



## INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES DO AÇO NA DURABILIDADE DO BETÃO ARMADO

M. J. Correia<sup>1</sup>, E. V. Pereira<sup>2</sup>, A. M. Baptista<sup>3</sup>, J. Filipe<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Materiais, LNEC, [mjmcorreia@Inec.pt](mailto:mjmcorreia@Inec.pt), <sup>2</sup>Departamento de Materiais, LNEC, [epereira@Inec.pt](mailto:epereira@Inec.pt),  
<sup>3</sup>Departamento de Estruturas, LNEC, [ambaptista@Inec.pt](mailto:ambaptista@Inec.pt), <sup>4</sup>Departamento de Estruturas, LNEC, [jfilipe@Inec.pt](mailto:jfilipe@Inec.pt)

### RESUMO

A durabilidade de estruturas de betão armado depende da eficiência das diferentes formas de prevenção e mitigação dos principais processos de degradação. A corrosão constitui um dos principais mecanismos de deterioração deste tipo de estruturas, sendo pertinente inovar em metodologias para a sua avaliação, modelação e previsão. Apesar da relevância e do desenvolvimento do estudo da corrosão do aço no betão registado nas últimas décadas, com a decorrente melhoria de conhecimento neste domínio, verifica-se ainda uma grande diversidade de metodologias na literatura, no que se refere à obtenção de parâmetros essenciais à previsão do tempo de vida das estruturas de betão armado.

Perante as presentes diretivas de melhoria de sustentabilidade na construção e na gestão deste tipo de estruturas, discute-se atualmente a existência de fatores que possam ser considerados críticos no desempenho de elementos de betão armado face à corrosão e que até à data não tenham sido devidamente ponderados, nomeadamente os referentes às características da interface aço/betão.

Nesta comunicação analisa-se a influência, na resistência à corrosão do aço em meio alcalino, das propriedades químicas e características microestruturais de diferentes ligas de aço por técnicas eletroquímicas não destrutivas. As diferenças registadas na resistência à corrosão das amostras de aço revelam ser determinadas pelas características das ligas, que são produzidas não só para conformidade com os presentes requisitos mas também para obtenção de propriedades mecânicas melhoradas.

Palavras-chave: Degradação / Resistência à corrosão / Propriedades químicas, mecânicas e microestruturais.



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

### 1. INTRODUÇÃO

A corrosão das armaduras de aço no betão, que é a causa mais comum de degradação das estruturas de betão armado, advém de condições que promovam a despassivação do aço. Geralmente, a nucleação e progressão da corrosão ocorrem em consequência da carbonatação do betão, devido à decorrente diminuição do pH para valores inferiores a cerca de 9, bem como ao ser atingido o teor crítico de cloretos ao nível da armadura.

Atualmente a durabilidade dum estrutura de betão armado é fundamentalmente determinada em função de medidas prescritivas impostas ao betão e de diferentes metodologias desenvolvidas com base no desempenho. Em particular, o teor crítico de cloretos do aço e o perfil de cloretos constituem os principais fatores incorporados nos modelos empregues para previsão de desempenho em particular para a corrosão induzida por iões cloreto (fib Bulletin No. 34, 2006; LNEC E465, 2007). Contudo, considerando o atual estado da arte, discute-se a existência e relevância de fatores que possam ser considerados críticos no comportamento de elementos de betão armado face à corrosão e que até à data não tenham sido devidamente ponderados, nomeadamente os referentes às características da interface aço/betão (RILEM TC 262-SCI). Estes fatores poderão justificar as diferenças encontradas no teor crítico de cloretos que, apesar de geralmente ser aceite como 0.2 % relativamente à massa de cimento, não reúne consensos.

No que se refere à durabilidade das estruturas de betão armado deve ser considerada não só a espessura e qualidade do recobrimento de betão mas também a resistência à corrosão do aço. Naturalmente esta resistência é determinada pelas características da interface que se forma entre o aço e o betão, bem como pelas propriedades químicas e microestruturais do aço.

