

Metodologia para a Avaliação da Durabilidade de Cimentos-Cola em Revestimentos Cerâmicos Aderentes a Fachadas



Ana Vaz Sá
FEUP
Portugal
vazsa@fe.up.pt



Vasco Peixoto de Freitas
FEUP
Portugal
vpfreita@fe.up.pt

Resumo: O desempenho dos materiais, em particular dos cimentos-cola, é normalmente avaliado no momento da aplicação. O conhecimento das suas características no momento inicial é fundamental para a sua classificação e marcação CE. No entanto, sendo esta classificação imprescindível na selecção do material que melhor se adequa à utilização pretendida, não nos traduz o seu desempenho ao longo do tempo. Faltam-nos métodos objectivos, capazes de avaliar o desempenho de componentes e/ou materiais de construção ao longo da sua vida útil. Neste estudo avaliou-se a durabilidade do cimento-cola em função do decréscimo do seu desempenho relativamente à tensão de aderência ao longo de diversos ciclos de envelhecimento artificial acelerado.

Palavras-chave: Cimentos-cola, durabilidade, fachada, revestimento cerâmico.

1. INTRODUÇÃO

Portugal foi o país europeu que, a partir do século XVI, mais utilizou o revestimento cerâmico em fachadas. Actualmente, este tipo de revestimento continua a ser amplamente utilizado, contribuindo para a valorização das edificações, por se esperar deles uma elevada durabilidade, vasta funcionalidade e bom desempenho estético.

Contudo, apesar do grande desenvolvimento da indústria da cerâmica e dos processos de colagem dos ladrilhos cerâmicos, os problemas relacionados com o seu desprendimento são, ainda hoje, uma patologia grave e frequente (figura 1), registada quer nos primeiros anos de utilização quer após longos períodos de desempenho adequado.

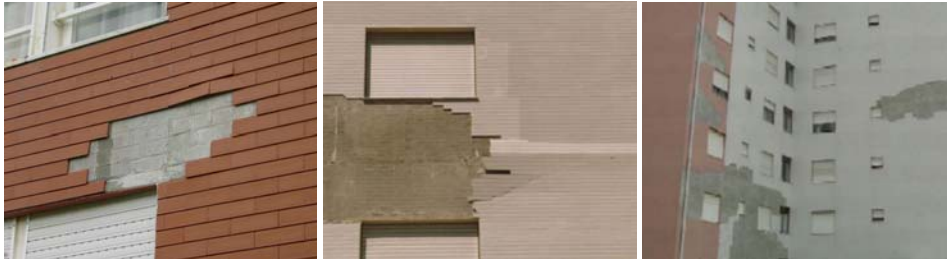


Figura 1 – Descolamento e desprendimento de ladrilhos cerâmicos em fachadas.

Os sistemas de revestimento cerâmico aderentes ao suporte são compostos basicamente pelos ladrilhos cerâmicos, pelo produto de colagem e pelo produto de preenchimento das juntas entre ladrilhos. Estes materiais estão sujeitos a variações de temperatura e humidade, à radiação solar e à chuva, especialmente quando aplicados em fachadas. A resposta do sistema a estes agentes de degradação traduz-se no decréscimo de desempenho de determinadas características fundamentais.

Com o objectivo de avaliar a influência do envelhecimento no desempenho dos cimentos-cola efectuámos um conjunto de ensaios na câmara de envelhecimento acelerado disponível no Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), em que se simulam as acções e condições climáticas mais relevantes: radiação, chuva, gelo-degelo e variação da temperatura e da humidade relativa. Os valores limites de temperatura e humidade relativa foram estabelecidos de modo a ultrapassarem ligeiramente as condições climáticas mais adversas que uma parede exterior poderia experimentar em Portugal. Estabelecendo-se, assim, condições extremas de dilatação térmica e variação dimensional de carácter higrotérmico.

O número de ciclos a que os provetes estiveram sujeitos varia de 1 a 112 ciclos.

