



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



Argamassas cimentícias modificadas com polímeros como material de reparação

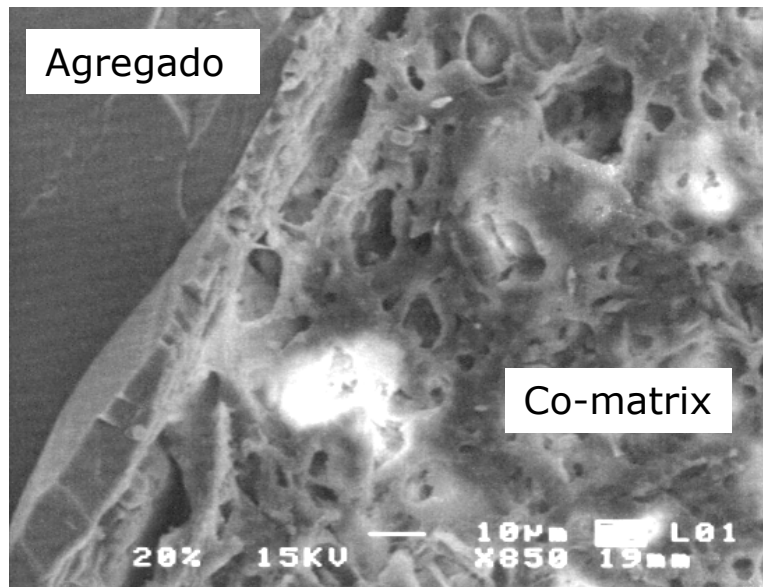
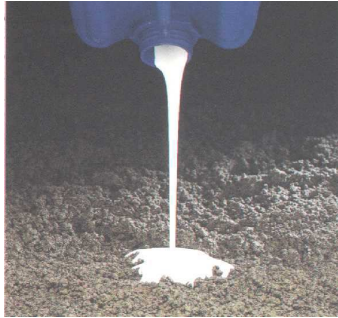
M. Sofia Ribeiro

DM /NB - LNEC

Enquadramento (atividade LNEC)

- > estudo de investigação programado do NB do DM sobre “Sistemas de Inspeção e de Reparação de Estruturas de Betão Armado”
- > projeto de investigação FCT PTDC/ECM/101810/2008 sobre argamassas modificadas para reparação de estruturas
- > atividade do NB na área da reparação de estruturas de betão armado, nomeadamente no diagnóstico do estado de degradação e na recomendação de soluções a adotar para a sua reparação

