

Concreto de Ultra-Alto Desempenho (UHPC) – Novas fronteiras e oportunidades na indústria de pré-fabricados

Prof. Wellington L. Repette

Departamento de Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA

**ULTIMOS DIAS!!!
FAÇA SUA INSCRIÇÃO.**

SEMINÁRIO REGIONAL : ESTRUTURAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO - SUSTENTABILIDADE, PRODUTIVIDADE, INOVAÇÃO E TECNOLOGIA

DATA: 05/04/2018

LOCAL: FLORIANÓPOLIS /SC

CENTRO DE EVENTOS FIESC (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina)

Rod. Admar Gonzaga, 2.765 - Itacorubi

AUDITÓRIO MILTON FETT - EDIFÍCIO CELSO RAMOS

REALIZAÇÃO:



PATROCÍNIO:



APOIO INSTITUCIONAL:



FIESC
A FORÇA DA INDÚSTRIA CATARINENSE



Inovações e Tendências no Setor de Construção Civil

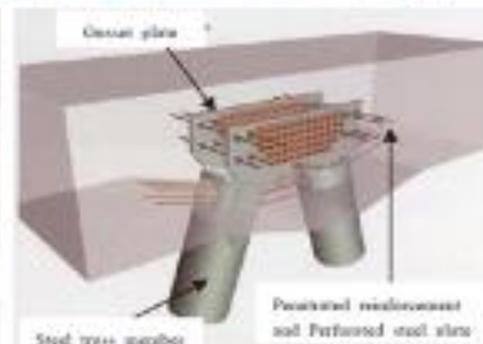
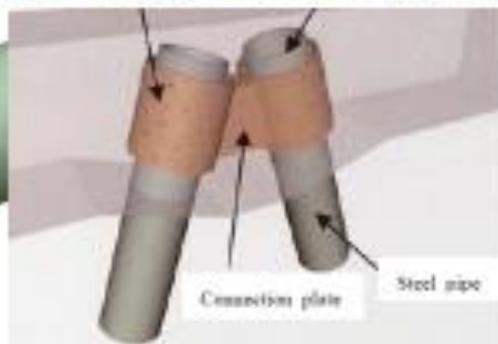
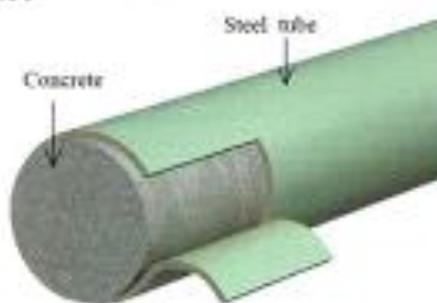
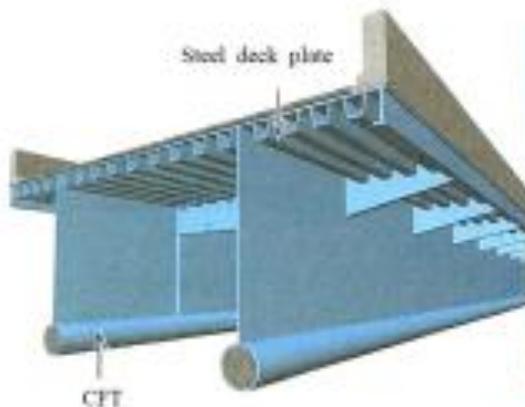
Wellington Repette
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina



Sistemas construtivos



• Construção híbrida



Non-conventional construction techniques

- Pré-fabricação/Modularização



Sistemas Construtivos



- Pré-fabricados



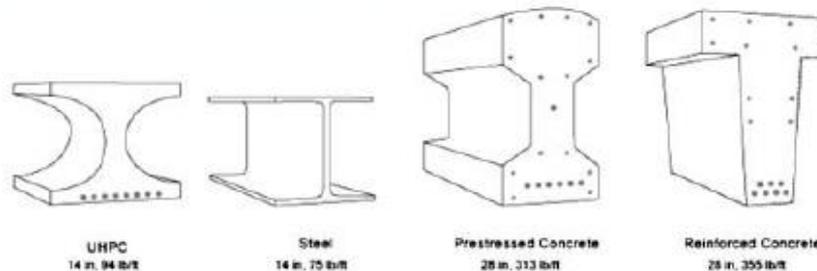
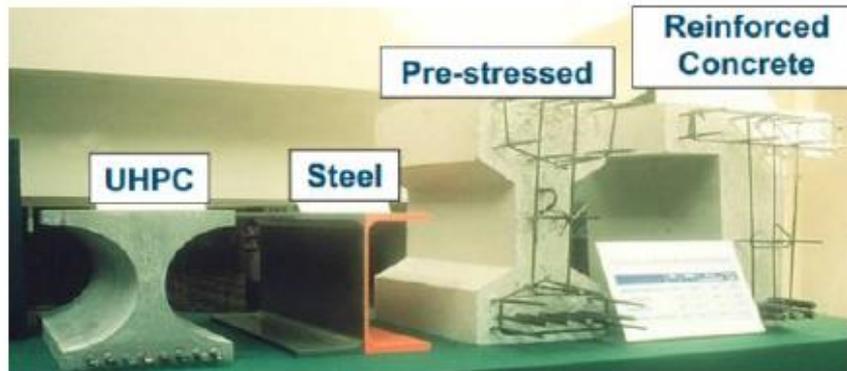
Sistemas Construtivos

- Pré-fabricados



TENDÊNCIAS SETORIAIS

- Concreto de ultra-alto desempenho reforçado com fibras



Materiais avançados



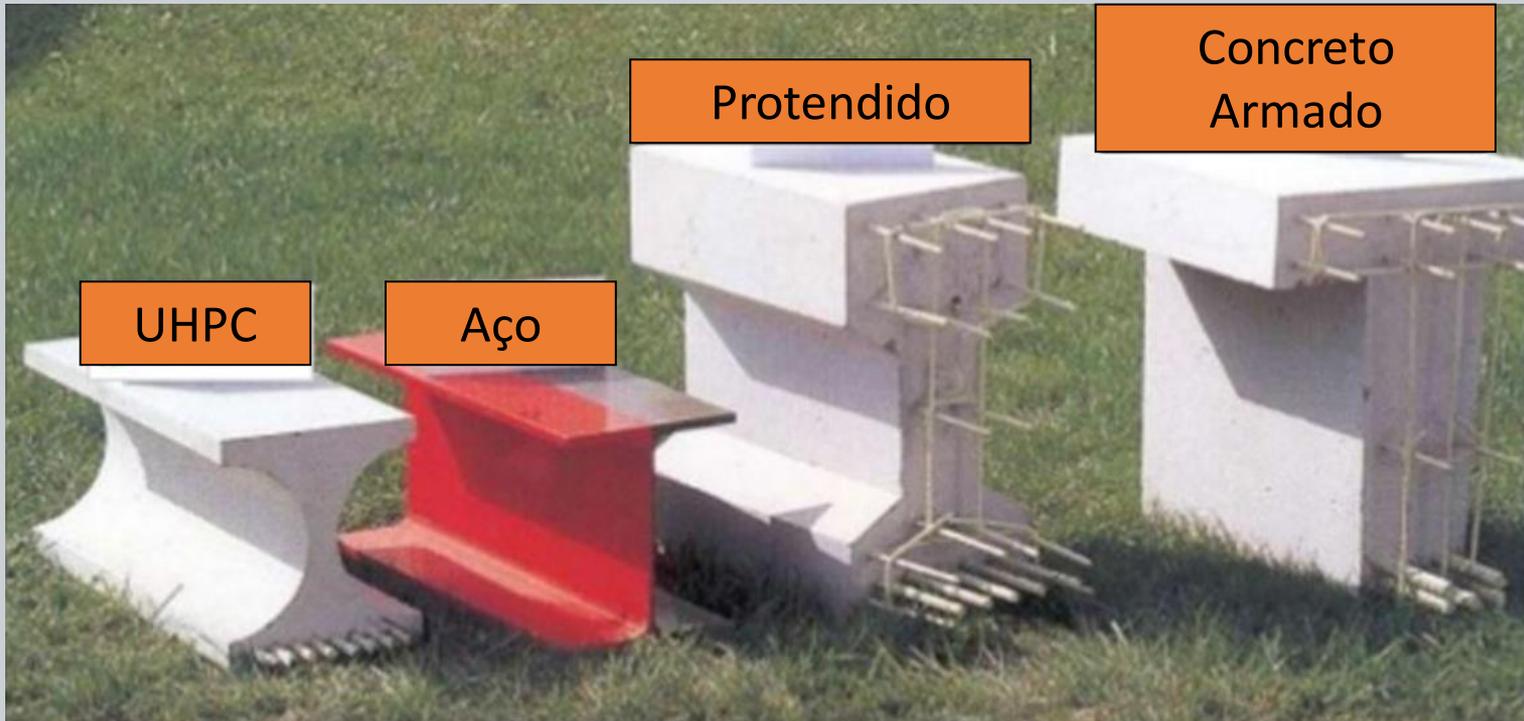
Rotas Estratégicas Setoriais



A FIESC tem o objetivo de sinalizar caminhos de construção do futuro para cada um dos setores e áreas identificados no Projeto Setores Portadores de Futuro para o Estado de Santa Catarina.