Paralelamente aos ensaios de envelhecimento artificial acelerado, realizados em laboratório, construí-se uma estação de envelhecimento natural. Os ensaios *in situ*, de longa duração, são necessários para se estabelecer a correlação entre o número de ciclos de ensaio no interior da câmara de envelhecimento artificial acelerado e o tempo real de envelhecimento. E assim, determinar o tempo de vida útil do sistema de revestimento cerâmico aderente.

2. PREVISÃO DA VIDA ÚTIL

2.1 Considerações gerais

A previsão do tempo de vida útil de um material ou componente pode basear-se quer em modelos experimentais quer em modelos físicos ou matemáticos. Na estimativa da vida útil devem ser considerados aqueles que melhor se adequam à natureza do produto e à sua utilização prevista.

A EOTA, no documento guia GD-003 de Dezembro de 1999, sugere um método experimental assente numa metodologia sequencial que pressupõe a comparação dos resultados obtidos em ensaios de curta duração – ensaios de envelhecimento acelerado, com os resultados de ensaios de longa duração – ensaios de envelhecimento natural ou ensaios sobre sistemas e componentes já existentes ou anteriormente estudados.

2.2 Diferentes fases do método

O método seguido para a avaliação da durabilidade de cimentos-cola no revestimento cerâmico aderente a fachadas engloba, basicamente, as seguintes fases:

1. Definição: Definir as exigências do produto ou material de construção, ou seja, identificar as características que mais condicionam o seu desempenho e os respectivos níveis de exigência a satisfazer;
2. Preparação: Identificação dos factores e mecanismos de degradação.
3. Pré-Teste: Ensaios de curta duração em condições extremas, para testar a adequação das condições de exposição em estudo.
4. Teste: Avaliar o desempenho do produto após ensaios de envelhecimento artificial acelerado e após ensaios de envelhecimento natural;
5. Discussão e interpretação: Relacionar os resultados de ambos os ensaios (envelhecimento acelerado e natural);
6. Previsão da vida útil: Estabelecer modelos de previsão da vida útil.

3. ESTUDO EXPERIMENTAL

3.1 Considerações gerais

O estudo experimental desenvolvido insere-se na fase de *Teste* do método de avaliação da durabilidade anteriormente descrito. Nas fases anteriores estabeleceu-se o seguinte:

1. Definição do Problema: O *Requisito Essencial*¹ estabelecido nesta fase foi a durabilidade ou vida útil física do sistema de revestimento cerâmico aderente e o *Critério*² seleccionado para a sua caracterização foi a quantificação do valor da aderência do sistema ao suporte, ou seja, a determinação da resistência à tracção do cimento-cola enquanto componente do sistema responsável pela adesão ao suporte. O *Valor Crítico*³ fixado foi de 0,3 MPa.
2. Preparação: Apenas se consideraram, por limitações próprias dos ensaios realizados em laboratório, os factores de degradação de carácter higrotérmico, como a variação da temperatura; a variação da humidade relativa; a radiação solar e a chuva.
3. Pré-Teste: A legitimidade dos mecanismos de degradação identificados e dos ciclos de envelhecimento artificial acelerado criados foi estabelecida pela adaptação de estudos experimentais realizados sobre materiais ou sistemas de construção distintos do estudado e pelas conclusões retiradas em diversos estudos teóricos e de modelação do comportamento do sistema de revestimento cerâmico aderente.

3.2 Características dos materiais

No estudo experimental realizado utilizaram-se 3 tipos distintos de ladrilhos cerâmicos correntemente usados em Portugal no revestimento exterior de fachadas. Estes ladrilhos apresentam coeficientes de absorção muito diferentes e foram aqui designados por L0, L1 e L2. As suas principais características estão sintetizadas nas tabelas 1 e 2.

¹ *Requisito Essencial* – Características fundamentais dos materiais ou componentes da construção que condicionam o seu desempenho.

² *Critério* – Parâmetros utilizados na qualificação dos *Requisitos*.

³ *Valor Crítico* – Valores limites de referência atribuídos aos *Critérios*.

Tabela 1 – Características dimensionais dos ladrilhos cerâmicos.

<i>Designação</i>	<i>Grupo</i> ⁴	<i>Comp. x Largura</i> [mm ²]	<i>Espessura</i> [mm]
L0	B1a	50 x 50	5
L1	AI	50 x 50	5
L2	B1a	50 x 50	10

Tabela 2 – Características físicas dos ladrilhos cerâmicos.