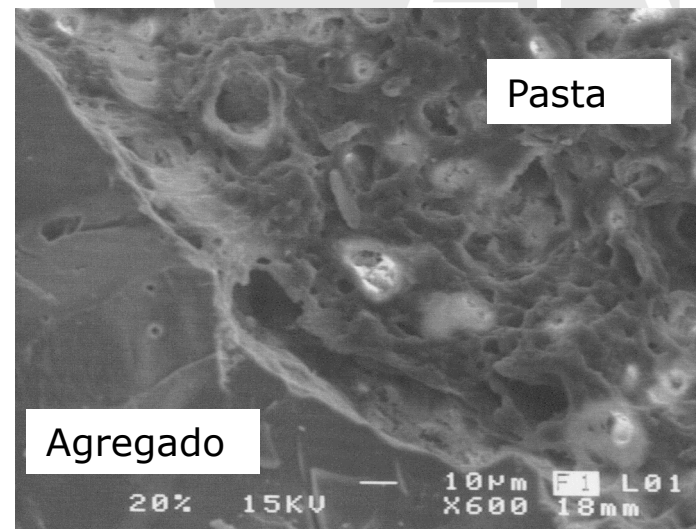
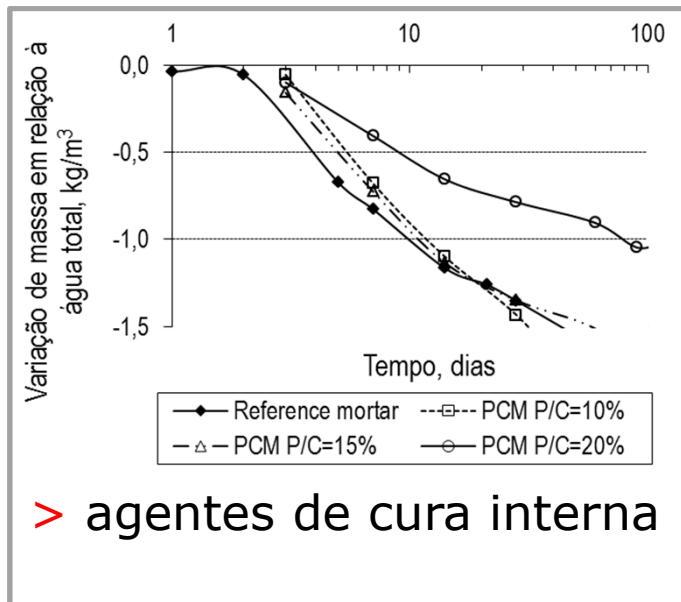
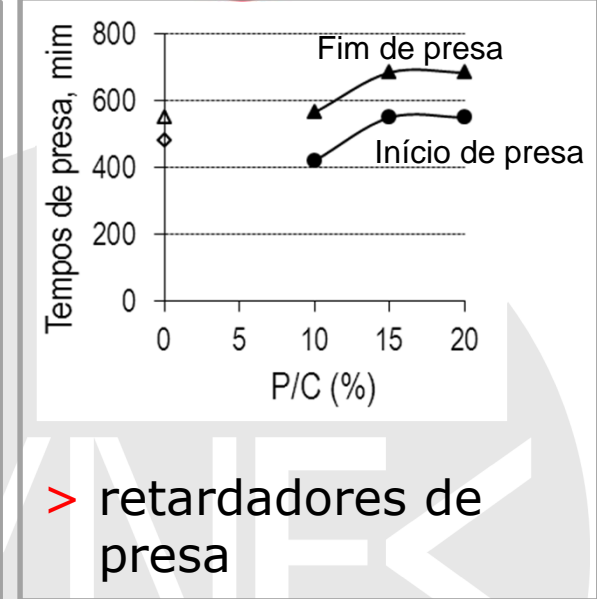
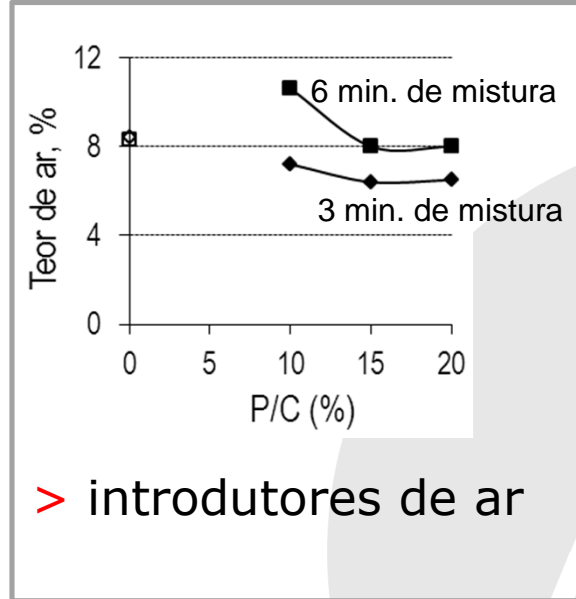
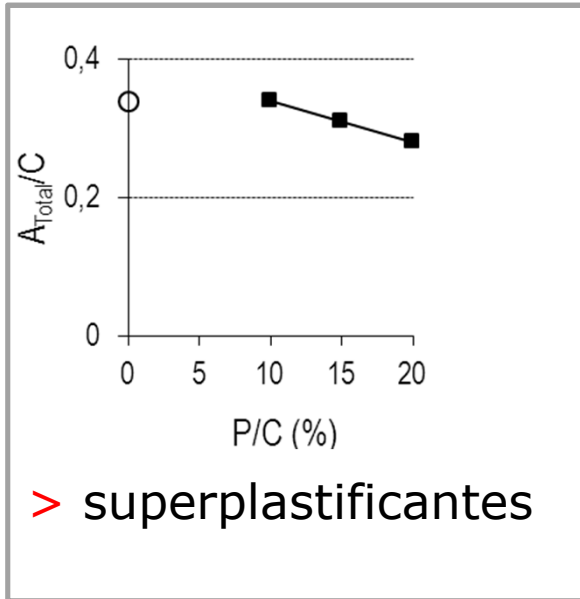
Modificadores cimentícios