Concreto de Ultra-Alto Desempenho (UHPC) – Novas fronteiras e oportunidades na indústria de pré-fabricados

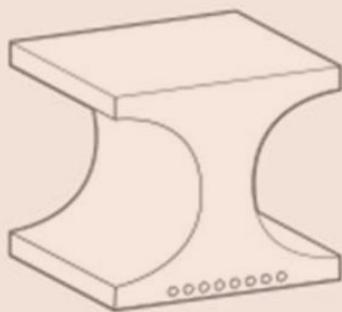
Concreto de ultra- alto desempenho - UHPC



$F_c \geq 150 \text{ MPa}$

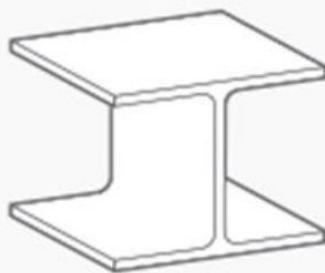
$F_c \geq 120 \text{ MPa}$

Concreto de ultra- alto desempenho - UHPC



UHPC

- $h=355\text{mm}$
- 140 kg/mL



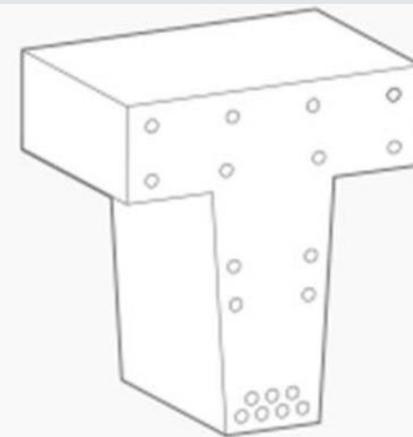
Aço

- $h=355\text{mm}$
- 110 kg/mL



Protendido

- $h=710\text{mm}$
- 465 kg/mL



Concreto Armado

- $h=710\text{mm}$
- 530 kg/mL

Concreto de ultra- alto desempenho - UHPC







• UHPC - Concreto de ultra-alto desempenho (CUAD)



Compressão: >120MPa - 200MPa até 800MPa

Resistência à tração: 5MPa, 11MPa

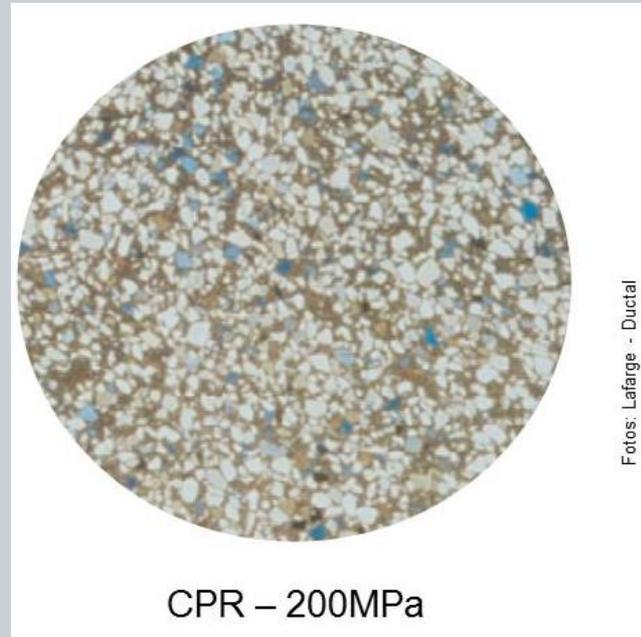
Durabilidade

Dutilidade

Autoadensável



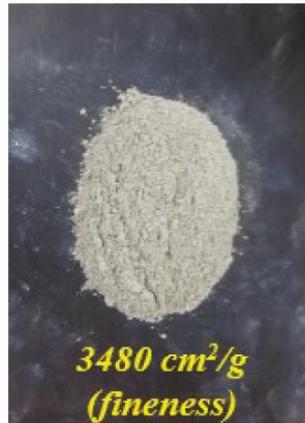
CAD – 60MPa



CPR – 200MPa

Fotos: Lafarge - Ductal

• Composição



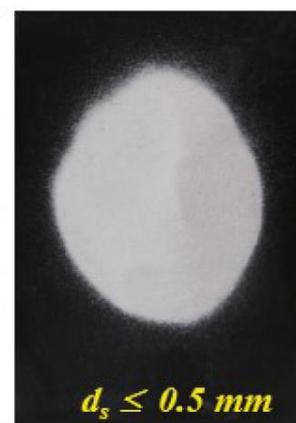
Cimento
(1)



Sílica ativa
(0,25)



Pó de sílica
(0,30)
Escória,
Cinza-volante



Areia de quartzo
(0,30)



Superplastificante
(0,067)



Água
(0,20)

- Baixa relação/água cimentícios
- Partículas finas
- Sem agregado graúdo
- Agregado miúdo muito fino

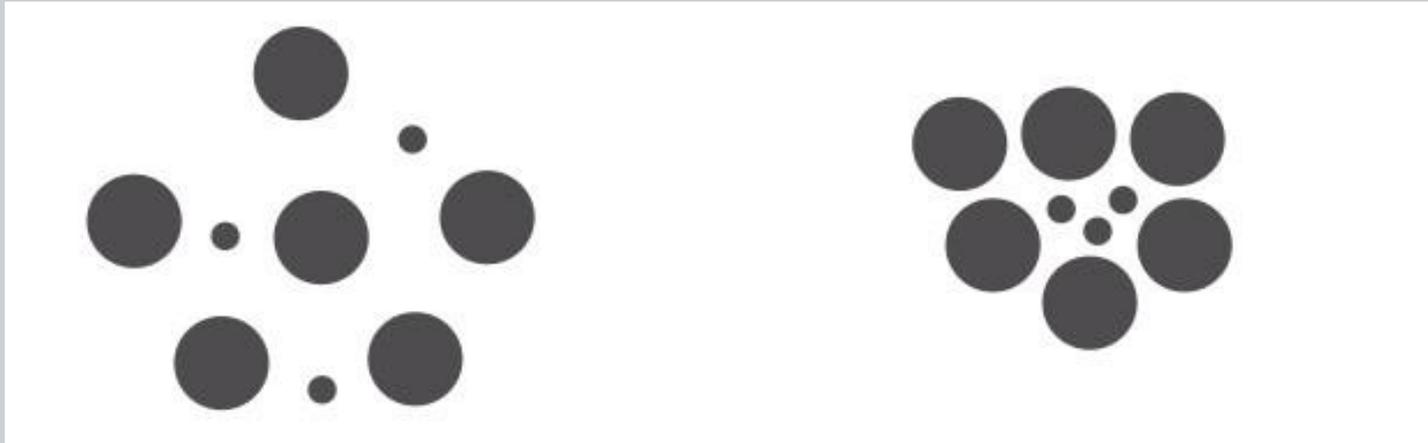


- Concreto???

AFGC-ACI-fib-RILEM Int. Symposium on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete,
UHPC 2017 - October 2-4, 2017, Montpellier, France

Duy Liem Nguyen (1), Dong Joo Kim (2)

• Microestrutura



- Alta relação água/cimento



- Maior espaçamento, mais vazios

- Baixa relação água/cimento

- Maior resistência
- Menor permeabilidade
- Maior durabilidade

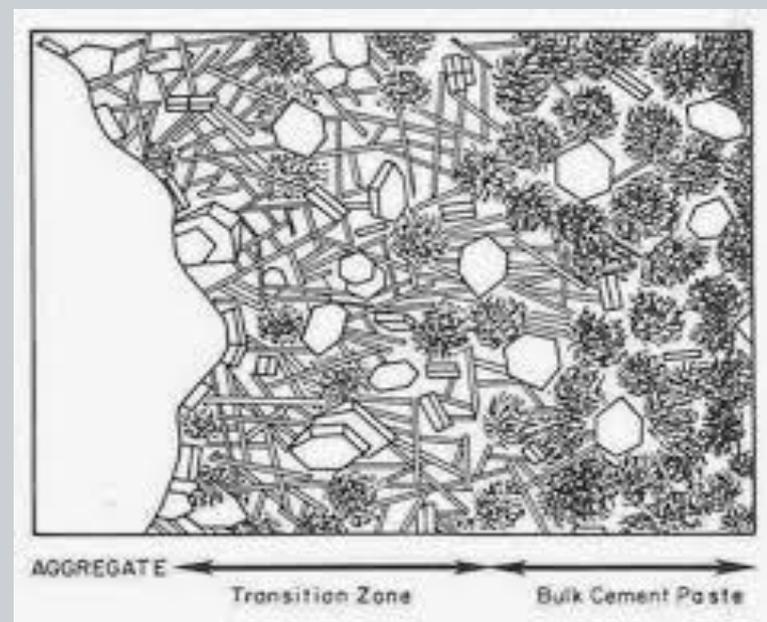
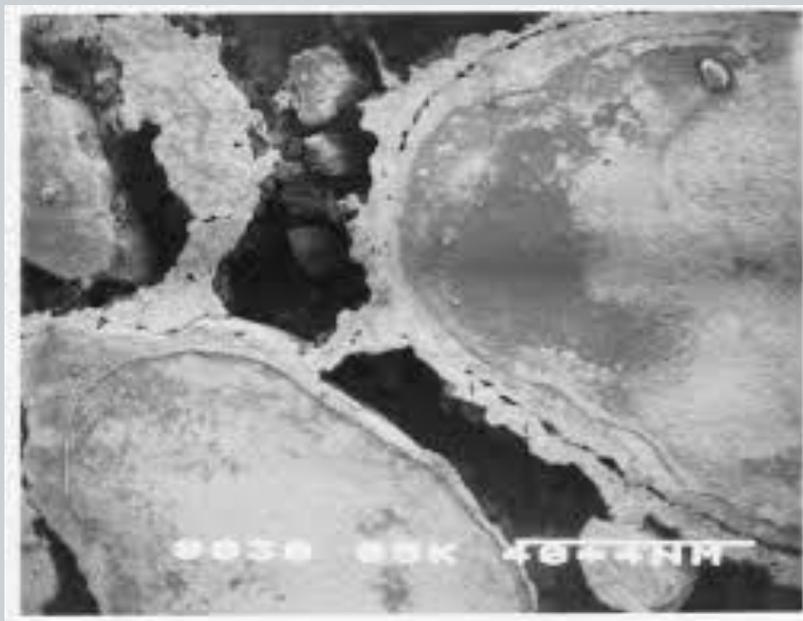
• $A/C < 0,20$



Hidratação???