As propriedades do aço são especialmente relevantes para a garantia de durabilidade, especialmente se a resistência à corrosão for uma das suas principais características, tal como se verifica para o aço inoxidável (Correia, M. J. *et al.*, 2012 e 2015; Louro, A. S. *et al.*, 2016). Enquanto que para o aço ligado a interdependência entre propriedades químicas, microestruturais, mecânicas e de resistência à corrosão é evidente, para o aço carbono este facto é normalmente descurado. Esta comunicação discute a relevância das propriedades de amostras de diferentes varões de aço carbono na sua resistência à corrosão, avaliada por técnicas eletroquímicas não destrutivas.



## **2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL**

O estudo efetuado incidiu sobre 4 amostras de varões de aço carbono, com distintas propriedades químicas e microestruturais, pertencentes a diferentes classes de resistência.

### **2.1. Ensaios químicos e microscópicos**

A análise química das amostras de varões de aço foi efetuada por espectrometria de emissão ótica por faísca, de acordo com a norma ASTM E 415-15.

Uma lupa estereoscópica Nikon SMZ800 foi utilizada na observação macrográfica. Para a caracterização microestrutural utilizaram-se um microscópio estereoscópico OLYMPUS modelo SZH 111 e um microscópio eletrónico de varrimento JEOL modelo JMS 6400, acoplado a um sistema de microanálise de raios X por dispersão de energia.

Os provetes para a caracterização microestrutural foram extraídos de varões nervurados de aço carbono, de distintos diâmetros (10 mm, 12 mm e 20 mm), sendo sucessivamente montados em resina condutora, polidos e atacados com nital a 3 %. O polimento foi efetuado com lixas de granulometria decrescente até P2500 (8.4  $\mu\text{m}$ ) e com pastas de diamante com 6  $\mu\text{m}$ , 3  $\mu\text{m}$ , 1  $\mu\text{m}$  (Struers).

### **2.2. Ensaios mecânicos**

Cada uma das amostras submetidas aos ensaios químicos e microscópicos fazia parte de um conjunto mais vasto de amostras provenientes de um mesmo vazamento de aço. Dois destes vazamentos eram referentes a varões de aço da classe de resistência A400 NR SD e os outros dois a varões de aço da classe de resistência A500 NR SD.

De cada um destes 4 conjuntos foram retirados provetes de varões que foram submetidos a ensaios mecânicos, com o objetivo de avaliar as características de resistência mecânica do aço carbono que os constitui.

Entre os vários tipos de ensaios realizados destaca-se o ensaio de tração, pela quantidade de informação fornecida. Com efeito, através deste ensaio é possível avaliar:

- a tensão de cedência superior,  $R_{eH}$  (ou, caso esta não exista, a tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2 %,  $R_{p0,2}$ );
- a tensão de rotura,  $R_m$ ;
- a relação  $R_m/R_{eH}$  (ou  $R_m/R_{p0,2}$ ), obtida em cada ensaio
- a relação  $R_{eH}/400$  (ou  $R_{p0,2}/400$ ), em cada ensaio de varões de aço A400 NR SD;
- a relação  $R_{eH}/500$  (ou  $R_{p0,2}/500$ ), em cada ensaio de varões de aço A500 NR SD;



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

- a extensão total na força máxima,  $A_{gt}$ .

Com base no conjunto dos resultados obtidos nos ensaios de tração de 10 provetes de cada uma das amostras é possível calcular a sua média, o desvio-padrão e o valor característico utilizado como referência na avaliação de cada uma das referidas características mecânicas.

### 2.3. Ensaios eletroquímicos não destrutivos

As amostras foram preparadas pelo mesmo processo utilizado para a caracterização microestrutural, sendo polidas, imediatamente antes de cada experiência, com abrasivos da Struers de distintas granulometrias até à categoria final, correspondente a  $1 \mu\text{m}$ . Para o desenvolvimento do estudo em solução alcalina foram construídos invólucros para os elétrodos de trabalho que permitiram definir uma área de trabalho de  $0.27 \text{ cm}^2$ .