- > dispersão polimérica aquosa
- > pó polimérico redispersivo
- > polímero solúvel em água
- > polímero líquido (resina)

- > **co-matriz cimentícia polimérica atua em sinergia: parte cimentícia responsável pela estabilidade mecânica; parte orgânica como "armadura" interna**

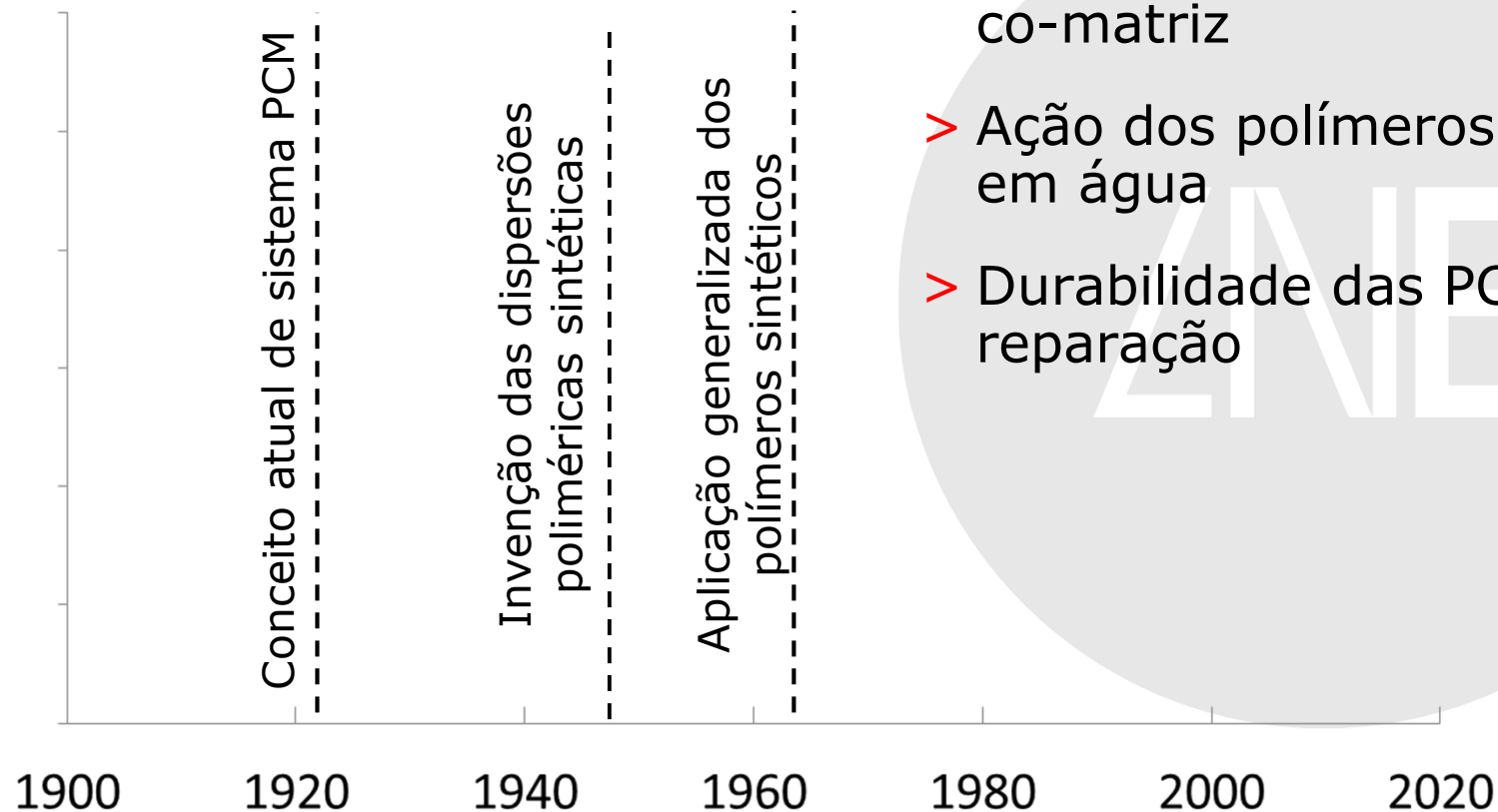
Propriedades das PCMs



> membrana de revestimento

Evolução história e linhas atuais de investigação

Argamassas cimentícias modificadas com polímeros - PCMs



- > Mecanismo da formação da co-matriz
- > Ação dos polímeros solúveis em água
- > Durabilidade das PCMs na reparação

Reparação da escada exterior de serviço




- > 2 PCMs
dispersão **acrílica-estirenado (AS- P/C=6%)**
e
dispersão **estireno-butadieno (SB - P/C=4%)**
+
- CEM I 42.5 R
- 2 areias naturais siliciosas, com menor quantidade da areia com elevado teor de argila
- fibras de polipropileno



- > Abaixamento (método interno) de 11 mm
Espalhamento (ASTM C 1437) de 103 mm

Resultados dos ensaios

	PCM de AS	PCM de SB	Argamassa cimentícia corrente II/B-L 32.5 N	NP EN 1504-3 requisitos para produtos de reparação estruturais	
				R3	R4
Aderência, MPa	1.1 (7 dias)	1.2 (7 dias)	---	≥ 1.5 (28 dias)	≥ 2.0 (28 dias)
Resistência à compressão, MPa	21.5	41.5	19.2	≥ 25	≥ 45
Profundidade de carbonatação, mm	18 (56 dias em câmara a 1% CO ₂)	6 (56 dias em câmara a 1% CO ₂)	10 (28 dias na câmara a 1% CO ₂)	\leq betão de referência (≤ 1.5 depois de 56 dias na câmara)	\leq betão de referência (≤ 1.5 depois de 56 dias na câmara)
Absorção capilar, kg.m⁻².h^{-0.5}	0.565	0.230	2.581	≤ 0.5	≤ 0.5
Resistência à flexão, MPa	5.7	7.7	4.0		
Permeabilidade ao O₂, x10⁻¹⁶ m²	5.110	0.543	29.320		
Porosidade acessível à água, %	21.0	17.9	20.5		

