

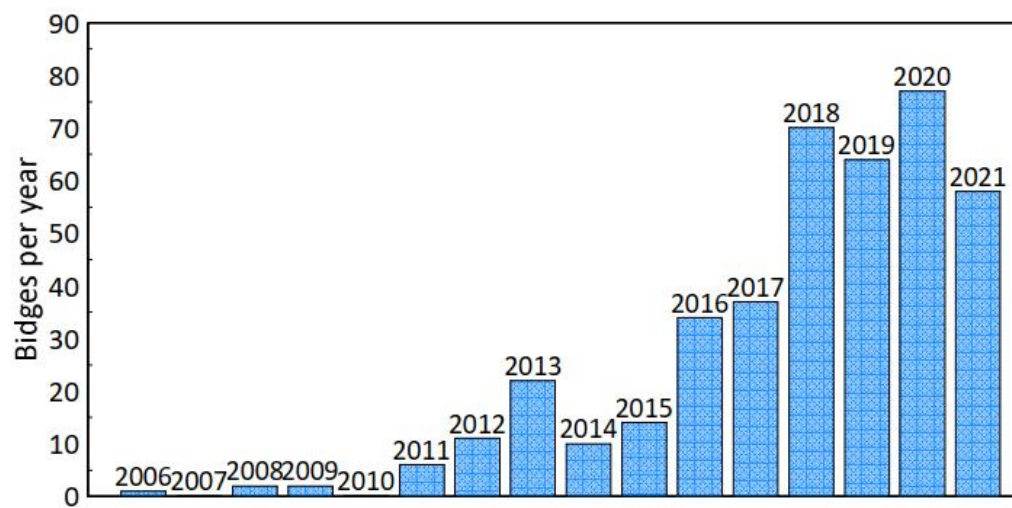
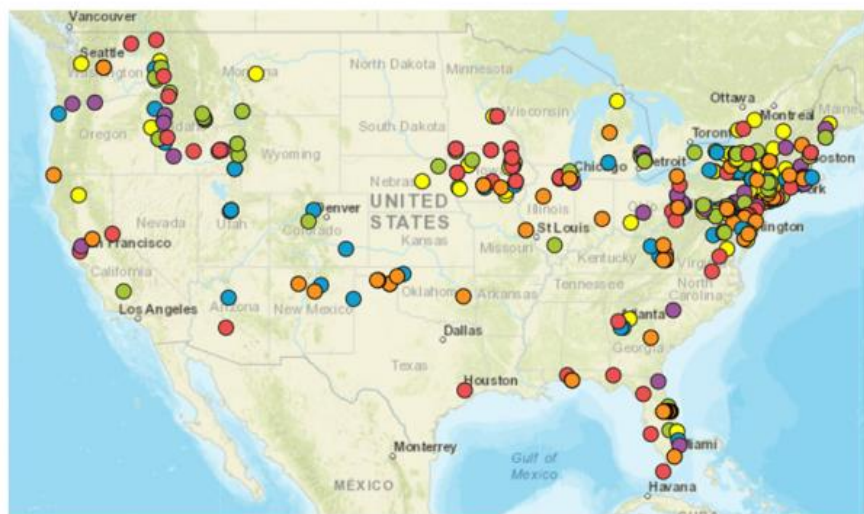
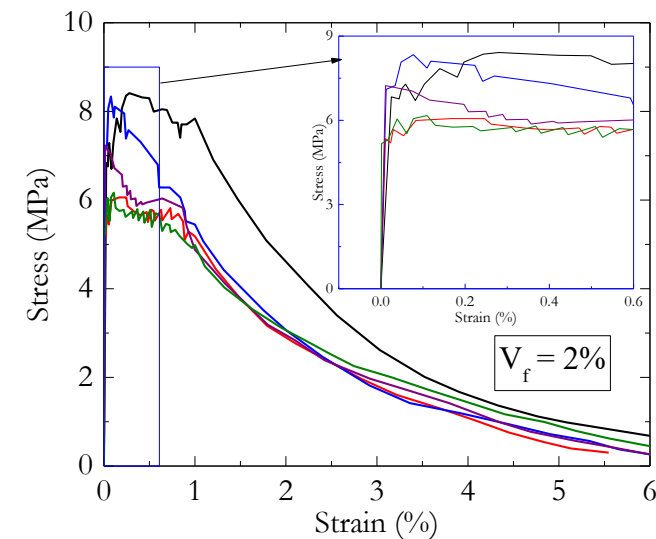
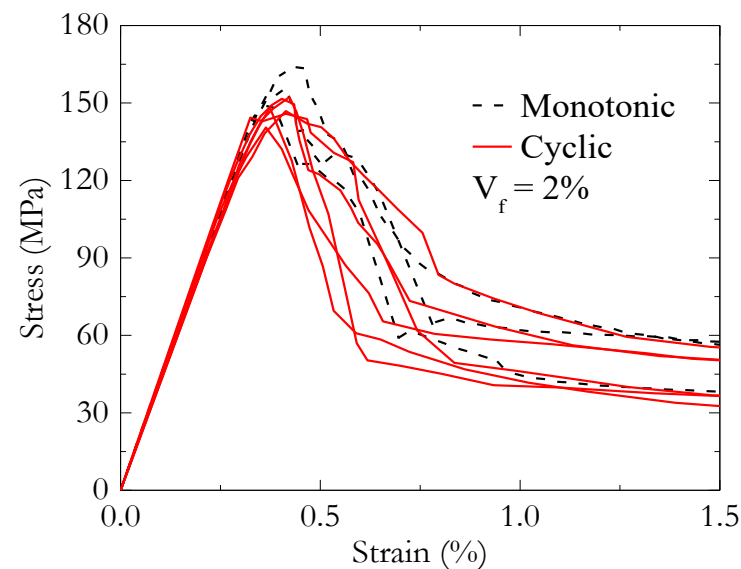
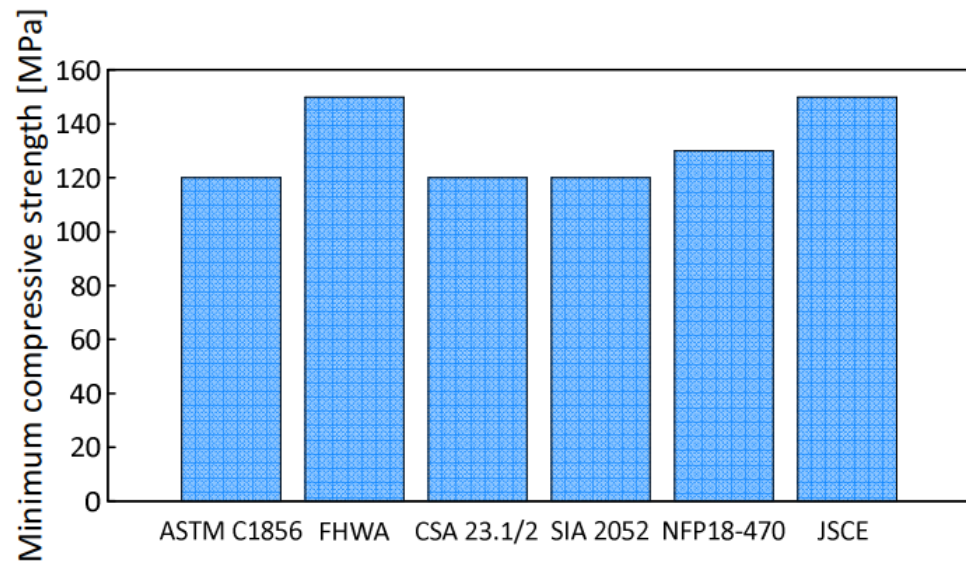
UHPC e CA 70: inovação, desafios e aplicação em estruturas pré fabricadas