<i>Designação</i>	<i>Grupo</i> ¹	<i>Absorção de água</i> [%]	<i>Resistência à flexão</i> [MPa]	<i>Dureza superficial</i> [Mohs]	<i>Dilatação térmica linear</i> [K ⁻¹]
L0	B1a	0.02	≥ 27	≥ 6	≤ 9x10 ⁻⁶
L1	AI	2.74	≥ 27	≥ 5	≤ 9x10 ⁻⁶
L2	B1a	5	≥ 18	≥ 6	≤ 12x10 ⁻⁶

Os Cimentos-cola utilizados neste estudo são das classes C2 e C2S⁵, as únicas aconselhadas para aplicações no exterior. As características fundamentais dos cimentos-cola utilizados nas experiências desenvolvidas são as apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 – Características dos cimentos-cola utilizados.

<i>Características</i>	<i>C2</i> ² [MPa]	<i>C2S</i> ² [MPa]
Aderência após 3 dias	1	-
Aderência após 28 dias	1.5	2
Aderência após acção do calor	1.0	1.5
Aderência após imersão em água	0.5	1.0
Aderência após ciclos de gelo-degelo	-	1.0

3.3 Modelo físico

3.3.1 Provetes utilizados nos ensaios laboratoriais

Na realização dos ensaios de envelhecimento artificial acelerado, em laboratório, foram utilizados 35 provetes. O conjunto formado por uma placa de betão com 40 mm de espessura, por uma fina camada de cimento-cola, da classe C2 ou C2S, e por 3 ladrilhos cerâmicos, do tipo L0, L1 ou L2, constitui o provete de ensaio (figura 2).

⁴ *Grupo* – Designação do grupo de ladrilho cerâmico de acordo com a Norma Europeia EN 14441 – *Ceramic tiles – Definitions, classification, characteristics and marketing*, 2003.

⁵ *C2 e C2S* – Classes de cimentos-cola de acordo com o *Cahier 3266 du CSTB – Revêtements de Murs Extérieurs en Carreaux Céramiques ou Analogues Collés au Moyen de Mortiers-Colles – Cahier des Prescriptions Techniques d'Exécution*. CSTB, 2000.

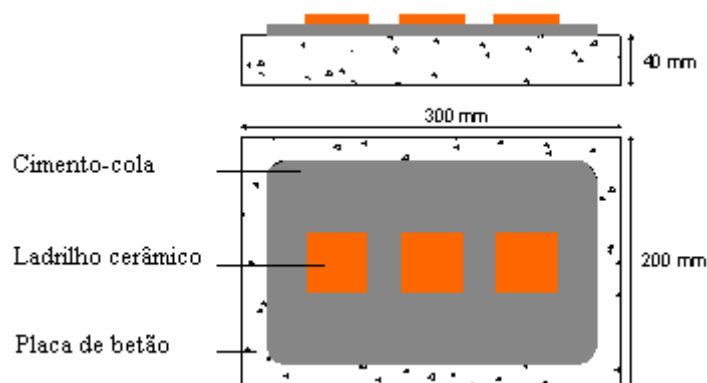


Figura 2 – Representação esquemática do provete de ensaio.

Na tabela seguinte, tabela 4, estão identificados e caracterizados os provetes concebidos para a realização do estudo proposto.

Tabela 4 – Designação dos provetes de ensaio.

<i>Provede de Ensaio</i>		<i>Cimento-Cola</i>	
		C2	C2S
<i>Ladrilho Cerâmico</i>	L0	PE0	-
	L1	PE1	PE2
	L2	PE3	PE4

Foram preparados, para a realização dos ensaios laboratoriais, sete provetes de cada tipo: PE0, PE1, PE2, PE3 e PE4.

3.3.2 Estação de envelhecimento natural

A estação de envelhecimento natural (figura 5), construída em conjunto com a empresa fabricante dos cimentos-cola em Junho de 2004, é constituída por uma parede de betão com cerca de 20 cm de espessura, 2 m de altura e com a geometria representada na planta e alçado das figuras 3 e 4.