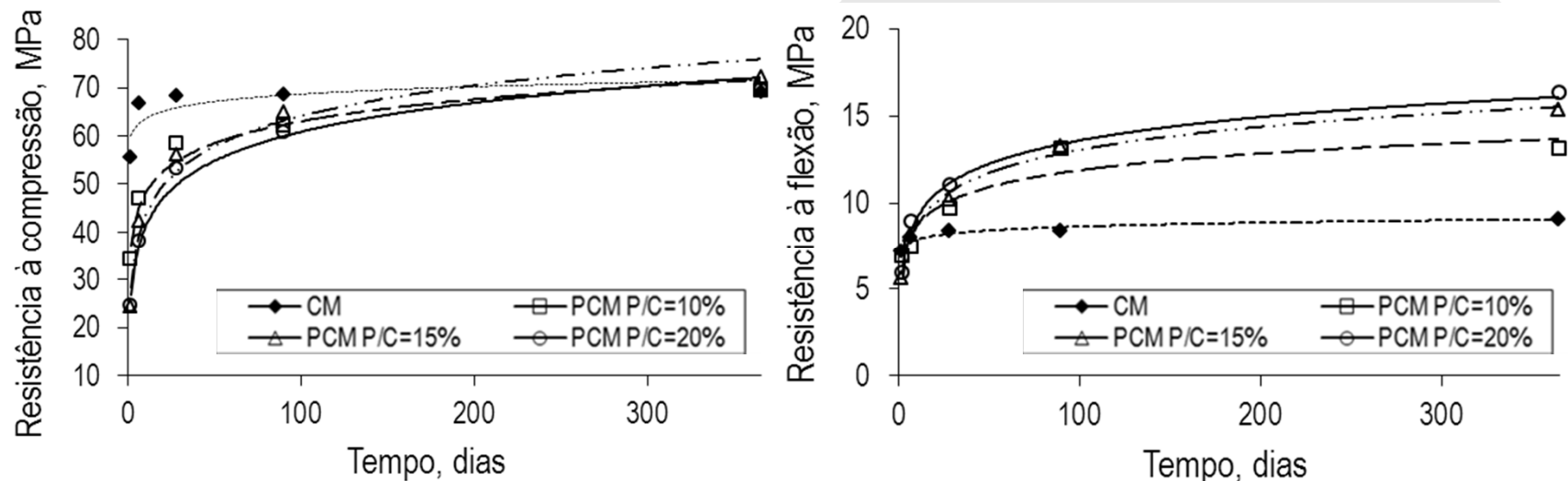
Tração versus Compressão

> PCMs dispersões **estireno-butadieno** (SB - **P/C=10, 15 e 20%**)