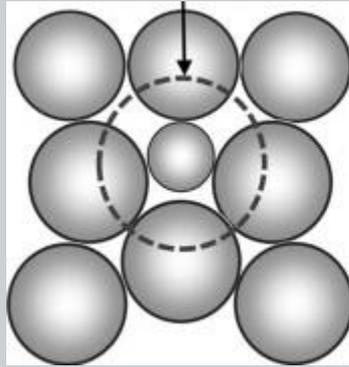
- Microestrutura

- Zona de transição

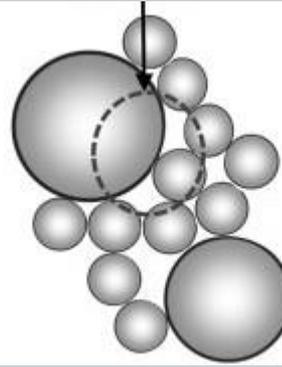


Empacotamento de partículas – modelo de Andreasen

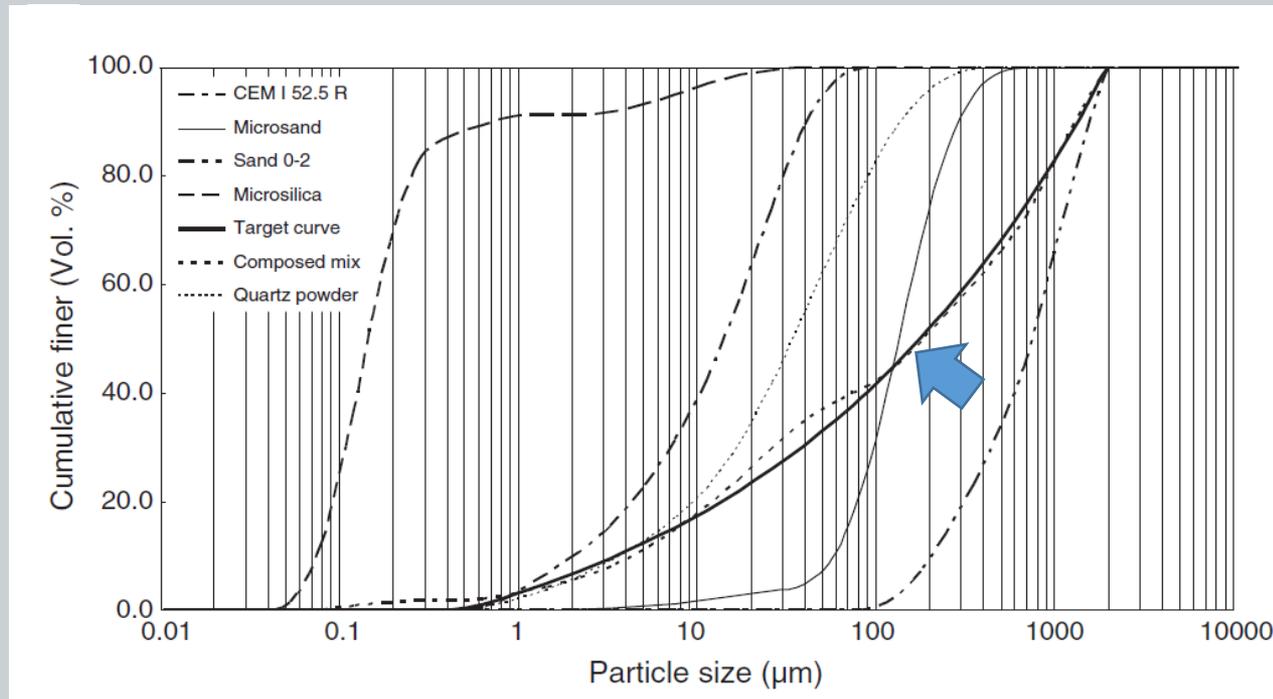
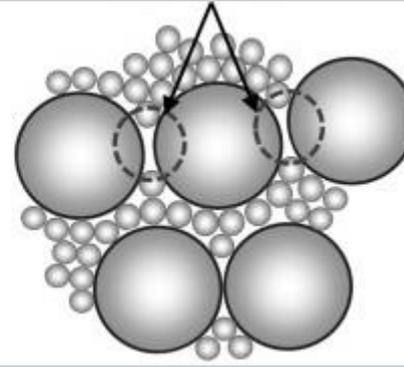
Afrouxamento



Efeito parede

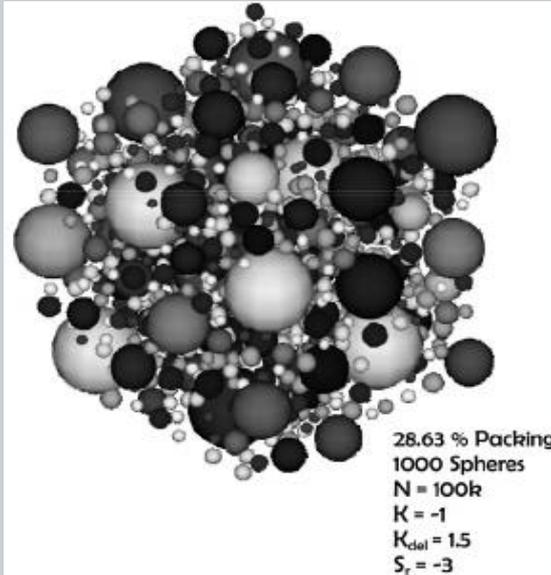


Encunhamento

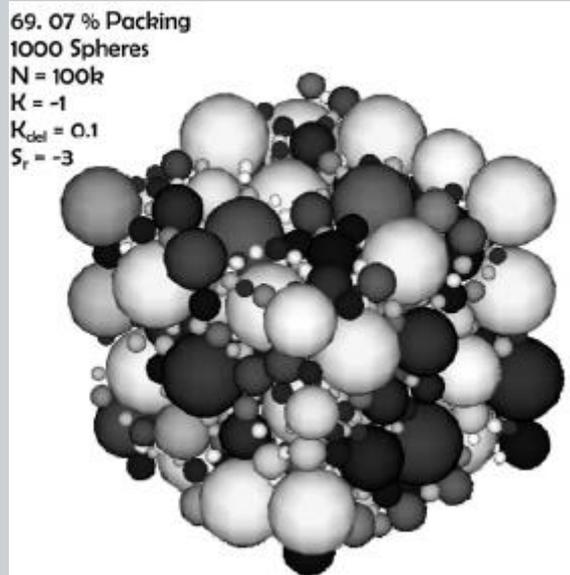
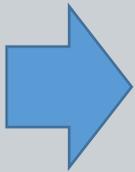
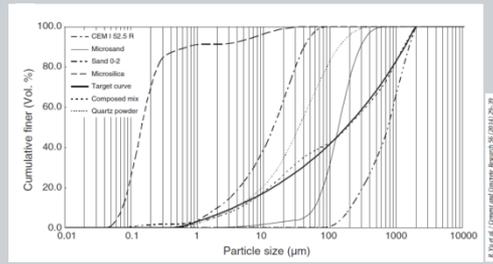


R. Yu et al. / Cement and Concrete Research 56 (2014) 29–39

• Microestrutura



Concreto Convencional

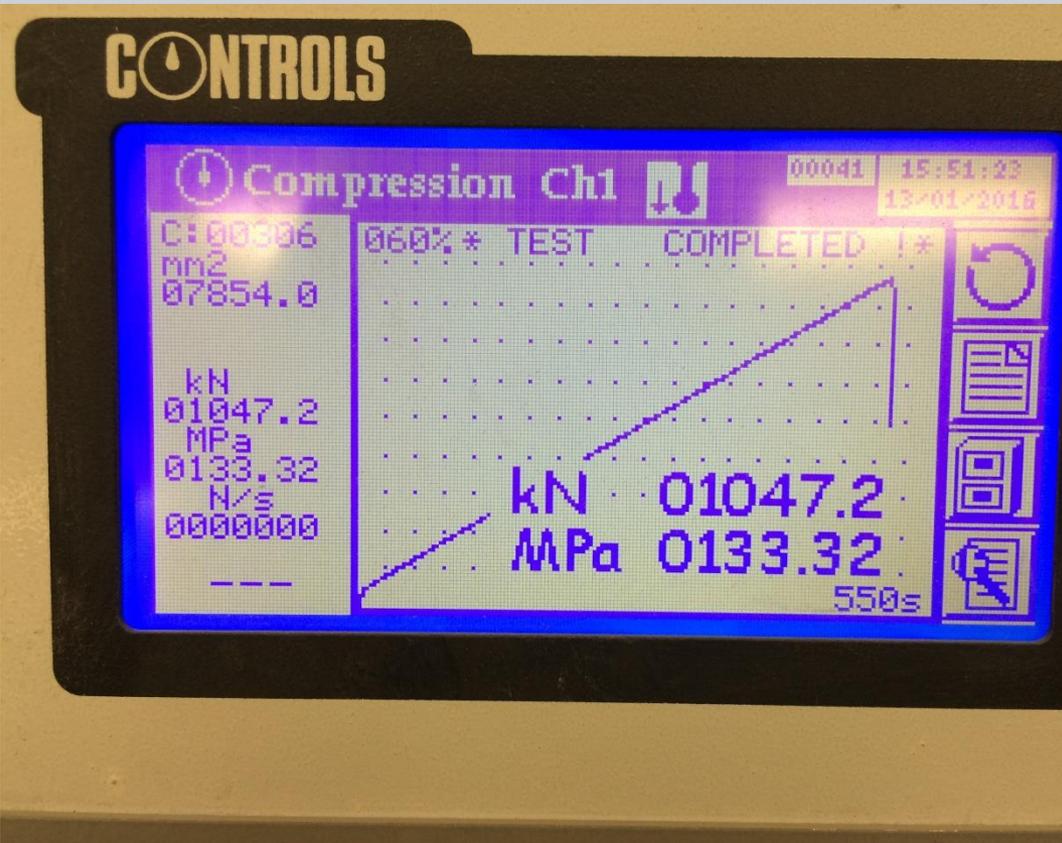


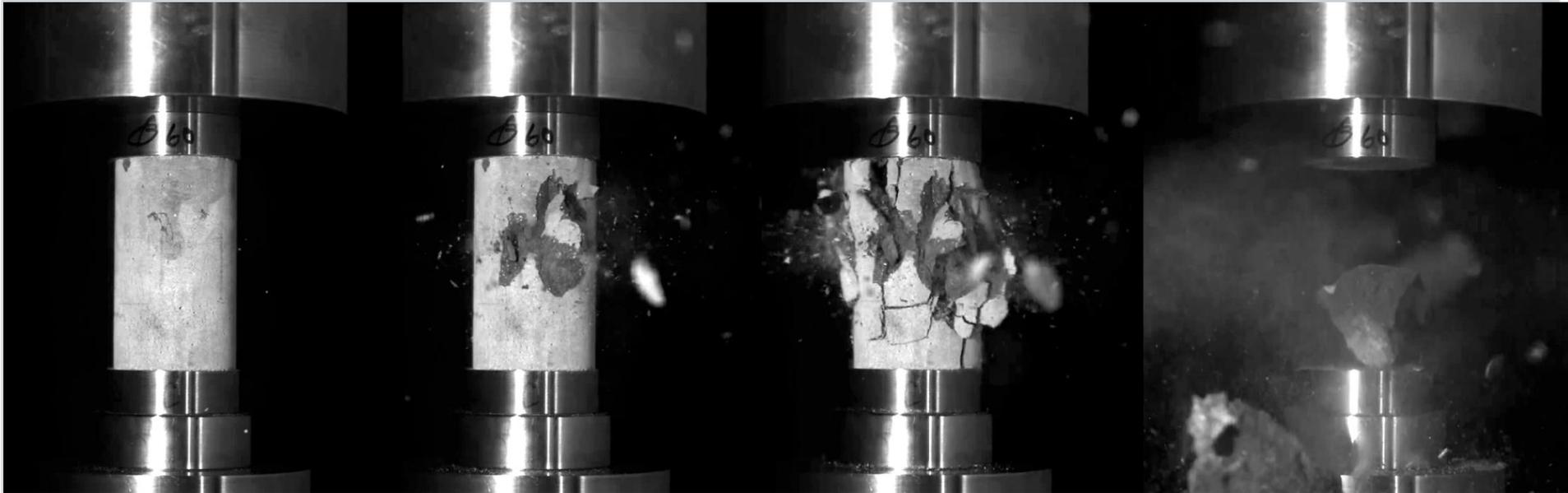
UHPC

Compressão: 0% de fibras (Vol.)