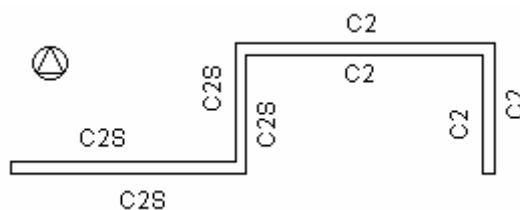


Figura 3 – Representação esquemática – Planta da estação de envelhecimento natural.

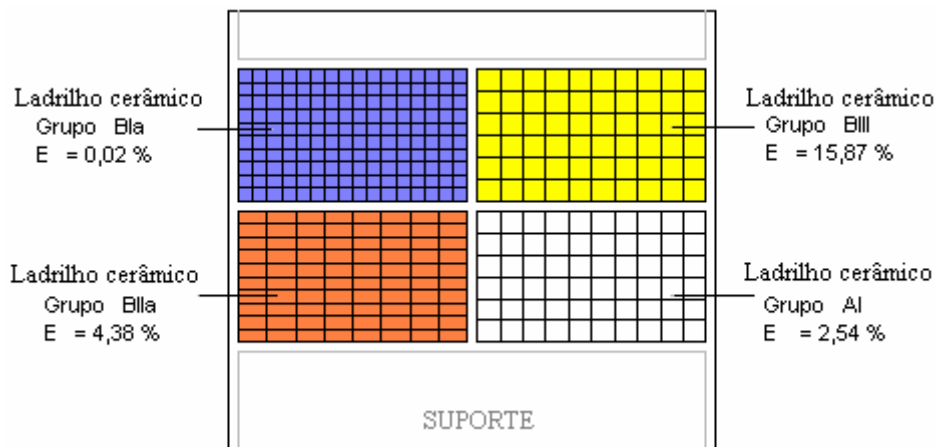


Figura 4 – Representação esquemática – Alçado da estação de envelhecimento natural.



Figura 5 – Estação de envelhecimento natural.

NOTA: A estação de envelhecimento natural e todos os provetes utilizadas nos ensaios de envelhecimento artificial foram preparadas sobre a supervisão de um engenheiro químico da empresa fabricante dos cimentos-cola, tendo sido cumpridas todas as exigências de aplicação do revestimento cerâmico aderente.

3.4 Ensaios de envelhecimento artificial acelerado

3.4.1 Enquadramento normativo

Das normas e documentos técnicos que regulam os procedimentos de ensaio de envelhecimento artificial acelerado evidenciam-se as seguintes: ISO 15686, ISO 4892, DS 1127, ASTM D4798, ASTM E 632, ASTM G 26, ASTM C481, EOTA Guidance Document GD 003 e EOTA Technical Report TR 010.

3.4.2 Câmara de envelhecimento artificial acelerado

O Laboratório de Física das Construções (LFC) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) dispõe, para a realização de ensaios de envelhecimento acelerado, de uma câmara programável – *Fitoclima 600 EDTU* (figura 6). Este equipamento funciona para as seguintes condições:

- Temperatura: entre -25 e $75\text{ °C} \pm 0,5\text{ °C}$;
- Humidade relativa: entre 30 e $99\% \pm 3\%$;

- Radiação: entre 0 e 1639,99 W (lâmpada de Xénon 6000W);
- Pulverização: entre 0 e 8 l/min;
- Rotação: entre 0 e 10 r.p.m..



Figura 6 – Painel de controlo e interior da câmara *Fitoclima 600 EDTU*.

