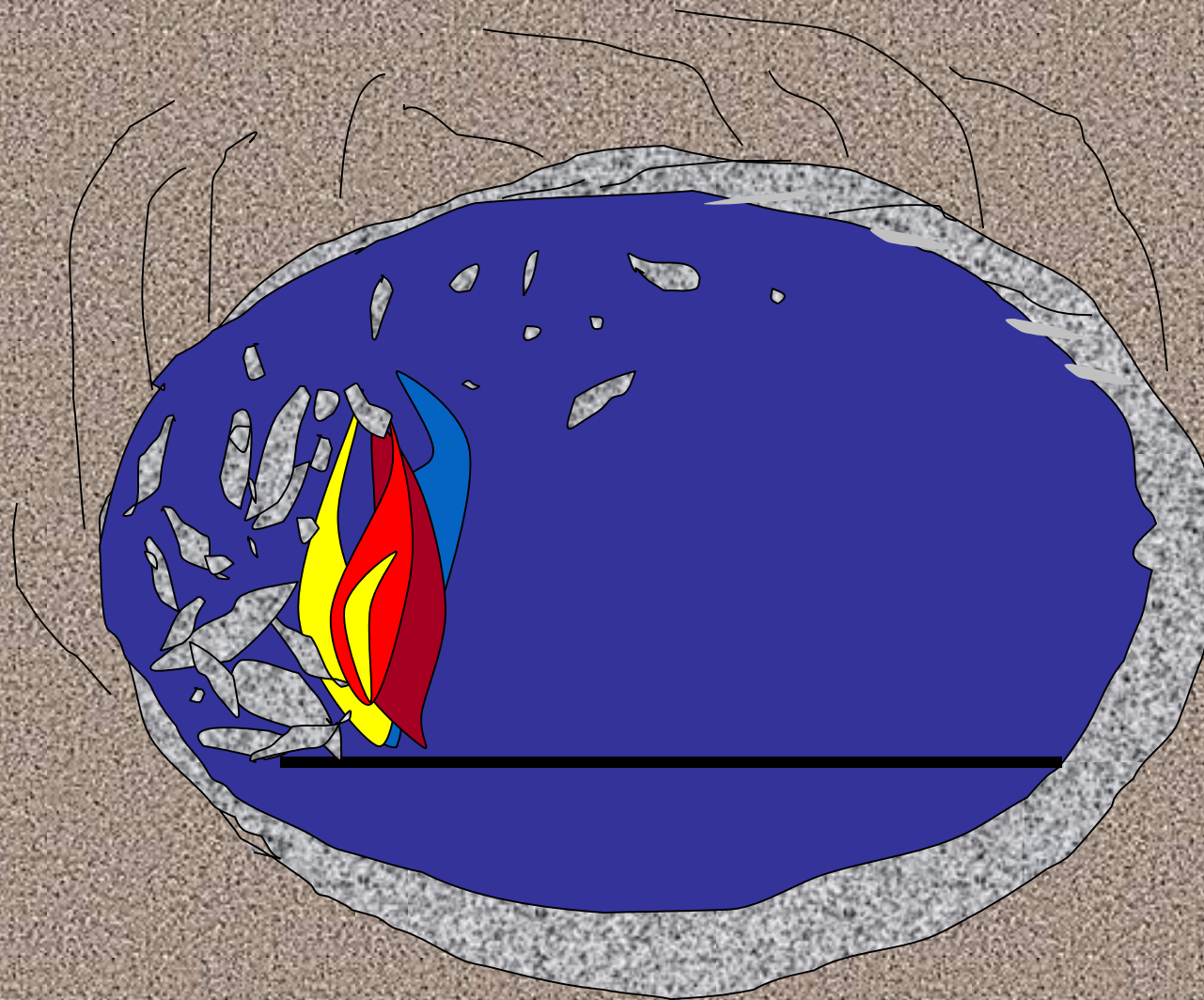
Incêndio no túnel



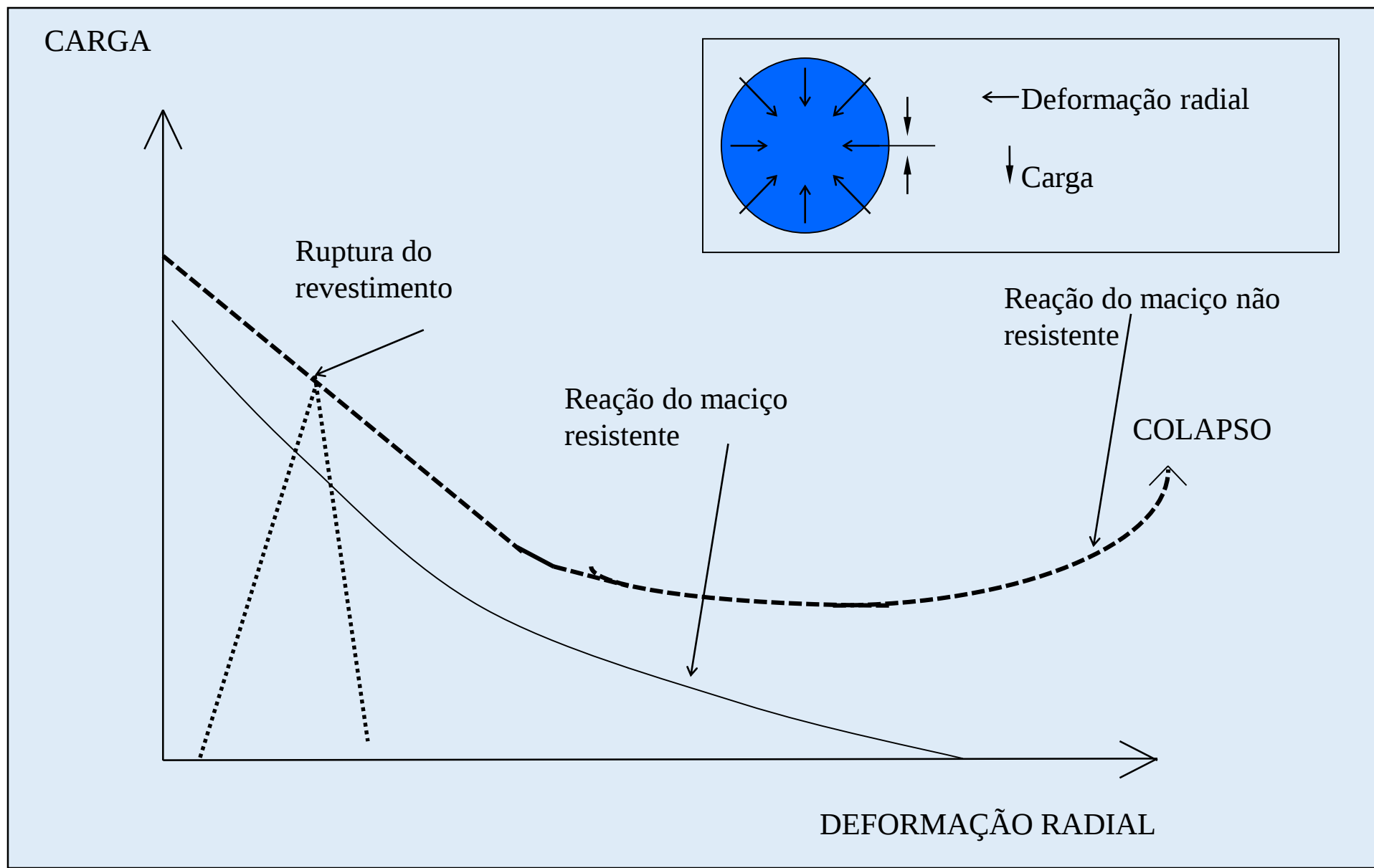
Incêndio no túnel