Compressão: 0% de fibras (Vol.)



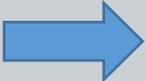


SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut

28

Comportamento frágil

O concreto, sem fibra, não tem interesse prático. Por isso,

UHPFRC  UHPC

- **Fibras**



Metálicas – Aço, com
cobrimento de latão



Orgânicas – PVA,
vidro

- Fibras metálicas



Reta e lisa



Reta e lisa



Com gancho

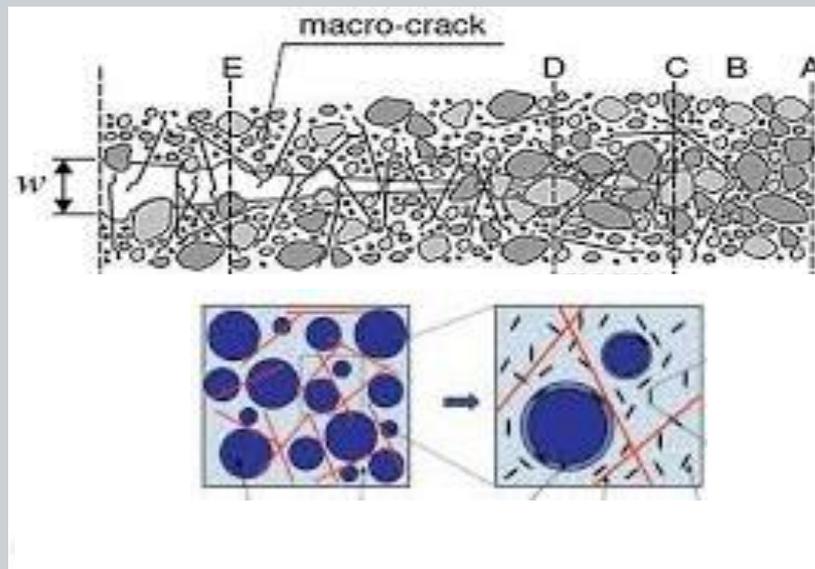


Torcida



Torcida

- Fibras



- Fibras



- Custo da fibra (aço) – 65-70% do custo do concreto!!
- Volumes acima de 3%
 - potencial para formação de grumos (*clusters*)
 - menor fluidez, menor capacidade de passar por restrições
 - efeitos nocivos no comportamento mecânico – maior quantidade de ar
- Fibras plásticas/sintéticas/orgânicas são mais indicadas para placas/painéis expostos à intempérie e em concretos resistentes ao fogo

Preparo – procedimento de mistura

- Energia e produtividade



Partículas (pó)
+
Água
+
Aditivo dispersante
+
(Gelo)



Mistura homogênea e autoadensável

Fibras

Duração: 10, 12, 15 minutos!

Misturadores e mistura

- Energia e produtividade



Mistura – UHPC 3% de fibra metálica lisa

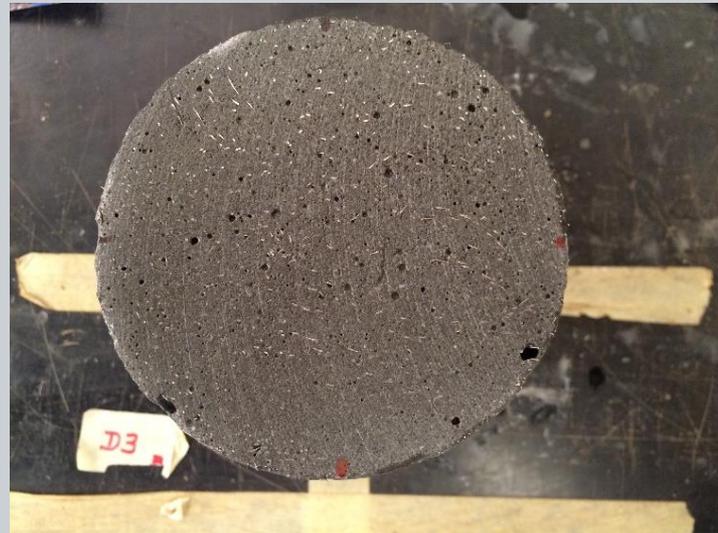
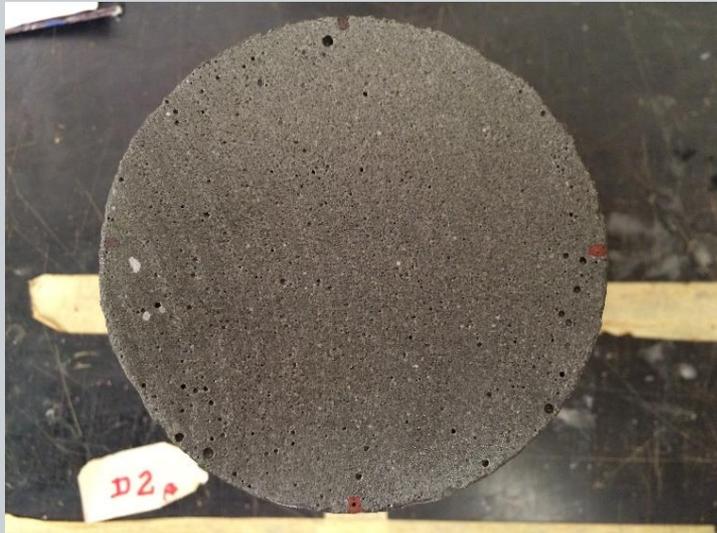


UHPC – Universidade de Ottawa, Canadá

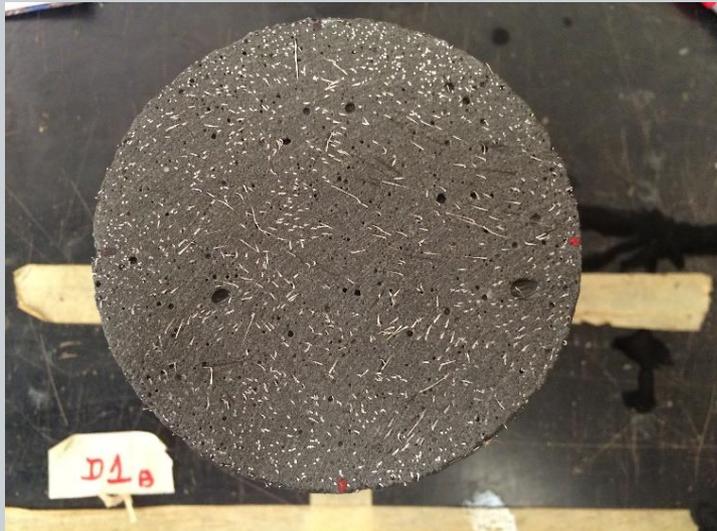


Fibra metálica – L=13mm, d=0,2mm (Peso por fibra = 3,2mg)