3.4.3 Programa de ensaio

A duração total de um ciclo de envelhecimento completo é de 12 horas, 720 minutos, e compreende os seguintes passos:

- **PASSO 1** – Início: Este primeiro passo tem a duração de 1 minuto e serve apenas para iniciar o ciclo de ensaios. Os valores da temperatura e humidade relativa programados são os requeridos no passo seguinte, 20°C e 95 %, respectivamente.
- **PASSO 2** – Chuva: Neste passo os provetes são pulverizados com água a 20°C. A temperatura no interior da câmara é de 20°C e a humidade relativa superior a 95%. A duração deste passo é de 139 minutos.
- **PASSO 3** – Transição (Chuva/Congelamento): Ao longo dos 30 minutos de duração deste passo as condições de humidade e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no passo seguinte. Assim, em 30 minutos a temperatura desce dos 20°C para os -10°C e a humidade relativa dos 95% para os 60%.
- **PASSO 4** – Congelamento: Os provetes ficam sujeitos a uma temperatura ambiente de -10°C e a uma humidade relativa de 60% durante 140 minutos.
- **PASSO 5** – Transição (Congelamento/Temperatura e H.R. elevadas): Ao longo de 60 minutos correspondentes à duração deste passo as condições de humidade relativa e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no passo seguinte.
- **PASSO 6** – Temperatura e Humidade Relativa elevadas: Durante 180 minutos a temperatura é mantida constante a 50 °C e a humidade relativa acima dos 95 %.
- **PASSO 7** – Transição (Temperatura e H.R. elevadas/Radiação): Ao longo de 20 minutos correspondentes à duração deste passo as condições de humidade relativa e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no passo seguinte.
- **PASSO 8** – Radiação: Este passo tem a duração de 140 minutos. Os provetes recebem a radiação da lâmpada de Xénon ao longo de todo a duração do passo. Durante este período a temperatura do ar mantém-se elevada, 30 °C, e a humidade relativa baixa, 30%.
- **PASSO 9** – Transição (Radiação/Início): Ao longo de 10 minutos correspondentes à duração deste passo as condições de humidade relativa e temperatura no interior da câmara vão-se ajustando aos valores definidos no primeiro passo.

No gráfico da figura 7 sintetizam-se os 9 passos do programa, anteriormente descritos, em relação a cada parâmetro programado: Humidade Relativa, Temperatura, Chuva e Radiação.

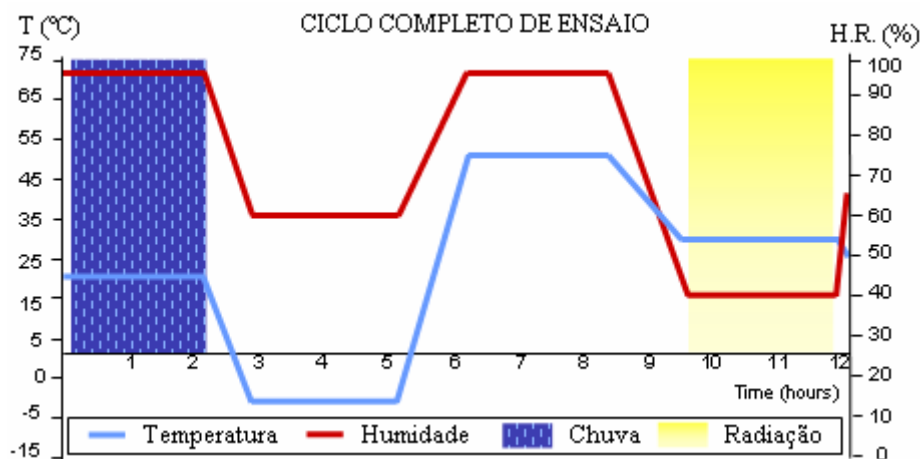


Figura 7 – Ciclo completo de ensaio – 12 horas

Cada provete (PE0, PE1, PE2, PE3 e PE4) foi submetido a um diferente número de ciclos de ensaio, entre 1 e 112. O tempo máximo de manutenção dos provetes no interior da câmara de envelhecimento foi de 2 meses. Após o período de acondicionamento nas condições descritas os provetes foram submetidos a ensaios de arrancamento por tracção. Um total de 105 ladrilhos cerâmicos foi testado.

3.5 Ensaios de arrancamento por tracção

A característica avaliada neste estudo, que afecta o desempenho do revestimento cerâmico aderente, foi a aderência dos cimentos-cola. Para avaliar o decréscimo desta propriedade realizaram-se ensaios de arrancamento por tracção sobre os diferentes tipos de provetes concebidos. Os ensaios de arrancamento por tracção foram realizados de acordo com a Norma Europeia EN 1348 (CEN, 1997).