Pablo Augusto Krah

Professor – Universidade Presbiteriana Mackenzie

ORGANIZAÇÃO

4 e 5 de junho de 2025



ORGANIZAÇÃO

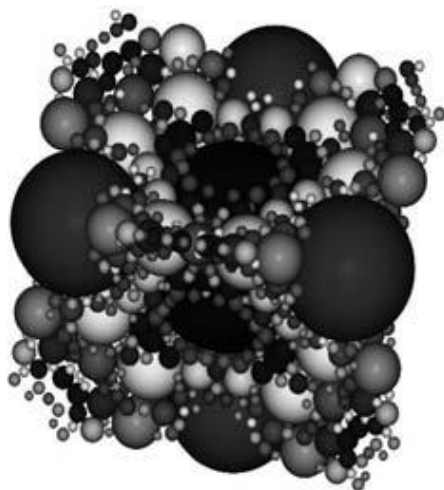
UHPC – Concreto de Ultra Alto Desempenho

Técnica de dosagem usualmente aplicada

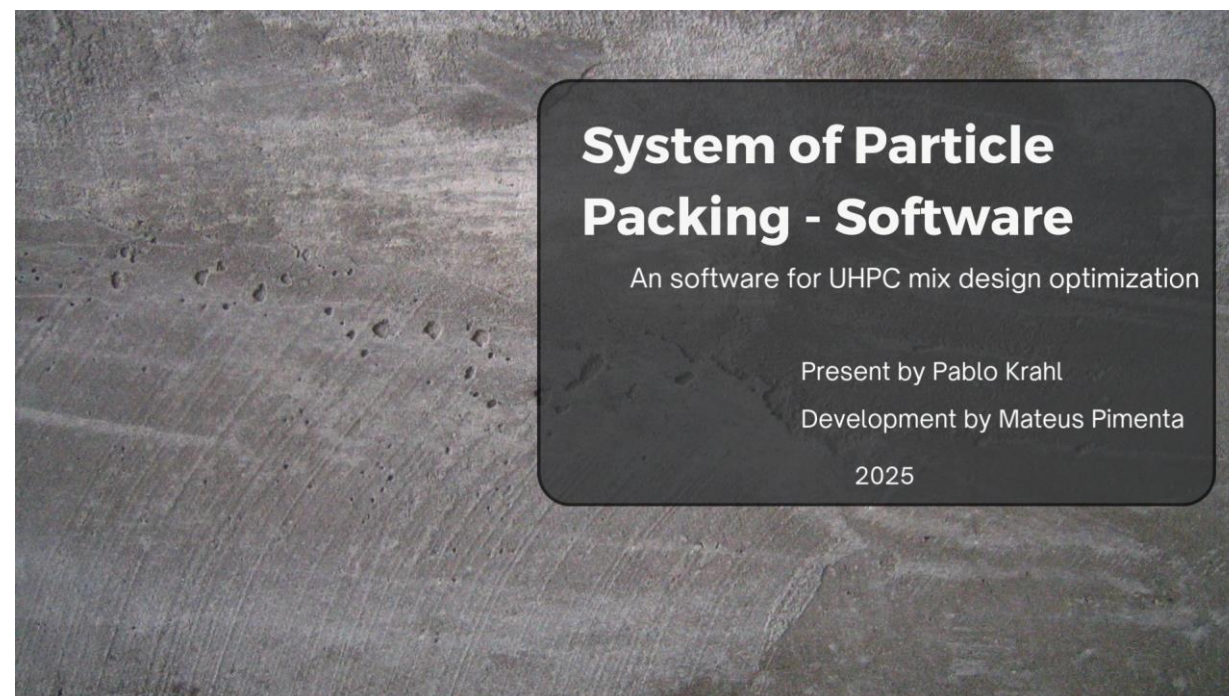
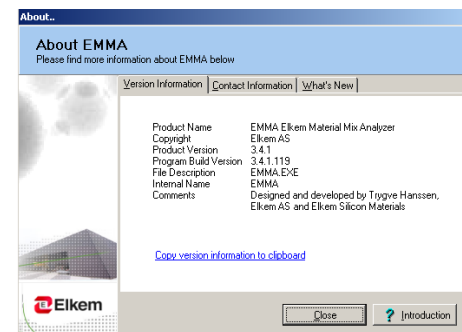
Empacotamento de partículas

$$\beta = \frac{V_{sol}}{V_{tot}}$$

↑



Técnica de otimização

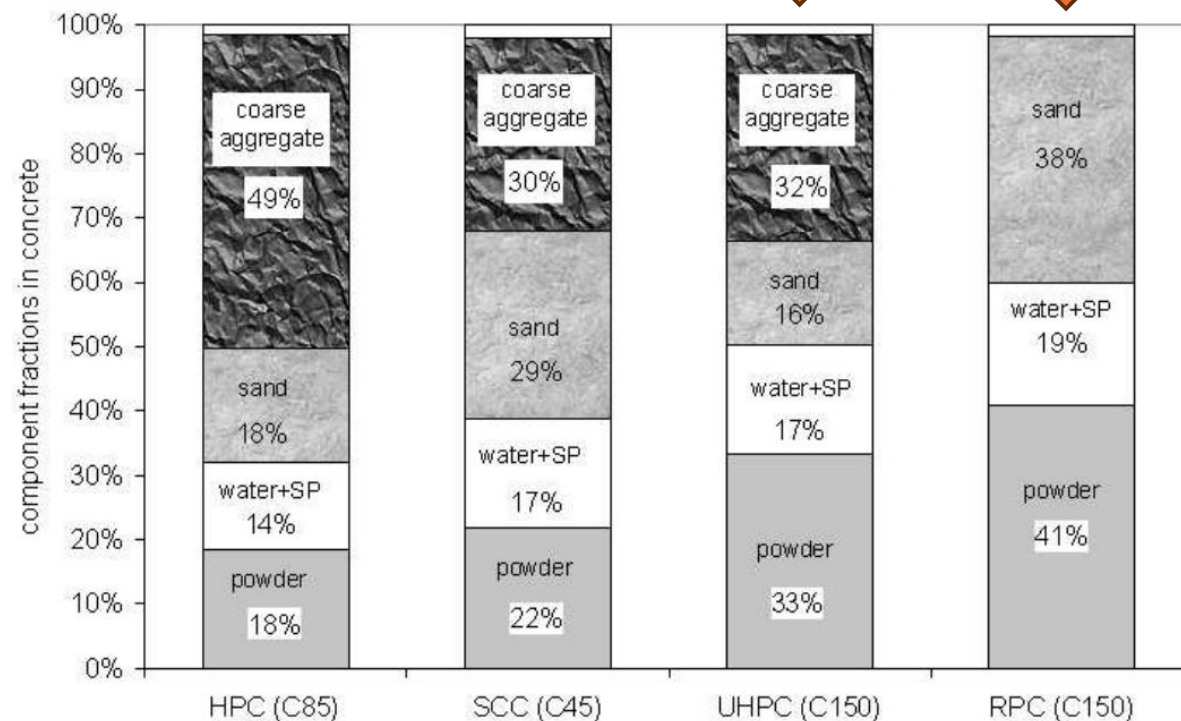
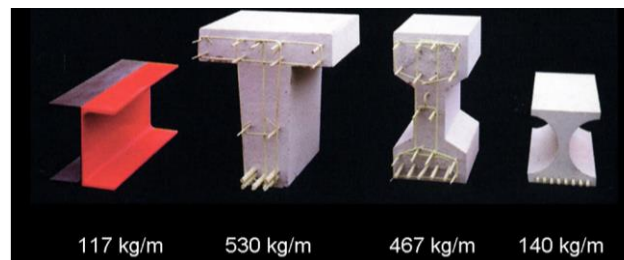
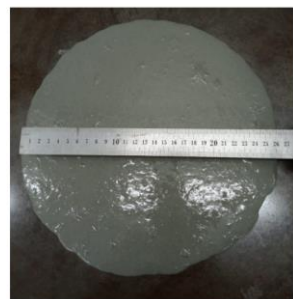
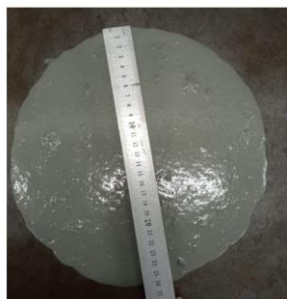


ORGANIZAÇÃO

UHPC – Concreto de Ultra Alto Desempenho

Algumas observações sobre UHPC:

- Tempo de mistura em misturadores de alta energia: 5 a 10 min;
- É possível fazer UHPC com agregado graúdo (5mm);
- Otimizando o projeto é possível reduzir o consumo de cimento por elemento estrutural;
- Já tem fibras p/ UHPC sendo comercializadas no Brasil.