CEM I 42.5 R

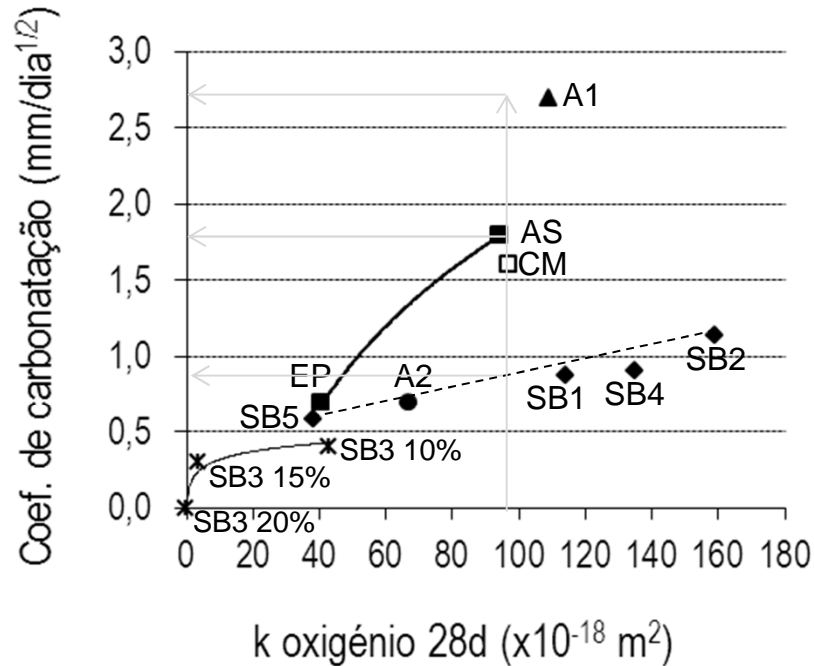
Areia natural siliciosa

- Espalhamento (ASTM C 1437) de 110 ± 2 mm



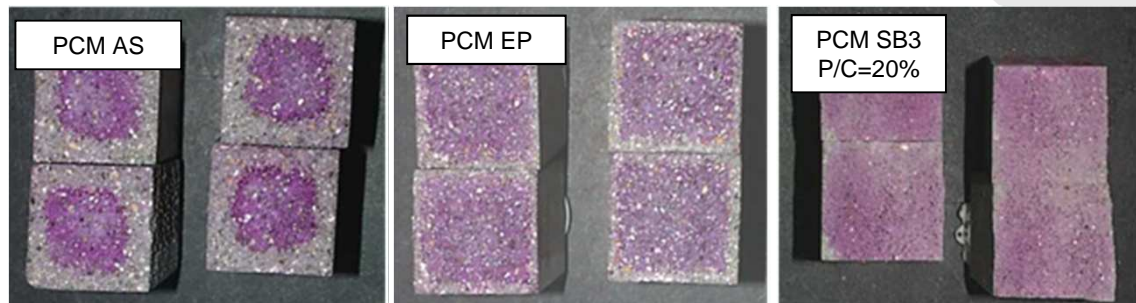
- > decréscimo da resistência à compressão nos primeiros meses mas um aumento da resistência à flexão mesmo antes dos 28 dias de idade
- > o endurecimento é retardado nas primeiras idades, podendo apresentar um maior crescimento nas idades mais tardias