Atendendo às dificuldades experimentais associadas ao estudo da corrosão no betão, devidas à heterogeneidade deste material, são frequentemente utilizadas soluções que simulam dum modo aproximado a solução intersticial dos poros no betão:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sat., KOH, NaOH e extratos cimentícios entre outras. Neste estudo em particular foi utilizada uma solução de NaOH e KOH, com 13.3 de pH, sendo no decorrer do tempo de exposição adicionadas quantidades específicas de cloreto de sódio de modo a simular a contaminação por iões cloreto.

A célula utilizada nos estudos eletroquímicos (Figura 1) é composta por três elétrodos (referência, trabalho e contra-elétrodo): como elétrodos de referência (RE) utilizaram-se elétrodos externos de calomelanos saturados (SCE) tipo XR300 (Radiometer Analytical); como elétrodos de trabalho (WE) foram utilizadas amostras das ligas em estudo; como contra-elétrodo (CE) foi utilizada uma rede de aço inoxidável 1.4436.

Para efetuar a monitorização do potencial em circuito aberto ( $E_{OC}$ ) utilizou-se um sistema de aquisição automática DataTaker DT505. Um potenciostáto da Gamry Instruments (REF600) foi utilizado para a aplicação dos diferentes métodos eletroquímicos não destrutivos.

Os ensaios em solução foram conduzidos, à temperatura ambiente ( $25 \pm 4^\circ\text{C}$ ), após exposição das amostras em solução aquosa alcalina, sem e com adição gradual de NaCl (0.2, 0.5, 0.7, 1.0, 1.5 e 2 %  $[\text{Cl}^-]$ ). A avaliação do desempenho das amostras em condições de circuito aberto foi efetuada periodicamente, cerca de 24 horas após serem expostas em solução alcalina e depois da adição das diferentes quantidades de cloreto de sódio, por medidas de resistência de polarização linear (LPR) utilizando uma velocidade de varrimento de  $0.0417 \text{ mV s}^{-1}$ , numa gama de potencial de -10 mV a +10 mV, relativamente a  $E_{OC}$ . Com



igual periodicidade foi efetuada espectroscopia de impedância eletroquímica (EIS), com aplicação de 10 mV *rms* em torno de  $E_{OC}$  numa gama de frequências de  $10^5$  a 0.01 Hz.

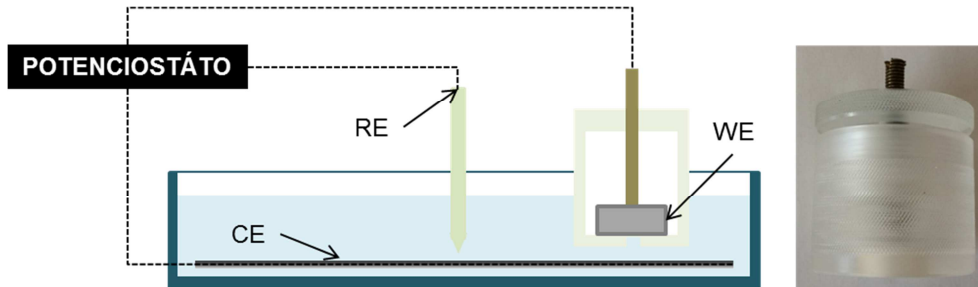


Figura 1 – Esquema da montagem experimental  
com pormenor do recetáculo do WE utilizado na célula eletroquímica.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Composição química

Os resultados da análise química de cada uma das amostras de aço carbono, apresentados na Tabela 1, são característicos do aço carbono. Atendendo ao objeto de estudo, apesar de não existirem diferenças apreciáveis no que se refere à composição química e, em particular, aos elementos químicos com potencial ação sobre a resistência à corrosão, são assinalados na Tabela 1 os valores máximos relativos de Cr, Mo, Ni, Cu e N. As amostras 3 e 4 são as que apresentam os teores mais elevados de alguns destes elementos, que são normalmente considerados benéficos para as características de resistência à corrosão. Por outro lado o S, que é reconhecidamente prejudicial, especialmente para a resistência à corrosão por picada, é menor na amostra 4.