Ma, J., Orgass, M., Dehn, F., Schmidt, D., & Tue, N. V. (2004)

Vigas de UHPC

Ductilidade das vigas de UHPC:

Taxas de aço menores que 1% tendem a apresentar perda significativa de ductilidade!!

Dancygier e Berkover (2016)

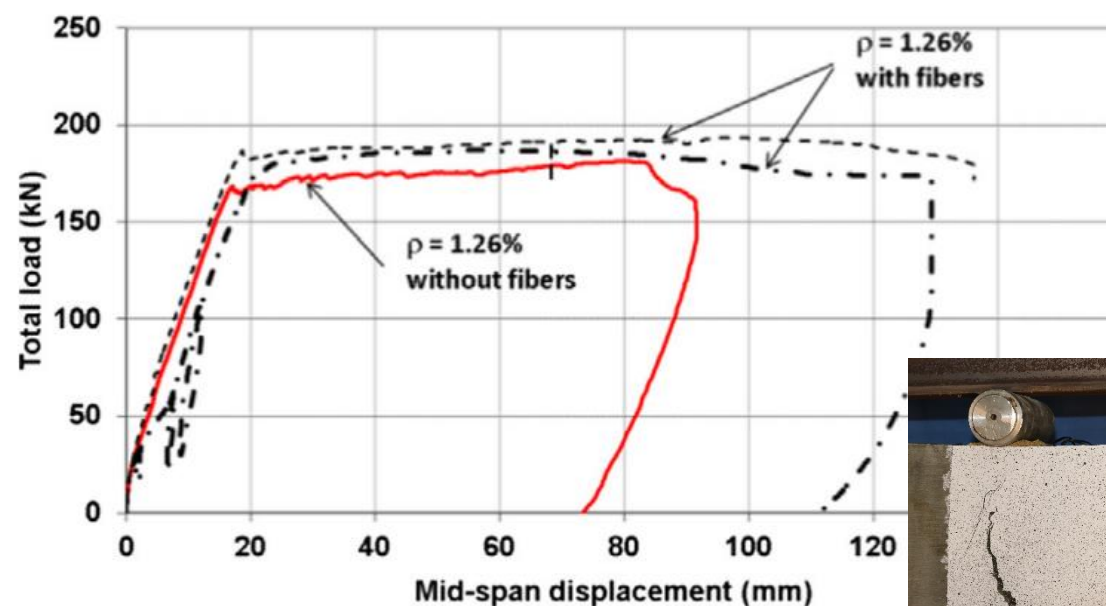
Yoo et al. (2017)

Feng et al. (2021)

Shao and Billington (2022)

Lima et al. (2023)

Feghali et al. (2024)



(e) $\rho = 1.26\%$



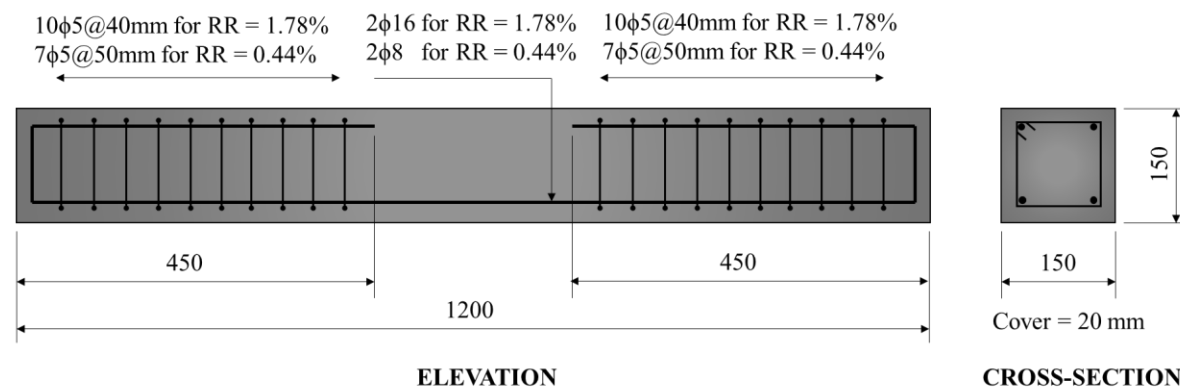
Fonte: Dancygier e Berkover (2016)

Vigas de UHPC

Comparação de vigas com diferentes taxas (0.44% e 1.78%)

$f_c = 34.7 \text{ MPa}$

$f_c = 142.3 \text{ MPa}$



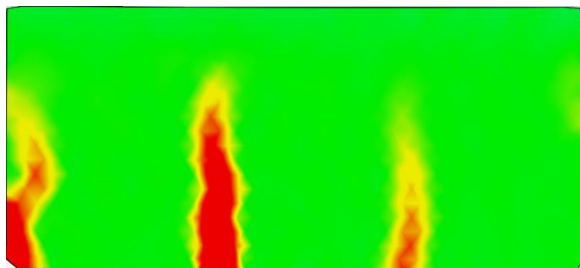
4 e 5 de junho de 2025

Vigas de UHPC

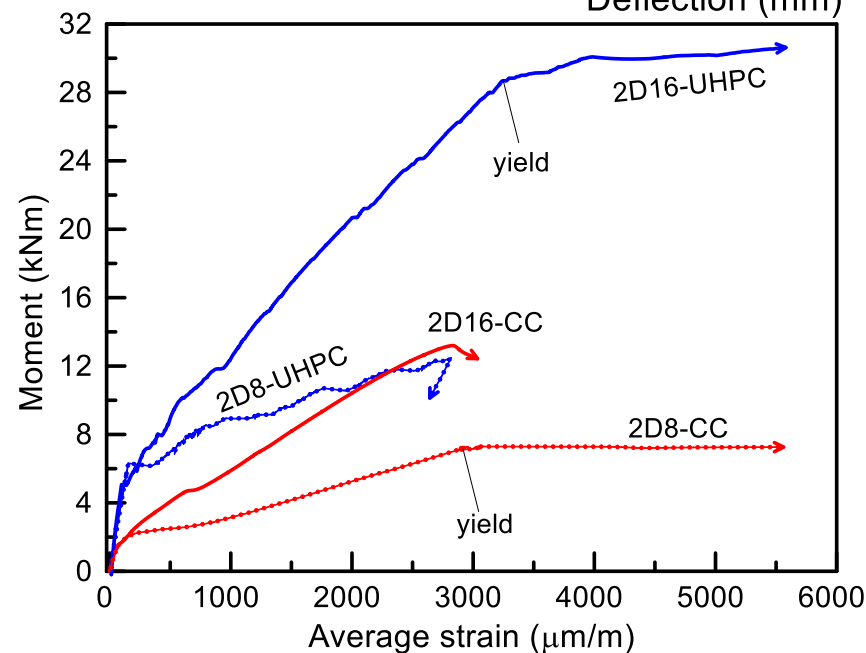
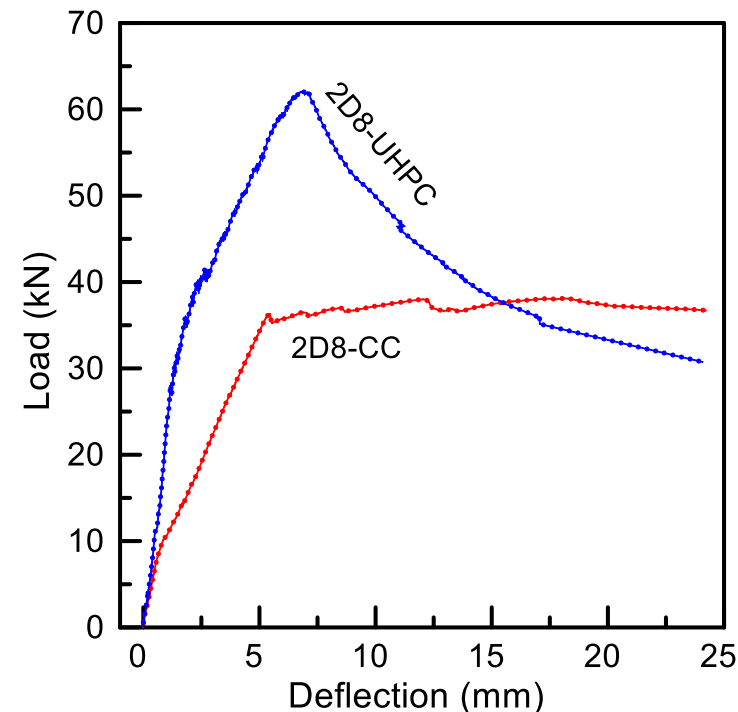
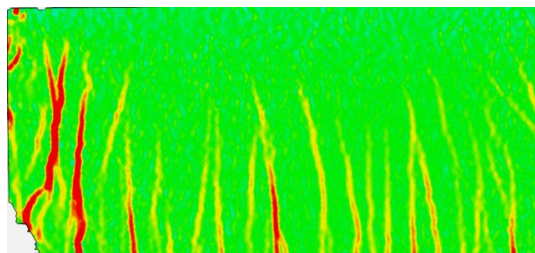
Taxa 0.44%