- > aos 28 dias, f_{ct} [MPa] = $0.16 P/C$ [%] + 1.633

Inibição da carbonatação



- PCM de (SB3, AS, EP)
- ✱ PCM SB3 - P/C=10, 15 e 20% (6 M)
- ▲ A1
- ◆ PCM de SB
- CM
- A2

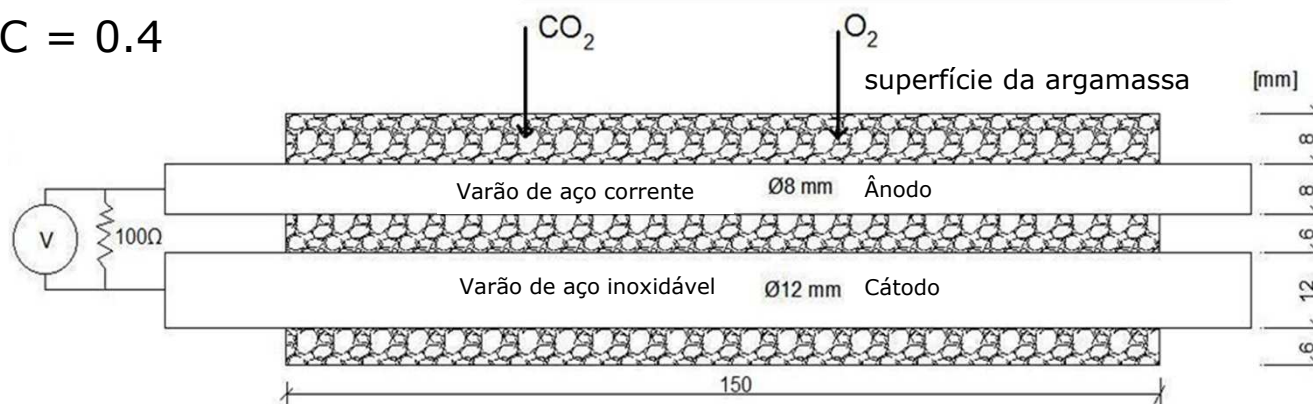
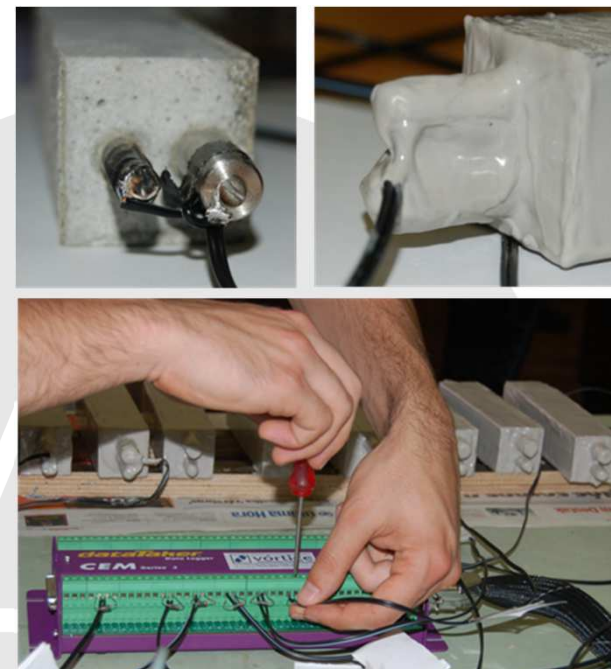
- > A resistência à carbonatação aumentou com a razão P/C
- > Para a mesma permeabilidade, a carbonatação das PCMs de SB foi a menor



EN 13295
5% CO₂, 23°C e 65 % HR

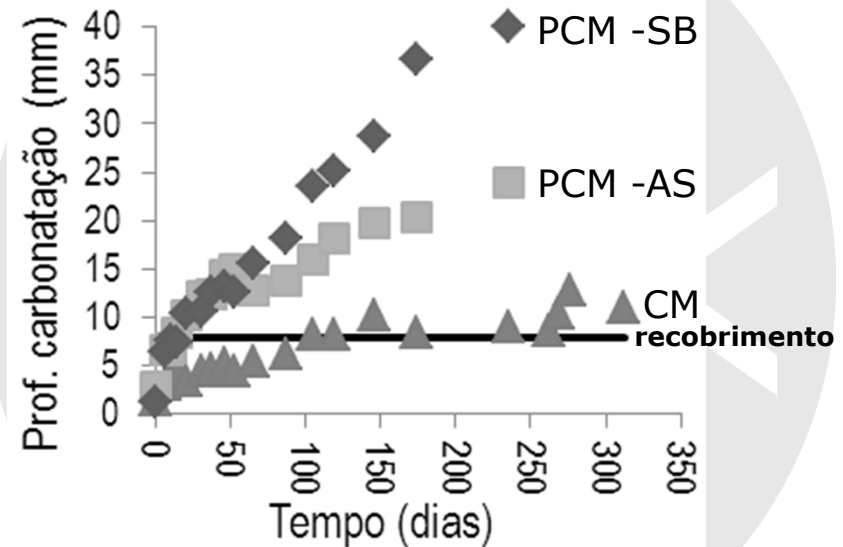
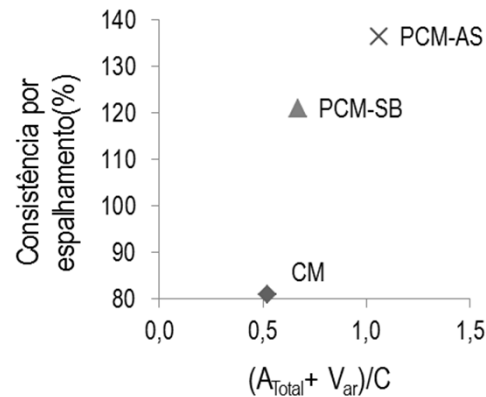
Prevenção da corrosão em PCMs

- > Redução da profundidade de carbonatação
- > Aumento da resistividade elétrica
- > Estudo da **intensidade da corrente galvânica monitorizada em macrocélulas** embebidas em argamassas modificadas com 2 polímeros diferentes:
 - > **Pó redispersivo de acrílico-estirenado**
 - > **Dispersão aquosa de estireno-butadieno**
 - > $P/C = 15\%$
 - > $A_{Total}/C = 0.4$