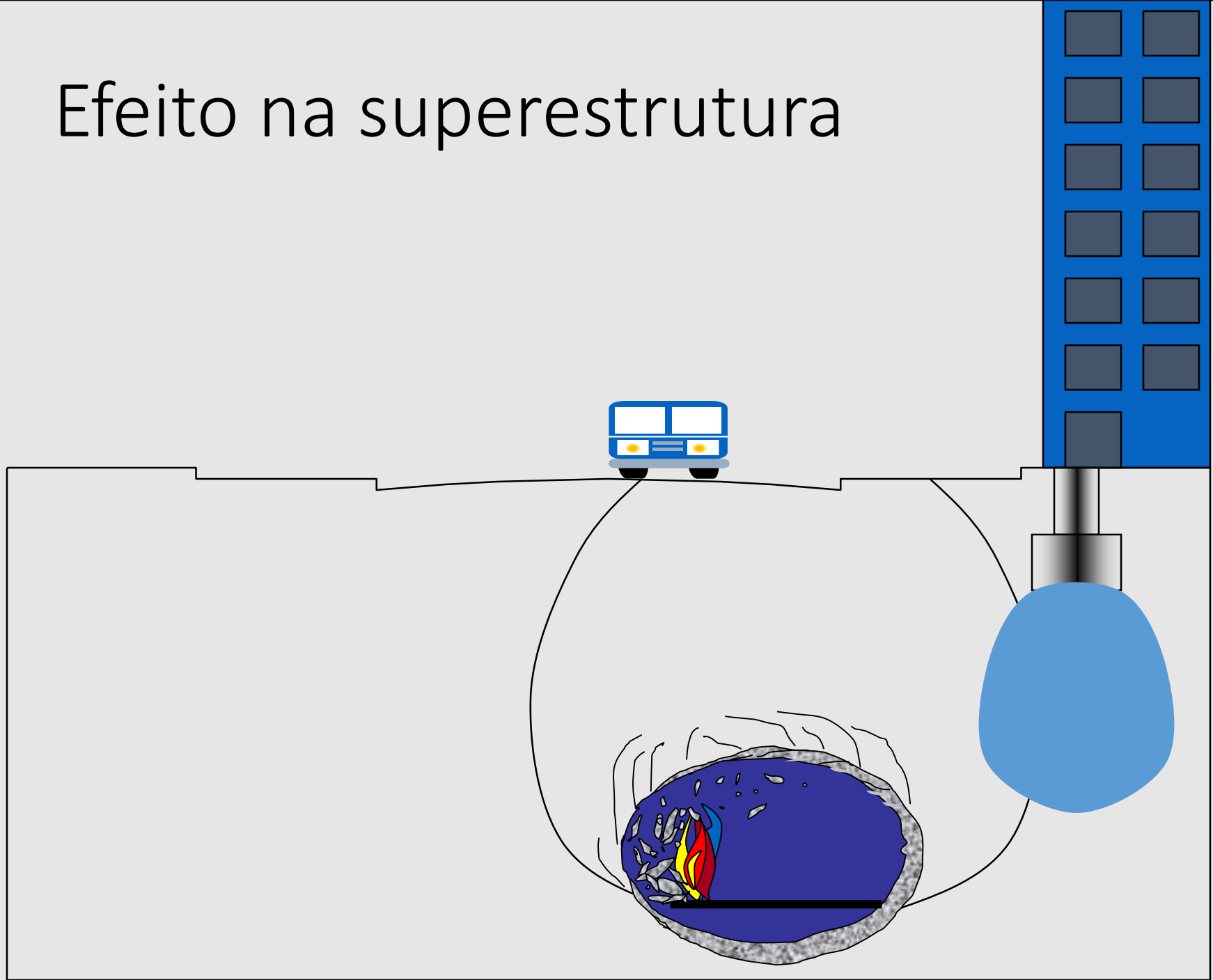
Incêndio no túnel



Modelo de RABCEWICZ



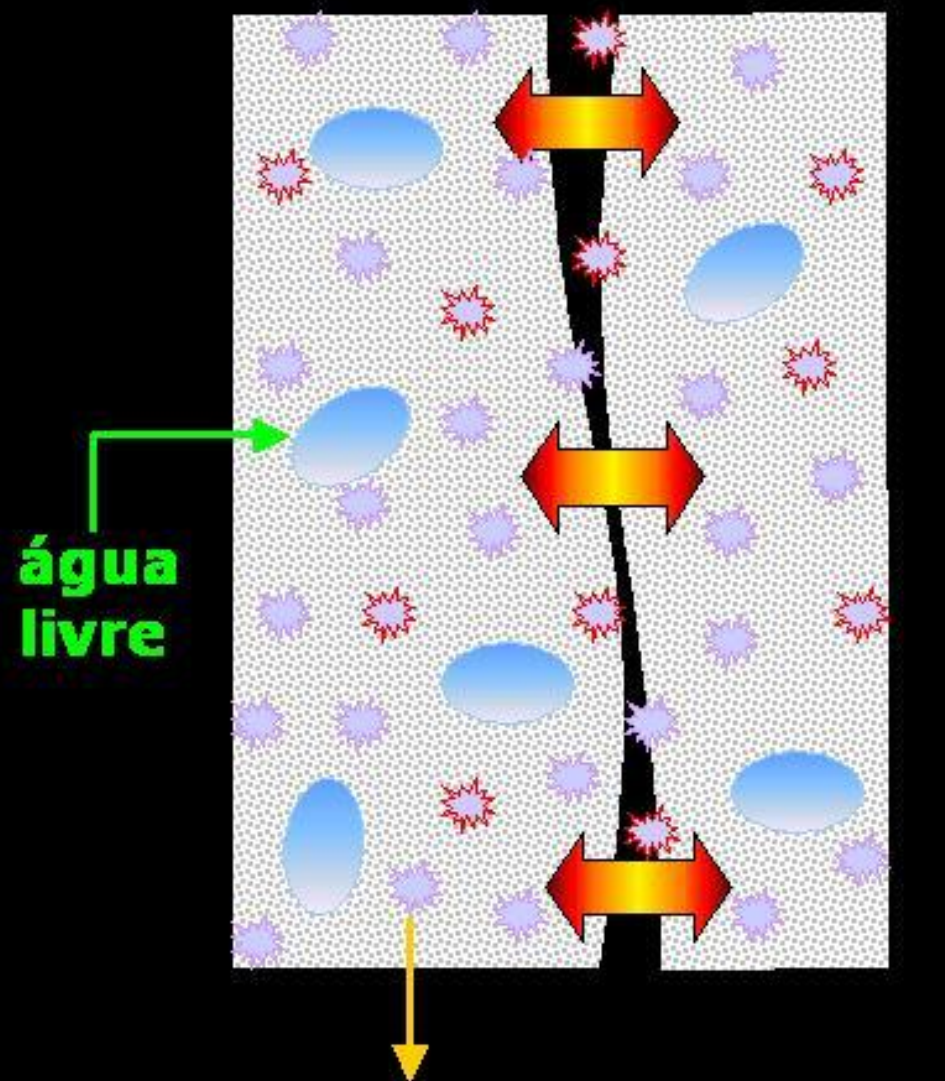