Drift de 0.77%

Convencional



UHPC

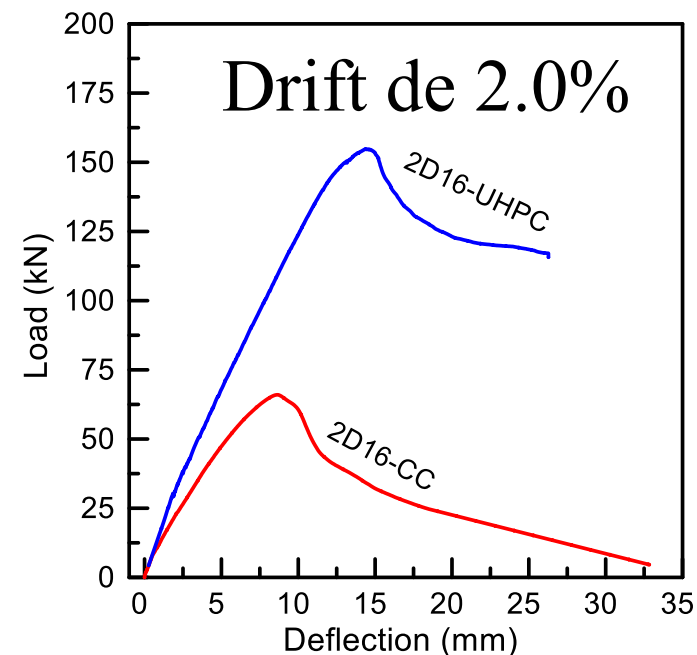
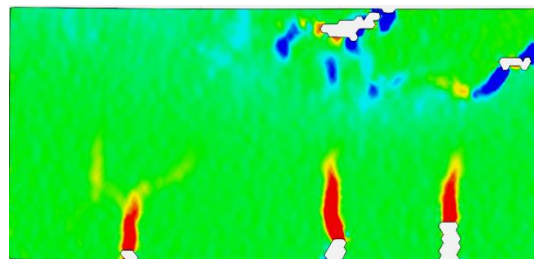


ORGANIZAÇÃO

4 e 5 de junho de 2025

Vigas de UHPC

Convencional

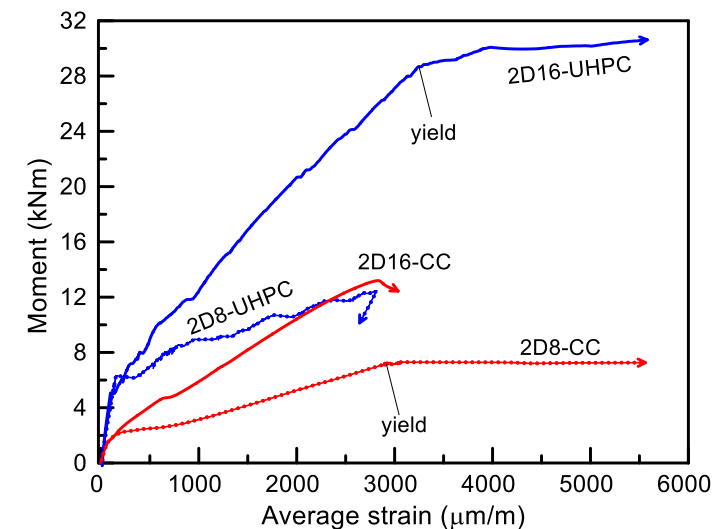
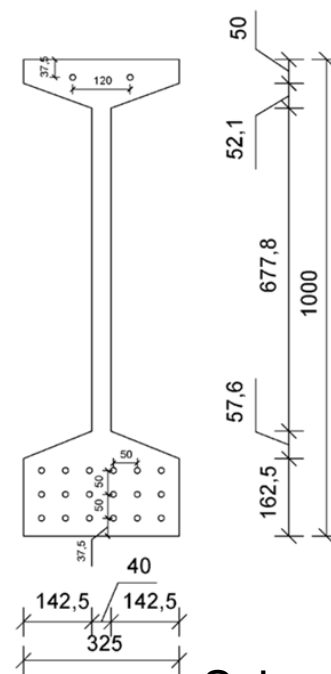
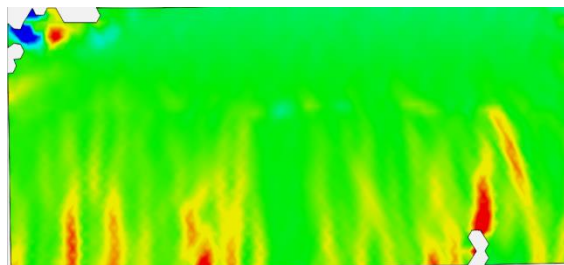


Taxa 1.77%

$f_c = 34.7 \text{ MPa}$

$f_c = 142.3 \text{ MPa}$

UHPC



Schrammet al. 2018.