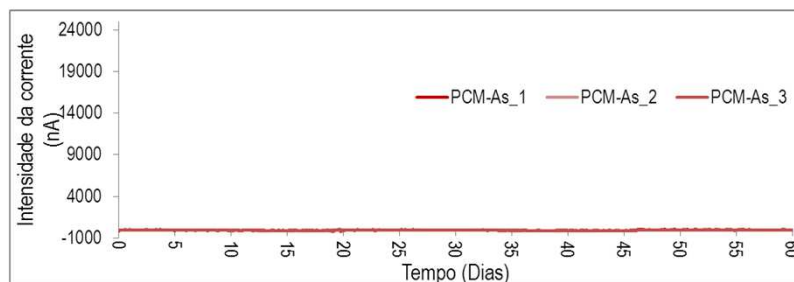
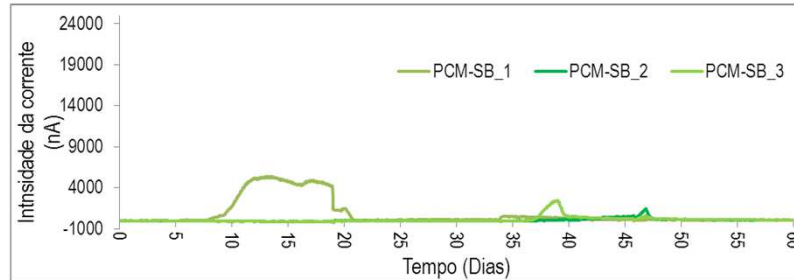
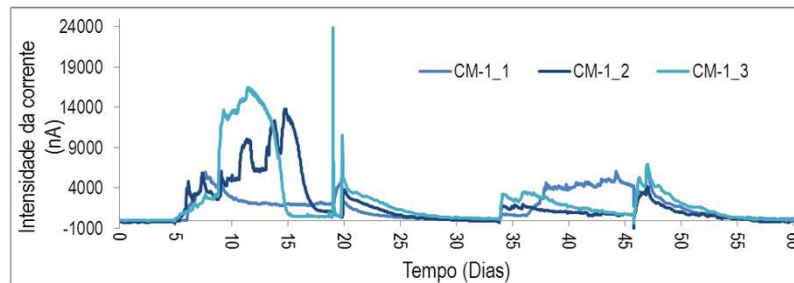
Resultados | 1ª Etapa: Carbonatação

- > carbonatar o recobrimento (5% CO₂ a 21°C e 65% HR) de modo a despassivar as armaduras



- > A carbonatação do recobrimento foi rapidamente atingida nas PCMs
- > A profundidade de carbonatação foi fortemente influenciada pela porosidade acessível à água $(A_{Total} + V_{ar})/C$

Resultados | 2ª etapa: Monitorização da corrente galvânica



- > Os provetes foram sujeitos a ciclos de secagem-molhagem: 14 dias em câmara húmida (90% HR e 38°C), seguido de 17 horas em imersão a 18±2°C, e de 14 dias ao ar da sala condicionada a 18±2°C
- > Observa-se antes do início da corrosão um valor da intensidade da ordem de 1×10^{-9} A que aumenta significativamente quando se inicia a corrosão

Considerações finais

Novas linhas de investigação no NB

- > película protetora sobre a superfície do aço que impede as reações eletroquímicas envolvidas no processo de corrosão (Microscopia de Força atómica; Impedância eletroquímica localiza ; Espectrometria de Emissão Ótica de Descarga Luminescente)
- > permeabilidade iónica e capacidade de ligação aos Cl⁻ para proteção contra a corrosão
- > degradação térmica ao nível da microestrutura e reação a temperaturas elevadas e ao fogo
- > características reológicas em função do tipo de aplicação
- > metodologia automatizada para prescrição da composição em função do uso pretendido e da durabilidade desejada