4. RESULTADOS

4.1 Registos

Nos ensaios de arrancamento por tracção realizados sobre os provetes do tipo PE0, observou-se, essencialmente, a rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola (figura 8).



Figura 8 – Rotura adesiva na interface entre o ladrilho cerâmico e o cimento-cola – Provete PE0.2.

Nos restantes ensaios, o tipo de rotura observado foi a rotura coesiva, fundamentalmente no seio do cimento-cola. Contudo, nos ensaios realizados sobre os provetes com cimento-cola da classe C2S e após 1 ciclo de envelhecimento observou-se a rotura coesiva no seio do suporte (figura 9), tendo-se registado apenas um caso onde a rotura coesiva se deu no seio do ladrilho cerâmico (figura 9).



Rotura coesiva no seio do suporte.

Rotura coesiva no seio do ladrilho.

Figura 9 – Rotura coesiva – Provete PE4.1.

O gráfico representado na figura 10 mostra a variação da tensão de aderência ao longo dos vários ciclos de ensaio a que foram submetidos os provetes PE0, PE1 e PE3 (a classe dos cimentos-cola utilizados é C2). Os resultados obtidos revelam os seguintes aspectos essenciais:

- Após 112 ciclos de envelhecimento artificial acelerado (2 meses de ensaio) obtivemos cerca de 30 % do valor inicial da tensão de aderência;
- Independentemente do tipo de ladrilho aplicado, 140 ciclos serão suficientes para atingir o valor crítico fixado (0,3 MPa) e assim obter o fim da vida útil do sistema de revestimento;
- O tipo de rotura observado foi fortemente influenciado pelo ladrilho utilizado. Assim, a rotura observada nos provetes do tipo PE0, formados por ladrilhos cerâmicos com coeficiente de absorção $E = 0,02\%$, foi do tipo adesiva. No entanto, a rotura observada nos restantes provetes, PE1 e PE3, formados por ladrilhos cerâmicos com coeficiente de absorção $E > 0,5\%$, foi do tipo coesiva no seio do cimento-cola.

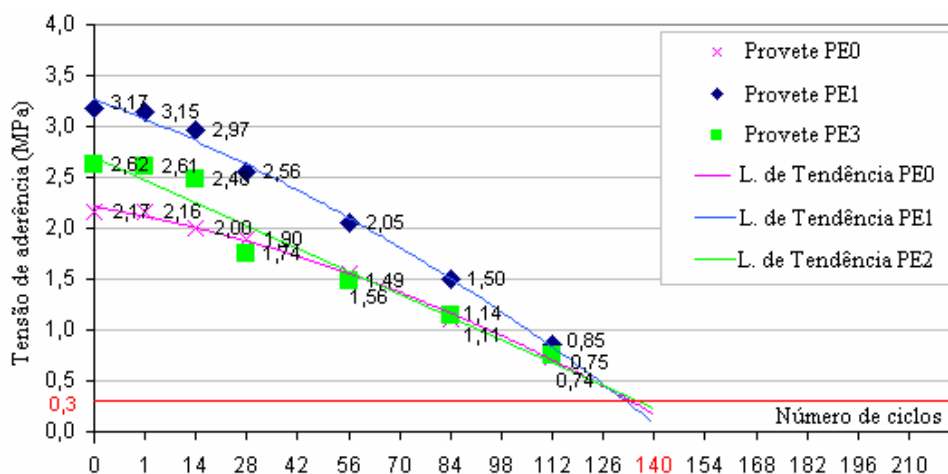


Figura 10 – Previsão do termo de vida útil do cimento-cola C2 – Ensaios E0, E1 e E3.