Tabela 1 – Composição química e carbono equivalente (%) das amostras de aço carbono

Amostra	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	V	N	Ceq
1	0.19	0.151	0.83	0.017	0.037	0.118	0.021	0.140	0.37	0.0023	0.001	0.39
2	0.21	0.165	1.01	0.023	0.050	0.104	0.018	0.140	0.49	0.0029	0.008	0.44
3	0.19	0.148	0.76	0.019	0.040	<u>0.207</u>	0.018	0.131	<u>0.77</u>	0.0014	0.009	0.42
4	0.20	0.117	0.75	0.013	<u>0.016</u>	0.081	<u>0.035</u>	<u>0.213</u>	0.49	0.0013	<u>0.010</u>	0.40

#### 3.2. Caracterização microestrutural

A observação macrográfica das amostras após ataque químico permite evidenciar as diferenças microestruturais, existentes entre o centro e a periferia dos varões,



características do processo de fabrico (Tabela 2). É contudo de realçar que num dos casos (amostra 4) o endurecimento superficial não é uniformemente detetado na secção.

**Tabela 2 – Aspetos macrográficos e pormenores microestruturais observados nas amostras em secções de corte transversal**

Amostra	Periferia	Centro
1		
2		
3		
4		

A observação de secções de corte transversal ao eixo dos varões evidencia normalmente, uma matriz ferrítico-perlítica ao centro, uma microestrutura martensítica na periferia e uma microestrutura intermediária, determinada pelo processo de fabrico, na zona de transição. Como principal diferença assinala-se o maior tamanho de grão registado ao centro da



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

amostra 3, bem como uma maior razão de fases ferrítica/perlítica. Refere-se ainda, em particular, que a amostra 4 revela uma maior uniformidade na microestrutura em grande parte da secção transversal. Apesar de não ser recomendável em relação às propriedades mecânicas, a uniformidade de características microestruturais na área exposta (tal como avaliada no presente estudo) é normalmente considerada benéfica no que se refere à resistência à corrosão.

### 3.3. Propriedades mecânicas

A Tabela 3 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos 10 ensaios de tração dos provetes de varões provenientes de cada um dos vazamentos de onde foram retiradas as amostras (1 a 4) que foram submetidas aos ensaios químicos e microscópicos. Para cada conjunto de 10 resultados são apresentados os respetivos valor-médio, desvio-padrão e valor característico de cada uma das propriedades avaliadas.

**Tabela 3 – Características mecânicas dos aços  
das quatro amostras analisadas no presente estudo**

Amostra		$R_{eH}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	$R_m/R_{eH}$	$R_{eH}/400$	$R_{eH}/500$	$A_{gt}$ (%)
A500 NR SD	<b>Valor médio</b>	<b>562</b>	<b>655</b>	<b>1.17</b>		<b>1.12</b>	<b>10.2</b>
1	Desvio-padrão	17.3	16.9	0.009		0.035	0.85
	Valor característico	517*	612*	$\frac{1.15^{**}}{1.19^{***}}$		1.20***	8.5**
A500 NR SD	<b>Valor médio</b>	<b>539</b>	<b>642</b>	<b>1.19</b>		<b>1.08</b>	<b>11.7</b>
2	Desvio-padrão	7.3	6.5	0.011		0.015	0.88
	Valor característico	525*	625*	$\frac{1.18^{**}}{1.21^{***}}$		1.10***	9.1**
A400 NR SD	<b>Valor médio</b>	<b>443</b>	<b>574</b>	<b>1.29</b>	<b>1.11</b>		<b>16.8</b>
3	Desvio-padrão	3.7	4.4	0.007	0.009		1.6
	Valor característico	434*	563*	$\frac{1.28^{**}}{1.31^{***}}$	1.13***		13.5**
A400 NR SD	<b>Valor médio</b>	<b>453</b>	<b>570</b>	<b>1.26</b>	<b>1.13</b>		<b>14.2</b>
4	Desvio-padrão	10.4	8.0	0.017	0.026		2.05
	Valor característico	426*	549*	$\frac{1.22^{**}}{1.29^{***}}$	1.19***		10.0**

Notas:

\* Valor característico referente ao quantilho de 5 %

\*\* Valor característico referente ao quantilho de 10 %

\*\*\* Valor característico referente ao quantilho de 90 %



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

O cálculo do valor característico teve em consideração o número ( $n=10$ ) de ensaios efetuados; conforme a propriedade em questão, são indicados os valores característicos referentes aos quantilhos de 5 %, 10 % ou 90 %, em conformidade com o estipulado nas Especificações LNEC E 455:2010 e LNEC E 460:2010, aplicáveis a varões de aço das classes de resistência A400 NR SD e A500 NR SD.

A análise dos resultados apresentados na Tabela 3 permite concluir que todos eles respeitam as exigências estipuladas nas Especificações LNEC aplicáveis.

É possível constatar que os varões de aço A500 NR SD da amostra 1 apresentam, em média, valores mais elevados de resistência ( $R_{eH}$  e  $R_m$ ) e mais baixos de ductilidade ( $A_{gt}$ ) que os varões da amostra 2; no entanto, graças à menor dispersão dos seus resultados (desvios-padrão mais baixos), os valores característicos referentes ao quantilho de 5 % de  $R_{eH}$  e  $R_m$  da amostra 2 são superiores aos da amostra 1. Pela mesma razão, o valor característico referente ao quantilho de 5 % de  $R_{eH}$  dos varões de aço A400 NR SD da amostra 3 também é superior ao da amostra 4, apesar de o valor médio de  $R_{eH}$  dos varões da amostra 4 ser mais elevado. Os varões da amostra 3 apresentam os maiores valores da extensão total na força máxima,  $A_{gt}$ .

### 3.4. Resistência à corrosão

Os resultados de monitorização de potencial em circuito aberto mostram uma evolução ao longo do tempo no sentido anódico, apresentando uma estabilização progressiva e independente da concentração de cloreto de sódio para todas as amostras, até ao ponto em que se atinge o potencial crítico (Figura 2). O teor de cloretos que a solução apresenta nesse instante é considerado como o valor crítico máximo a que a amostra resistirá em condições de circuito aberto, à temperatura ambiente e para um valor de pH de 13.3.

Salienta-se que a amostra 4 não ativou, apesar de o teor máximo de cloretos em solução ser de 2%. Esta amostra exhibe também ao longo do tempo de exposição os valores menos nobres de potencial em circuito aberto.

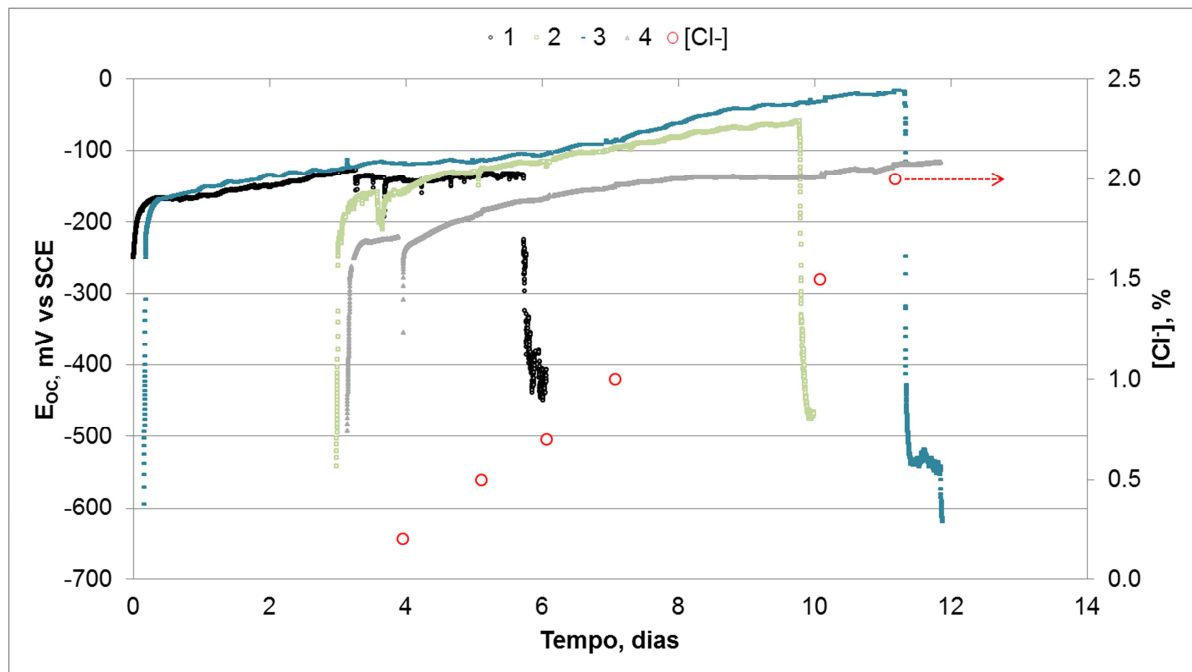
Verifica-se porém que algumas amostras demonstram sinais de instabilidade, mostrando um decréscimo momentâneo de potencial, por vezes verificado imediatamente após o incremento de  $[Cl^-]$  na solução.

A observação dos espetros de EIS ao longo do tempo corrobora a evolução característica da manutenção da passivação, mesmo após a adição de NaCl à solução alcalina, até ao





momento em que se regista a ativação da amostra, tal como ilustrado para a amostra 2 na Figura 3.



**Figura 2 – Resultados de monitorização de potencial em circuito aberto ( $E_{oc}$ ) das amostras de varões de aço carbono.**

A resistência de polarização das distintas amostras em estudo geralmente aumenta ao longo do tempo de exposição em solução, até ao momento da nucleação e propagação da corrosão. Uma vez atingido o valor do teor crítico de cloretos, para cada uma das amostras, a resistência de polarização diminui para valores inferiores a  $0.1 \text{ M}\Omega\text{cm}^2$ .

Em síntese, a amostra 1 apresenta menores valores de potencial de picada e de teor crítico de cloretos, seguida pela amostra 2 e finalmente pela 3 (Tabela 4). A amostra 4 resistiu à corrosão nas condições de ensaio, que foram conduzidas até um máximo de 2 % de teor de cloretos.

Salienta-se que a observação macrográfica das amostras após ensaio permitiu verificar que a amostra 4 foi exposta numa região central com uniformidade microestrutural, enquanto que nas restantes amostras se registou a exposição simultânea de matriz ferrítico-perlítica e de transição ou martensítica.



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

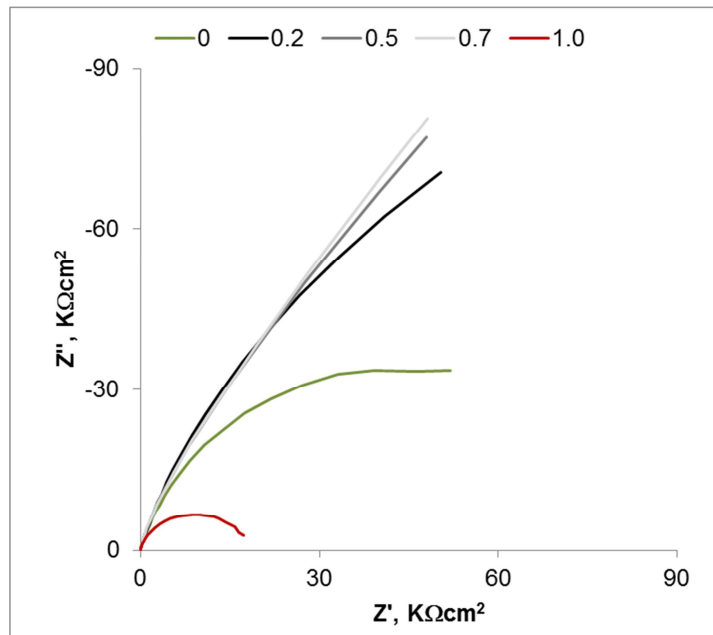


Figura 3 – Diagramas de Nyquist da amostra 2, no decurso de exposição em solução, antes e após adição de cloreto de sódio: 0, 0.2, 0.5, 0.7 e 1.0 %  $[Cl^-]$ .

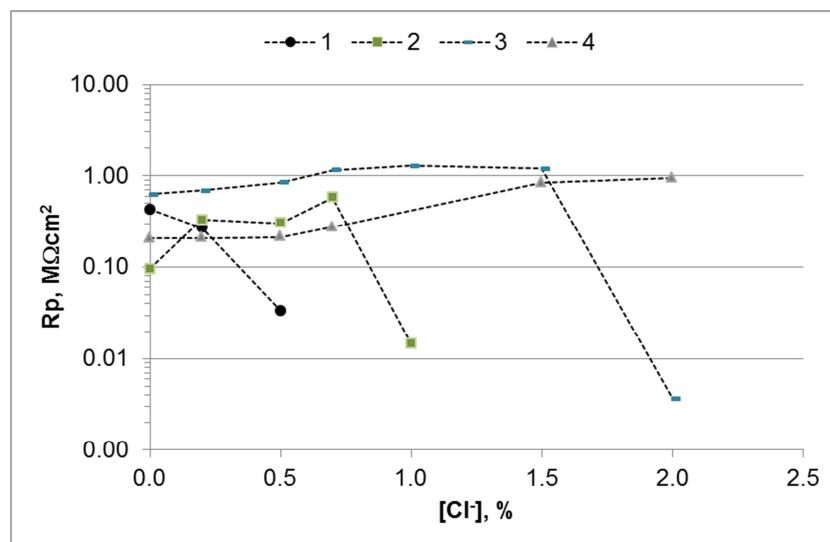


Figura 4 – Resistência de polarização avaliada no decurso do estudo.



**Tabela 4 – Teor crítico de cloretos (%) e potencial crítico de picada (mV vs SCE) de cada uma das amostras em estudo, imersas em solução alcalina (pH 13.3) contaminada com cloreto de sódio, à temperatura ambiente.**

Amostra	[Cl <sup>-</sup> ] %	E <sub>p</sub> mV vs SCE
1	0.5	-130
2	1.0	-58
3	2.0	-16
4	>2	-

#### 4. DISCUSSÃO

A avaliação integrada dos resultados de resistência à corrosão, obtidos pelas diferentes técnicas eletroquímicas não destrutivas, revela uma progressão similar das amostras de aço carbono ao longo do tempo de exposição em solução, embora com distinta resistência à corrosão. Foram registadas diferenças apreciáveis entre as amostras no que se refere aos parâmetros comparativos considerados neste estudo, nomeadamente no teor crítico de cloretos e no potencial de picada.

A comparação destes valores com a composição química das amostras e, em particular, com os elementos que poderão ser determinantes no que se refere à resistência à corrosão, mostra que as amostras com melhor desempenho são as que contêm maiores teores dos elementos químicos considerados benéficos para a resistência à corrosão (Tabela 5). A amostra 4 é a que reúne uma série de particularidades que são vantajosas para a resistência à corrosão, tais como a uniformidade microestrutural na área avaliada e o menor teor de enxofre, que poderão justificar o melhor comportamento relativo desta amostra. As restantes três amostras denotam uma correlação entre a soma dos teores dos elementos químicos mais relevantes e o teor crítico de cloretos, constituindo uma forte evidência dos pressupostos de base ao desenvolvimento do presente estudo.

É natural que o varão do qual é proveniente a amostra 4 tivesse um comportamento diferente se a área em estudo integrasse a globalidade da secção. Em particular, a avaliação simultânea das distintas fases microestruturais deverá aumentar a vulnerabilidade à corrosão.