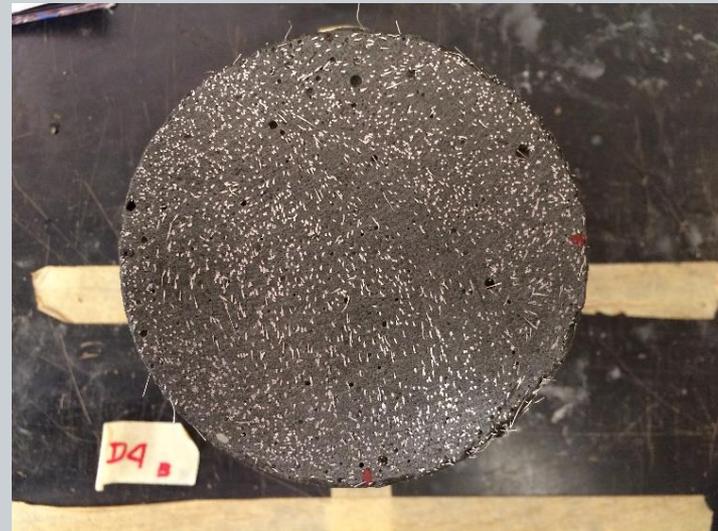
0%



1%
82kg/m³
2,5M/m³



2% 166kg/m³ 5,2M/m³



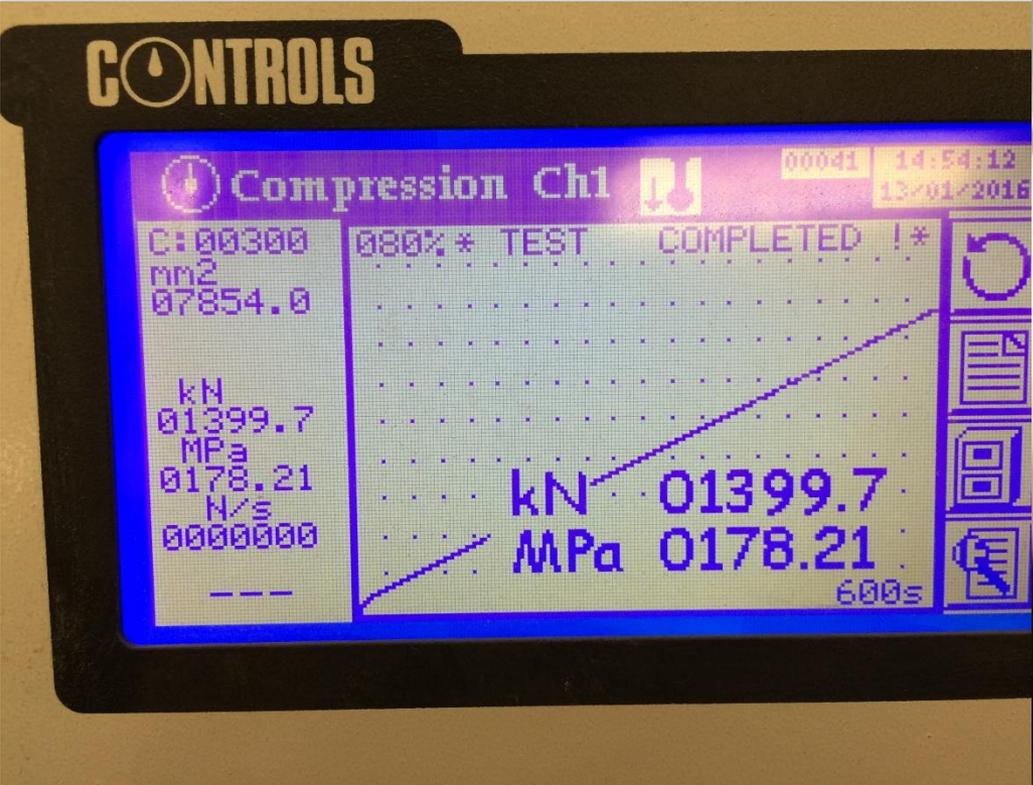
3% 261kg/m³ 8,2M/m³



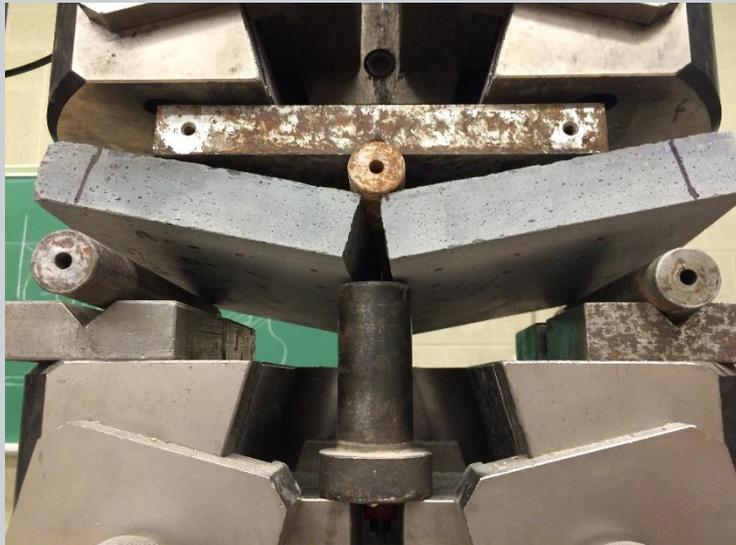
Dutibilidade: 3% de fibras (Vol.)



Dutilidade: 3% de fibras (Vol.)



- Fibras – ductilidade e micro-multi-fissuração



- Fibras – ductilidade e micro-multi-fissuração



Compressão (28 dias)

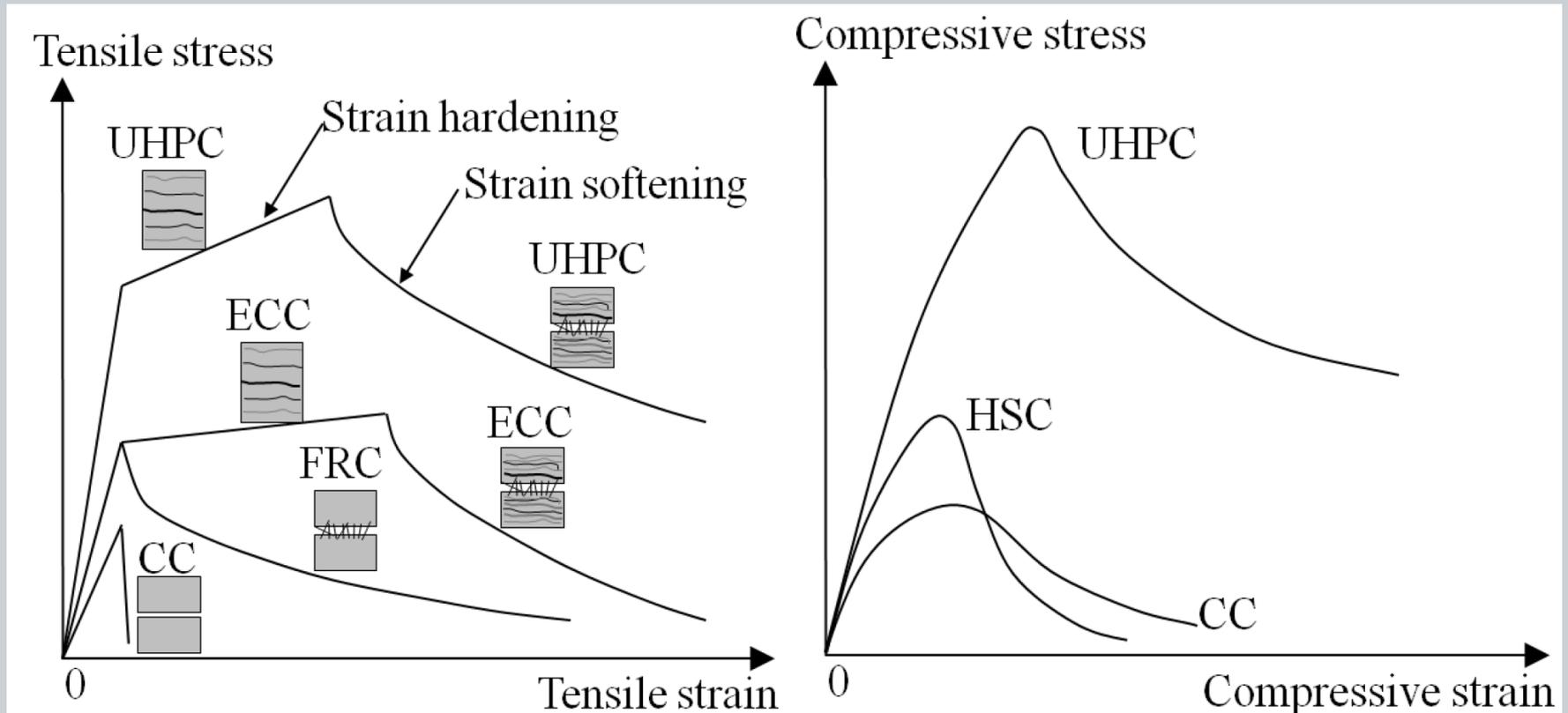
0% - 134 MPa

1% - 152MPa

2% - 173 MPa

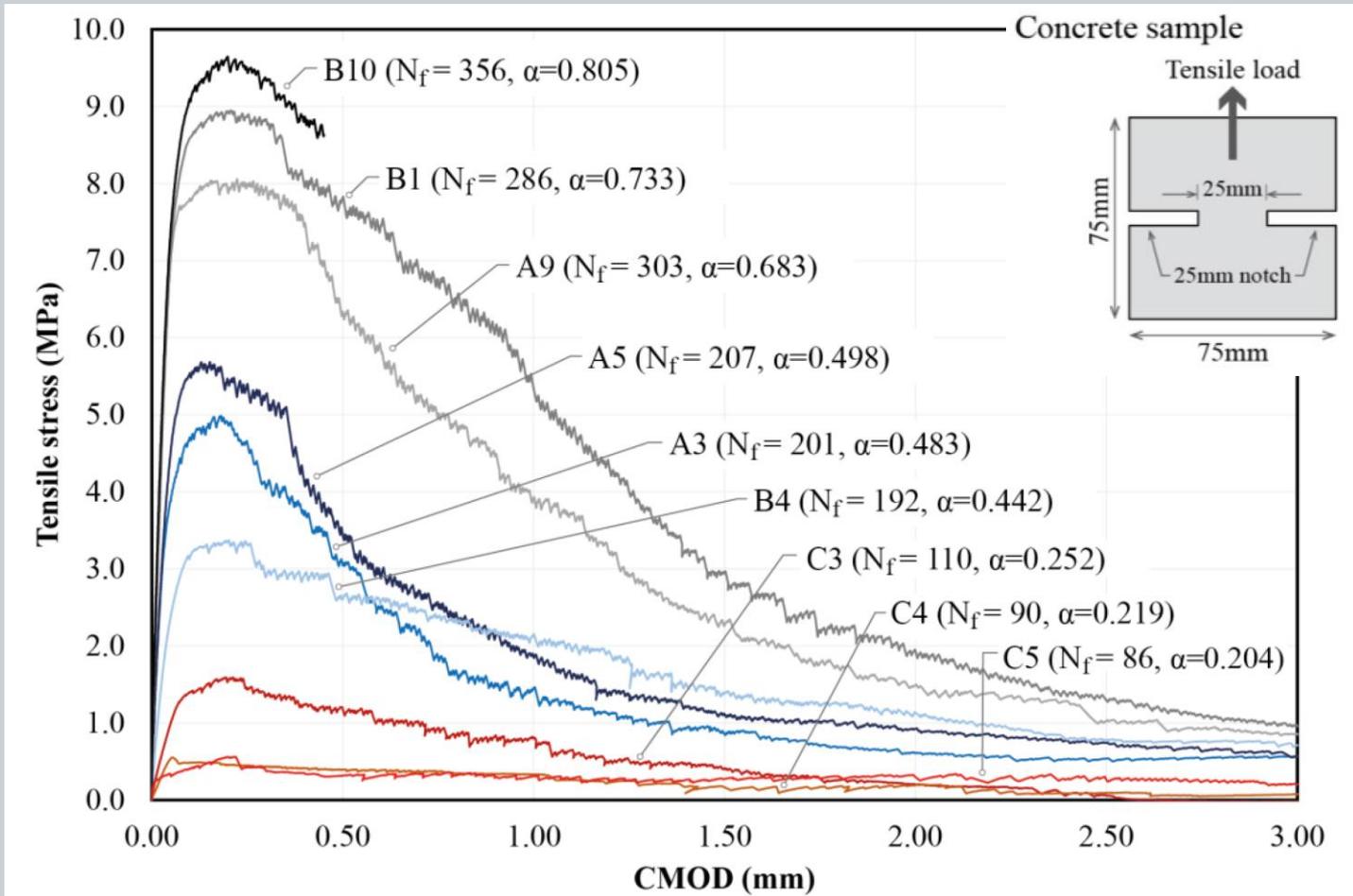
3% - 178 MPa

• Fibras – ductilidade e micro-multi-fissuração



Meng, Weina, "Design and performance of cost-effective ultra-high performance concrete for prefabricated elements" (2017). *Doctoral Dissertations*. 2582.