ORGANIZAÇÃO

UHPC sob impacto

Impacto por queda de peso



Estruturas resistentes ao impacto

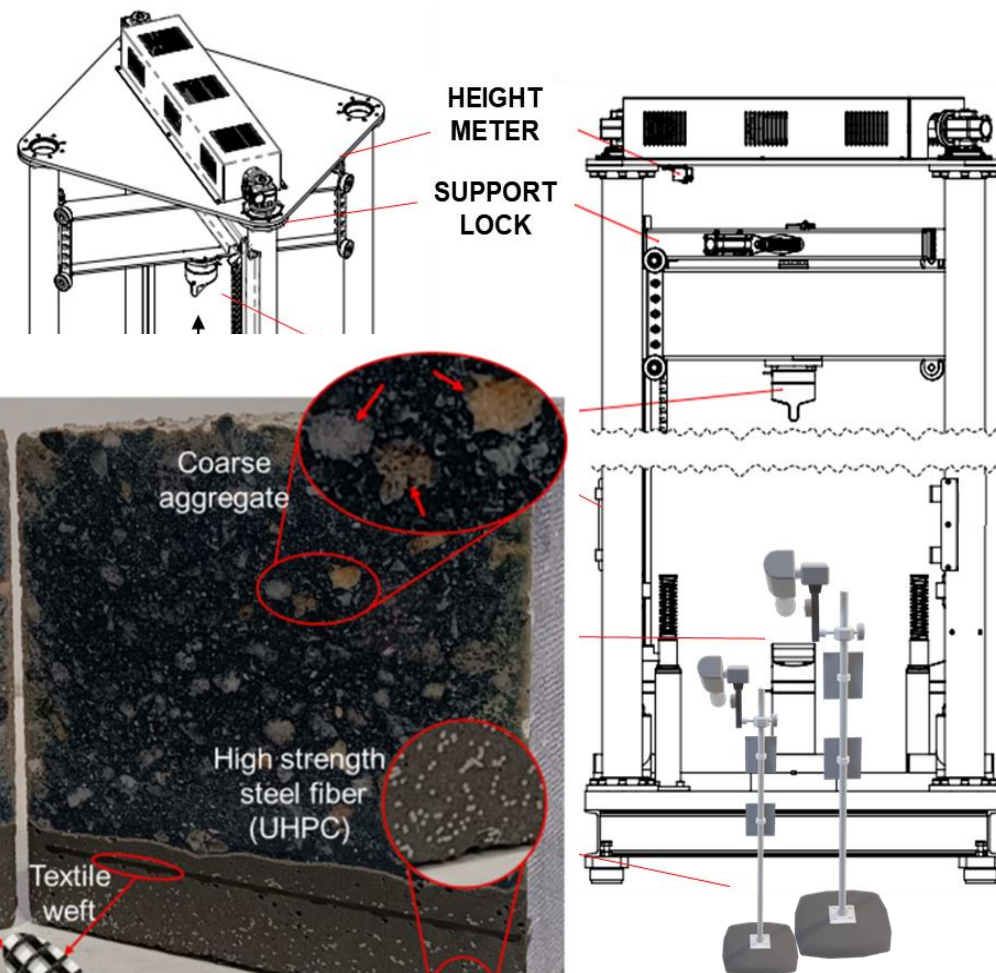
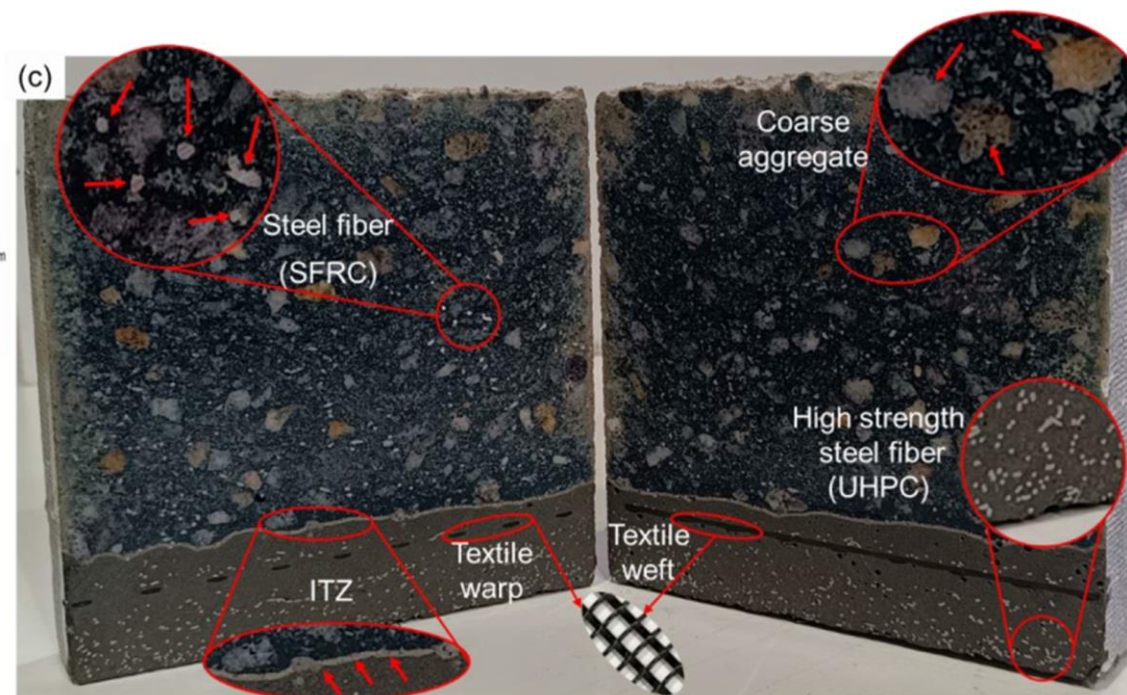
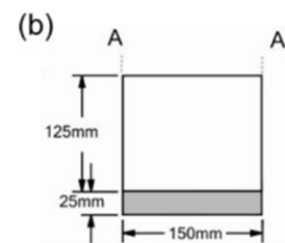
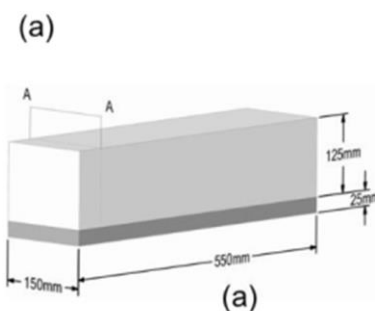
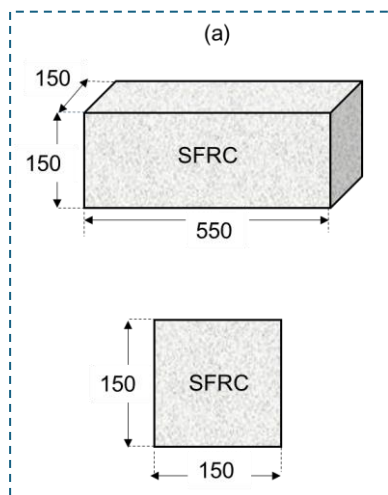


UHPC sob impacto

Baixa velocidade (queda de peso)