Efeito na superestrutura



Proteção passiva

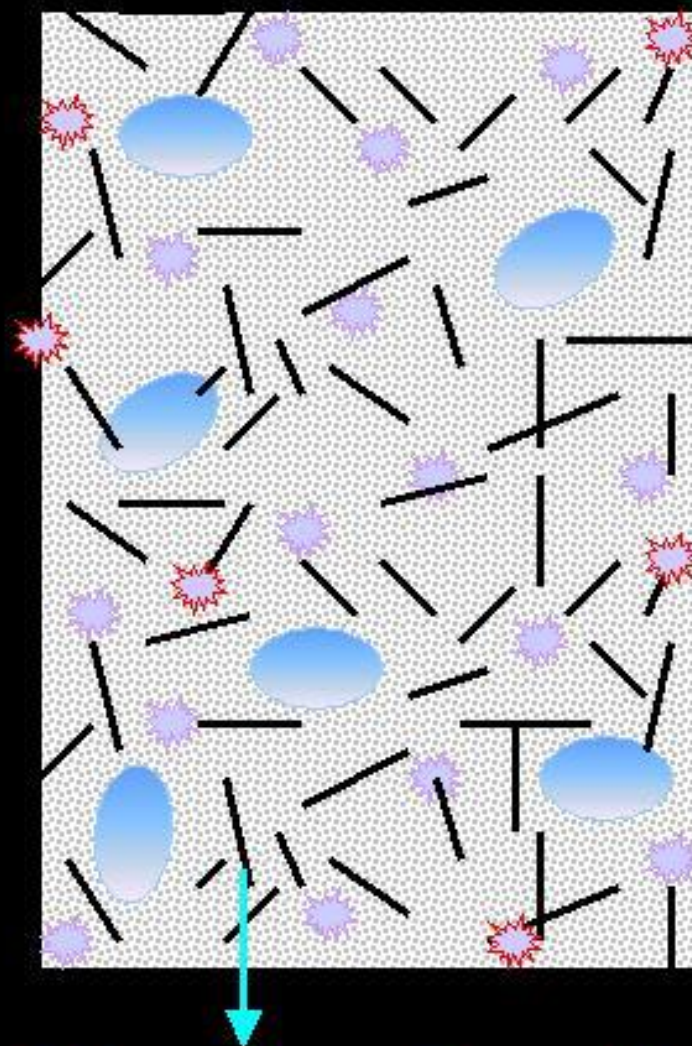
- Não se pode negligenciar o problema
- Uso de fibras de PP podem ajudar
(válvula redutora de pressão interna)
- Como avaliar?
- Como especificar?

Concreto sem fibra



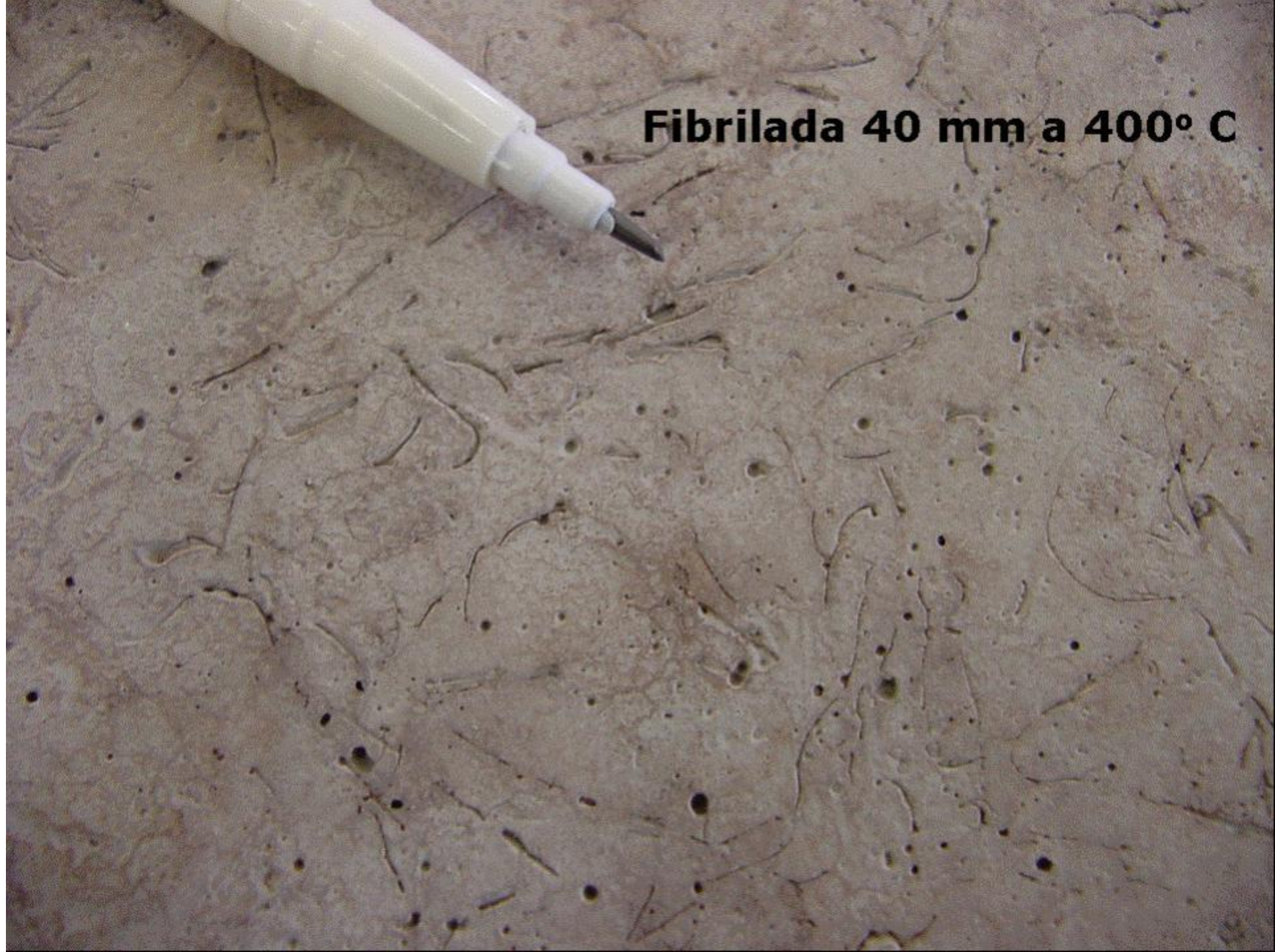
**água química e
fisicamente combinada
condensada**