• Fibras – Efeito do teor e do alinhamento (distribuição)



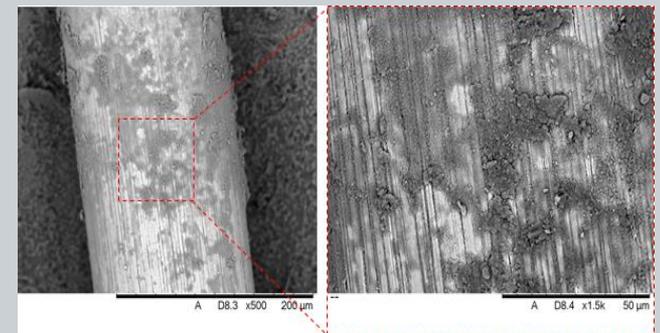
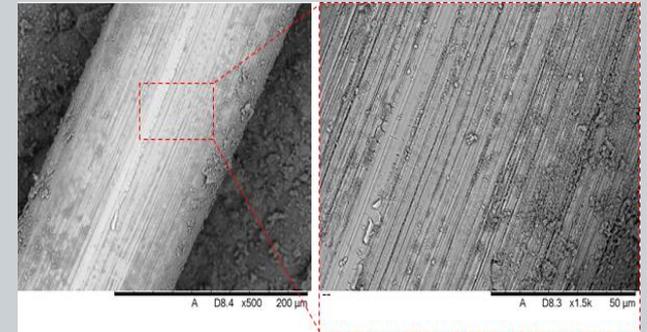
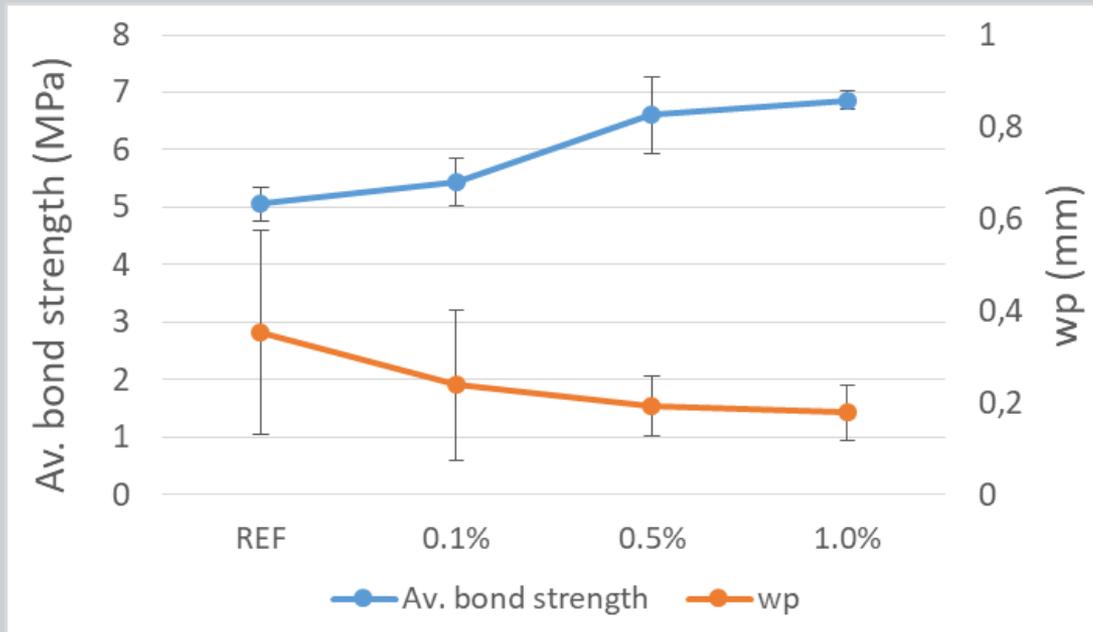
EFFECT OF FIBRE ORIENTATION ON THE TENSILE STRENGTH OF ULTRA-HIGH PERFORMANCE STEEL FIBRE-REINFORCED SELF-COMPACTING CONCRETE

Wilson R. Leal da Silva (1), Oldrich Svec (1), Lars N. Thrane (1), Claus Pade (1)

(1) Danish Technological Institute, Gregersensvej 4, 2630 Taastrup, DK

Fibra – funcionalização com TEOS (Silano)

- Aumento da aderência (arrancamento)
- Aumento da abertura de fissura na ruptura



Tese: César Augusto Casagrande,
2017 – PPGEC - UFSC

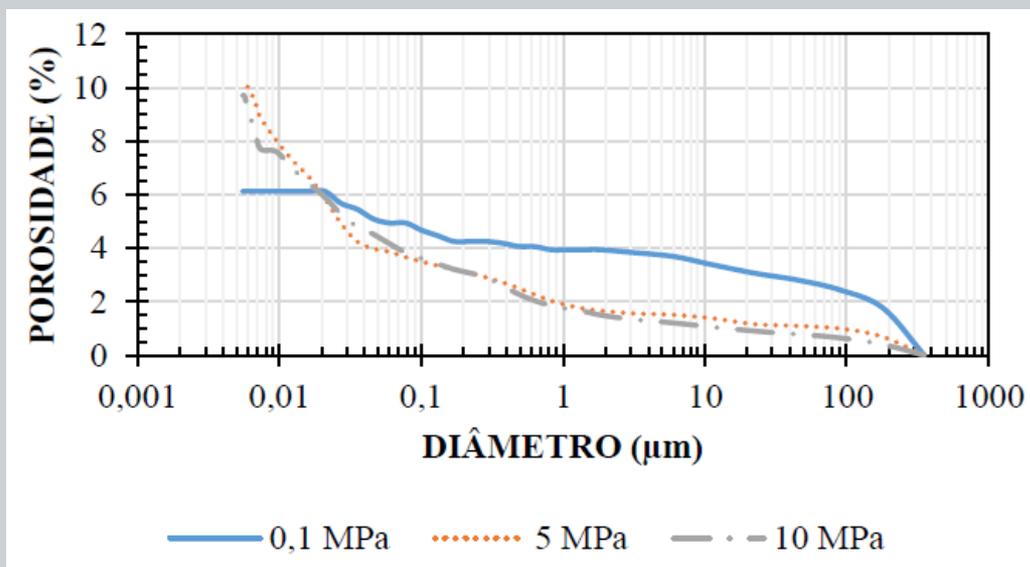
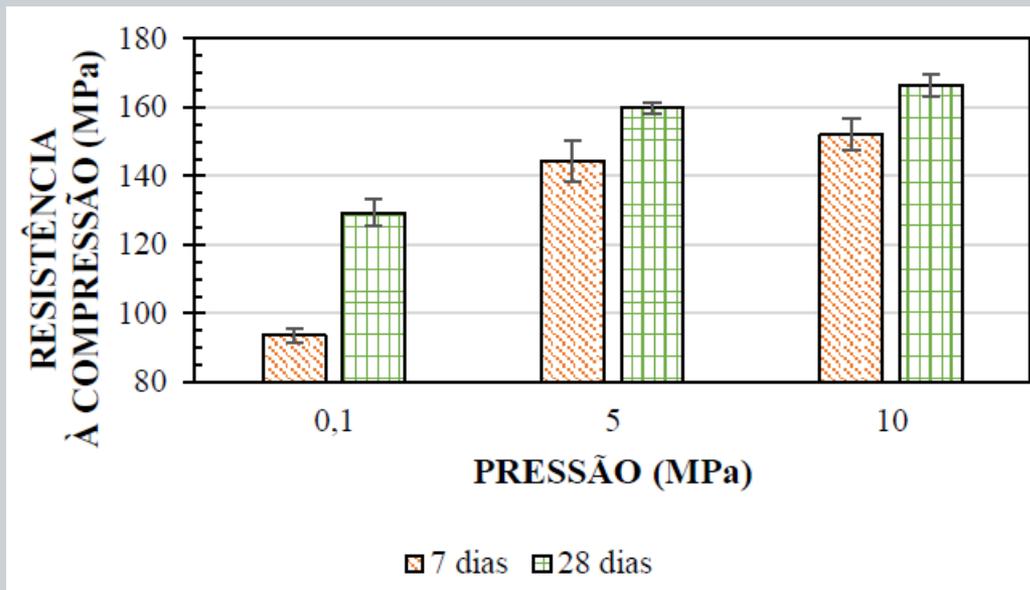
Cura

- Ambiente, úmida, tratamento térmico
- Sob pressão e com elevação de temperatura



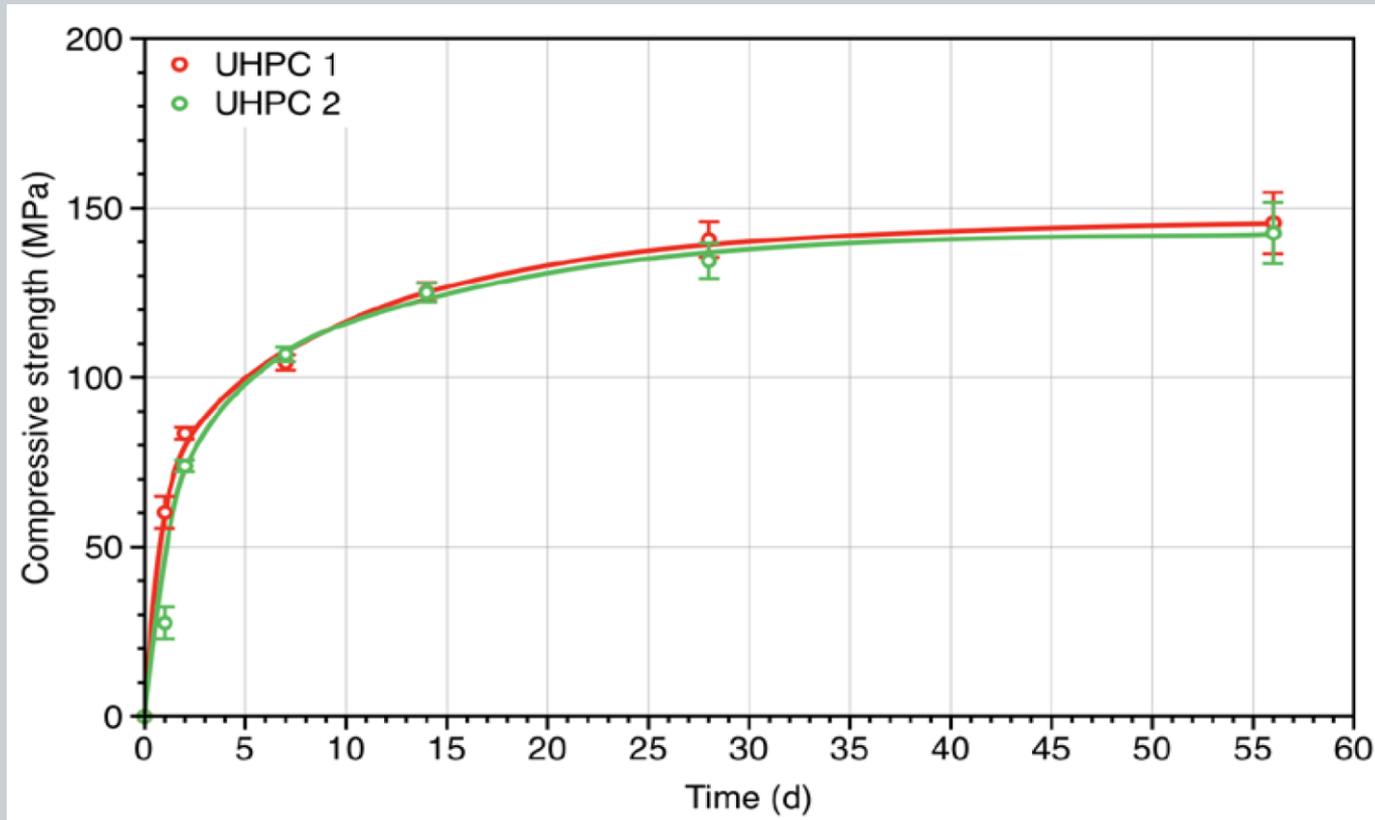
Tese: Carolina Noda Livi, 2017 –
PPGEC - UFSC