CRF

Uso de gradação funcional com UHPC e textil

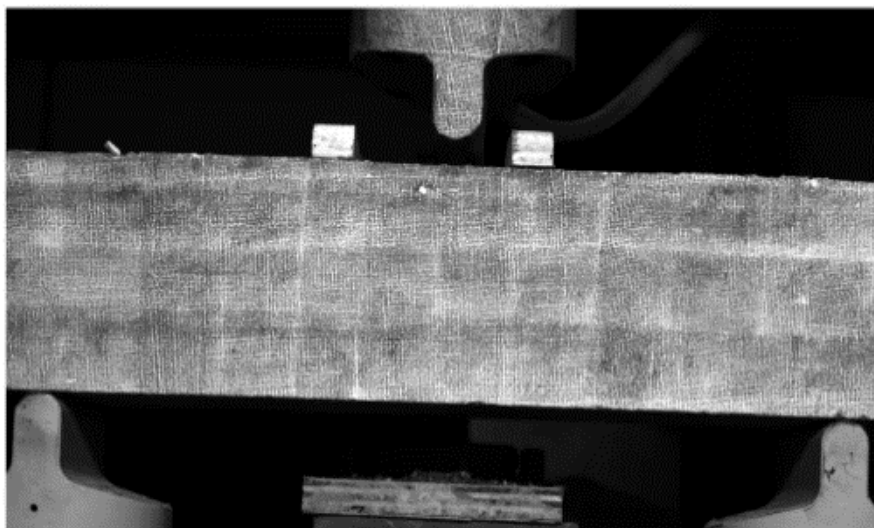


ORGANIZAÇÃO

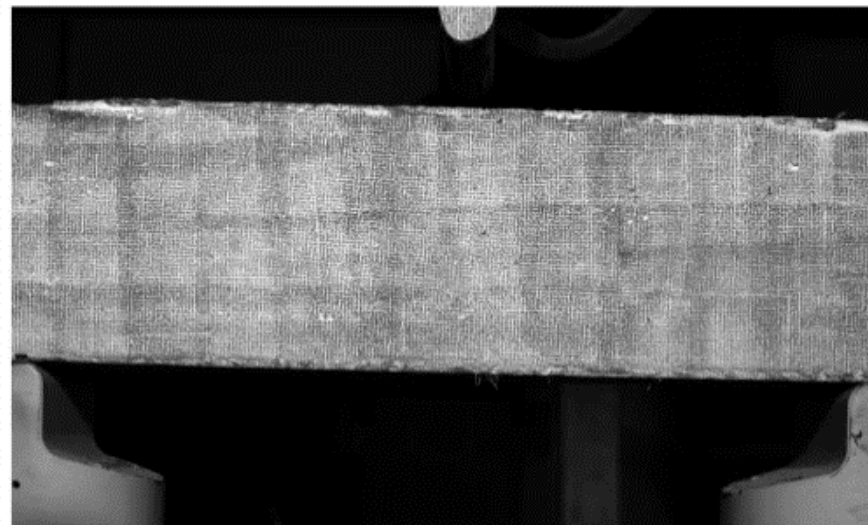
UHPC sob impacto

Baixa velocidade (queda de peso)

(a) CRF – 40kg/m³



(b) CRF+ UHPC +textile



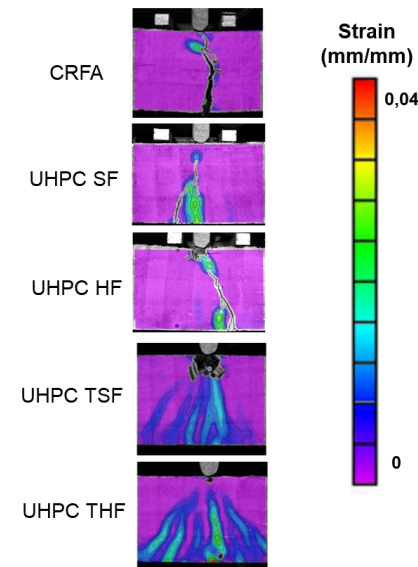
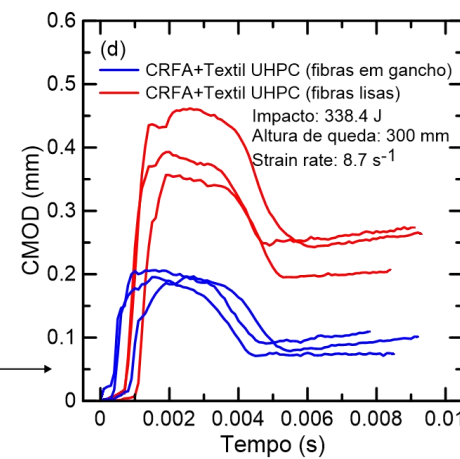
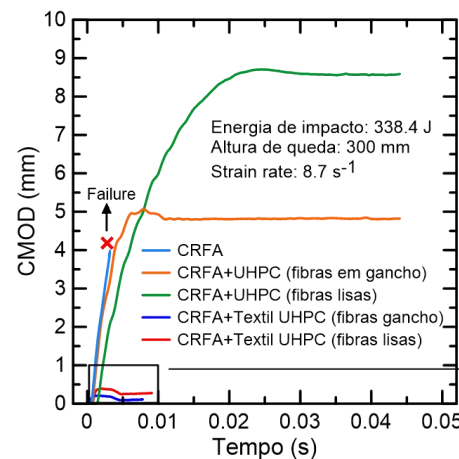
4 e 5 de junho de 2025

Baixa velocidade (queda de peso)



Concreto com fibras

UHPC sob impacto



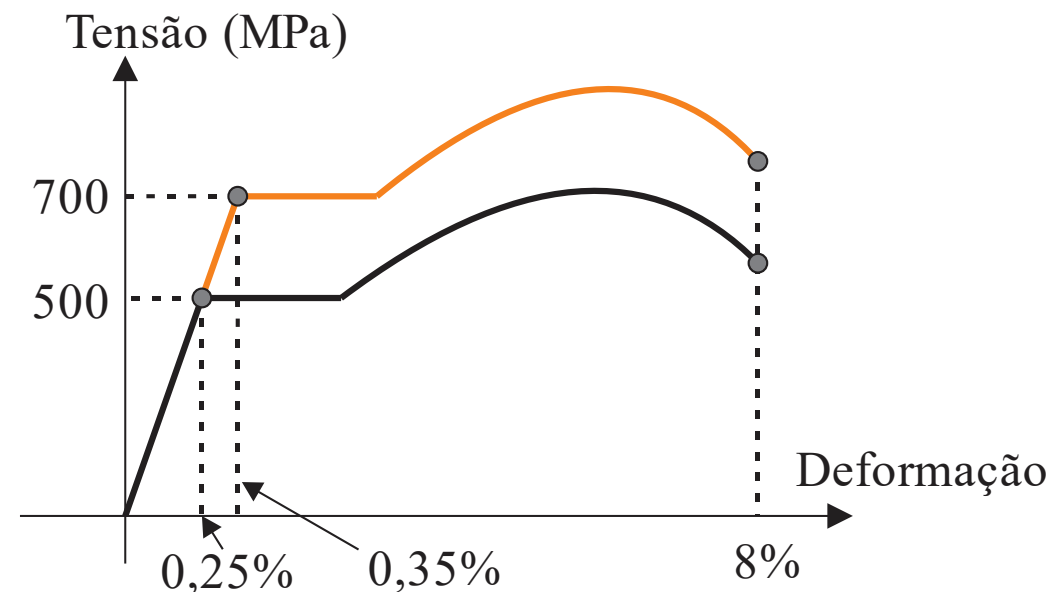
UHPC

ORGANIZAÇÃO

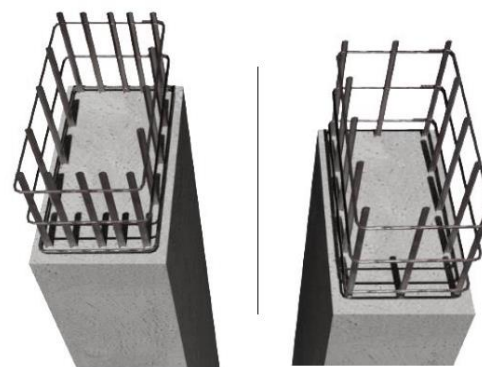
Vantagens do uso do aço CA-70:

- Aumento da produtividade na obra;
- Redução do consumo de materiais (custo e sustentabilidade);
- Potencializar a industrialização das armaduras;

Aço CA-70



Fonte: ArcelorMittal (2022)



Pilar utilizando CA50
convencional
16 barras

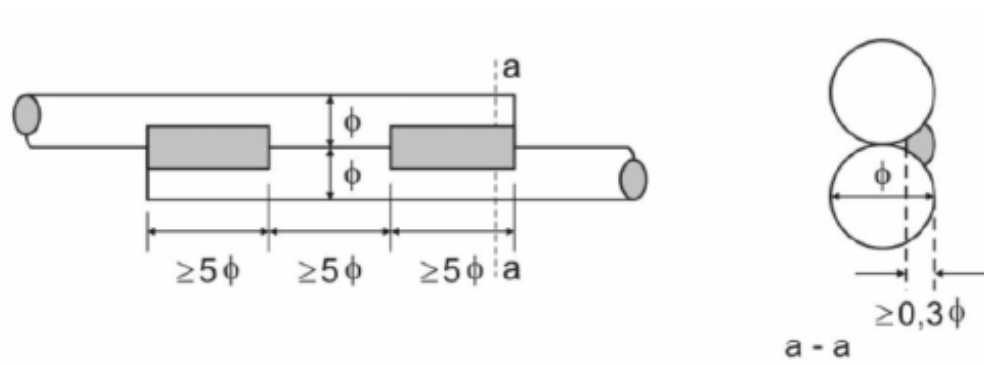
Pilar utilizando
CA50 S A/R
12 barras

Fonte: ArcelorMittal (2022)

ORGANIZAÇÃO

Emendas por solda – CA-70

Investigação da transferência de emendas com solda por traspasse em barras de aço CA-70 utilizando a prescrição da norma ABNT NBR 6118.

