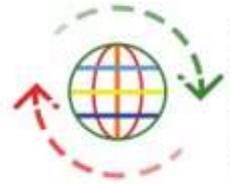




ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



2019 ANO DE
EFICIÊNCIA MATERIAL
ECONOMIA CIRCULAR



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Sessão de esclarecimento

**O betão pronto e o fim das cinzas volantes:
mais um desafio para a construção**

QUESTÕES DE DURABILIDADE

Arlindo Gonçalves

Manuel Vieira

Ordem dos Engenheiros | Região Sul
19 DE NOVEMBRO DE 2019 | 17H30 | AUDITÓRIO

Índice

- Produção das cinzas volantes (CV)
 - Produção em Portugal
- Composição e pozolanicidade
- Normalização das CV
- Utilização das CV no betão
 - Histórico
 - Influência das CV no comportamento do betão
- Requisitos relativos à durabilidade
 - E 464 e E461
- Falta de cinzas volantes

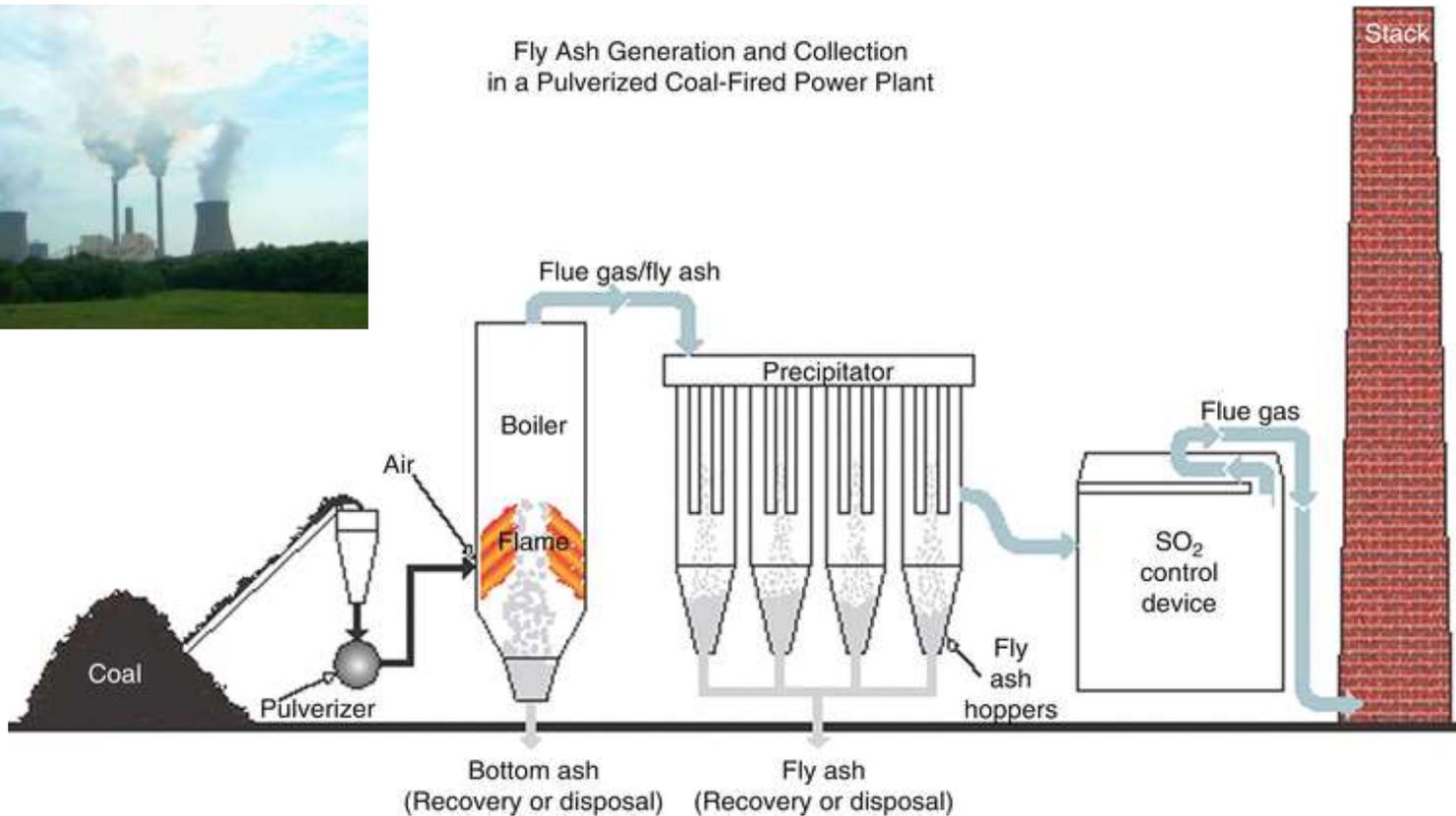
Produção



Produção



Fly Ash Generation and Collection
in a Pulverized Coal-Fired Power Plant



Produção em Portugal

Centrais termoelétricas



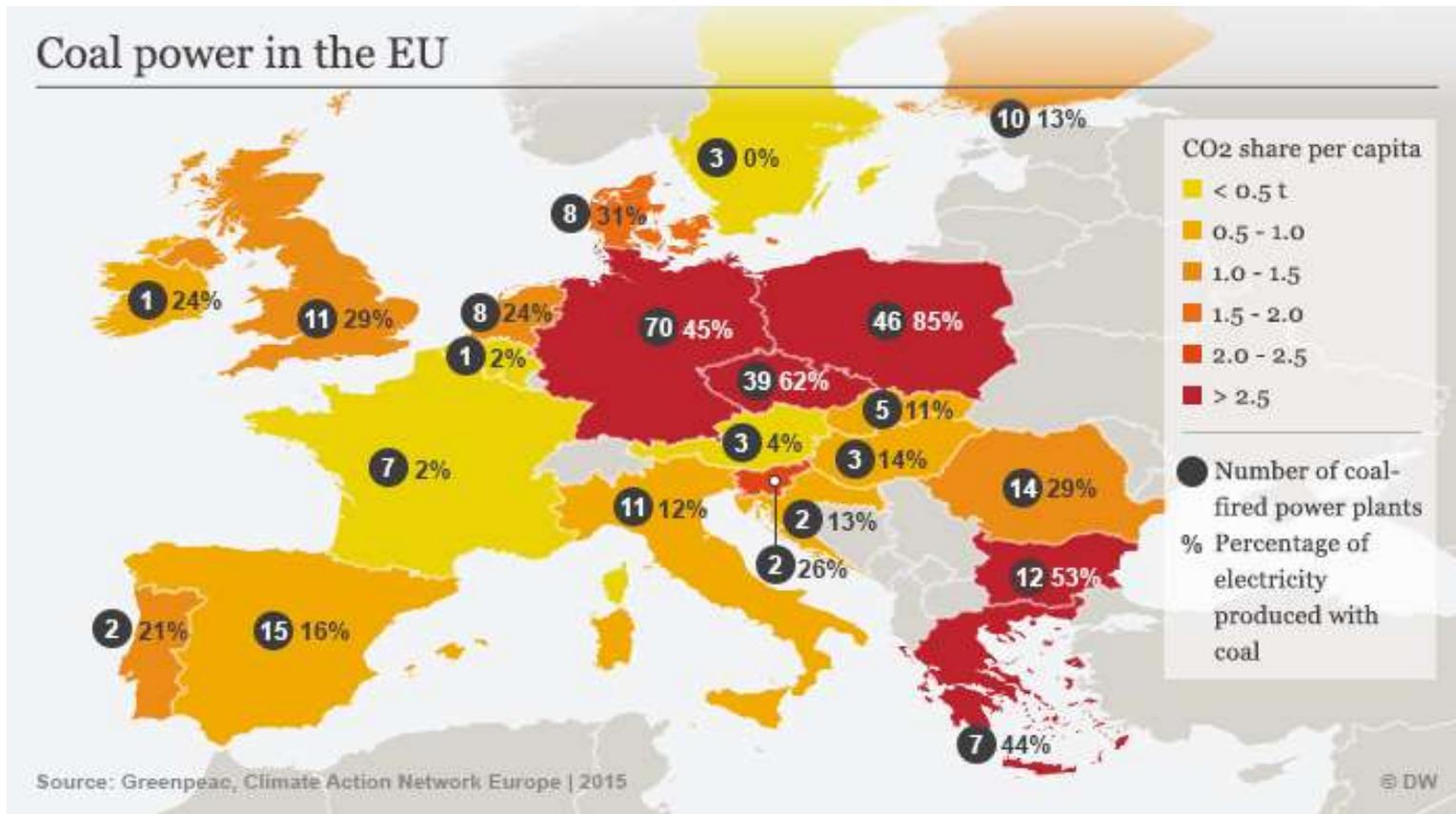
Centrais termoelétricas

Centrais	Localização	Ano entrada em serviço	Potência instalada [MW]	Combustível
Tapada do Outeiro	Gondomar	1998	990	Gás natural
Lares	Figueira da Foz	2009	826	Gás natural
Pego	Abrantes	1993	576	Carvão
Pego C.C.	Abrantes	2010	837	Gás natural
Carregado	Alenquer	1968	710	Fuelóleo/Gás natural
Ribatejo	Alenquer	2003	1176	Gás natural
Setúbal	Setúbal	1979	946	Fuelóleo
Sines	Sines	1985	1180	Carvão
Tunes	Silves	1973	165	Gasóleo

[REN, 2012]

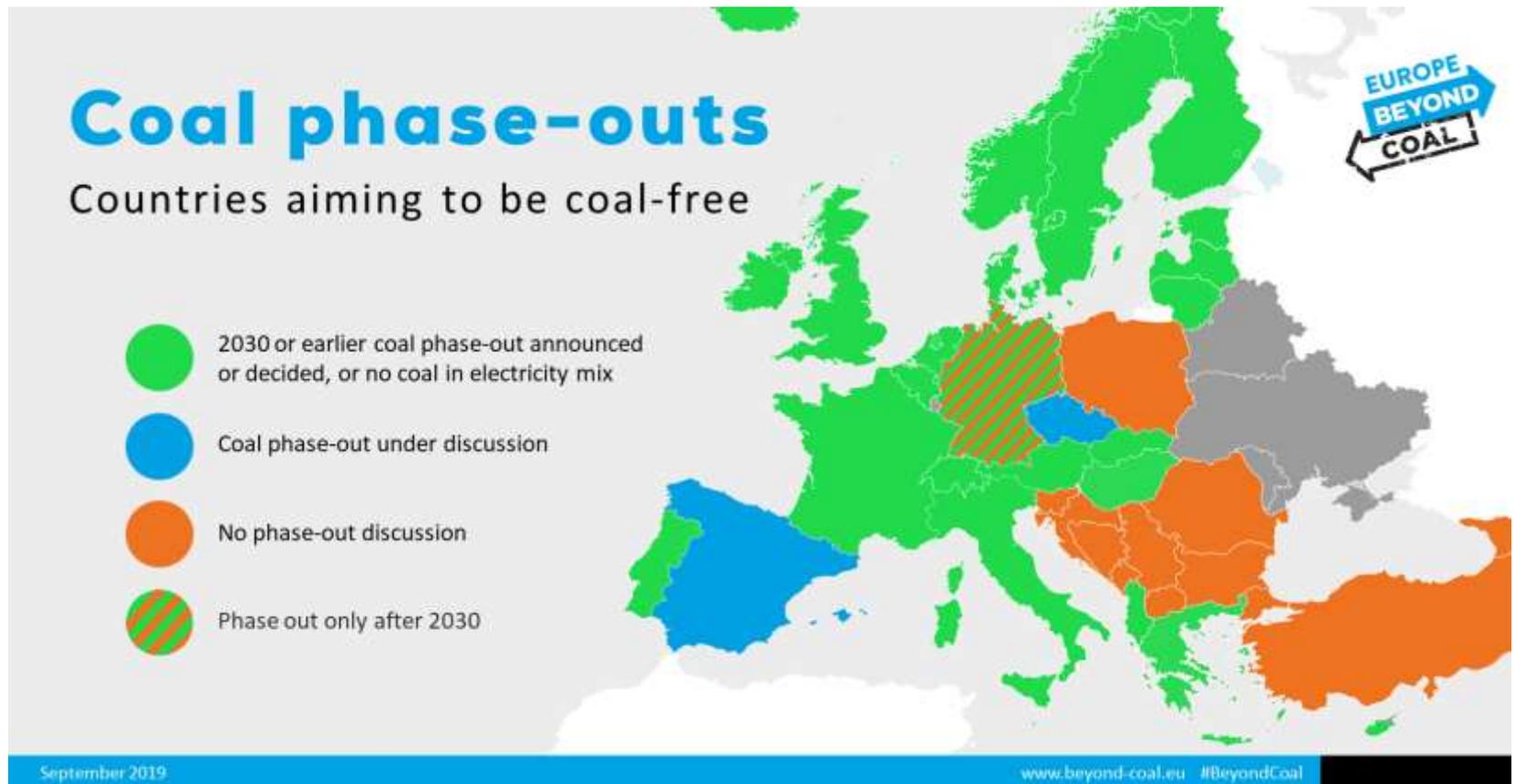


Produção energética - Carvão



Produção energética - Carvão

Portugal pretende o fecho da central a carvão do Pego (da Tejo Energia) para 2021, e o da central de Sines (EDP) em setembro de 2023



Composição e Pozolanicidade



Composição

Compostos	Fly Ash Class F	Fly Ash Class C	Portland Cement
SiO_2	55	40	23
Al_2O_3	26	17	4
Fe_2O_3	7	6	2
CaO	9	24	64
MgO	2	5	2
SO_3	1	3	2

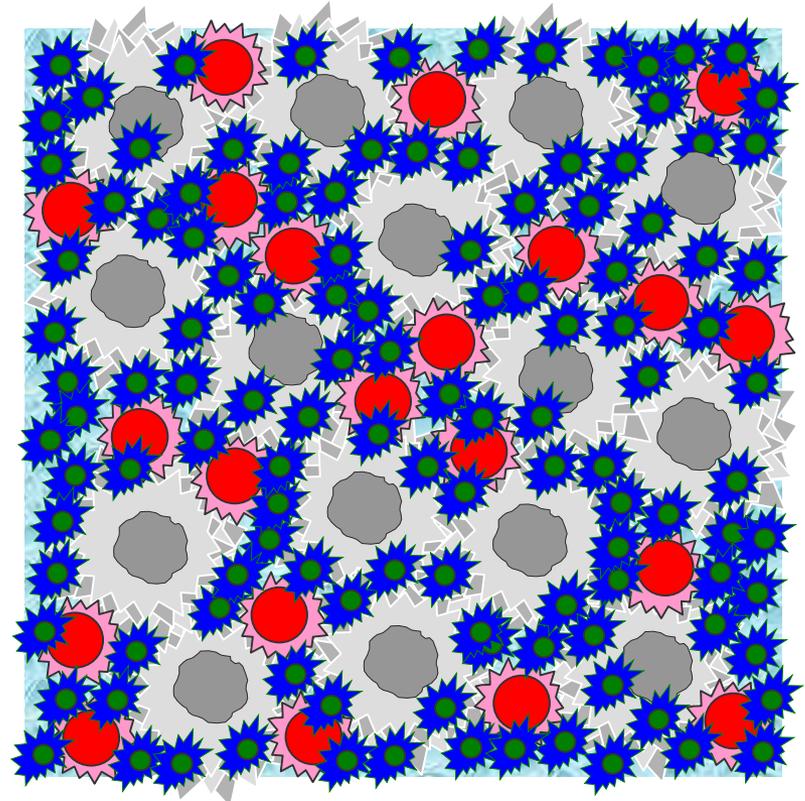
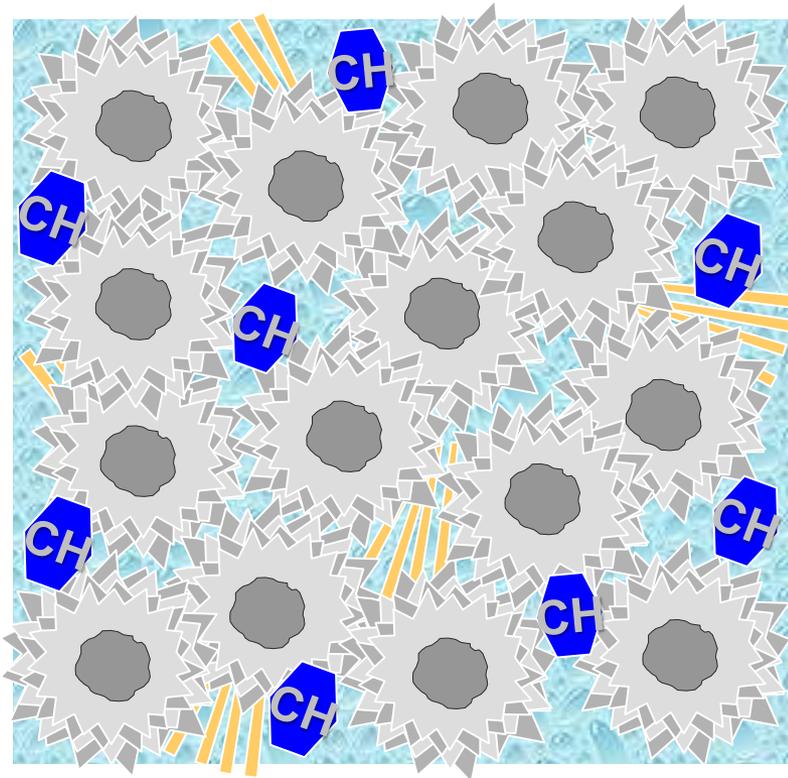
Pozolanicidade

- Materiais pozolânicos são substâncias naturais de composição siliciosa ou silico-aluminosa ou uma combinação de ambas
- Os materiais pozolânicos não endurecem, por si próprios, quando misturados com água, mas, quando finamente moídos e na presença de água, reagem à temperatura ambiente normal com o hidróxido de cálcio dissolvido (Ca(OH)_2) para formarem compostos de silicato e aluminato de cálcio que desenvolvem resistência.
- Estes compostos são similares àqueles que são formados no endurecimento dos materiais hidráulicos
- As pozolanas são constituídas essencialmente por dióxido de silício reactivo (SiO_2) e por óxido de alumínio (Al_2O_3). O restante inclui óxido de ferro (Fe_2O_3) e outros óxidos.

Pozolanicidade

CEM I

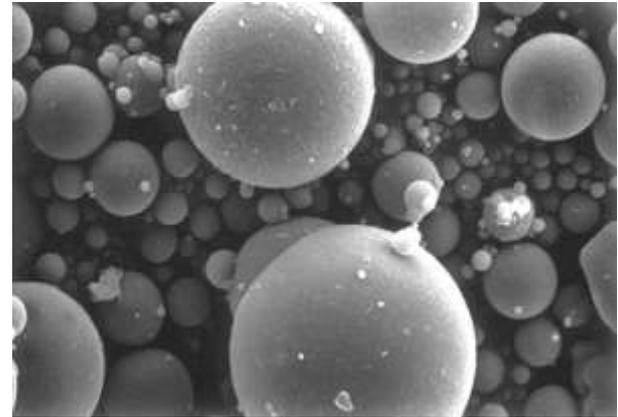
CEM IV



Normalização



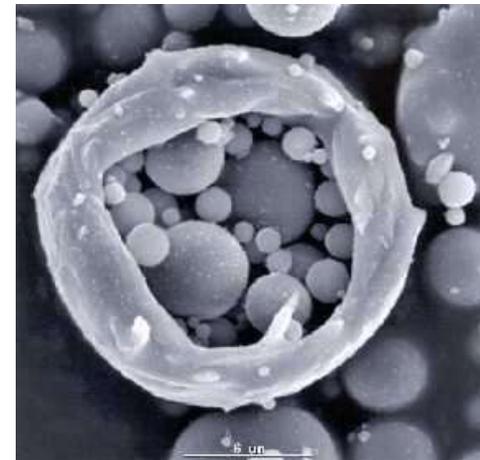
Normalização



NP EN 450-1: 2012

EN 450-1: 2005

EN 450 : 1994



Utilização no betão



Histórico

- Primeiros estudos – Década de 30 do Séc. XX
- Primeira grande aplicação: Barragem Hungry Horse nos EUA – Década de 40 do Séc. XX
- Portugal – Uso generalizado na década de 90 do Séc. XX

Influência no comportamento do betão

Estado fresco

- Melhor trabalhabilidade
- Diminuição da necessidade de água
- Tempos de presa mais prolongados

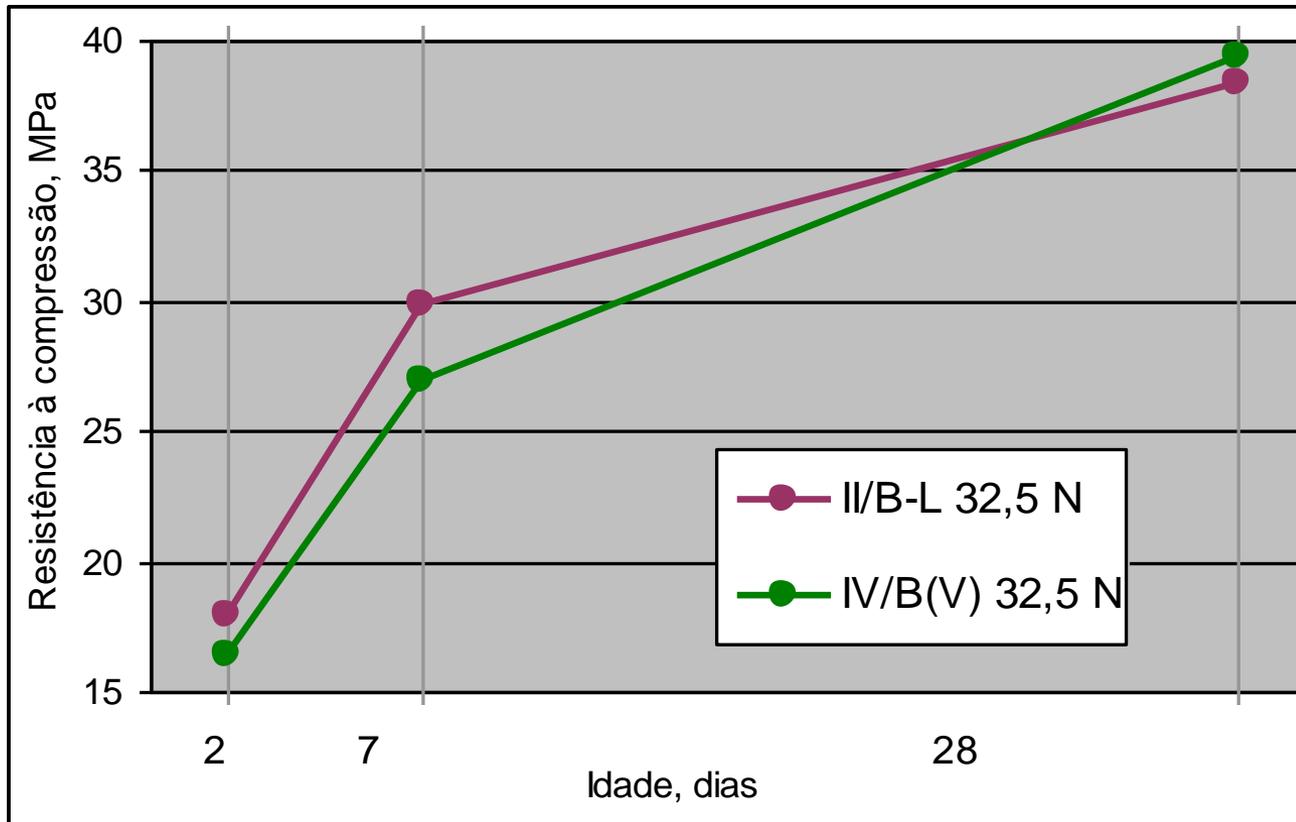
Influência no comportamento do betão

Estado endurecido

- Reduz o calor de hidratação
- Reduz o crescimento da resistência nas primeiras idades
- Aumenta a resistência ao ataque químico
- Reduz a resistência à carbonatação
- Aumenta a resistência à penetração dos cloretos
- Mitiga o risco das reações expansivas internas

Influência no comportamento do betão

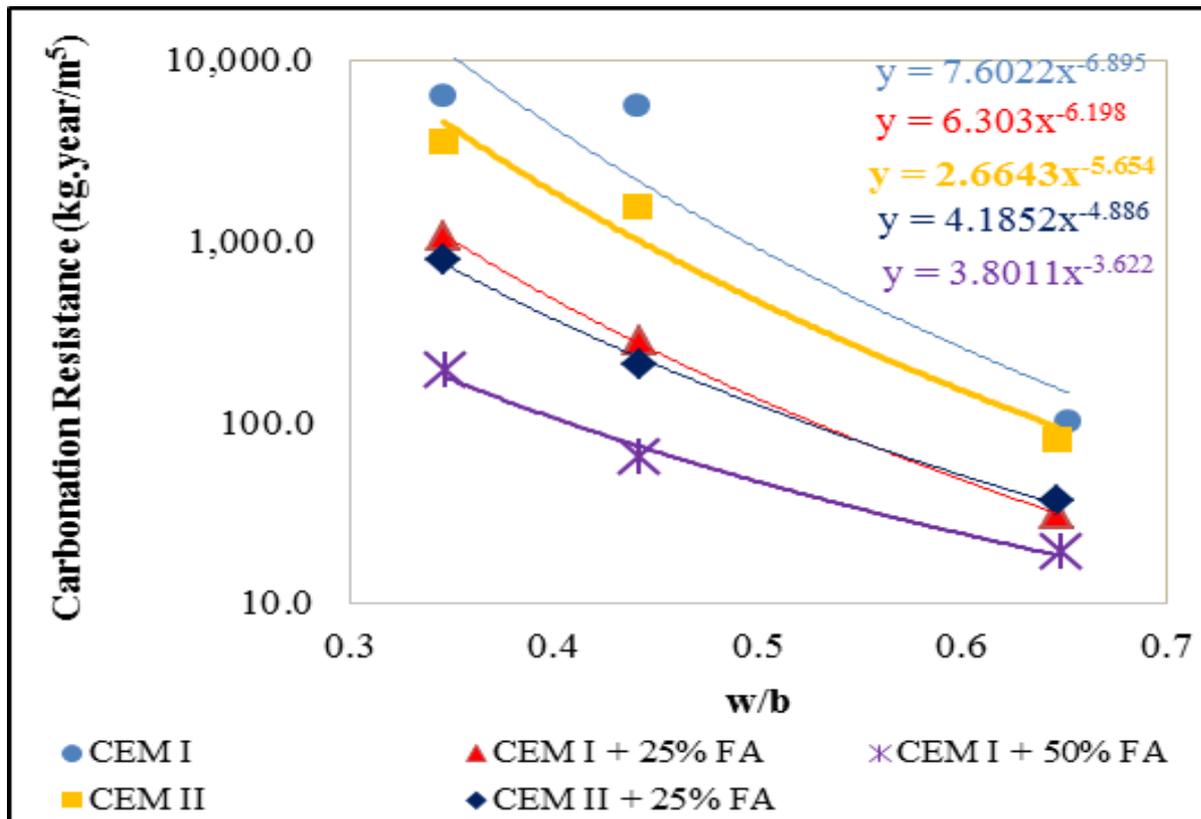
Estado endurecido



Influência no comportamento do betão

Estado endurecido

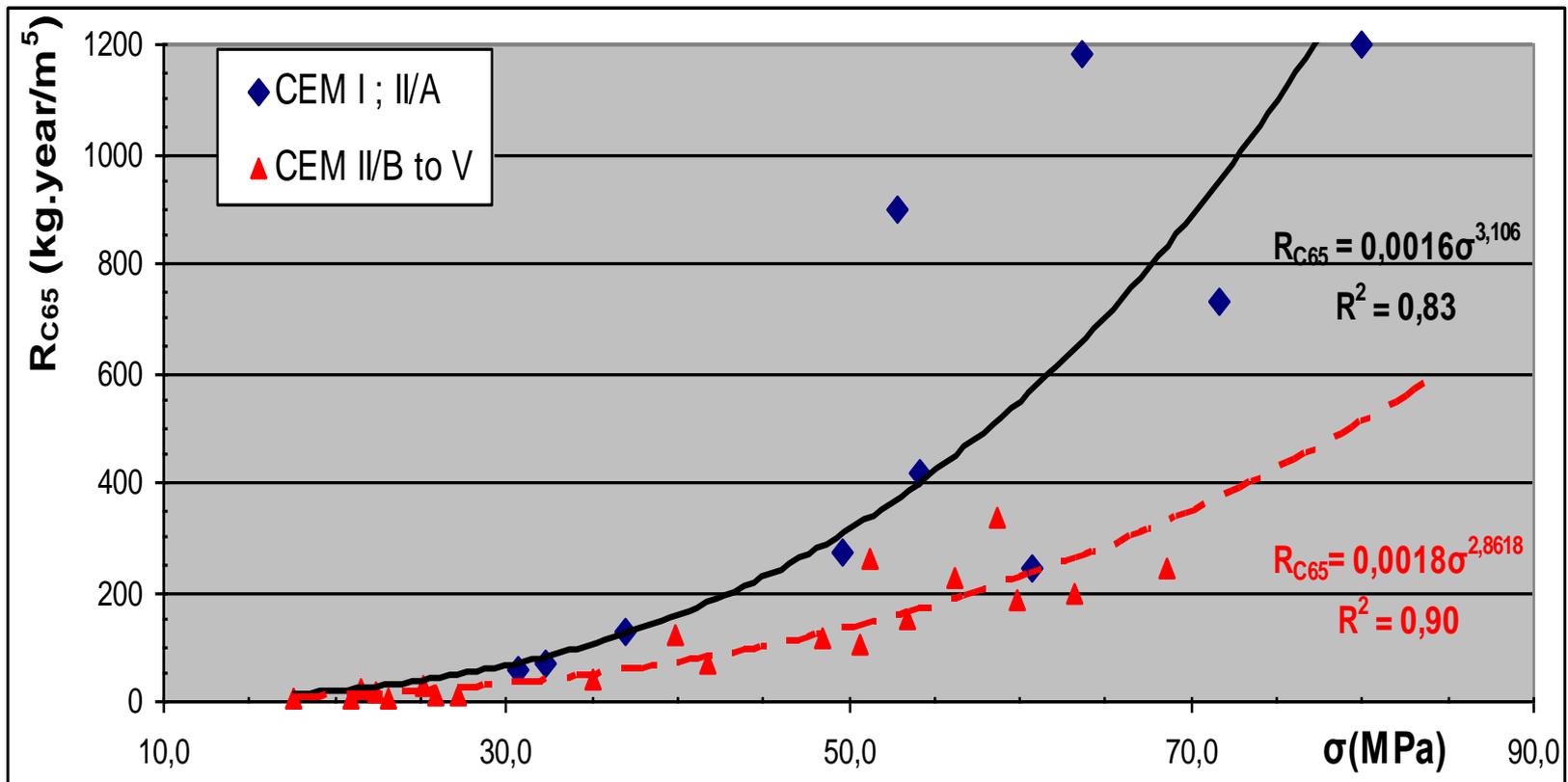
- Carbonatação



Influência no comportamento do betão

Estado endurecido

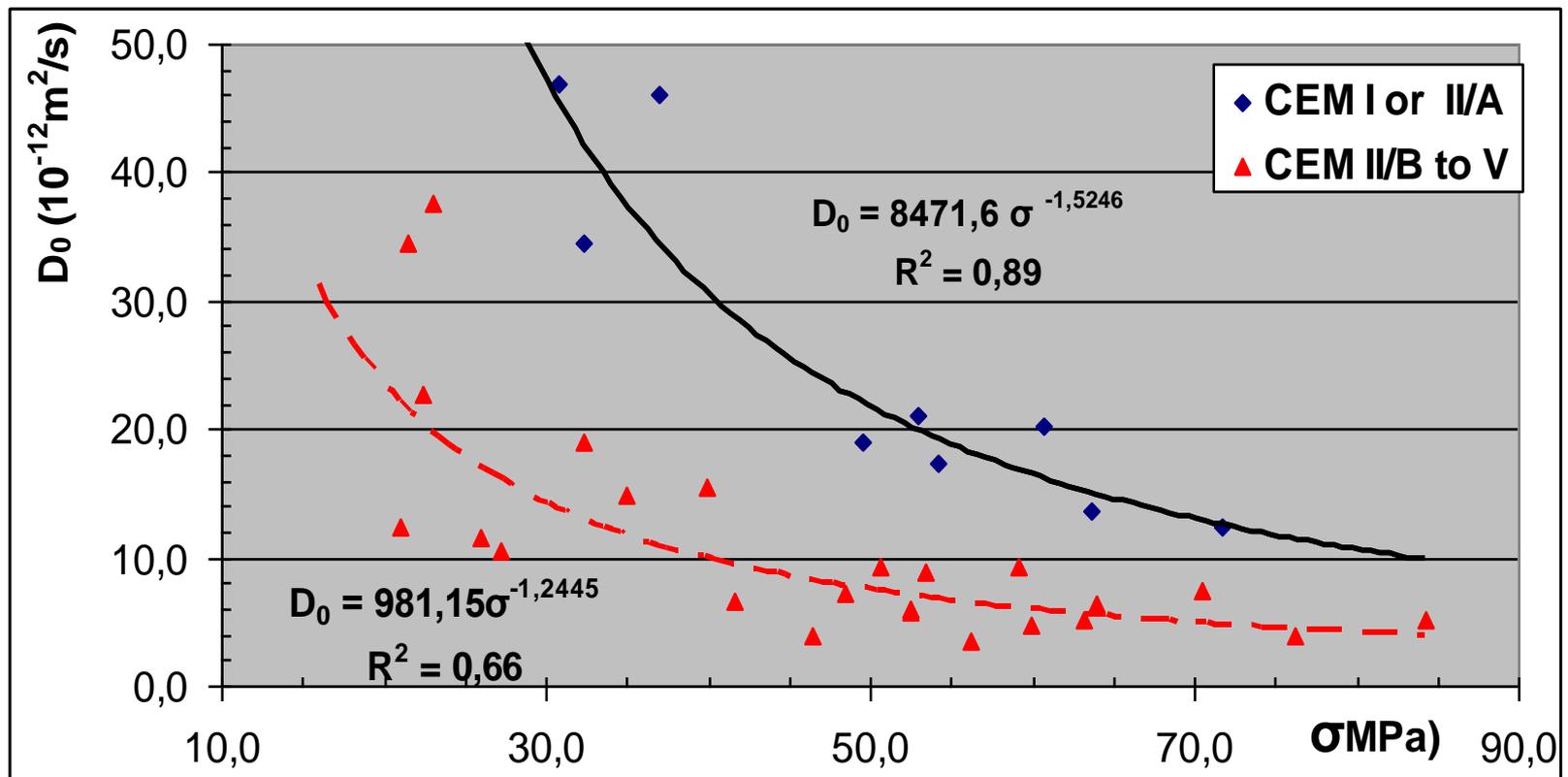
- Carbonatação



Influência no comportamento do betão

Estado endurecido

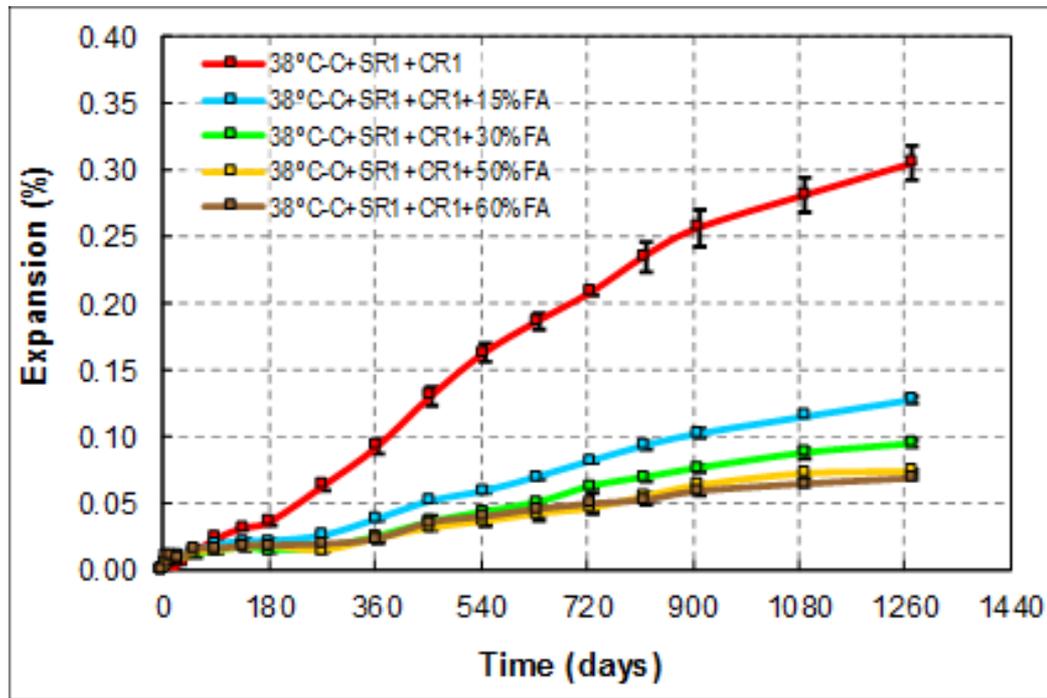
- Cloretos