Cura



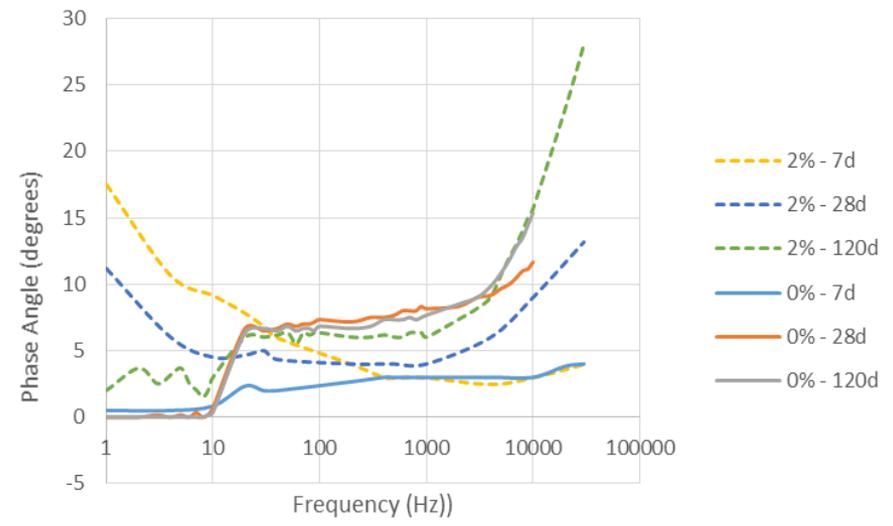
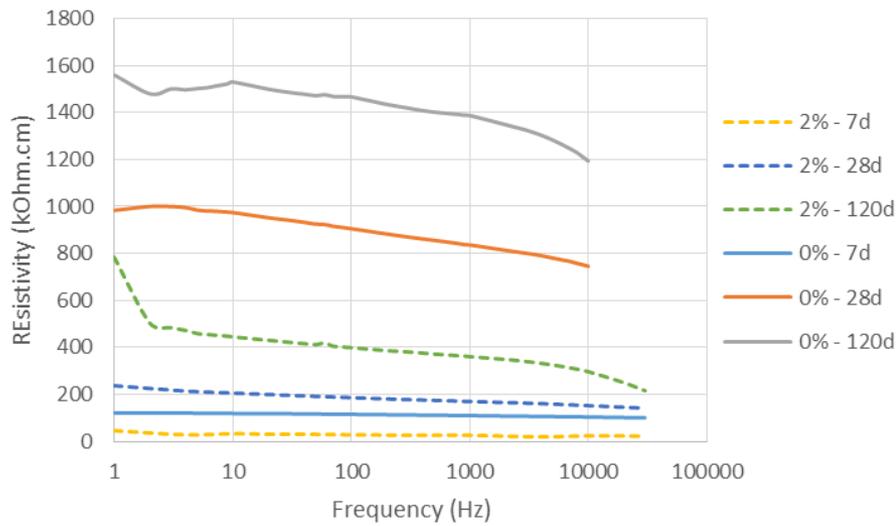
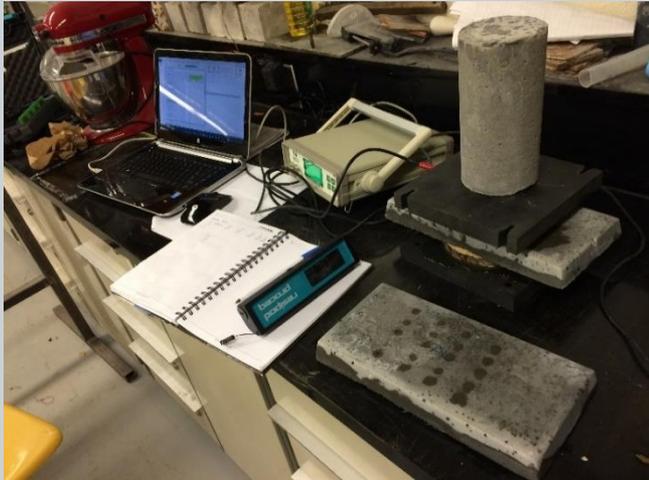
Tese: Carolina Noda Livi, 2017
- PPGECC - UFSC

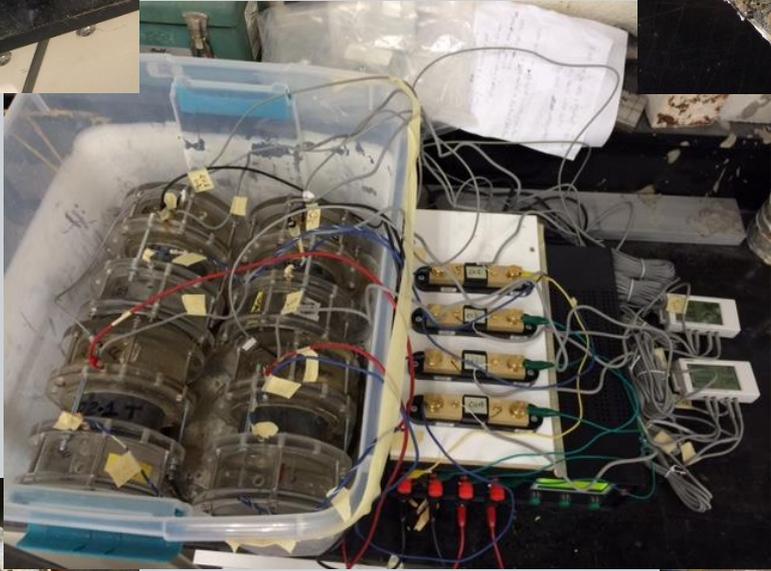
Rápida evolução propriedades mecânicas



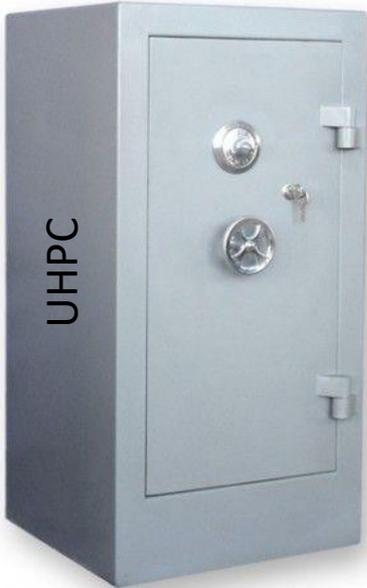
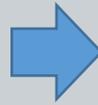
Pré-fabricados: Menor tempo de desforma e facilidade de manuseio

Durabilidade





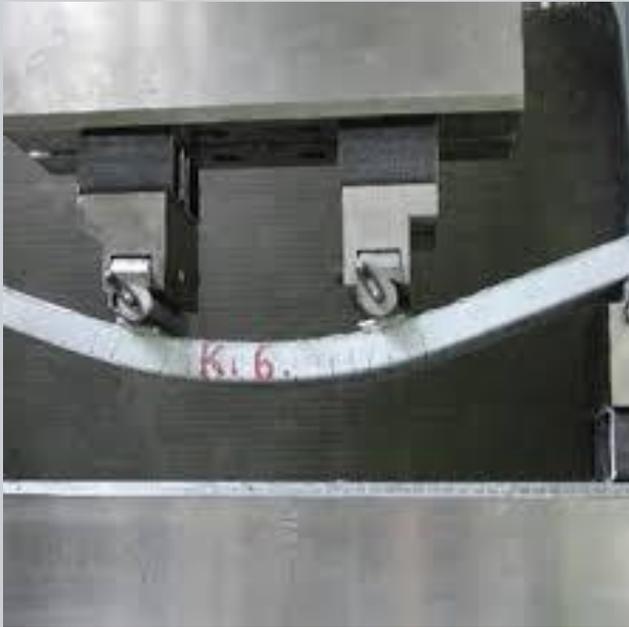
Durabilidade



Material praticamente “inviolável”

- Cloretos
- Carbonatação
- Sulfatos
- Mas fibras corroem na superfície

Durabilidade



Micro-fissuração



Cimento anidro na matriz



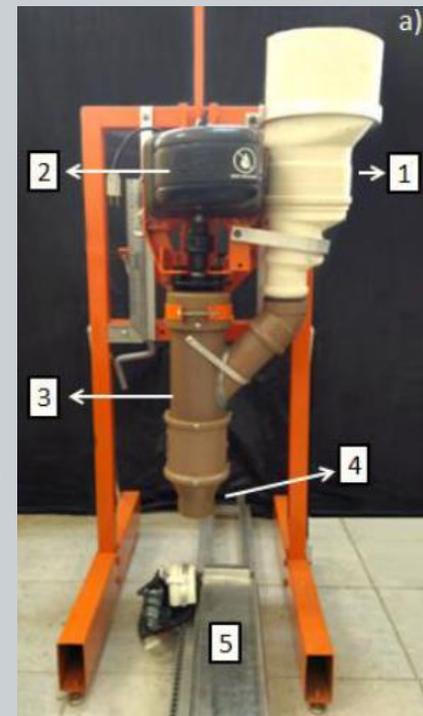
Autocicatrização



Maior durabilidade à
carbonatação e à
penetração de íons
após a fissuração

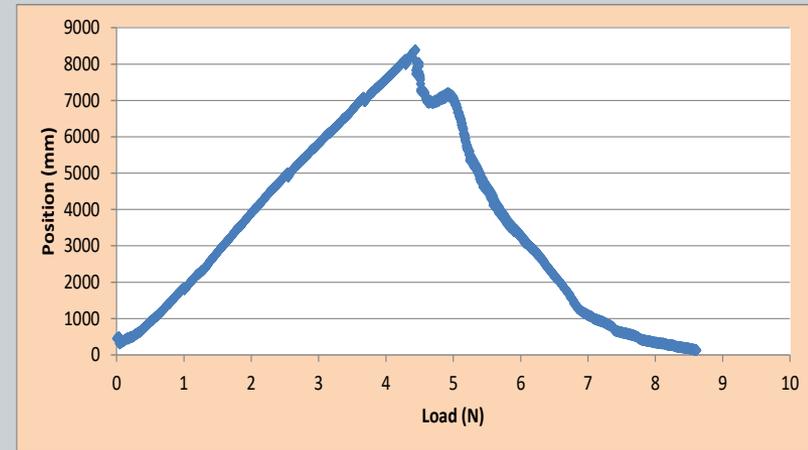
Pesquisas em UHPC na UFSC – PPGEC ou em parceria