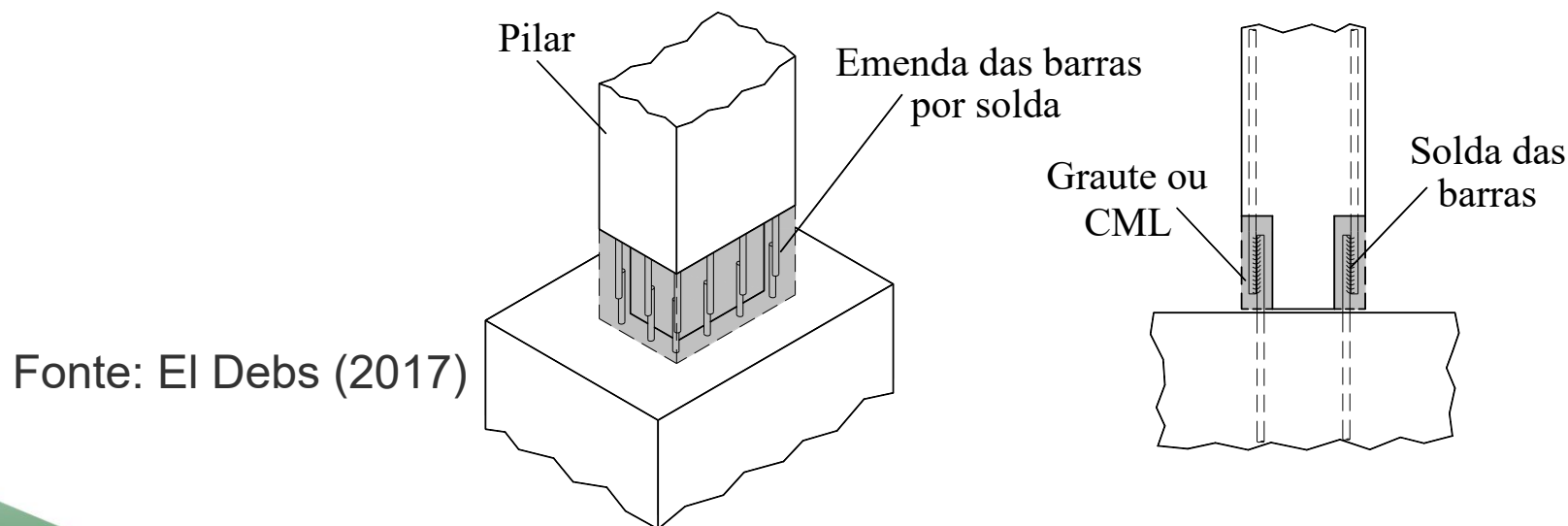


Fonte: ABNT NBR 6118 (2023)

Emendas por solda – CA-70

Pode ser aplicada em situações:

- Pouco espaço para traspasse e diminuição do número de barras soldadas;
- Alta continuidade estrutural (ex: pilares altos e esbeltos).

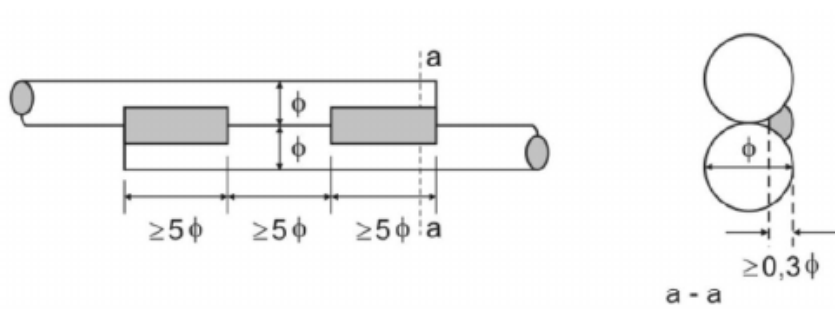


Fonte: El Debs (2017)

Emendas por solda

Metodologia dos testes

- Emenda realizada com Arame de Solda Mig;
- Comparou-se os resultados com ensaios de tração convencional.

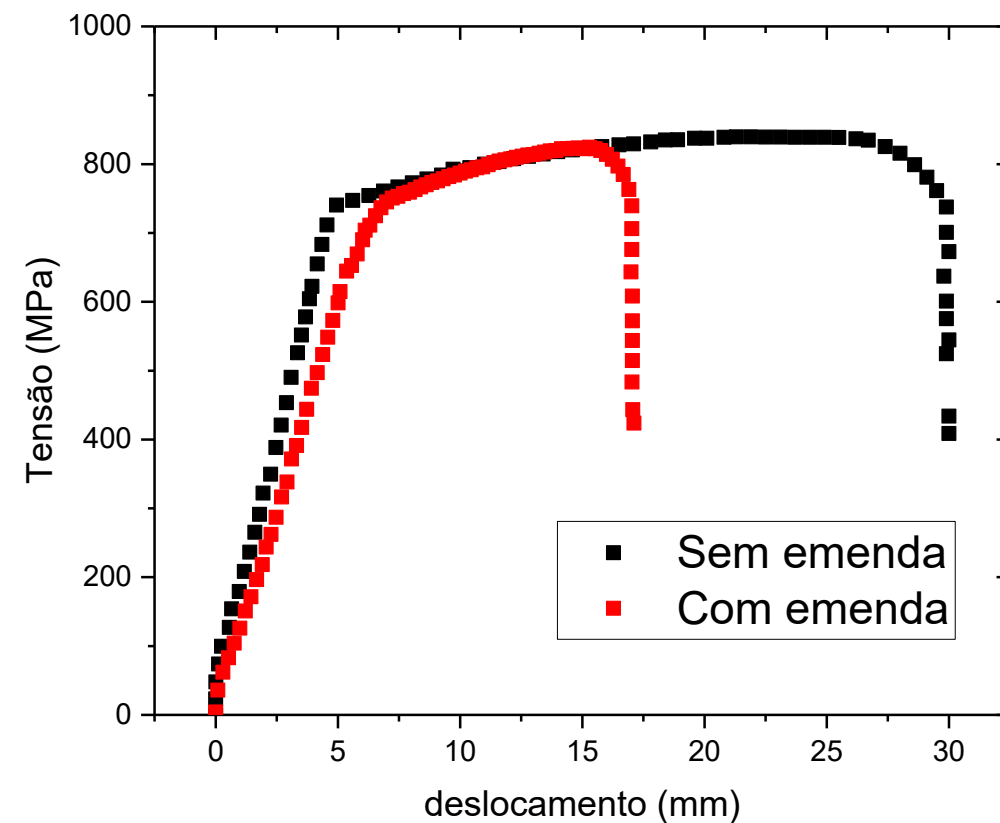


Fonte: ABNT NBR 6118 (2023)



4 e 5 de junho de 2025

Resultados:



ORGANIZAÇÃO

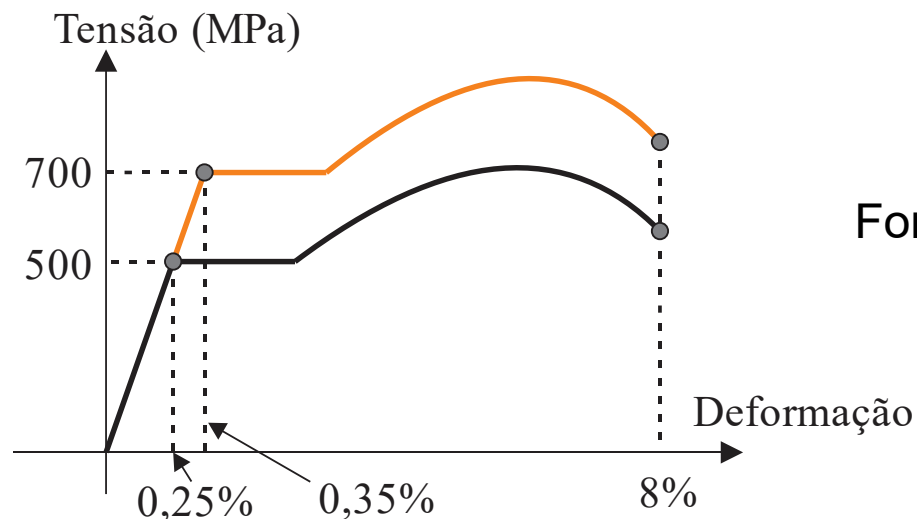
Ancoragem por aderência

Tensão de aderência (f_{bd}) e comprimento de ancoragem (l_b) são parâmetros que estão sendo estudados para o CA-70.

$$\uparrow l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \uparrow \geq 25\phi$$

?

Aumentando da tensão de escoamento em 40% representa um aumento do comprimento de ancoragem e traspasse em 40%.

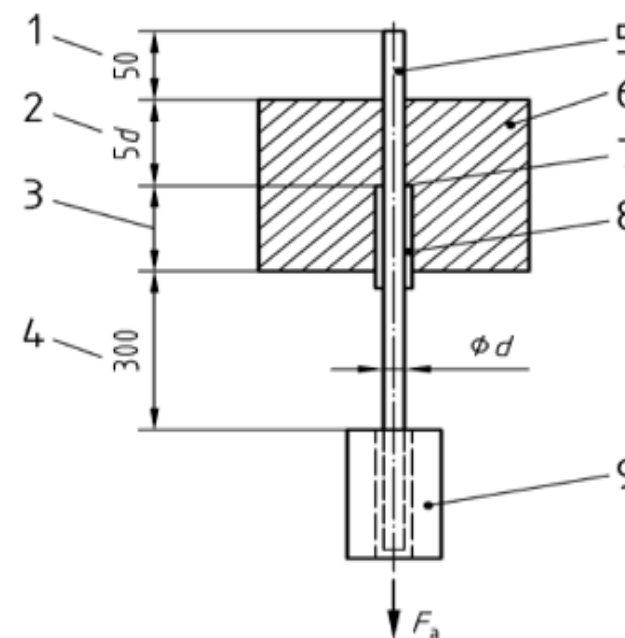


Fonte: ArcelorMittal (2022)

Ancoragem por aderência

Investigação da aderência de barras de CA-70 e CA-50 em concretos de alta resistência (78,22 MPa).

Ensaio seguindo o procedimento da BS-EN 10080 (2005);

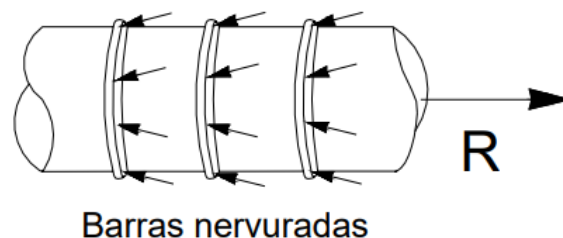
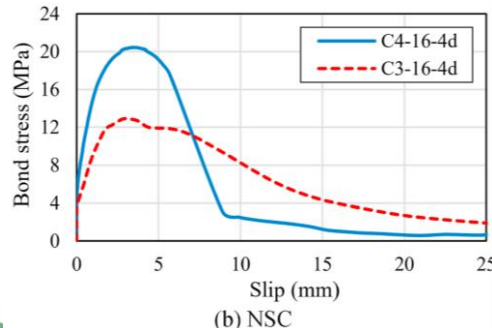
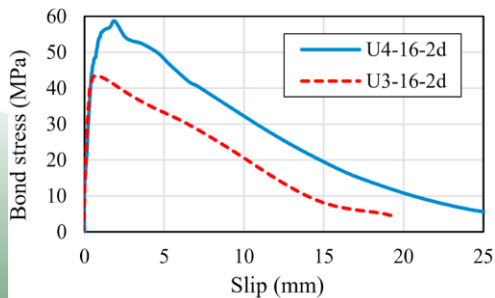
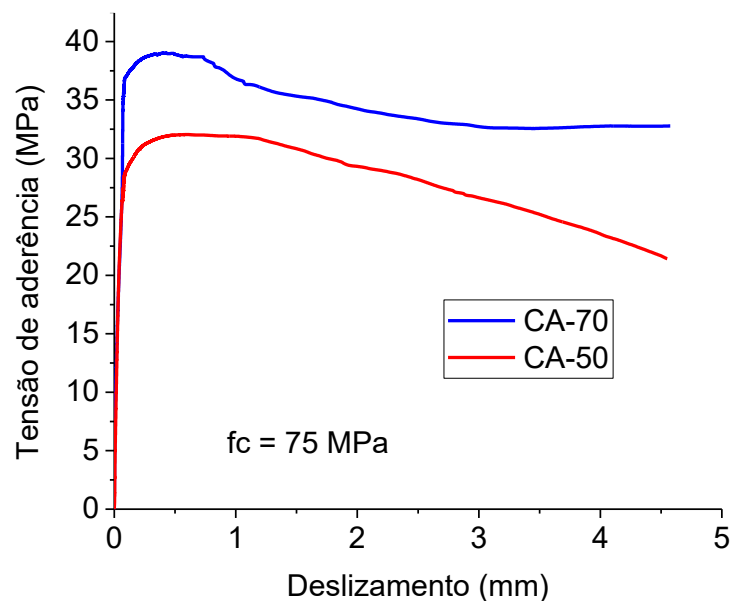


Fonte: BS-EN 10080 (2005)

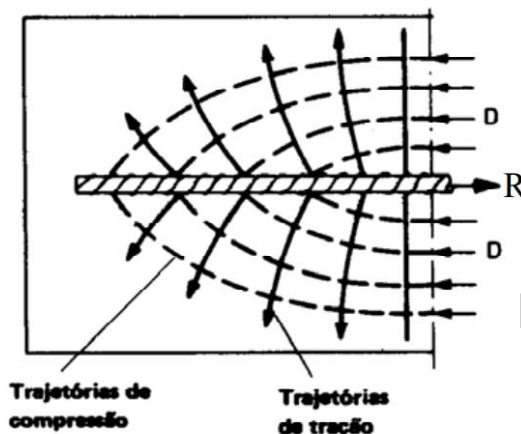
ORGANIZAÇÃO

Ancoragem por aderência

Resultados:



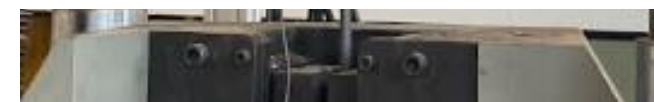
Fonte: Fusco (2006)



Fonte: Lenhardt e Monnig (1977)



Aumentando a tensão em 40% vai intensificar o campo de tensões no entorno da barra (tração $0.25 \times R$).



Fonte: Khaksefidi, S., Ghalehnovi, M., & De Brito, J. (2021)

Ancoragem por aderência

Normalização

ABNT NBR 6118

$$l_b = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \geq 25\phi$$

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd}$$

ACI-318-19



$$\ell_d = \left[\frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right] d_b$$

f_y (MPa)	ψ_g
275 a 414	1
551	1.15
689	1.3

ORGANIZAÇÃO

Materiais de alto desempenho

“Foi fácil dar esse passo adiante, porque aumentar a resistência à compressão do concreto resultou em redução de custos, em termos de acréscimo no espaço ... nos andares ... mais lucrativos”

Pierre-Claude Aitcin

Ocorrido na década de 70

4 e 5 de junho de 2025

Obrigado!!

Contato: pablo.krahl@mackenzie.br

LinkedIn:

