

# Corrosão & Proteção

Revista da Associação Brasileira de Corrosão • ISSN 0100-1485 • Ciência e Tecnologia em Corrosão

Ano 17 | nº 73 | jan/fev/mar/abr 2021

  
**ABRACO**  
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO

**Preservar as  
estruturas  
de concreto é  
fundamental  
para a sociedade**

A **Revista Corrosão & Proteção** é uma publicação oficial da ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão, fundada em 17 de outubro de 1968.

ISSN 0100-1485

#### DIRETORIA EXECUTIVA ABRACO

**Biênio 2017/2018**

##### Presidente

Zehbour Panossian - IPT

##### Vice-presidente

Neusvaldo Lira de Almeida - IPT

##### Diretores

Danilo Natalio Sanches – ZINCOLIGAS

Carlos Roberto Patrício – BBOSCH

Diego Gonzalo Hita – HITA

Emilio Duarte Lana Junior - DEEPWATER

Wilson Silvestre Rezende de Oliveira

– INDIVIDUAL

##### Conselho Editorial

Dra. Célia Aparecida Lino dos Santos

Aldo Cordeiro Dutra – ABRACO

Caroline Sousa – ABRACO

Laerce de Paula Nunes – IEC

#### REVISTA CORROSÃO & PROTEÇÃO

##### Revisão Técnica

Aldo Cordeiro Dutra – ABRACO

Dra. Célia Aparecida Lino dos Santos

##### Jornalista Responsável

Luis Monteiro (Mtb 17055/RJ)

##### Redação e Publicidade

ABRACO – Associação Brasileira de Corrosão

##### Fotografias

Arquivo ABRACO, arquivos pessoais, Can Stock Photo, Depositphotos, Dollar Photo, Fotos Públicas, Pexels, Shutterstock e Stock Unlimited.

A **Revista Corrosão & Proteção** é um veículo eletrônico concebido, desenvolvido e editado pela ABRACO. O periódico é publicado trimestralmente no site da Associação ([www.abraco.org.br/revistas](http://www.abraco.org.br/revistas)). A ABRACO não se responsabiliza, nem de forma individual, nem de forma solidária, pelas opiniões, ideias e conceitos emitidos nos textos, por serem de inteira responsabilidade de seus autores.

## Nesta edição

### 03 Editorial

### 04 GRANDES NOMES DA CORROSÃO

Dra. Idalina Vieira Aoki

### 07 ARTIGO TÉCNICO

Proteção Catódica de Tanques de Armazenamento de Água, Petróleo e Derivados

*Luiz Paulo Gomes*

### 15 ARTIGO CIENTÍFICO

Proposta de estudo de técnicas não destrutivas para determinação do teor de umidade interna do concreto

*Lucas C. Nascimento, Adriana de Araújo, Kléber J. Oliveira, Rafael F. C. dos Santos, Valdecir A. Quarcioni*

### 26 ARTIGO CIENTÍFICO

Distintas formas de corrosão das armaduras de estruturas em concreto armado: uma revisão

*Tatiana Conceição Machado Barretto, Igor Machado da Silva Parente*

### 34 Notícias ABRACO

### 37 OPINIÃO ASSOCIADO

Corrosão: um dos maiores vilões da indústria

### 38 Empresas associadas





# Atuação contínua

A Pandemia pela qual estamos passando não impediu que a ABRACO continuasse cumprindo seus objetivos de forma brilhante.

Assim, preceitua a missão da Associação Brasileira de Corrosão - ABRACO: difundir e desenvolver o conhecimento da corrosão e da proteção anticorrosiva, congregando empresas, entidades e especialistas e contribuindo para que a sociedade possa ter a garantia da integridade estrutural dos seus ativos, proteger as pessoas e o meio ambiente, dos efeitos da corrosão.

Para que esta missão seja cumprida a Associação congrega especialistas, centros de pesquisas, universidades e empresas devotadas ao estudo e ao combate à corrosão, realizando cursos, eventos, reuniões técnicas, fóruns de discussão, dentre outras iniciativas, particularmente no campo da normalização técnica.

Dentro deste contexto, os eventos assumem papel fundamental na atuação da ABRACO, desde os setoriais, como Seminário Brasileiro de Pintura Anticorrosiva (SBPA), Seminário Brasileiro de Proteção Catódica (SBPC), Seminário de Galvanização, Seminário de Corrosão Interna, Inibidores e Biocidas, Seminário de Revestimento de Dutos, dentre outros, até o nosso grande evento o INTERCORR e neste ano o ICC (Congresso Internacional de Corrosão) associado ao WCO (World Corrosion Organization) e também ao nosso tradicional INTERCORR.

São também muito importantes os cursos ministrados por intermédio da tecnologia de EAD e as diversas modalidades de qualificação e certificação.

A revista da ABRACO continua abordando temas da maior relevância para os corrosionistas, como por exemplo, nesta oportunidade que estamos tratando de um assunto extremamente importante para a sociedade brasileira - a corrosão e a proteção anticorrosiva de armaduras de aço inseridas no concreto.

Na ABRACO, portanto, profissionais de empresas, universidades e institutos de pesquisas têm a oportunidade de realizar intercâmbio de informações, divulgando estudos e avanços tecnológicos da corrosão em suas mais variadas formas de controle e de prevenção.

Assim, continuamos firmes, na certeza de estarmos construindo um futuro promissor para o País.

**Conselho Editorial**

GRANDES NOMES DA CORROSÃO

Dra. Idalina Vieira Aoki

Por Laerce de Paula Nunes e Aldo Cordeiro Dutra



# Uma importante professora e pesquisadora da corrosão no Brasil

A Dra. Idalina Aoki é uma consagrada professora universitária e pesquisadora brasileira, devotada ao estudo da corrosão e da eletroquímica, com toda uma vida dedicada à corrosão e à proteção anticorrosiva, especialmente no que se refere ao comportamento dos revestimentos anticorrosivos. Sempre foi uma profissional motivadora do interesse pela pesquisa da corrosão no País, através de suas aulas e seus trabalhos científicos com grande aplicabilidade prática.

A Dra. Idalina iniciou a sua vida dedicada à corrosão como docente na disciplina de corrosão e materiais metálicos da USP, tendo sido muito incentivada e apoiada pelo Dr. Stephan Wolynech e pela Dra. Zehbour Panasian, ambos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e também da Universidade de São Paulo.

A Professora Idalina nasceu no interior do Estado de São Paulo, na cidade de Martinópolis, no dia 03/10/1955. Fez seus primeiros estudos de primeiro e segundo graus, em Presidente Prudente no período de 1961 a 1973, ingressando em seguida no Instituto de Química da USP, graduando-se em Química em 1977. Em 1982 ela concluiu o mestrado e em 1987 o doutorado, ambos na Universidade de São Paulo.

Atuou na Companhia Industrial de Conservas Alimentícias - CICA, em Presidente Prudente, SP, até julho de 1976. Trabalhou no desenvolvimento de um manual com detalhamento das rotinas de análises físico-químicas de extrato de tomate. Foi pesquisadora bibliográfica para esta empresa de 1976 até 1980.

Atuou também nos Laboratórios de Desenvolvimento e Pesquisa, da Poliquima Indústria e Comércio S. A. (hoje AKZO), durante janeiro e fevereiro de 1977, no desenvolvimento de plastificantes para polímeros industriais.

Sempre se dedicou ao trabalho acadêmico, como docente de instituições de ensino:

- Auxiliar de Ensino e Professor Doutor na Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho - UNESP - Instituto de Química - Araraquara desde novembro de 1979 a fevereiro de 1984.
- Professor Associado na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo desde fevereiro de 1984 até o presente.

A partir de 1987 passou a integrar o grupo de docentes orientadores de pós-graduação do Departamento de Engenharia Química da EPUSP e iniciou a orientação de trabalhos de mestrado e doutorado. Seus primeiros alunos de mestrado foram: Luis Eduardo Urbán Lopez e Hercílio Gomes de Melo. Atualmente, ela já realizou doze orientações de doutorado, vinte e quatro de mestrado, quarenta e um de IC (Iniciação Científica), vinte de TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) e quatro pós-doutorados.

É responsável pelo LEC- Laboratório de Eletroquímica e Corrosão do Departamento de Química da USP, desde 1988. O laboratório além dos trabalhos acadêmicos também presta serviços para as empresas com diagnóstico de casos de corrosão, degradação de materiais poliméricos e testes de desempenho de sistemas de pintura.

A principal linha de pesquisa que desenvolve na atualidade é a de "Revestimentos com Propriedades de Autorreparação", tema de pesquisa em que foi pioneira em nosso País.

Hoje é um dos editores de revisão da Revista *Frontiers in Materials* - Review Editor in *Environmental Materials* (specialty section of *Frontiers in Materials*).

A Professora Idalina possui vasta produção literária, tendo elaborado capítulos para várias e importantes publicações dentre as quais cabe destacar:

- 1) Fedrizzi, L.; Terryn, H. and Simões, A. editors. Innovative pre-treatment techniques to prevent corrosion of metallic surfaces. EFC-European Federation of Corrosion

Publications number 54. PALOMINO, L E M; AQUINO, I P; AOKI, I V; MELO, H. G. Chapter 2: EIS investigation of the behaviour in 0.1 M NaCl of a double layer cerium - silane pre-treatment on Al 2024-T3. Woodhead Publishing Limited and CRC Press, Cambridge, England, 2007. p.19-34. ISBN 978-1-84569-365-7 and CRC Press ISBN 978-1- 4200-6671-5.

- 2) AOKI, Idalina Vieira; TAKEDA, Maria Elena Santos; SILVA, José Rocha Andrade. Capítulo V - Caracterización de ambientes In: Productos electro-eletrónicos en ambientes tropicales.1 ed. Campinas : Gráfica Sitta, 2003, v.1, p. 171-221.
- 3) Título: Ecotoxicologia, impacto ambiental e corrosividade de fontes cloradas e revestimentos à base de zinco para o controle de mexilhão dourado. Organizadores: Editora: pela FUNEPE, 202 pag. Capítulo 5 - Estudo de corrosão das fontes cloradas - 23 páginas e Capítulo 8 - ISBN: 9788578051921 publicado em 2019.
- 4) Livro e-book Título: New Pigments and Additives for Corrosion Protection by Organic Coatings. Editores do livro: Flavio Deflorian , Michele Fedel and Victoria Johnston Gelling .

Coletânea de vários artigos incluindo o nosso artigo:

Título do Capítulo: Epoxy Self-Healing Coating by Encapsulated Epoxy Ester Resin in Poly Urea-Formaldehyde-Melamine Microcapsules

Autores: Fernando Cotting , André Koebsch and Idalina Vieira Aoki.

Data de publicação do e-book: novembro de 2020.

Front. Mater. doi: 10.3389/fmats.2019.00314.

- 5) Idalina V. Aoki; Fernando Cotting; Paulo Cezar Maziero Tiano: Proteção anticorrosiva para estruturas de aço em atmosferas industriais e marinhas com sistema de tinta acrílica de base aquosa. Capítulo 6 do livro:

Engenharia de Materiais e Metalúrgica: Tudo à sua Volta 2, Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta: Organizadores – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021. Formato: PDF abril 2021, pag. 76-91. Editora Atena. ISBN 978-65-5706-962-2

Doi: 10.22533/at.ed.6222105046.

Recebeu vários prêmios ao longo de sua tão bem sucedida carreira, dentre os quais cabe-nos destacar:

- Prêmio Petrobrás Inventor 2013 pela patente “Revestimento autorregenerante contendo agentes de auto-reparação”, Inventores: Idalina Vieira Aoki, Marly Grinapel, André Koebisch, Vitor Solomossy, Fernando Coelho e Pedro F. Altoé.

Empresas: Petrobrás e USP.

Número do depósito da patente: PCT/BR2012/000315 e registro mundial no WIPO: WO 2014/032130.

- Prêmio Petrobrás de Tecnologia na sua 6ª Edição, em 2013, com o trabalho do aluno de mestrado Fernando Cotting “Revestimentos com efeito de autorreparação para sistemas de transporte e armazenamento de petróleo e gás” no tema: Tecnologia de Logística e de Transporte de Petróleo, Gás e Derivados.
- Prêmio Petrobrás Inventor 2014 pela patente “Revestimento autorregenerante contendo inibidor de corrosão”, Inventores: Idalina Vieira Aoki, Fernando Cotting, Marly Grinapel, Andre Koebisch, Vitor Solomossy, Fernando Coelho e Pedro F. Altoé.

Empresas: Petrobrás e USP.

Número do depósito da patente: BR 10 2013 033579-7.

- Prêmio: ABRAFATI 2005 no 9th INTERNATIONAL PAINT CONGRESS – ABRAFATI, de 14 a 16 de setembro de 2005, Segundo lugar.

Título: The study of polymeric organosilane based layers as pre-treatment on automotive mild steel and the corrosion resistance evaluation by electrochemical techniques.

Autores: Marcos Fernandes Oliveira, Stephan Wolynec e Idalina Vieira Aoki

Ano: 2005.

- Prêmio: 18º PRÊMIO ABRAFATI DE CIÊNCIA EM TINTAS – Segundo lugar

Título: Sistema de pintura anticorrosiva com propriedades de autorreparação.

Autores: Fernando Cotting e Idalina Vieira Aoki.

Ano: 2017

Como podemos verificar, a Professora Idalina certamente ainda poderá contribuir de forma muito expressiva no campo da corrosão e da proteção anticorrosiva e é isto que esperamos e temos fé de que irá acontecer, e pelas notórias realizações e toda a sua capacidade de trabalho, com toda a certeza, a Professora Idalina é um grande exemplo de vida, especialmente no campo da corrosão, para as novas gerações e para todos nós.

## Referência

Acervo da Biblioteca da ABRACO e USP e informações pessoais da Profa. Idalina Vieira Aoki.

# PROTEÇÃO CATÓDICA DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA, PETRÓLEO E DERIVADOS

**Luiz Paulo Gomes**

IEC-Instalações e Engenharia de Corrosão Ltda. - LPgomes@iecengenharia.com.br

Plantas industriais de um modo geral precisam armazenar com total segurança, baixo custo e sem riscos ao meio ambiente, produtos importantes como água, petróleo, derivados de petróleo e produtos químicos diversos.

Para essa finalidade as companhias de petróleo e gás, as companhias químicas, as petroquímicas e as empresas de saneamento utilizam em larga escala tanques de armazenamento construídos em aço carbono, que podem ser do tipo com base apoiada, aéreos, enterrados ou até mesmo submersos.

Esses tanques, para operarem com segurança e terem sua integridade garantida ao longo dos anos, necessitam ser adequadamente protegidos contra a corrosão, que está sempre presente nessas situações e é causada pela agressividade do meio ambiente, pelo produto armazenado, pelo solo, pela penetração de água entre a base de concreto e a chapa do fundo, pelo sistema de aterramento elétrico e por correntes de fuga ou correntes de interferência.

As partes aéreas dos tanques podem ser inspecionadas com facilidade e a proteção anticorrosiva nesses locais consiste sempre na aplicação de um esquema de revestimento anticorrosivo que possui a vantagem de poder ser reparado sempre que necessário.

Os problemas mais importantes de corrosão e dificuldade de inspeção estão nos locais de difícil acesso, como as superfícies internas em contato com o produto armazenado e o fundo em contato com o solo compactado, anel de concreto ou base de concreto.

Para esses casos a proteção eficiente e a garantia de integridade dos tanques somente pode ser conseguida com a instalação, inspeção regular e manutenção dos sistemas de proteção catódica.

## Abstract

Industrial plants in general need to store with total safety, low cost and without risks to the environment, important products such as water, petroleum, petroleum products and various chemical products.

For this purpose, oil and gas companies, chemical companies, petrochemical companies and water companies use storage tanks made of carbon steel on a large scale, which can be of the supported base type, overhead, buried or even submerged.

These storage tanks to operate safely and have their integrity guaranteed over the years need to be adequately protected against corrosion, which is always present in these situations and is caused by the aggressiveness of the environment, by the stored product, by the soil, by the penetration of water between the concrete base and the bottom plate, by the electrical grounding system and by stray currents or interference currents.

The aerial parts of the tanks can be easily inspected and the corrosion protection in these places always consists of the application of an anti-corrosion coating scheme that has the advantage of being able to be repaired whenever necessary.

The most important problems of corrosion and difficulty in inspecting these tanks are in places with difficult access, such as the internal surfaces in contact with the stored product and the bottom in contact with the compacted soil, concrete ring or concrete base.

For these cases, efficient protection and guarantee of tank integrity can only be achieved with the installation, regular inspection and maintenance of cathodic protection systems.



## Corrosão em Tanques de Armazenamento

Os problemas de corrosão dos tanques com base apoiada em contato com solo compactado, anel de concreto ou base de concreto, acontecem devido a vários fatores, destacando-se as características do solo, o importante par galvânico aço/cobre causado pela malha de aterramento elétrico, a entrada de água e poluentes entre o fundo do tanque e sua base e a presença de correntes de fuga ou correntes de interferência.

Os sistemas de aterramento elétrico, necessários e sempre presentes nas plantas industriais de qualquer natureza, causam sérios problemas de corrosão nos fundos dos tanques com base apoiada, nos tanques enterrados e nas tubulações enterradas, constituindo-se, na realidade, em um dos mais importantes problemas de corrosão dessas instalações.

Os tanques com base apoiada que armazenam água, petróleo e derivados apresentam, também, problemas importantes de corrosão interna. Nos tanques de petróleo temos corrosão severa causada pelo lastro de água salgada que sempre se acumula no fundo do tanque e nos tanques de derivados de petróleo a corrosão aparece quando há o acúmulo de água em seu interior.

Todos esses problemas de corrosão em tanques de armazenamento somente podem ser resolvidos, com eficiência, segurança e economia, mediante instalação dos sistemas de proteção catódica, associados ou não a um esquema de revestimento anticorrosivo.

### Necessidade de Proteção Catódica

A princípio todo tanque de armazenamento com base apoiada ou enterrado necessita de proteção catódica.

A decisão de não instalar proteção catódica para tanques em fase de construção ou em operação somente pode ser tomada após uma análise cuidadosa do projeto de construção e do local de instalação do tanque.

Para tanques com base apoiada e tanques enterrados somente podemos afirmar que a proteção catódica não é necessária se todas as seguintes condições forem atendidas:

- 1) Tanque construído em local com resistividade elétrica do solo elevada, superior a 100.000 ohm.cm.
- 2) Ausência de par galvânico aço/cobre ou seja, tanque não aterrado eletricamente com hastes e cabos de cobre nu (\*).
- 3) Ausência de correntes de fuga ou correntes de interferência (\*\*)
- 4) Garantia de vedação permanente entre a base do tanque e a chapa do fundo, de modo a não permitir a entrada de água e poluentes.
- 5) Tanque instalado sobre uma laje de concreto de grandes dimensões, com altura superior a um metro.

Para tanques em operação a necessidade de proteção catódica fica bastante clara quando fazemos medições das resistividades elétricas e pH do solo, dos potenciais tanque/solo e quando testamos a existência ou não de correntes de fuga nas proximidades dos tanques.

---

(\*) **Influência do Aterramento Elétrico:** Os sistemas de aterramento elétrico, necessários por questões de segurança, são construídos com cabos e hastes de cobre, introduzindo um par galvânico aço/cobre importante, onde o aço se corrói em benefício do cobre. Os aterramentos elétricos causam, também, corrosão severa nas tubulações de aço enterradas dentro da planta industrial (rede de incêndio, tubulações de gás, água potável, ar comprimido e produtos diversos). Em todos esses casos, a única solução capaz de resolver o problema de corrosão consiste na instalação de proteção catódica.

(\*\*) **Influência das Correntes de Fuga ou Correntes de Interferência:** As correntes de fuga ou correntes de interferência, quando presentes, causam sérios problemas de corrosão eletrolítica nos tanques e tubulações enterradas de uma planta industrial. As mais comuns e potencialmente mais prejudiciais são as correntes geradas por sistemas de energia elétrica em corrente contínua, as correntes oriundas de ferrovias eletrificadas como os trens urbanos e os metrô, as correntes provenientes da utilização de máquinas de solda durante os serviços de construção e manutenção e as correntes injetadas no solo pelos sistemas de proteção catódica das tubulações enterradas nas proximidades dos tanques. Para solucionar esses problemas, mais uma vez, os sistemas de proteção catódica são de fundamental importância.

Muitas vezes a decisão de instalar proteção catódica em tanques existentes acontece quando os primeiros indícios de corrosão das chapas do fundo começam a aparecer, fato muito comum de acontecer. O importante é que precisamos ter pleno conhecimento do problema e não podemos esperar que o tanque fure por corrosão para tomarmos a decisão de instalar o sistema de proteção catódica.

Para o caso de tanques de armazenamento de água a decisão de não instalar proteção catódica interna somente pode ser tomada se as análises químicas, medições de resistividade elétrica, pH, gases dissolvidos (em especial o oxigênio) e a presença de bactérias redutoras de sulfato mostrarem que a água não é corrosiva.

Para o caso dos tanques de derivados de petróleo sabemos que os hidrocarbonetos puros geralmente não são corrosivos. A corrosão interna poderá ocorrer, entretanto, em tanques com o acúmulo de água, sedimentos ou outros poluentes. Nesses casos o procedimento mais indicado consiste em revestir o fundo do tanque internamente e instalar anodos galvânicos de proteção catódica.

## Proteção Catódica por Corrente Impressa para Tanques com Base Apoiada

Para a proteção catódica externa por corrente impressa de tanques de armazenamento com base apoiada são adotadas configurações diferentes, uma para cada tipo de situação.

A principal preocupação do projetista de proteção catódica é distribuir corretamente os anodos de proteção catódica de tal maneira que se consiga uma boa distribuição da corrente, capaz de garantir a obtenção de potenciais de proteção tanto na extremidade quanto no centro do tanque.

**Proteção Catódica de Tanques Novos:** Para o caso de tanques novos, em fase de construção, temos conseguido excelentes resultados com a instalação de anodos contínuos concêntricos e eletrodos de referência permanentes, especialmente fabricados para essa finalidade, instalados em baixo do tanque e antes da construção da chapa do fundo.

Esse tipo de instalação, onde os anodos e os eletrodos de referência são instalados em

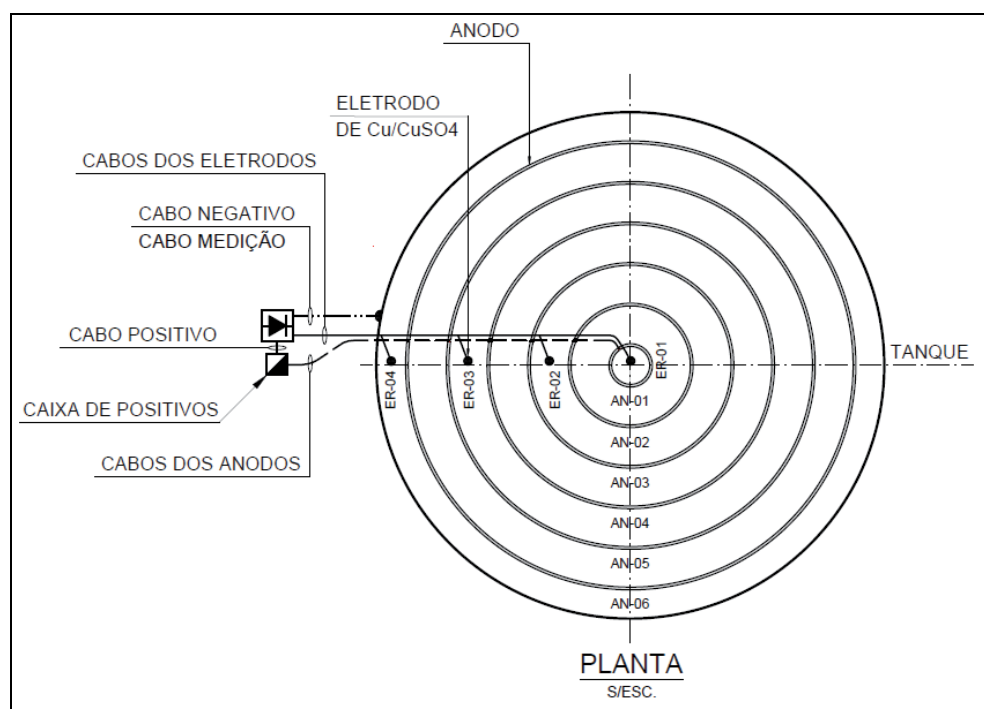


Figura 1 – Proteção Catódica de Tanques Novos, em Fase de Construção, com a Utilização de um Retificador, uma Caixa de Ligação, Eletrodos Permanentes de Referência e Anodos Contínuos Concêntricos Instalados em Baixo do Tanque

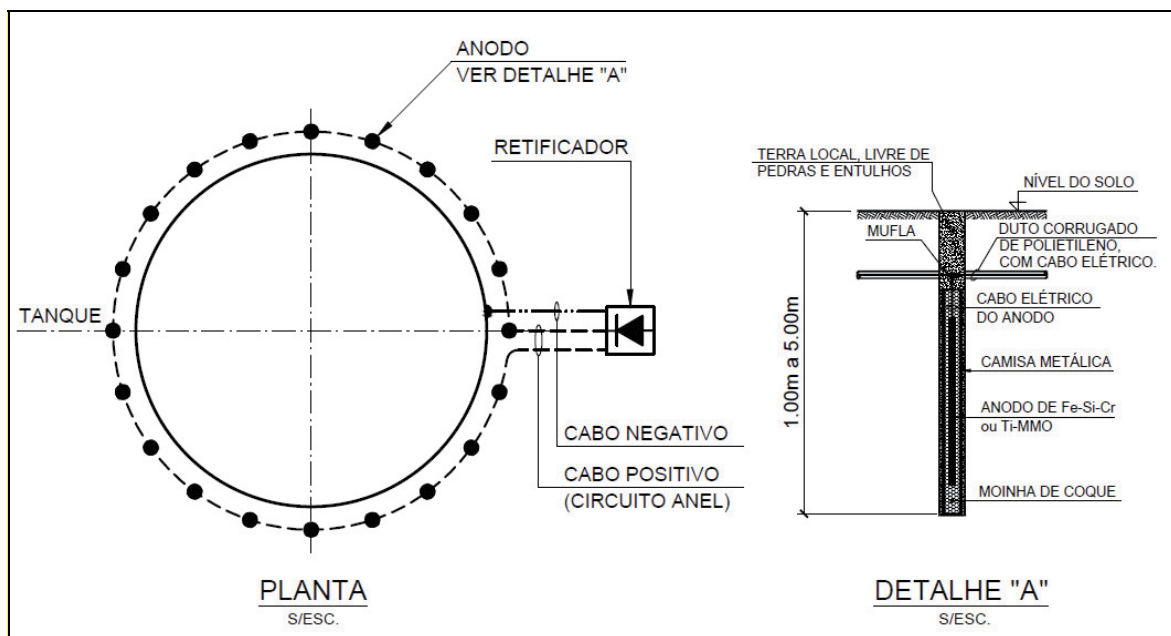


Figura 2 – Proteção Catódica de Tanques Existentes de Pequeno Diâmetro com o Auxílio de um Retificador e Anodos Convencionais Instalados ao Redor do Tanque

baixo do tanque, possui a vantagem adicional de poder ser utilizado em tanques com sistema de contenção de vazamentos com membrana impermeável e nos casos de tanques de fundo duplo, onde os anodos precisam ficar entre os dois fundos.

A instalação de um segundo fundo em tanques de armazenamento, como se sabe, é a alternativa utilizada em tanques existentes que, por falta de proteção catódica, tiveram o fundo original destruído pela corrosão. Quando o segundo fundo é construído a recomendação é que ele seja protegido mediante instalação de anodos contínuos de proteção catódica entre os dois fundos.

**Proteção Catódica de Tanques Existentes de Pequeno Diâmetro:** Para o caso de tanques existentes, onde não é possível a instalação de anodos em baixo do fundo, a solução consiste em instalar anodos distribuídos em volta do tanque (Fig. 2). Essa solução funciona bem para a proteção de tanques de pequeno diâmetro, onde é mais fácil que a corrente de proteção catódica atinja o centro do tanque. Nesses casos não é possível a instalação de eletrodos de referência em baixo do tanque e as medições

de potencial tanque/solo são feitas somente nas bordas, com o auxílio de um eletrodo de referência portátil. Esse tipo de instalação, entretanto, não é eficiente quando o tanque possui um sistema de contenção de vazamento com membrana impermeável e nem para o caso dos tanques de fundo duplo, porque tanto a membrana isolante quanto o fundo abandonado impedem a circulação correta da corrente de proteção catódica.

**Proteção Catódica de Tanques Existentes de Grande Diâmetro:** Para a proteção de tanques existentes de maior diâmetro, onde a distribuição de corrente no cento do tanque fica mais difícil de ser conseguida, uma boa solução consiste na instalação de anodos profundos, desde que corretamente projetados e instalados (Fig. 3).

**Instalação dos Anodos com o Auxílio de Furos Direcionais:** A melhor solução, entretanto, consiste em instalar os anodos e os eletrodos de referência em baixo do tanque com o auxílio de furos direcionais. Essa solução deve ser sempre analisada mas nem sempre é viável tecnicamente, devido às limitações de espaço para o procedimento de execução dos furos direcionais.

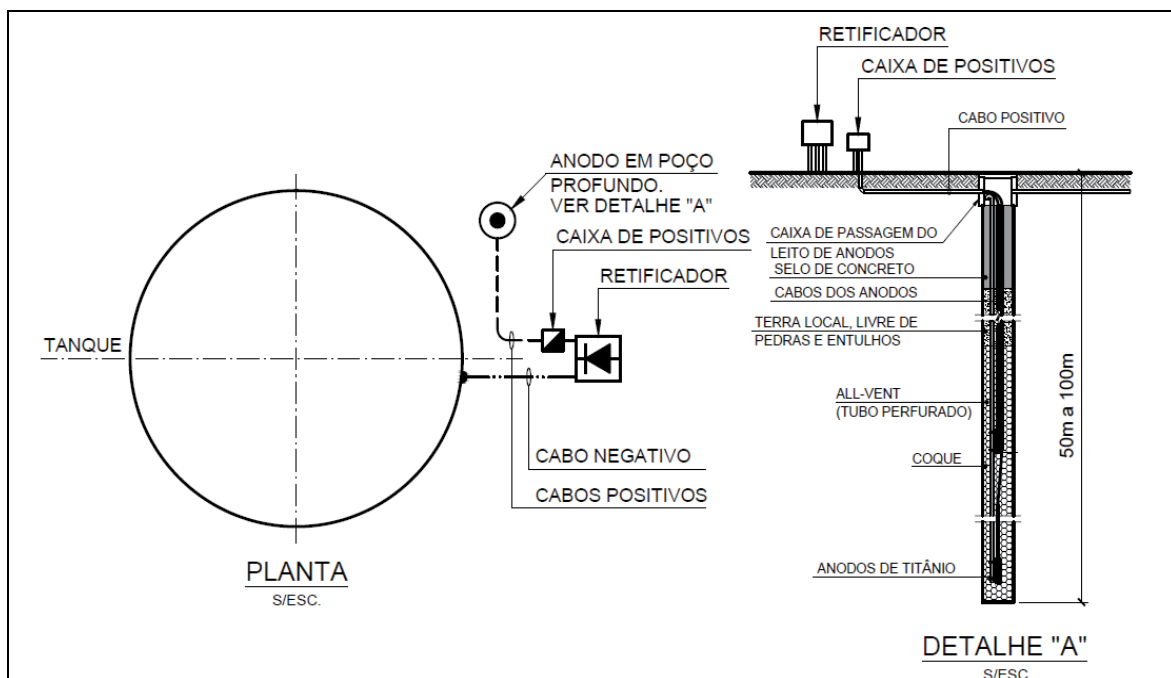


Figura 3 – Proteção Catódica de Tanques Existentes de Grande Diâmetro com a Utilização de um Retificador, uma Caixa de Ligação e um Leito de Anodos do Tipo Profundo

### Proteção Catódica Interna de Tanques de Água:

Para a proteção catódica interna de tanques de água temos utilizado com bastante sucesso anodos inertes e eletrodos de referência especialmente desenvolvidos para essa finalidade, que podem ser fixados à partir do teto (para tanques novos) ou em boias na superfície da água (para o caso de tanques em operação). Para o caso de tanques pequenos e bem revestidos internamente a melhor solução pode ser a instalação de anodos galvânicos, mas para o caso de armazenamento de água para o consumo humano essa solução precisa ser analisada com cuidado devido à possibilidade de contaminação da água com o produto de corrosão dos anodos.

### Critérios de Proteção Catódica em Tanques com Base Apoiada

De acordo com a Recomendação Prática NACE RP0193-2016 os critérios utilizados para a proteção catódica interna ou externa de tanques de armazenamento de aço são os seguintes:

- Potencial tanque/solo igual ou mais negativo que -0,85V medido em relação ao

eletrodo de Cu/CuSO<sub>4</sub>, para o caso dos tanques enterrados ou com base apoiada.

- Potencial tanque/água igual ou mais negativo que -0,80V medido em relação ao eletrodo de Ag/AgCl, para o caso dos tanques de água.
- Polarização catódica mínima de 100 mV para qualquer um dos casos.

### Normas e Procedimentos Recomendados

Para o projeto e a instalação dos sistemas de proteção catódica em tanques de armazenamento recomendamos a utilização das seguintes normas e procedimentos técnicos:

- **API Recommended Practice 651** – Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks.
- **API Recommended Practice 1632** - Cathodic Protection of Underground Petroleum Storage Tanks and Piping Systems
- **API Recommended Practice 652** - Lining of Aboveground Petroleum Storage Tank Bottoms



- **API Recommended Practice 1615** - Installation of Underground Petroleum Storage Systems
- **API Recommended Practice 2003** - Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Current
- **API Recommended Practice 2003** - Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents
- **NACE Standard Practice SP0388-2014** - Impressed Current Cathodic Protection of Internal Submerged Surface of Carbon Steel Water Storage Tanks
- **NACE Recommended Practice RP0193-2016** - Application of Cathodic Protection to Control External Corrosion of Carbon Steel On-Grade Storage Tank Bottoms
- **NACE Recommended Practice SP0285-2011** - Corrosion Control of Underground Storage Tank Systems by Cathodic Protection
- **NACE Recommended Practice - SP0572-2007**, Design, Installation, Operation, and Maintenance of Impressed Current Deep Groundbeds
- **NACE SP0575-2007** - Internal Cathodic Protection Systems in Oil Treating Vessels

## Procedimentos Recomendados

### Procedimento Recomendado para o Estudo da Necessidade de Proteção Catódica em Tanques Novos

- **Primeira Etapa:** Análise dos desenhos de construção do tanque (incluindo o tipo de base onde ele estará apoiado e o projeto de aterramento elétrico), dos valores de resistividade elétrica do solo no local, da presença ou não de fontes de corrente contínua (estradas de ferro eletrificadas e sistema de proteção catódica de terceiros) e do produto armazenado.
- **Segunda Etapa:** Estudo e elaboração de parecer técnico sobre a necessidade ou não de proteção catódica externa e interna do tanque.

### Observações Importantes

- 1) Para que a proteção catódica seja considerada não necessária para o fundo do tanque (parte externa) as seguintes condições precisam estar presentes: solo local com alta resistividade elétrica (superior a 100.000 ohm.cm), ausência de aterramento elétrico com hastes e cabos de cobre, ausência de correntes de fuga, garantia de que não haverá penetração de água entre a base e o fundo e tanque construído sobre laje de concreto com altura igual ou superior a 1,0 metro.
- 2) Para que a proteção catódica seja considerada não necessária para o fundo e o costado (parte interna) de tanques de água torna-se necessário que a análise química da água (incluindo o pH, resistividade elétrica, teores de oxigênio e outros gases) comprove que ela não é corrosiva.
- 3) Para tanques de armazenamento de petróleo haverá sempre o acúmulo de água salgada no fundo do tanque e a proteção catódica interna será necessária.
- 4) Para tanques de armazenamento de derivados de petróleo sabemos que os hidrocarbonetos puros geralmente não são corrosivos. A corrosão interna, entretanto, poderá ocorrer em tanques com o acúmulo de água, sedimentos ou outros poluentes, fazendo que a proteção catódica seja necessária.

### Procedimento Recomendado para o Estudo da Necessidade de Proteção Catódica em Tanques Existentes

- **Primeira Etapa:** Inspeção e medições de campo, incluindo medições das resistividades elétricas do solo, medições dos potenciais tanque/solo e tanque/água, inspeção e medições do sistema de aterramento elétrico e testes para a detecção de correntes de fuga ou correntes de interferência. Verificação da possibilidade de penetração de água entre a base e o fundo do tanque.
- **Segunda Etapa:** Estudo e elaboração de parecer técnico sobre a necessidade ou não de proteção catódica externa e interna do

tanque. As mesmas observações anteriores devem ser utilizadas para a emissão desse parecer técnico.

### **Procedimento Recomendado para a Implantação do Sistema de Proteção Catódica**

- **Primeira Etapa:** Análise dos desenhos, inspeção do local e medições de campo.
- **Segunda Etapa:** Análise das informações de campo e elaboração do projeto de proteção catódica, incluindo memorial descritivo, memória de cálculo, lista e especificação dos materiais, desenhos de instalação e especificação técnica para instalação, pré-operação, operação e manutenção.
- **Terceira Etapa:** Fornecimento dos equipamentos e materiais incluindo os Certificados de Qualidade e Garantia.
- **Quarta Etapa:** Instalação, testes, pré-operação e emissão do “data book” do sistema instalado.

### **Conclusões**

Plantas industriais de um modo geral precisam armazenar, com total segurança, baixo custo e sem riscos ao meio ambiente, produtos importantes como água, gás, petróleo, derivados de petróleo e produtos químicos diversos.

Para essa finalidade as companhias de petróleo e gás e as companhias químicas, petroquímicas e de saneamento utilizam em larga escala os tanques de armazenamento construídos em aço carbono, que podem ser do tipo com base apoiada, aéreos, enterrados ou até mesmo submersos.

Esses tanques apresentam problemas de corrosão importantes que somente podem ser

solucionados com a aplicação dos sistemas de proteção catódica.

Todo tanque de armazenamento com base apoiada, enterrado ou submerso e todo tanque de armazenamento de água potável ou industrial necessita de proteção catódica, a não ser que estudos específicos comprovem o contrário.

Tanques de armazenamento de petróleo possuem normalmente um lastro de água salgada e precisam de proteção catódica interna.

Tanques de armazenamento de derivados de petróleo não necessitam de proteção catódica interna, a não ser que exista a possibilidade de acúmulo de água no fundo do tanque.

O estudo e a implantação dos sistemas de proteção catódica de tanques de armazenamento de qualquer natureza devem ser feitos de acordo com as Recomendações Práticas da API-American Petroleum Institute e da NACE International.

### **Referências**

IEC, **Livro Sistemas de Proteção Catódica-Segunda Edição**, Editora Interciência, 2020, 351 páginas.

Eduardo Barreto, Laerce de Paula Nunes e Anderson Teixeira Kreischer, **Proteção Catódica em Fundo de Tanque de Armazenamento com Manta de Polietileno como Contenção de Vazamentos**. Artigo Técnico apresentado no INTERCORR 2016.

Ted Huck, **External Tank Bottom Cathodic Protection - State of the Art - Anode Technology**, Artigo Técnico publicado na Revista Materials Performance, May 2016.

API Recommended Practice 651, **Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks**, September 2014.

Gomes, Luiz Paulo, **The Importance for Cathodic Protection for the Modern World**. Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 28, December 2018.

Gomes, Luiz Paulo, **Protecting Underground Pipelines Against Corrosion and Electrical Interference**. Artigo Técnico publicado na revista IPCM - PROTECTIVE COATINGS, Edição No. 26, June 2018.

# Proposta de estudo de técnicas não destrutivas para determinação do teor de umidade interna do concreto

---

Lucas C. Nascimento<sup>a</sup>, Adriana de Araújo<sup>b</sup>, Kléber J. Oliveira<sup>c</sup>,  
Rafael F. C. dos Santos<sup>d</sup>, Valdecir A. Quarcioni<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Mestrando em Habitação, Bolsista – IPT

<sup>b</sup> Mestre em Habitação, Pesquisadora – IPT

<sup>c</sup> Mestrando em Engenharia Elétrica, Pesquisador – IPT

<sup>d</sup> Mestre em Habitação, Pesquisador – IPT

<sup>e</sup> Doutor em Engenharia Civil, Pesquisador – IPT

The durability of concrete structures is closely related to the physico-mechanical properties of this composite. One of the main parameters related to the durability of concrete is the moisture content, however, its evaluation on field is unusual and often impracticable, since the methods usually adopted for its determination are of restricted use to the laboratory environment, as the case of densitometry and the gravimetric method by mass recording of test specimens. In the international scenario, it has recently been found that these methods of moisture content determination have been associated with nondestructive tests (NDTs) for evaluating the quality of concrete, such as the determination of the moisture content by microwave emitter equipment. The presente work brings together the techniques used to evaluate the internal moisture content of the concrete in the current scenario and, through the use of nondestructive techniques, proposes an experimental program for laboratory scale study to provide important information about the effectiveness of the microwave emitter associated to the determination of the electrical resistivity for the evaluation of the moisture of concretes of different compositions submitted to varied conditions of humidification.

**Keywords:** concrete, microstructure, moisture content, nondestructive tests, microwave emitter, electrical resistivity

## Resumo

A durabilidade das estruturas de concreto está intimamente relacionada com as propriedades físico-mecânicas desse composto. Um dos principais parâmetros referentes à durabilidade do concreto é o teor de umidade, entretanto, sua avaliação em campo é incomum e muitas vezes, inviável, visto que os métodos usualmente adotados para sua determinação são de utilização restrita ao ambiente laboratorial, como o caso da densitometria gama e o método gravimétrico por registro de massa de corpos de prova. No cenário internacional, verifica-se que recentemente esses métodos de determinação do teor de umidade têm sido associados a ensaios não destrutivos (END) para avaliação da qualidade do concreto, como é o caso da determinação do teor de umidade com auxílio de equipamento emissor de micro-ondas. O presente trabalho reúne as técnicas utilizadas na avaliação do teor de umidade interna do concreto no cenário atual e, por meio da utilização de técnicas não destrutivas, propõe um programa experimental para estudo em escala laboratorial com vistas a fornecer informações importantes a respeito da eficácia do emissor de micro-ondas associado à determinação da resistividade elétrica para avaliação da umidade de concretos de diferentes composições submetidos a condições variadas de umidificação.

**Palavras-chave:** concreto, microestrutura, teor de umidade, ensaios não destrutivos, emissor de micro-ondas, resistividade elétrica.



## Introdução

As técnicas de determinação das propriedades físicas, químicas e mecânicas do concreto são normalmente aplicadas na avaliação do estado de conservação das estruturas, tanto no ambiente laboratorial quanto em campo. Atualmente, há uma diversidade de procedimentos que são realizados para esse propósito, e que permitem obter informações relevantes a respeito do comportamento do material ao longo dos anos de exposição à atmosfera e de uso.

Muitos dos ensaios não destrutivos (END) comumente realizados em campo são limitados quando se trata do diagnóstico de processos de degradação no concreto ou nas barras de aço da armadura. No que concerne a esses métodos, cabe citar como exemplos a determinação da dureza superficial, o ensaio de arrancamento e a resistência à penetração, que permitem obter informações a respeito da homogeneidade e da evolução da resistência nas primeiras idades (1).

No caso dos ensaios laboratoriais, estes geralmente permitem a determinação de valores precisos e de considerável relevância na realização de um diagnóstico a respeito do estado da estrutura, bem como na ocorrência de processos de degradação. Porém, a maioria desses procedimentos requer a extração de testemunhos, o que em muitos casos, dependendo da debilidade ou da configuração da estrutura, é inviável. Além disso, não é possível avaliar, por meio desses ensaios, o teor de umidade interna do material na estrutura, parâmetro fundamental nos processos de degradação do concreto e da armadura.

Com vistas a contribuir para a solução dessa problemática, o presente trabalho reúne informações a respeito das características do concreto e seus processos de degradação, dando-se destaque à comentada presença de água como agente primordial nas reações deletérias, e aos referentes ENDs determinação do seu teor. Por fim, é proposto um programa experimental no qual são associadas as técnicas de emissão de micro-ondas e de resistividade elétrica, que é comumente realizada para determinação do potencial de corrosão das armaduras (2), ambas

na determinação da umidade superficial e profunda do concreto. No programa em questão, concretos de diferentes composições serão produzidos, sendo uma parcela exposta ao fenômeno da carbonatação. Todas as amostras serão posteriormente submetidas a faixas variadas de umidade relativa ambiente (saturação total, 95 % UR, 75 % UR, 55 % UR e secagem) para uma ampla avaliação da umidade interna do concreto.

## Metodologia

### 2.1. O concreto e sua microestrutura

Por possuir uma parcela inerte (agregados) e um ligante que reage com a água (cimento), o concreto apresenta uma microestrutura complexa e heterogênea, composta, principalmente, por três fases: agregado, pasta de cimento hidratada e zona de interface pasta-agregado, também denominada de zona de transição. No entanto, essas três fases não são propriamente homogêneas devido a fatores como a variedade de espécies químicas na pasta de cimento e também de sua porosidade, diferença no teor de minerais entre dos diferentes grãos de agregado, dentre outros que acarretam na formação de diversas subfases, caracterizando o concreto como um material multifásico de elevada heterogeneidade e complexidade microestrutural (1).

É sabido que a microestrutura do concreto exerce influência direta nas suas características físico-mecânicas, tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, sendo que cada uma das fases possui maior ou menor parcela de influência em cada uma das propriedades. Os agregados, por exemplo, estão intimamente relacionados ao módulo de elasticidade, à massa unitária e à estabilidade dimensional do concreto no estado endurecido. Já a pasta de cimento influencia, principalmente, a fluência do concreto no estado fresco e sua porosidade no estado endurecido, enquanto a zona de transição influencia, principalmente, a resistência mecânica do concreto no estado endurecido (1).

Quanto à mencionada porosidade do material, esta representa uma rede complexa e

heterogênea de poros, cujos tamanhos e distribuição são dependentes, especialmente, da composição do concreto. Segundo Mehta e Monteiro (2014), existem três tipos principais de poros na microestrutura do concreto. São eles: os espaços interlamelares no silicato de cálcio hidratado (C-S-H), poros capilares e os poros de ar incorporado ou aprisionado na mistura.

A estrutura do C-S-H é formada por diversos microcristais aglutinados, nos quais os espaços entre um e outro são denominados poros interlamelares. Esses poros possuem dimensões muito pequenas, que variam de 5 Å a 25 Å, e que não exercem influência significativa nas propriedades mecânicas do concreto. No entanto, quando da exposição a elevadas temperaturas, a água retida nesses poros pode evaporar e contribuir para a retração do material, o que pode acarretar no surgimento de fissuras e perda considerável na resistência à compressão, dentre outras propriedades mecânicas (1).

Os poros capilares estão localizados na pasta de cimento hidratada e correspondem a todo o espaço não preenchido pela parcela sólida da pasta, formando uma estrutura porosa comunicante. O volume desses poros é determinado, principalmente, pela relação água/cimento (a/c) e pelo grau de hidratação do cimento. As suas dimensões podem variar entre 10 nm e 50 nm em pastas altamente hidratadas e com reduzido fator a/c, e variar entre 3 µm e 5 µm em pastas de elevado teor a/c (1) (3).

Durante o processo de mistura do concreto, certa quantidade de ar fica retida na mistura, o que acarreta na formação de espaços esféricos, ao contrário dos poros capilares que possuem formas irregulares. O volume correspondente a esses poros compreende o ar aprisionado na mistura, e seus espaços geralmente apresentam dimensões de até 3 mm, o que faz com que esses poros prejudiquem significativamente a resistência mecânica. Cabe mencionar que certos aditivos incorporam intencionalmente bolhas de ar para conferir propriedades especiais, como leveza e isolamento térmico. Essa incorporação acarreta também na formação de vazios do mesmo formato do ar aprisionado,

porém devem apresentar dimensões menores, entre 50 µm e 200 µm (1) (3).

Além da influência direta da porosidade nas propriedades físico-mecânicas do concreto, ela também está relacionada à penetração e retenção de água no concreto. A presença de água, por sua vez, é um fator primordial quando se trata de durabilidade, pois é um agente precursor em quase todos os processos de degradação química ou física no concreto (4) (1).

## **2.2. Influência da umidade interna na durabilidade do concreto armado**

A durabilidade do concreto está diretamente relacionada à agressividade ambiental à qual o material está exposto. A NBR 12655: 2015 (5), referente às especificações de preparo, controle, recebimento e aceitação do concreto de cimento Portland, enumera quatro principais classes de agressividade ambiental, relacionadas às condições de exposição e riscos que podem oferecer à integridade da estrutura. A classe I contempla ambientes de natureza rural e submersa, e é considerada a de menor agressividade. A classe II representa pequeno risco de deterioração da estrutura, e enquadra especificamente estruturas edificadas em ambientes urbanos. A classe III, por sua vez, engloba áreas industriais e a região marinha, representando grande risco de deterioração, enquanto que a classe IV, a mais agressiva, contempla regiões industriais com especificidades de agressão química, bem como áreas onde há respingos de maré, uma das condições mais prejudiciais à integridade do concreto (5).

Segundo Escadeillas e Hornain (4), concretos resistentes e duráveis são aqueles cujas características são adequadas ao uso e o ambiente no qual estão alocados. Desta forma, quando se trata de durabilidade de estruturas de concreto, é fundamental que os parâmetros de dosagem e as premissas para composição levem em consideração os requisitos físicos e mecânicos que o produto final deve atingir para garantir sua integridade quando da exposição ambiental. Os processos de deterioração aos quais o concreto está sujeito são diversos, mas é possível dizer que, essencialmente, ocorrem por

meio de dois principais processos: dissolução e precipitação.

A dissolução é a etapa onde ocorrem a dissociação propriamente dita e a hidrólise de compostos hidratados no cimento, que podem se dar com maior ou menor parcialidade de acordo com a natureza química do composto precursor do processo deletério. Esse processo pode acarretar na liberação de íons agressivos que, entrando em contato com os compostos hidratados do cimento, afetam o equilíbrio entre a solução intersticial e os hidratos. Geralmente esse equilíbrio é restabelecido por uma nova dissolução de hidratos com surgimento de novos compostos que podem ou não ser nocivos ao concreto em razão de ocorrerem alterações significativas na sua microestrutura, ocasionando no aumento da porosidade e, consequentemente, facilidade de difusão e permeabilidade da água e de agentes agressivos. No caso da precipitação, essas alterações microestruturais podem ser ainda mais agressivas caso os novos compostos formados contribuam para a ocorrência de reações de expansão e fissuração, que prejudicam a resistência e outras propriedades mecânicas, favorecendo, em alguns casos, o desencadeamento de processos corrosivos nas barras de armadura (4).

Os mecanismos de ataque dos agentes agressivos no concreto, isto é, dissolução e precipitação, são veiculados pela ação de um principal composto: a água. Dessa forma, é possível constatar que a presença de água no ambiente de exposição é um fator agravante no que diz respeito à agressividade e à durabilidade do concreto e, consequentemente, das estruturas aéreas (expostas à atmosfera) em concreto. Dependendo da forma de exposição e da porosidade do concreto, a água líquida, ao penetrar no material, pode carregar íons e gases que desencadeiam os mencionados processos de dissolução e precipitação da pasta de cimento. Além disso, devido ao elevado calor de evaporação da água, quando comparada com outros líquidos comuns, ela vaporiza de forma lenta em relação à taxa de penetração no concreto, o que faz com que ocorram ciclos de penetração e evaporação do líquido dentro da estrutura do material, podendo resultar em variações volumétricas, que acarretam em rupturas na microestrutura, contribuindo para o aumento da porosidade, bem como para a perda de resistência mecânica e outras propriedades físicas (4) (1).

Portanto, o teor de umidade (água retida na estrutura interna do concreto) possui

Tabela 1 - Risco de degradação do concreto e da armadura em relação a diferentes faixas de umidade relativa efetiva do concreto (CEB 183, 2004).

| Umidade relativa (UR) efetiva do concreto (%)                                        | Processo de degradação   |                      |                                  |                            |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|
|                                                                                      | Carbonatação do concreto | Corrosão da armadura |                                  | Ataque químico do concreto |
|                                                                                      |                          | Concreto carbonatado | Concreto contaminado com cloreto |                            |
| < 45<br>(UR muito baixa)                                                             | 1                        | 0                    | 0                                | 0                          |
| 45 a 65<br>(UR baixa)                                                                | 3                        | 1                    | 1                                | 0                          |
| 65 a 85<br>(UR média)                                                                | 2                        | 3                    | 3                                | 0                          |
| 85 a 98<br>(UR alta)                                                                 | 1                        | 2                    | 3                                | 1                          |
| < 98<br>(UR saturada)                                                                | 0                        | 1                    | 1                                | 3                          |
| Legenda: 0 = risco insignificante; 1 = risco baixo; 2 = risco médio; 3 = risco alto. |                          |                      |                                  |                            |

relação direta com a durabilidade das estruturas. Inclusive, o boletim 183 do *Comité Euro-International du Béton* (6) relaciona esse teor, denominado de umidade relativa efetiva do concreto, com processos de degradação tanto do compósito quanto das barras de armadura, conforme ilustrado na Tabela 1.

No caso da carbonatação, o risco de degradação aferido na Tabela 1 é decorrente das reações químicas de compostos de cimento com o gás carbônico atmosférico ( $\text{CO}_2$ ) que resulta na redução do pH do concreto e, consequentemente, no risco de corrosão da armadura quando a frente de carbonatação atinge a região de seu embutimento. Esse avanço ocorre com maior intensidade quando a UR se encontra entre 45 % e 65 % (Tabela 1), que deve manter a rede de poros preenchida parcialmente. Nessa condição, é facilitada tanto a penetração do  $\text{CO}_2$  como a sua dissolução e difusão na solução intersticial. Hansson et al. (7) descrevem a carbonatação do concreto como evento de grande impacto na vida útil de estruturas edificadas em locais de clima quente em que há ciclos de molhagem e secagem: períodos de intensa insolação seguidos de períodos de intensa exposição à água pluvial. Considerando que o concreto umidifica-se mais rapidamente do que perde água, o teor médio de UR interna do concreto tende a ser maior que o teor médio de UR atmosférica (6).

No caso do ataque químico, o risco de degradação aferido na Tabela 1 é decorrente da lixiviação dos compostos hidratados da pasta de cimento e de reações de redução do seu pH e/ou de expansão com tendência à fissuração do concreto, o que envolve, também, risco de corrosão da armadura. O ataque deve ser maior quando a umidade do concreto é elevada (> 98 %), condição em que os poros do concreto estão quase totalmente preenchidos com solução aquosa, o que é propício à difusão de agentes agressivos. Yates (8) descreve que, em ambientes naturais (não industriais), a degradação dos materiais de construção por agentes químicos é geralmente lenta e, como resultado, a vida útil deve exceder o tempo necessário até que ocorra avanço

significativo de manifestações patológicas resultantes do ataque.

No caso de processo corrosivo (Tabela 1), o risco é maior em concretos carbonatados com umidade interna entre 65 % e 85 %. Cita-se que teores mais elevados que 85 % são limitados em razão de modificação da estrutura do concreto pelas reações químicas da carbonatação, em destaque o refinamento dos poros e, consequentemente, a diminuição da permeabilidade. Para o caso de ataque de íons cloreto, o risco de processo corrosivo é maior para uma faixa mais ampla de umidade do concreto (65 % a 98 %). Destaca-se que teores elevados de umidade são usuais em concretos contaminados com íons cloreto, devendo ser considerada a característica hidrocópica destes íons, podendo manter a umidade interna do concreto maior que a UR externa, atmosférica (6). De qualquer forma, deve-se considerar que a taxa de corrosão da armadura é maior em teores elevados de umidade, sendo severa entre 90 % e 95 %, e pouco significativa entre 50 % e 60 % (6).

### 2.3. Técnicas de determinação do teor de umidade interna no concreto

Visto que a durabilidade das estruturas tem sido um tema recorrentemente discutido no cenário acadêmico e objeto de interesse em estudos diversos do segmento da construção civil, e dada à elevada onerosidade atribuída às atividades de recuperação das estruturas, as técnicas de determinação das características do concreto em campo (em estruturas já edificadas) têm sua importância cada vez mais evidenciada tanto no âmbito científico quanto mercadológico. Isso ocorre independente da disponibilidade de diversos ensaios que são comumente realizados em ambiente de laboratório, e que fornecem informações relevantes no que diz respeito às propriedades físico-mecânicas e ao estado do material em campo.

No entanto, no que tange exclusivamente à durabilidade, são poucos os ensaios que contribuem – do ponto de vista da presença de água na estrutura interna atuando como agente precursor dos processos de degradação, conforme evidenciado anteriormente – para

uma boa avaliação da umidade relativa efetiva do concreto. Ensaios como a determinação da massa específica, absorção de água e índice de vazios (MAV) (9), da absorção de água por capilaridade (10) e da penetração de água sob pressão (11) fornecem informações importantes a respeito da porosidade e da forma como a água penetra e se distribui na estrutura interna do concreto, no entanto, são exclusivos ao ambiente laboratorial e requerem a extração de corpos de prova de dimensões específicas, o que, muitas vezes, dificulta a avaliação em campo do estado de conservação das estruturas, especialmente daquelas já debilitadas e/ou parte do patrimônio histórico.

Devido à necessidade de obter mais informações a respeito da qualidade do concreto, bem como a dificuldade de realizar extrações e coletas em estruturas oriundas de patrimônios históricos, ou consideravelmente debilitadas, ensaios não destrutivos, por meio de equipamentos portáteis como os de impacto, ultrassônicos, elétricos e emissores de micro-ondas, dentre outras categorias, têm sido recorrentemente utilizados, principalmente no cenário internacional, visando à avaliação do estado de conservação das estruturas e, conseqüentemente, à manutenção e/ou prolongamento da sua vida útil. Os métodos físicos, como dureza superficial, resistência à penetração e ao arrancamento, são alguns dos mais utilizados em campo, inclusive no cenário nacional, e permitem avaliar, de forma pouco onerosa e rápida, a homogeneidade do concreto e a evolução da resistência à compressão nas primeiras idades. Os métodos como de velocidade de onda e pulso ultrassônico, também fornecem informações a respeito da estrutura interna do concreto, no entanto, são ainda pouco utilizados em campo e não possibilitam a obtenção de informações significativamente conclusivas para um diagnóstico.

Um método que merece destaque é a da determinação da resistividade elétrica do concreto, o qual é comumente aplicado em campo na avaliação do risco de corrosão das barras da armadura. Como a resistividade do concreto é dependente do seu grau de saturação, esse

ensaio, também não destrutivo, representa uma medida indireta da umidade interna do material. Considera-se que o grau de saturação do concreto é o principal fator controlador da resistividade elétrica: o fluxo da corrente elétrica é maior quanto maior é o grau de saturação do compósito, ou seja, quanto menor é a sua resistividade elétrica.

Face ao exposto, observa-se que os procedimentos não destrutivos mais difundidos não contemplam métodos de avaliação da água no interior do concreto. No entanto, existem tecnologias para esse tipo de avaliação que recentemente vêm ganhando espaço no cenário internacional, como o uso de equipamentos baseados na emissão e recepção de micro-ondas, que são radiações eletromagnéticas não ionizantes.

No que diz respeito à técnica de emissão de micro-ondas, o processo é relativamente simples e rápido, o que possibilita a realização de leituras em campo de uma maneira prática e também facilita a elaboração de diagnóstico. A água livre retida na rede de poros do concreto possui elevada permissividade dielétrica. Desta forma, quando o equipamento é posicionado, emitem-se as micro-ondas, que são absorvidas pelas moléculas de água de forma eficiente (12). A absorção faz com que as ondas emitidas sejam atenuadas, fator que é minuciosamente captado pela célula de resposta no equipamento, desta forma, com base na leitura de resposta das micro-ondas emitidas, obtém-se o teor de umidade interna do material.

O Moist 210 B (13) é um exemplo de equipamento emissor de micro-ondas utilizado para determinação da umidade interna, não apenas no concreto, mas também em outros materiais, e possui dois sensores para sua utilização. O Sensor Moist R1 (14) determina a umidade da camada superficial do elemento de concreto na profundidade de 3 cm, enquanto que o Sensor Moist P (15) é utilizado para determinações da umidade na profundidade de 7 cm, o que o torna adequado para análise de elementos de concreto como vigas e pilares mais robustos. No Laboratório de Equipamentos Elétricos e Ópticos (LEO) do



IPT, foi possível determinar a frequência de operação desse equipamento para a medida em três classes de concretos, sendo a primeira relativa a concretos muito porosos (massa específica equivalente a  $0,40 \text{ g/cm}^3$ ), a segunda para concretos entre 20 MPa e 25 MPa, e a terceira para concretos de 30 MPa a 37 MPa. A frequência de operação se revelou similar para os três concretos nos dois sensores, sendo equivalente a 2,36 GHz no sensor R1 e 2,49 GHz no sensor P. A Tabela 2 indica valores de referência característicos de diferentes materiais de construção civil obtidos nas condições “seco naturalmente” e “completamente saturado” com uso dos dois sensores. Como exemplo, verifica-se que para o material denominado Concreto C30/37 (30 MPa a 37 MPa e densidade de  $2,27 \text{ g/cm}^3$ ), os valores são de 1,8 % de água líquida (0,041 g) para a condição de material seco naturalmente e de 7,5 % (0,170 g) para a condição de material completamente saturado.

Quanto à mencionada determinação da resistividade elétrica em concretos, tanto em campo quanto em laboratório, esta é realizada com base na técnica consagrada dos quatro pinos (*Wenner Method*), desenvolvida originalmente para determinação da resistividade em solos. A técnica consiste no simples posicionamento do equipamento sobre a superfície do material, sendo que quatro eletrodos, normalmente equidistantes entre um e outro, são responsáveis

pela aplicação de determinado valor de corrente elétrica alternada (pinos externos) e pela medição da diferença de potencial estabelecida pelo campo elétrico gerado no concreto (pinos internos). A partir desses dados, é determinada a resistência elétrica da porção de concreto contido dentro de uma semiesfera de raio aproximadamente igual ao espaçamento entre os pinos, sendo o centro localizado no ponto médio entre os dois pinos internos.

O Resipod (16), é um equipamento que aplica essa técnica, tendo a possibilidade de configurar o espaçamento entre os pinos de aplicação de corrente e leitura de diferença de potencial, o que permite realizar a medição em diferentes profundidades. Além disso, o equipamento dispõe de duas placas metálicas de aço inoxidável que podem ser utilizadas para determinação da resistividade elétrica volumétrica em laboratório quando aplicadas em corpos de prova cilíndricos (dimensões de 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura).

Dessa forma, o uso associado dos equipamentos Moist 210 B (teor de umidade) e Resipod (resistividade elétrica) pode ser uma alternativa adequada para a melhor avaliação da presença de água em elementos de concreto em estruturas aéreas, como também na melhor avaliação de processos de degradação dessas estruturas. No entanto, o pouco conhecimento dessas técnicas não destrutivas e

Tabela 2 - Valores de referência do teor de umidade de diferentes materiais obtidos com uso do equipamento Moist 210 B (13).

| Tipo de material | Densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) | Material seco                                        | Material saturado |
|------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------|
|                  |                               | (% de água em massa, em relação à massa do material) |                   |
| Madeira de pinho | 0,53                          | 12,0                                                 | 60,0              |
| Piso de cimento  | 2,37                          | 2,5                                                  | 6,4               |
| Rocha (arenito)  | 1,92                          | 0,8                                                  | 6,4               |
| Tijolos          | 1,78                          | 1,3                                                  | 14,9              |
| Tijolos antigos  | 1,25                          | 2,00                                                 | 25,0              |
| Concreto poroso  | 0,40                          | 4,80                                                 | 75,4              |
| Concreto C20/25  | 2,23                          | 2,40                                                 | 8,7               |
| Concreto C30/37  | 2,27                          | 1,80                                                 | 7,5               |

sua associação, considerando a variedade de concretos disponíveis em mercado (composições e materiais diferentes, etc) e as variadas condições de umidade relativa atmosférica às quais o material é exposto dificultam a aplicabilidade e o reconhecimento como técnicas adequadas para elaboração de diagnósticos confiáveis.

## Resultados e discussão

### 3.1. Proposta de avaliação de ensaios não destrutivos para determinação do teor de umidade do concreto

Tendo em vista as informações levantadas no presente documento a respeito das características microestruturais do concreto, porosidade, presença de água na estrutura interna do material e sua relação com a durabilidade do compósito, bem como as principais técnicas de determinação do teor de umidade interna, destaca-se a defasagem tecnológica no Brasil, principalmente no tocante ao uso de técnicas não destrutivas para avaliação de parâmetros de durabilidade de estruturas, cujo uso já é bem difundido e frequentemente associado ao monitoramento de patrimônios em outros países.