O gráfico representado na figura 11 mostra a variação da tensão de aderência ao longo dos vários ciclos de ensaio a que foram submetidos os provetes PE2 e PE4 (a classe dos cimentos-cola utilizada é C2S). Os resultados obtidos revelam os seguintes aspectos essenciais:

- Após 112 ciclos de envelhecimento artificial acelerado (2 meses de ensaio) obtivemos cerca de 50 % do valor inicial da tensão de aderência;
- Independentemente do tipo de ladrilho aplicado, 210 ciclos serão suficientes para atingir o valor crítico fixado (0,3 MPa) e assim obter o fim da vida útil do sistema de revestimento;
- Os valores da tensão para n=1 ciclos de envelhecimento são da mesma ordem de grandeza dos valores apresentados para n=14 ciclos de envelhecimento. Isto pode ser explicado pelo facto de se ter observado, no primeiro caso, uma rotura do tipo coesiva no interior do suporte, enquanto que nas restantes situações o tipo de rotura observado foi do tipo coesiva no interior do cimento-cola. Ora, a rotura coesiva no seio do cimento-cola representa a sua Resistência à tracção, no entanto, a rotura coesiva no seio do suporte apenas nos indica que a resistência à tracção do cimento-cola é superior ao valor registado para a resistência à tracção do suporte. Assim, o primeiro resultado obtido representa a resistência à tracção do suporte, podendo a resistência do cimento-cola ser bastante superior.

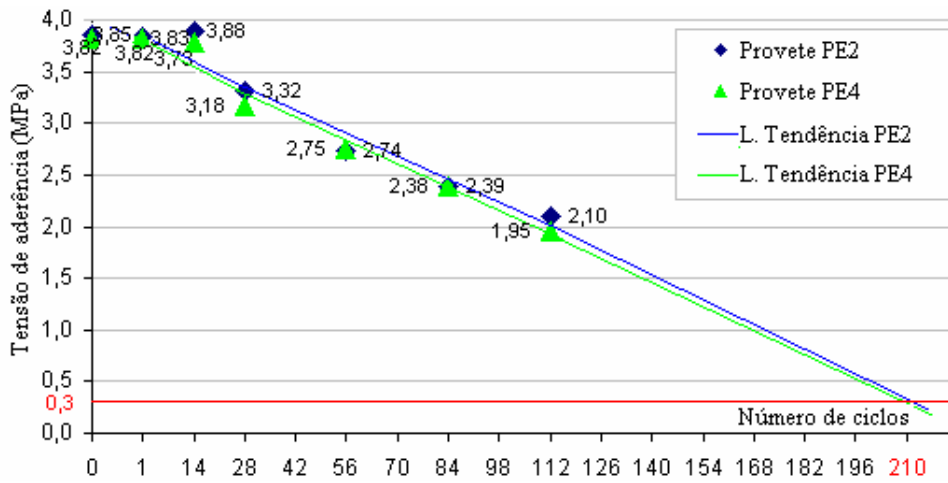


Figura 11 – Previsão do termo de vida útil do cimento-cola C2S – Ensaios E2 e E4.

4.2 Correlação entre os ensaios de envelhecimento natural e artificial

Com a realização dos dois tipos de ensaios, *in situ* e em laboratório, a fase de *Teste* do método de avaliação seguido fica completa, podendo estabelecer-se o modelo de previsão do tempo de vida útil para este tipo de produtos da construção.

Torna-se imperativo realizar ensaios na estação de envelhecimento natural ao longo de períodos de tempo definidos (de 6 em 6 meses, por exemplo) de modo a conseguir estabelecer a relação entre os ensaios de curta duração e os ensaios de longa duração.

A correlação entre o número de ciclos de envelhecimento artificial e o tempo real de envelhecimento natural poderá ser obtida de acordo com o representado na figura 12.