- Uso de ARR para aumentar longevidade de fluidez em UHPC
(PPGEC - Daniel Wendell Alexandre)
- Uso de nanossílica para aumentar resistência do UHPC
(PPGEC – Thiago Melanda Mendes)
- Uso de filer calcário na produção de UHPC
(PPGEC – Rafael Dors Sakata)
- UHPC e HPC em impressão 3D
(PPGEC – Ariane P. Rubin, Lucas Quintanilha e Jéssica Amanda Hasse)



Trabalhos em UHPC na UFSC – PPGEC ou em parceria

- Retração de UHPC – modelagem visando normalização (PPGEC – Lucas Onghero)
- Efeito de fibras na resistência à fadiga de UHPC (UPC Barcelona / Loughborough University / UFSC – Débora Martinelo Carlesso)
- Novo ensaio de tração pura para análise de UHPC (uOttawa / UFSC – Domenic Bernardini)



Aplicações: Estruturas



Ponte, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas



Ponte, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas



Viaduto, Montpellier - UHPFRC2017



Peace Bridge Seoul

Aplicações: Estruturas



Czech Republic – UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas (coberturas)



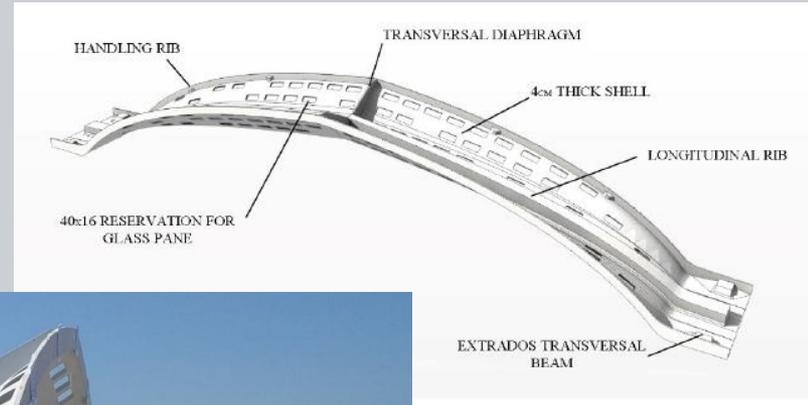
Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas (coberturas)



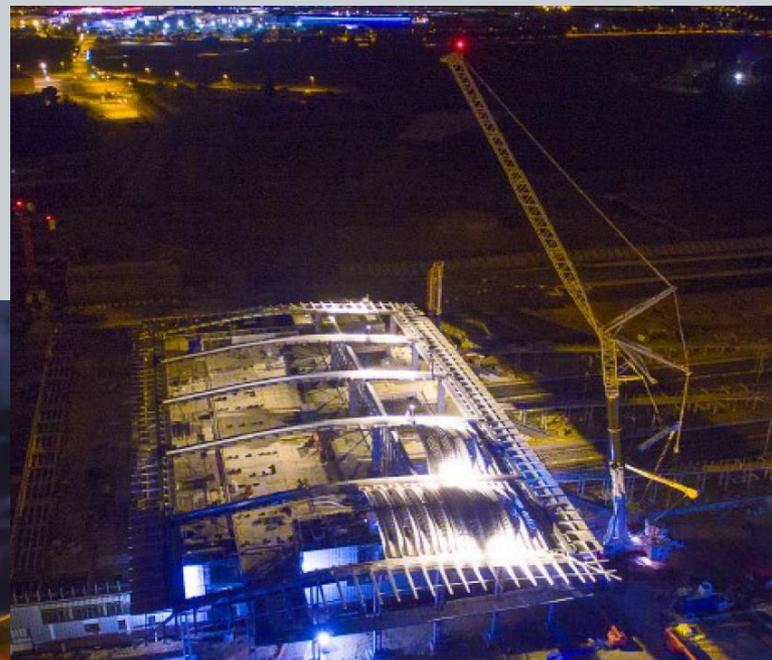
Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas (coberturas)



Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas (coberturas)



Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas (coberturas)



Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

Aplicações: Estruturas (coberturas)



Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

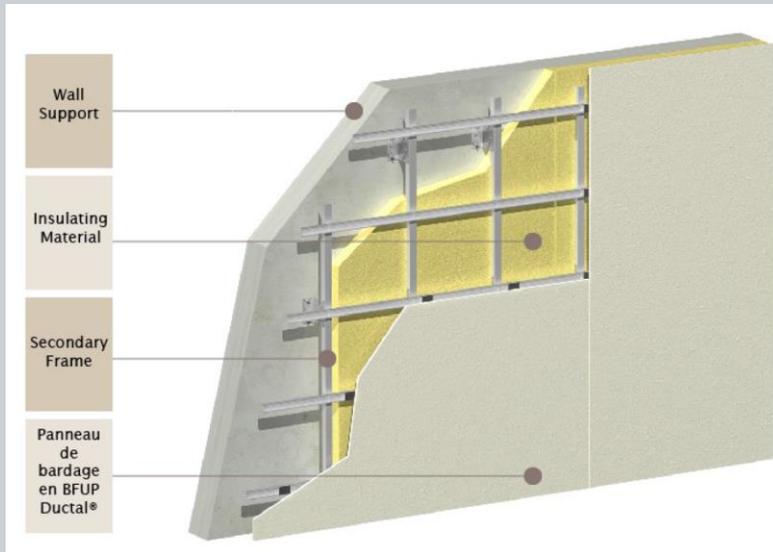
Aplicações: Estruturas (coberturas)



150 painéis em UHPC
Espessura dos painéis é de 4cm
Custo total: 150 milhões de euros

Gare TGV, Montpellier - UHPFRC2017

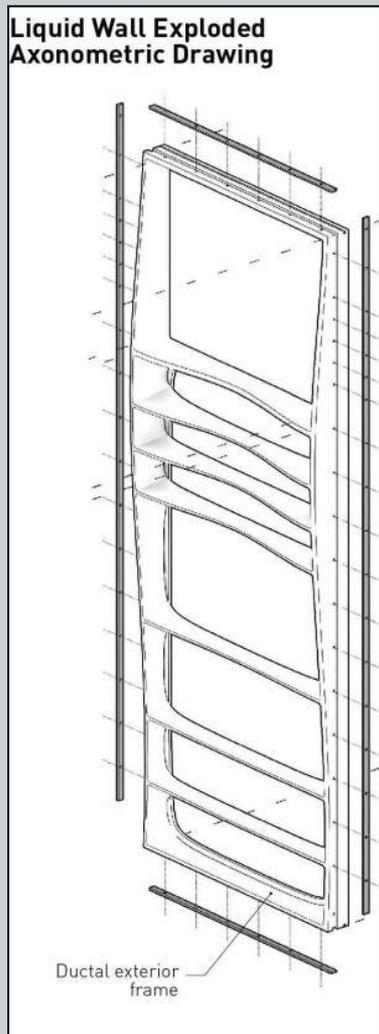
Aplicações: Painéis, fachadas



Fonte: Lafarge

Aplicações: Fachadas

Liquid Wall Exploded
Axonometric Drawing



New York – UHPFRC2017

Aplicações: Fachadas



“La Mantilla”, Montpellier, UHPFRC2017

Aplicações: Fachadas



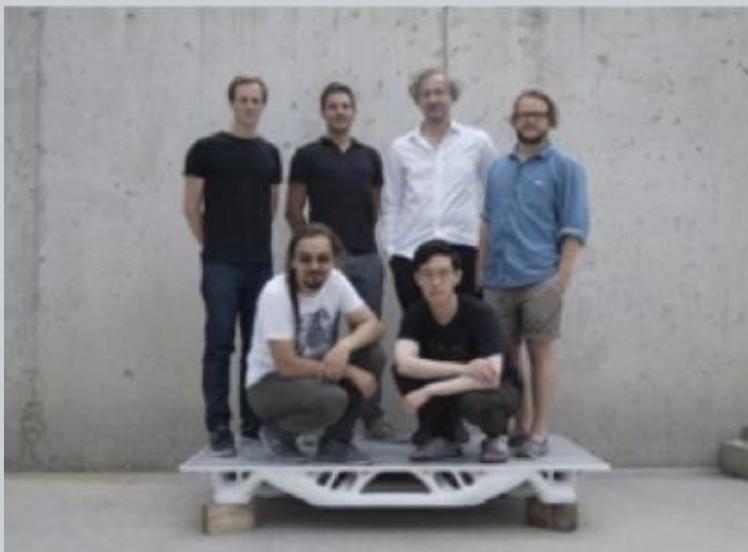
“Eva Salmon School”, France
UHPFRC2017

Aplicações: Fachadas



Fachada, China – Internet

Aplicações: Formas complexas/estruturas em 3D



ETH, Zurich, Suissa – UHPFRC2017

Equipamentos públicos



Outras aplicações do UHPC:

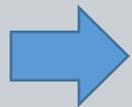
A imaginação é o limite.

UHPC – vantagens na indústria de pré-fabricados

- Composição – basicamente são utilizados os mesmos componentes empregados no concreto de elevado desempenho
- Ciência – mesma ciência do concreto e do concreto de alto desempenho
- Evolução: concreto, concreto de alto desempenho, concreto autoadensável, concreto de ultra alto desempenho
- Peças mais esbeltas – facilidade de transporte e manuseio
- Desenvolvimento mais rápido de resistência – menor tempo na forma e na indústria
- Durabilidade
- Acabamento

UHPC – vantagens na indústria de pré-fabricados

- Adequação da planta industrial: misturadores, baias, prensas.
- Suprimento regular e uniforme de insumos (areia, filers, ect.)
- Análise do custo-benefício para cada projeto, a depender do arrojado estrutural/arquitetônico, das vantagens de redução de volume/peso (transporte, montagem, redução de cargas permanentes), dos custos de produção.
- Ainda é pequena diversidade de fornecedores de insumos
- Normalização avança, mas não no Brasil.
- Custos?
- Impacto ambiental?



Desafios geram oportunidades, inovação
O mundo está avançando no sentido de utilizar mais o UHPC

UHPC em pré-fabricados – Yes, we can!



Muito obrigado

E-mails: wellington.repette@gmail.com

wellington.repette@ufsc.br

Site: www.ufsc.br



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA