

A IMPORTÂNCIA DO ENSINO DA CORROSÃO NAS ESCOLAS

J.P. Correia¹, J.C.S. Fernandes²

¹ CQE-IMS, Departamento de Química e Bioquímica, FCUL, Universidade de Lisboa, Lisboa (jorge.correia@fc.ul.pt)

² CQE-IMS, Departamento de Engenharia Química, IST, Universidade de Lisboa, Lisboa (joao.salvador@tecnico.ulisboa.pt)

UM PROBLEMA SILENCIOSO COM IMPACTO GLOBAL

A corrosão é um fenómeno natural, onnipresente e inevitável, resultante da interacção dos materiais - em particular dos metais - com o meio que os envolve. Apesar de frequentemente associada a imagens banais, como ferrugem em estruturas metálicas ou degradação de objectos do quotidiano, a corrosão constitui um problema técnico, económico e social de enorme relevância. Os seus efeitos estendem-se muito para além do incómodo visual ou da perda estética: afectam a segurança de pessoas e infra-estruturas, a fiabilidade de equipamentos, a sustentabilidade ambiental e a competitividade económica das organizações.

Estudos internacionais amplamente reconhecidos, como o relatório *Corrosion Costs - IMPACT* da NACE International [1], demonstram de forma inequívoca que os custos globais associados à corrosão representam, em média, cerca de 3 a 4% do Produto Interno Bruto dos países industrializados, correspondendo a valores anuais de vários biliões de euros à escala mundial. Estes custos incluem não apenas a substituição de materiais e equipamentos degradados, mas também perdas de produção, interrupções de serviço, acidentes, impactos ambientais e custos indirectos associados à ineficiência dos sistemas. Importa sublinhar que uma fracção significativa destes custos - estimada em cerca de 15 a 35 %, dependendo do sector e do tipo de infra-estrutura - poderia ser evitada através da aplicação adequada de princípios de prevenção, selecção correcta de materiais, projecto apropriado e manutenção informada.

EXEMPLOS PORTUGUESES E EUROPEUS: INFRA-ESTRUTURAS, INDÚSTRIA E PATRIMÓNIO

No contexto português e europeu, os efeitos da corrosão são particularmente evidentes em áreas estratégicas. Infra-estruturas como pontes, viadutos, estruturas portuárias, redes de distribuição de água e energia ou sistemas ferroviários estão continuamente expostas a ambientes agressivos, desde atmosferas mari-

nhas até ambientes industriais e urbanos poluídos. A degradação por corrosão nestes sistemas conduz a custos elevados de manutenção correctiva, a limitações de serviço e, em casos extremos, a riscos para a segurança pública, obrigando a intervenções de emergência muito mais dispendiosas do que uma abordagem preventiva sustentada em conhecimento técnico.

Na indústria europeia, incluindo sectores fortemente representados em Portugal - como a energia, a petroquímica, a pasta de papel, a metalomecânica ou a indústria transformadora - a corrosão é uma das principais causas de falhas de equipamentos, paragens não planeadas e redução da eficiência operacional. Estas consequências traduzem-se em perdas económicas significativas, tanto directas como indirectas, afectando a competitividade das empresas num mercado global cada vez mais exigente.

Um domínio frequentemente menos valorizado, mas de enorme relevância cultural e económica, é o do património histórico e artístico. Monumentos, esculturas metálicas, elementos arquitectónicos e objectos patrimoniais sofrem processos de corrosão e degradação que, quando não devidamente compreendidos e controlados, podem conduzir à perda irreversível de bens culturais. A conservação do património exige, por isso, conhecimentos específicos sobre mecanismos de corrosão, compatibilidade de materiais e estratégias de protecção, reforçando a necessidade de formação nesta área também nos cursos ligados à conservação e restauro.

Neste contexto, a corrosão não deve ser encarada como um problema meramente técnico, restrito a especialistas, mas como uma questão estratégica para a sociedade. A sua mitigação exige conhecimento, planeamento e uma cultura técnica sólida, que só pode ser alcançada através da formação e da educação.

ARTIGO

CONHECIMENTO COMO FERRAMENTA ESSENCIAL NO CONTROLO DA CORROSÃO

A experiência acumulada ao longo de décadas mostra que a maioria das falhas por corrosão não resulta da inexistência de soluções técnicas, mas sim da falta de conhecimento ou da sua aplicação inadequada. Em sectores como a energia, os transportes, a indústria química ou as infra-estruturas públicas, os custos associados a paragens não planeadas, reparações de emergência e acidentes podem superar largamente o investimento necessário numa estratégia preventiva baseada em conhecimento técnico sólido. Erros de projecto, escolhas incorrectas de materiais, desconhecimento dos mecanismos de corrosão ou ausência de estratégias de protecção são, frequentemente, a origem de problemas graves e dispendiosos.

Para um controlo eficaz da corrosão - tanto ao nível da sociedade em geral como no contexto empresarial, em particular nas empresas industriais - é indispensável que exista uma base sólida de conhecimento. Este conhecimento deve abranger não apenas os especialistas directamente envolvidos na concepção e manutenção de equipamentos, mas também gestores, decisores e técnicos de diferentes áreas, que influenciam escolhas estratégicas com impacto directo na durabilidade e segurança dos sistemas.

A formação em corrosão contribui para decisões mais informadas, para a optimização do ciclo de vida dos materiais e para a adopção de soluções mais sustentáveis. Estudos de análise de ciclo de vida demonstram que investimentos relativamente modestos em formação e prevenção permitem reduzir significativamente os custos totais de equipamentos e estruturas, ao longo de décadas de serviço. Num contexto em que a eficiência de recursos e a transição para uma economia mais sustentável são prioridades globais, ignorar a corrosão significa aceitar desperdício, risco e custos evitáveis.

O PAPEL FUNDAMENTAL DA ESCOLA NA FORMAÇÃO PARA A CORROSÃO

A educação desempenha um papel central na construção deste conhecimento. O ensino da corrosão deve ser entendido como um processo progressivo, iniciado com noções básicas nos níveis de ensino pré-universitários e aprofundado de forma estruturada no ensino superior.

Nos últimos anos do ensino básico e, sobretudo, no ensino secundário, é perfeitamente possível introduzir conceitos fundamentais relacionados com materiais, reacções químicas, interacção com o ambiente e degradação ao longo do tempo. A corrosão pode ser apresentada como

um exemplo concreto e próximo da realidade dos alunos, permitindo articular conteúdos de Química, Física e Ciências dos Materiais com problemas do quotidiano e da sociedade. Esta abordagem contribui não apenas para a literacia científica, mas também para a formação de cidadãos mais conscientes dos desafios técnicos e ambientais que os rodeiam.

No ensino superior, em particular nos cursos de engenharia, ciências dos materiais, química, física, conservação e restauro, entre outros, o ensino da corrosão assume uma importância ainda mais crítica. Nestes níveis, é essencial que os estudantes adquiram uma compreensão aprofundada dos mecanismos de corrosão, das metodologias de avaliação, das técnicas de protecção e das normas e boas práticas aplicáveis. Dependendo do curso e dos objectivos formativos, este ensino pode assumir a forma de unidades curriculares específicas ou estar integrado em disciplinas mais gerais, desde que a sua relevância e profundidade não sejam descuradas.

SITUAÇÃO ACTUAL E NECESSIDADE DE DIAGNÓSTICO

Apesar da reconhecida importância do tema, a presença do ensino da corrosão nos currículos do ensino superior não é homogénea. Em algumas instituições e cursos, a corrosão é tratada de forma aprofundada e estruturada; noutros casos, surge apenas de forma marginal ou dispersa, integrada em disciplinas mais abrangentes, sem o destaque que a sua relevância justificaria.

Neste sentido, promoveu-se um inquérito aos estabelecimentos de ensino superior portugueses, com o objectivo de recolher informação sistematizada sobre o ensino da corrosão no país. Este levantamento procura identificar se a matéria é leccionada, em que cursos, através de disciplinas próprias ou no âmbito de unidades curriculares mais gerais, bem como o número de horas lectivas e os conteúdos abordados. Os resultados deste inquérito serão fundamentais para compreender o panorama nacional, identificar lacunas e apoiar a definição de estratégias para o reforço do ensino da corrosão em Portugal.

METODOLOGIA DO ESTUDO

O inquérito, sob a forma de um formulário Google, foi enviado para 56 destinatários, representando cursos de Engenharia (Química, Civil, Mecânica, Materiais), Química, Química Aplicada, Química Industrial, Física e Química, Conservação e Restauro, entre outros, disponibilizados pelas universidades e institutos politécnicos do continente e ilhas. Para tal

utilizou-se o Índice por Instituição e Curso, disponibilizado na página web da Direcção Geral do Ensino Superior [2]. Dentro do possível, os convites à participação no inquérito foram dirigidos aos responsáveis pelos cursos, mas, atendendo à possível alteração das coordenações de curso, foi-lhes solicitado o reencaminhamento do pedido para outros colegas, quando justificado.

O inquérito era constituído por três secções. Na primeira pedia-se a identificação da escola e do declarante, perguntando-se se na sua escola é leccionada alguma matéria de Corrosão (em caso negativo, passava-se automaticamente para a última secção). Na segunda secção (questionário principal), era feita a introdução da Unidade Curricular (UC) (nome da unidade, responsável, curso, ciclo e ano), perguntando-se se se trata de uma UC isolada, apenas dedicada à Corrosão, se a UC inclui componente laboratorial no domínio da Corrosão, o número de ECTS dedicado ao tópico da Corrosão e um breve resumo do seu conteúdo programático.

Finalmente, a terceira secção permitia a introdução de um outro contacto para reencaminhamento do pedido de preenchimento do inquérito.

Foram recebidas 27 respostas, lamentando-se a ausência de algumas escolas de referência, cuja contribuição teria sido bem-vinda.

PRINCIPAIS RESULTADOS

De acordo com as respostas recebidas, o ensino da Corrosão é feito na quase totalidade das escolas que responderam ao inquérito, mas é de acreditar que aquelas que não responderam correspondam aos casos em que não existe essa componente de ensino. Dentro das respostas positivas, elas distribuem-se de forma equitativa pelas universidades e pelos institutos politécnicos (Figura 1A), podendo ocorrer em diferentes níveis de ensino, desde a licenciatura (com 46% das respostas no 1º ano, 4% no 2º ano e 29% no 3º ano) até ao mestrado (21%) (Figura 1B)

As unidades curriculares reportadas pertencem maioritariamente a cursos de engenharia, com a Engenharia Mecânica em primeiro lugar (34%), seguida pela Engenharia Química (22%) e pela Engenharia Civil e Engenharia de Materiais (ambas com 12%). Surgem ainda em cursos de Química, Tecnologia Biomédica e Tecnologias de Energia (Figura 2A).

Como se pode verificar na Figura 2B, as unidades curriculares podem ser inteiramente dedicadas ao ensino da Corrosão (25%) ou apenas compreender um capítulo de Corrosão (75%). O

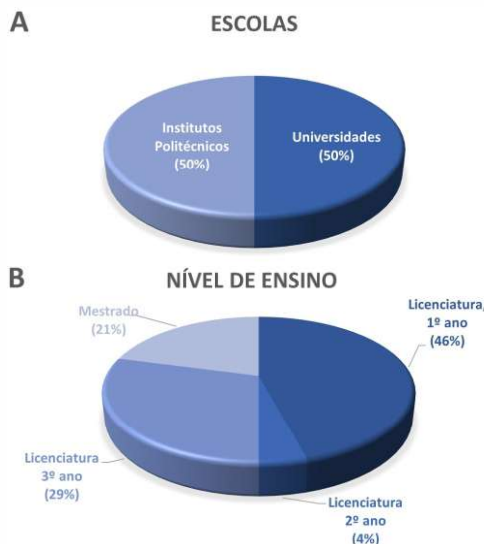


FIGURA 1
Distribuição das unidades curriculares de ensino da Corrosão por tipo de ensino (A) e por nível de ensino (B)

segundo caso verifica-se, por exemplo, em unidades de Química Geral, muitas vezes transversais à maioria dos cursos de engenharia de uma escola. Por outro lado, as UC's podem apenas incluir matéria teórica ou teórico-prática ou conter também uma componente laboratorial, verificando-se, um pouco contra o que seria de esperar, que é nas unidades não dedicadas que prevalece a componente laboratorial (46% com laboratórios contra 29% sem, enquanto nas unidades dedicadas se tem igual número de UC's com e sem laboratórios). Note-se, contudo, que na maioria dos casos não foi disponibilizada a informação sobre a carga horária atribuída à componente laboratorial.

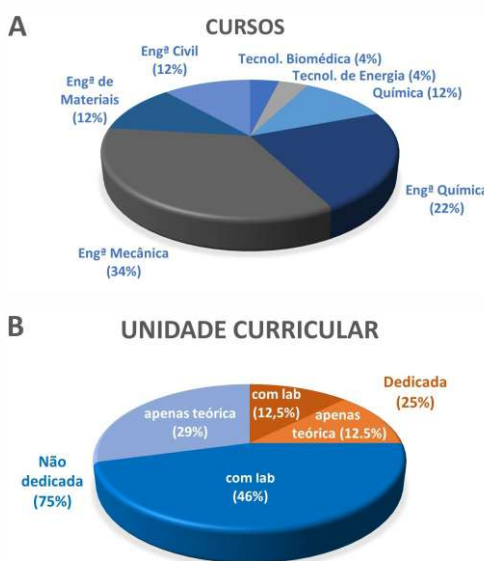


FIGURA 2
Distribuição das unidades curriculares de ensino da Corrosão por cursos (A) e sua caracterização (B)

A carga de trabalho que um estudante deve dedicar a uma unidade curricular é correntemente medida através de créditos ECTS (Sistema Europeu de Transferência e Acumulação de Créditos), que reflectem o tempo necessário para concluir unidades curriculares, incluindo trabalho autónomo e de contacto, sendo que normalmente um crédito ECTS representa entre 25 e 30 horas de trabalho total (aulas, projectos, estudo). Um ano de estudos a tempo inteiro equivale normalmente a 60 ECTS e, assumindo que se divide em dois semestres com 5 UC's cada, as UC's mais comuns terão 6 créditos. Contudo, muitas vezes opta-se por ter UC's com menor carga horária e de trabalho total, às quais são atribuídos 3 créditos ECTS.

Das respostas ao presente inquérito conclui-se que o número médio de créditos ECTS correspondentes ao ensino da Corrosão depende, em primeiro lugar, dos cursos em que é leccionada (Figura 3A). Assim, a média mais elevada regista-se nos cursos de Química e Engenharia de Materiais (4), seguindo-se Engenharia Química e Engenharia Mecânica (2), Engenharia Civil (1) e outros cursos (0,5).

Corrosão não ser dedicado, estando integrado em unidades curriculares de formação mais geral. No 3º ano da licenciatura já é mais comum a existência de UC's mais especializadas e, nesse caso, o número médio de créditos torna-se superior (2,8), o que se torna ainda mais claro quando o ensino da Corrosão acontece no 1º ano do mestrado, onde se leccionam matérias mais especializadas e com maior detalhe, correspondendo ao máximo valor médio de ECTS (4,7).

Quanto aos temas abordados nas diferentes unidades curriculares, estes seguem em geral a mesma estrutura, salvaguardadas as diferenças devidas às várias cargas lectivas e ao grau de detalhe que elas impõem. No programa mais completo, podem distinguir-se os seguintes capítulos:

1. Importância social e económica da corrosão.
2. Fundamentos electroquímicos da corrosão termodinâmica e cinética da corrosão.
3. Passivação.
4. Tipos de corrosão e seus mecanismos.
5. Meios agressivos: corrosão atmosférica; corrosão na água, em solos, betão.
6. Monitorização da corrosão: exposição natural; ensaios acelerados; métodos electroquímicos.
7. Protecção anti-corrosiva: selecção de materiais; princípios de projecto; inibidores de corrosão; protecção catódica, protecção anódica e protecção conjugada; revestimentos (preparação de superfícies, revestimentos orgânicos; revestimentos inorgânicos metálicos e não metálicos).

Contudo, a maioria das unidades curriculares apresenta programas mais reduzidos, embora com o mesmo tipo de organização.

FORMAÇÃO AO LONGO DA VIDA E O PAPEL DAS SOCIEDADES CIENTÍFICAS

Para além da formação inicial proporcionada pelas escolas e universidades, a aprendizagem em corrosão deve ser encarada como um processo contínuo. A evolução dos materiais, das tecnologias e das exigências regulamentares torna indispensável a actualização permanente de conhecimentos por parte dos profissionais. Neste domínio, as acções de formação e divulgação promovidas por entidades científicas e técnicas desempenham um papel crucial. Um exemplo relevante é o trabalho desenvolvido pela Divisão Técnica de Corrosão e Protecção de Materiais da Sociedade Portuguesa de Materiais [3], cujo objectivo é precisamente alertar para o impacto da corrosão e promover a formação nesta área. Através de cursos, seminários, workshops e iniciativas de sensibilização, estas acções contribuem para a difusão de boas

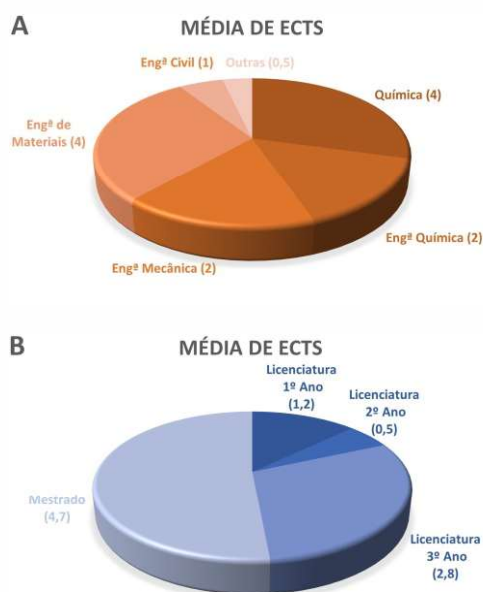


FIGURA 3
Distribuição dos valores médios de créditos ECTS das unidades curriculares de ensino da Corrosão por cursos (A) e por nível de ensino (B)

práticas, para a aproximação entre o meio académico e o sector industrial e para o reforço da cultura técnica associada à durabilidade e protecção dos materiais.

CONCLUSÃO: INVESTIR NA EDUCAÇÃO PARA REDUZIR CUSTOS E RISCOS

A corrosão é um problema inevitável, mas os seus efeitos não são. Uma parte substancial dos custos económicos, dos riscos para a segurança e dos impactos ambientais associados à corrosão pode ser reduzida através do conhecimento e da prevenção. Investir no ensino da corrosão é, por isso, investir na eficiência, na segurança e na sustentabilidade.

Defender a inclusão e o reforço do ensino da corrosão nas escolas - desde uma introdução contextualizada nos níveis básicos e secundários até uma formação sólida e especializada no ensino superior - é defender uma sociedade mais informada e preparada para enfrentar desafios técnicos complexos. É também contribuir para empresas mais competitivas, infra-estruturas mais duráveis e uma gestão mais responsável dos recursos.

Num mundo em que os custos da corrosão continuam a representar um peso significativo para a economia global - frequentemente comparável ou superior ao investimento anual em investigação e desenvolvimento de muitos países - a educação surge como uma das ferramentas mais eficazes para transformar um problema silencioso numa oportunidade de melhoria contínua.

Do inquérito realizado, conclui-se que a temática da Corrosão é contemplada na maior parte dos currícula de cursos de engenharias e tecnologias em Portugal, fornecendo aos alunos as ferramentas para a reconhecer, contabilizar e prevenir, ou, pelo menos, quando os conhecimentos o não permitem, para saber que se torna necessária uma intervenção, preventiva ou curativa, para lidar com os seus efeitos.

REFERÊNCIAS

- [1] IMPACT Report - International Measures of Prevention, Application and Economics of Corrosion Technologies Study, NACE International (Houston, USA), <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf> (último acesso a 09/03/2026)
- [2] Índice por Instituição e Curso, Direcção Geral do Ensino Superior, <https://www.dges.gov.pt/guias/indest.asp> (último acesso a 05/03/2026)
- [3] Divisão Técnica de Corrosão e Protecção de Materiais (DTCPM) - Sociedade Portuguesa de materiais, <https://www.dtcpm.pt/> (último acesso a 05/03/2026)