**Tabela 5 – Integração dos resultados, relevantes para a resistência à corrosão, de composição química (%) e de teor crítico de cloretos (%).**

Amostra	S	Cr	Mo	Ni	Cu	(Cr+Mo+Ni+Cu)	N	[Cl]
1	0.037	0.118	0.021	0.140	0.37	0.65	0.001	0.5
2	0.050	0.104	0.018	0.140	0.49	0.75	0.008	0.7
3	0.040	<u>0.207</u>	0.018	0.131	<u>0.77</u>	1.13	0.009	2.0
4	<u>0.016</u>	0.081	<u>0.035</u>	<u>0.213</u>	0.49	0.82	<u>0.010</u>	>2

As condições e parâmetros utilizados no estudo foram projetados e otimizados para se tentar avaliar fundamentalmente a eventual influência de fatores potencialmente críticos, relativos à microestrutura e composição química de amostras de varões de aço carbono. Para efeitos de quantificação e avaliação de tendência, cada um dos fatores deveria idealmente ser avaliado independentemente dos restantes. Contudo, neste caso, a metodologia empregue foi adotada apenas para se averiguar se a existência de diferenças nos varões de aço carbono produzidos atualmente, mesmo sendo mínimas, determinam um comportamento de resistência à corrosão diferenciado.

Na prática, o desempenho do aço carbono nas estruturas de betão armado está sob o efeito de diferentes fatores, tais como a condição superficial e as características da camada de calamina, bem como da interface que se forma entre o aço e o betão e, portanto, também das propriedades do betão.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido, cujo principal objetivo consistia na verificação da possível influência das características químicas e microestruturais de varões de aço carbono na respetiva resistência à corrosão, corroborou este efeito no teor crítico de cloretos de determinados elementos químicos, normalmente considerados benéficos. A uniformidade da matriz exposta e a diminuição de elementos considerados nefastos também poderá estar na origem de um comportamento melhorado de resistência à corrosão.

Os resultados de resistência à corrosão apresentados são resultados preliminares de um estudo atualmente em curso e cuja planeada validação deverá incluir a recolha de dados suficientes para viabilizar a respetiva análise estatística. Considera-se contudo que, não só com os indícios apresentados nesta comunicação, mas também pelo facto da abordagem adotada refletir as atuais conjunturas surgem novas linhas de investigação com



## IIº Encontro Luso-Brasileiro de Degradação de Estruturas de Betão

Lisboa • LNEC • 27 a 29 de setembro de 2016



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

potencialidade de desenvolvimento no âmbito da durabilidade das estruturas de betão armado e proporcionando oportunidades de progresso para a indústria do aço.

Entretanto, importa avaliar com maior detalhe em que medida pequenas diferenças na composição química e na microestrutura dos varões de aço carbono se refletem no comportamento do elemento sob os efeitos da conjugação de todos os restantes fatores determinantes da resistência à corrosão e, como tal, condicionantes da durabilidade das estruturas de betão armado.

### 6. REFERÊNCIAS

ASTM E415 – 15 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015, [www.astm.org](http://www.astm.org).

Correia, M. J., Nóvoa, X. R., Salta, M. M., 2012. Smart & green structural and repair materials: TR 1 – Stainless steel rebars, LNEC, Lisbon.

Correia, M. J., Salta, M. M., 2015. Aço inoxidável na construção e reabilitação sustentáveis; CONPAT 2015; Lisboa, Portugal.

fib Bulletin No.34, 2006: Model Code for Service Life Design, Lausanne.

LNEC E 455-2010: Varões de aço A400 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação.

LNEC E 460-2010: Varões de aço A500 NR de ductilidade especial para armaduras de betão armado. Características, ensaios e marcação.

LNEC E 465-2007: Betões. Metodologia para estimar as propriedades de desempenho do betão que permitem satisfazer a vida útil de projecto de estruturas de betão armado ou pré-esforçado sob as exposições ambientais XC e XS.

Louro, A. S.; Correia, M. J.; Matos, A., Baptista, A. M., 2016. Seleção de varões de aço inoxidável - características mecânicas e de durabilidade; Degrada 2016, Lisboa, Portugal.

RILEM TC 262-SCI Effects of steel/concrete interface characteristics on chloride-induced corrosion initiation; Draft paper (atualmente em preparação).