Influência no comportamento do betão

Estado endurecido

- Reacções expansivas internas
 - Reacções álcalis-sílica



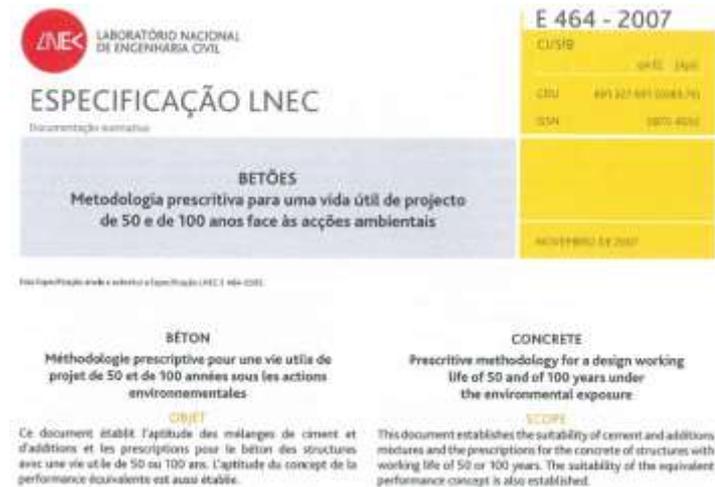
Requisitos relativos à durabilidade



Requisitos relativos à durabilidade

- Especificação LNEC E 461

- Especificação LNEC E 464



Requisitos relativos à durabilidade

- Requisitos de composição. Especificação LNEC E 461

Proporcionam efectiva protecção contra a ocorrência da reacção expansiva provocada por agregados da classe II os ligantes constituídos por cimentos (ver NP EN 197-1) e misturas de cimentos e adições (ver Especificação LNEC E 464) desde que a proporção **não seja inferior a 30 % se só for utilizada cinza volante siliciosa (V)**

- Teor limite de álcalis solúveis no betão

Classe de reactividade dos agregados	Teor limite de álcalis (kg/m ³ de betão)
I	Sem exigência
II	≤ 3,0
III	≤ 2,5

Estes limites não inibem a reacção com agregados graníticos

Requisitos relativos à durabilidade

- Requisitos de composição. Especificação LNEC E 464
 - Carbonatação

Tipo de cimento	CEM I; CEM III/A				CEM II/B CEM IV/A			
	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Classe de exposição	XC1	XC2	XC3	XC4	XC1	XC2	XC3	XC4
Mínimo recobrimento nominal (mm)	25	35	35	40	25	35	35	40
Máxima razão água/cimento	0,65	0,65	0,60	0,60	0,60	0,60	0,55	0,55
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	240	240	280	280	260	260	300	300
Mínima classe de resistência	C25/30 LC25/28	C25/30 LC25/28	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C25/30 LC25/28	C25/30 LC25/28	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33

Requisitos relativos à durabilidade

- Requisitos de composição. Especificação LNEC E 464
 - Cloretos – Aumentos de 40 kg de cimento e 2 a 3 classes de resistência

Tipo de cimento	CEM IV/A; CEM IV/B; CEM II/B			CEM I; CEM III/A		
	XS1/ XD1	XS2/ XD2	XS3/ XD3	XS1/ XD1	XS2/ XD2	XS3/ XD3
Classe de exposição						
Mínimo recobrimento nominal (mm)	45	50	55	45	50	55
Máxima razão água/cimento	0,55	0,55	0,45	0,45	0,45	0,40
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	320	320	340	360	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44	C50/60 LC50/55

Requisitos relativos à durabilidade

- Requisitos de composição. Especificação LNEC E 464
 - Ataque químico – Aumentos de 20 kg de cimento e de 1 classe de resistência

Tipo de cimento	CEM IV/A; CEM IV/B; CEM III/B			CEM I; CEM III/A		
	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
Classe de exposição	XA1	XA2	XA3	XA1	XA2	XA3
Máxima razão água/cimento	0,55	0,50	0,45	0,50	0,45	0,45
Mínima dosagem de cimento, C (kg/m ³)	320	340	360	340	360	380
Mínima classe de resistência	C30/37 LC30/33	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38	C35/45 LC35/38	C40/50 LC40/44	C40/50 LC40/44

Quando a agressividade resultar da presença de sulfatos, os cimentos devem ser resistentes aos sulfatos aplicando-se ao betão as exigências estabelecidas neste quadro para o CEM IV

Falta de cinzas volantes

Consequências e soluções



Consequências da falta de Cinzas Volantes

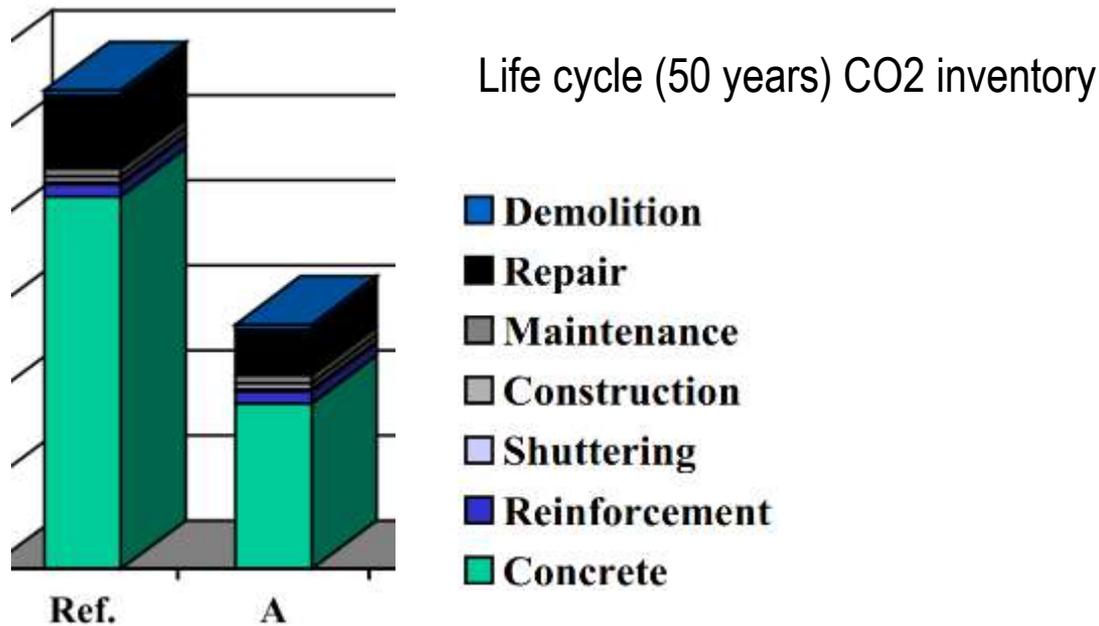
- Betão em grandes massas
 - Diminuição dos ritmos de betonagem
- Estruturas expostas à penetração de cloretos
 - Aumento acentuado do consumo de cimento
- Estruturas expostas ao ataque químico
 - Aumento do consumo de cimento
- Estruturas com agregados reativos graníticos
 - Importação de adições tipo II

Análise holística

- O país não tem indústria que produza outros subprodutos considerados como adições do tipo II (escória granulada de alto forno ou sílica de fumo)
- A falta de cinzas volantes terá impactos significativos na construção de estruturas em betão
- Seria desejável a realização de um estudo nacional com uma abordagem holística sobre a descarbonização da produção de energia

Impacto ambiental

- Carbon Footprint of fly ash concrete - DK
 - Environmental screening of "Green" concrete highway bridge (in Danish)
<http://www.gronbeton.dk/tidligere-projekter/groen-beton-i.aspx>



Na falta de cinzas volantes...

- WP9-C: Reducing clinker content in cement using calcined clay-limestone technology