Concreto com fibra



**fibras de polipropileno
fundidas permitem aliviar
a pressão de vapor dos
poros**

Fibrilada 40 mm a 400° C



Ação das fibras de PP em incêndios

- Proteção passiva
- Quando se fundem permitem a saída do vapor de água e minimizam lascamento do concreto
- Evitam colapso imediato da estrutura
- Permitem atividades de recuperação da estrutura com maior segurança e simplicidade

Como especificar as fibras de PP?

- Há prescrições que são bem conservadoras
(2 kg a 3 kg de fibra de PP por m³ de concreto)
- Melhor modo:
homologação da
solução



Não há como não
fazer testes:

EFNARC. Specification
and Guidelines for
Testing of Passive Fire
Protection for Concrete
Tunnels Linings. March.
2006.

www.efnarc.org

**Experts for
Specialised
Construction and
Concrete Systems**



'achieving the highest standards'

**Specification and Guidelines for
Testing of Passive Fire Protection
for Concrete Tunnels Linings**

March 2006

Avaliação comparativa IPT/Fitesa

Uma placa sem fibras

- Superfície exposta ao fogo totalmente irregular
- Fragmentação superficial do concreto com depressões de até 5cm

Um placa com fibras

- Superfície visualmente intacta
- Conclui-se que a adição de 1kg/m^3 de fibras impediu a fragmentação do concreto quando submetida a um fogo de 2 horas de duração.

Concreto projetado

- Poucos estudos (Tatnall, 2002)
Consumo de fibra de PP: 1,8 kg/m³



Figure 3: Hagerbach hydrocarbon-fueled fire furnace setup.

2,7 kg/m³

Spiring, C. Sprayed concrete systems in the Gotthard base Tunnel. Shotcrete: More Engineering Developments. Taylor & Francis Group. 2004



Figure 4: Nonfibrous mesh reinforced panel: 15-min fire test.



Figure 6: Steel + micro PP fiber shotcrete panel after 2-h fire test.

Por que não há como estabelecer “regrinhas”

- Fenômeno complexo e de muito difícil modelagem.
- Depende de vários fatores.
- A avaliação já induz a determinados comportamentos.
- Tese: Andréa Nince (2007) “Lascamento do concreto exposto a altas temperaturas”

Estamos trabalhando...



CPB do Brasil
Solotrat
Lafarge-Holcim
Poli-USP

Comentários finais

- Não resolvemos todos os problemas do concreto projetado com fibras.
- Ainda há muito que refinar num processo contínuo de evolução tecnológica.