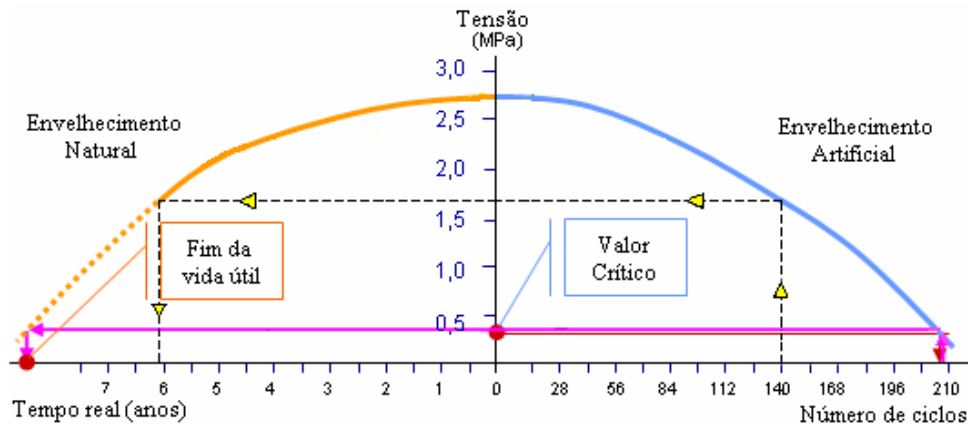


Figura 12 – Correlação entre o número de ciclos de ensaio e o tempo real de envelhecimento.

5. CONCLUSÕES

As principais conclusões do estudo experimental desenvolvido são as seguintes:

- A marcação CE é uma ferramenta imprescindível na selecção dos materiais.
- Foi feito um estudo experimental relevante para a previsão da vida útil.
- Os resultados obtidos mostram um importante decréscimo da aderência após 112 ciclos de envelhecimento:
 - Cimentos-cola da classe C2 – $\Delta\sigma_a \approx 70\%$;
 - Cimentos-cola da classe C2S – $\Delta\sigma_a \approx 50\%$.
- Para o Valor Crítico fixado de $\sigma_a = 0,3$ Mpa prevê-se o fim da vida útil ao fim de:
 - 140 Ciclos para cimentos-cola da classe C2;
 - 210 Ciclos para cimentos-cola da classe C2S.
- A realização de ensaios de curta duração (em laboratório) e de longa duração (*in situ*) permite definir o modelo de previsão da vida útil dos cimentos-cola.
- No que se refere à adesão é possível quantificar a Durabilidade dos cimentos-cola.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Freitas, Vasco Peixoto de; Sousa, Augusto Vaz Serra & Silva, J. A. Raimundo Mendes da. *Manual de Aplicação de Revestimentos Cerâmicos*. Coimbra, 2003.
- [2] Freitas, Vasco Peixoto de. *Importância da Marcação CE na Selecção Exigencial de Cimentos-Cola* – Seminário Normas Harmonizadas e Marcação dos Produtos de Construção, FEUP. Porto, 2004.
- [3] Sá, Ana Vaz. *Durabilidade de cimentos-cola em revestimentos cerâmicos aderentes a fachadas*, Dissertação de Mestrado em Construção de Edifícios. Porto, FEUP, 2005.
- [4] Daniotti, Bruno; Iacono, Paolo. *Evaluating the Service Life of External Walls: a Comparison between Long-Term and Short-Term Exposure*. International Conference on Durability of Building Materials and Components 10 DBMC, Lyon, France, April 17-20, 2005, pp. 67.
- [5] Uemoto, K. L.; Ikematsu, P.; Agopyan, V.. *Comparative Evaluation Between accelerated and Outdoor Ageing of Brazilian Paints – Part one*. International Conference on Durability of Building Materials and Components 10 DBMC, Lyon, France, April 17-20, 2005, pp. 57.
- [6] Lucas, José A. Carvalho. *Anomalias em revestimentos cerâmicos colados*, ICT – ITMC 28. Lisboa, LNEC, 2001.
- [7] Maggi, P.N.; Rejna, M.G.; Daniotti, B.; Cecconi, F. Re; Poli, T.; Rigamonti, G.; Jornet, A. & Teruzzi, T. (1999). *Experimental program to evaluate building components service life: first results on brickwork*, Eighth International Conference on Durability of Building Materials and Components 8 DBMC, Vancouver, Canada, May 30 – June 3, 1999, vol. 1, pp. 571-580.
- [8] Silva, D.A.; Roman, L.F.; Fredel, M.C. & Roman, H.R. (1999). ‘Theoretical analysis of thermal stresses of ceramic tile coating systems’, Eighth International Conference on Durability of Building Materials and Components 8 DBMC, Vancouver, Canada, May 30 – June 3, 1999, vol. 1, pp. 603-612.