Como contrapartida a essa realidade e contribuição no cenário de monitoramento e avaliação do estado de conservação de estruturas por meio da utilização de ensaios não destrutivos, propõe-se a realização de um estudo comparativo em escala laboratorial, tendo como objetivo principal a determinação do teor de umidade interna do concreto por meio da aplicação de alguns desses ensaios, associando esses resultados aos dados obtidos por meio dos ensaios laboratoriais convencionais de caracterização do concreto, devidamente normalizados. Dessa forma, espera-se avaliar a eficiência de cada um dos ENDs estudados, bem como obter informações relevantes a respeito do uso desses equipamentos, o que pode contribuir para a aplicabilidade deste tipo de procedimento em futuras avaliações de estruturas.

Para tanto, serão produzidos três concretos com diferentes composições, considerando

as especificações para consumo de cimento e relação água/cimento de cada uma das classes de agressividade ambiental detalhadas na NBR 12655: 2015 (5). Desta forma, os concretos a serem produzidos possuirão consumos de cimento e relações a/c de, respectivamente, 260 kg/m<sup>3</sup> e 0,65 (classe I), 300 kg/m<sup>3</sup> e 0,58 (valores intermediários entre a classe II e a classe III) e de 360 kg/m<sup>3</sup> e 0,45 (classe IV). Esses materiais serão submetidos à cura úmida até os 28 dias de idade, sendo caracterizados pelos procedimentos convencionalmente empregados em laboratório para determinação das propriedades do concreto, tais como: massa específica, absorção de água, índice de vazios, resistência à compressão, módulo de elasticidade, absorção de água por capilaridade, dentre outros.

Após a realização dos ensaios convencionais de caracterização, parte dos corpos de prova será submetida ao processo de carbonatação em câmara climática pelo método acelerado, conforme a parte 12 da instrução ISO 1920 (17) até que a camada de carbonatação atinja a profundidade de 5 mm. Esse processo tem como objetivo gerar um lote de amostras carbonatadas que serão posteriormente comparadas com amostras não carbonatadas quando da realização dos ENDs destacados para o presente estudo. Desta forma, espera-se também poder comparar a eficiência dessas técnicas de determinação do teor de umidade interna frente ao processo de carbonatação, fenômeno inerente à maioria das estruturas de concreto pré-existent.

Quando do fim do processo de carbonatação parcial das amostras de concreto, os corpos de prova serão acondicionados em um tanque de imersão em água (UR = 100 %) até que ocorra total saturação. As amostras serão pesadas periodicamente até a comprovação da estabilização da massa dos corpos de prova e, quando a mesma ocorrer, serão realizados os procedimentos de determinação do teor de umidade interna, isto é: resistividade elétrica pelo método superficial, resistividade elétrica pelo método volumétrico (ambos se caracterizando como medidas indiretas da umidade interna), cálculo pela variação de massa (método gravimétrico) e

determinação por meio de equipamento emissor de micro-ondas. Após a realização destes procedimentos, os corpos de prova serão acondicionados em uma câmara climática com temperatura constante (20 °C) e umidade ambiente relativa de 95 %. Sendo comprovada a estabilização da massa das amostras na nova faixa de umidade, os procedimentos de determinação da umidade interna serão realizados novamente, de forma que esse processo se repetirá em novas faixas de umidade, diminuídas gradativamente (75 % UR e 55 % UR). O objetivo principal dessa etapa de avaliação é simular as condições de umidade atmosférica às quais as estruturas de concreto são comumente expostas, de modo que seja possível constatar o comportamento dos materiais por meio dos ENDs em cada uma das diferentes faixas de UR. Sendo realizada a determinação do teor de umidade interna na última faixa de umidade (55 % UR), os corpos de prova serão secos em estufa (100 °C) por um período de 72 h. Após a secagem, os procedimentos não destrutivos serão novamente repetidos.

Por fim, quando do tratamento estatístico e análise dos dados obtidos por meio dos procedimentos de determinação da umidade interna do concreto, espera-se poder comparar a realização de cada um dos ENDs frente às variáveis apresentadas, isto é: concretos de diferentes composições, fenômeno da carbonatação e variações de umidade relativa ambiente. Por meio desta comparação, espera-se que seja possível estabelecer parâmetros e premissas importantes para o emprego dessas técnicas visando à avaliação da qualidade do concreto em estruturas pré-existentes no que diz respeito à durabilidade e integridade do compósito, procedimento que é mais frequentemente realizado no cenário internacional, dada à elevada difusão do emprego dos ENDs na avaliação da durabilidade e vida útil de estruturas.

## Conclusões

Ao analisar a bibliografia e as informações levantadas no que tange ao tema da durabilidade do concreto e do uso de técnicas para determinação do teor de umidade interna, cujo valor é

referência para detecção do potencial de ocorrência de processos de degradação, foi possível realizar as seguintes conclusões:

- É importante a utilização de técnicas não destrutivas na avaliação do estado de conservação das estruturas, tendo em vista as diversas problemáticas relativas à realização de métodos convencionais de análise do concreto em campo, tais como dificuldades no processo de extração e na coleta de amostras em estruturas devido ao acesso e fragilidade da estrutura, etc e, ainda, a própria restrição desses métodos na determinação de parâmetros relacionados à deterioração do concreto e da armadura, em destaque o teor de umidade interna do concreto;
- Existe uma defasagem tecnológica no cenário nacional, tendo em vista a disseminação de diversas técnicas não destrutivas no externo, sendo estas aplicadas comumente na avaliação do estado de conservação das estruturas e seu monitoramento, bem como em estudos de novas tecnologias END;
- Com o surgimento constante de novas tecnologias END e aprimoramento de algumas já existentes, faz-se necessária a realização de estudos contínuos, incluindo a associação de técnicas, como é o caso do projeto de pesquisa proposto. Como resultados, espera-se obter maior conhecimento das técnicas e o fornecimento de informações relevantes da operação dos equipamentos e aplicação prática desses procedimentos frente às adversidades do campo, tais como: concretos de composições diferentes; presença de fenômenos que modificam a estrutura do material tais como a carbonatação; e a variedade de condições atmosféricas às quais o concreto está exposto.

Desta forma, finalmente conclui-se que a presente proposta de estudo se apresenta como uma contribuição para a futura solução dessas problemáticas, visando à durabilidade das construções e aplicabilidade de técnicas de maior praticidade e eficiência na avaliação das estruturas.

## Referências bibliográficas

- (1) MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M.. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2 ed. São Paulo: Nicole Pagan Hasparyk, IBRACON, 2014. 751 p.
- (2) ARAUJO, A.; PANOSSIAN, Z. Resistividade elétrica do concreto na avaliação do risco de corrosão nas estruturas atmosféricas. **Techne: Revista de Tecnologia da Construção** (São Paulo), v.21, p.66 - 68, 2013.
- (3) SATO, N. M. N., **Análise da porosidade e das propriedades de transporte de massa de concretos com vistas à avaliação de suas durabilidades**. 1998. 172 f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 1998.
- (4) ESCADEILLAS, G.; HORNAIN, H.. **A durabilidade do concreto frente a ambientes quimicamente agressivos**. In: OLLIVIER, J.; VICHOT, A. Durabilidade do concreto: Bases científicas para a formulação de concretos duráveis de acordo com o ambiente. [s.l.]: Ibraccon, 2014. Cap. 11. p. 249-324.
- (5) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 12655: Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação**, Rio de Janeiro, 2015, 23 p.
- (6) COMITE EURO-INTERNATIONAL DE BÉTON (CEB). **Bulletin d'Information N° 183** (CEB 183): Durable concrete structures. Telford, London, 1983. 112 p.
- (7) HANSSON, C.M.; POURSAEE, A. JAFFER, S.J. Corrosion of reinforcing bars in concrete. **The Masterbuidr**. v.106, p.106-125, 2012.
- (8) YATES, T. **Mechanisms of Air Pollution Damage to Brick, Concrete and Mortar** In: The Effects of Air Pollution on the Built Environment. Chapter 4. pp. 107-132.
- (9) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos** - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica, Rio de Janeiro, 2009, 4p.
- (10) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por capilaridade**, Rio de Janeiro, 2012, 3p.
- (11) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 10787: Concreto endurecido - Determinação da penetração de água sob pressão**, Rio de Janeiro, 2011, 6p.
- (12) MAKUL, N.; SUA-IAM, G. **High performance microwave energy in cement and concrete**. Chapter 3, 2016. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Natt\\_Makul/publication/10991610High\\_Performance\\_Microwave\\_Energy\\_in\\_Cement\\_and\\_Concrete/links/583c10f208ae502a85e37efa/High-Performance-Microwave-Energy-in-Cement-and-Concrete.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Natt_Makul/publication/10991610High_Performance_Microwave_Energy_in_Cement_and_Concrete/links/583c10f208ae502a85e37efa/High-Performance-Microwave-Energy-in-Cement-and-Concrete.pdf)>. Acessado em 02 de nov. 2017.
- (13) HF SENSOR. **Handheld microwave moisture measuring system; MOIST 210B**. Disponível em: <<http://www.hf-sensor.de/download/moist210beng.pdf>>. Acessado em: 01 nov. 2017a.
- (14) HF SENSOR. Microwave sensing head; MOIST R1. Disponível em: < <http://www.hf-sensor.de/download/moist-r1eng.pdf> >. Acesso em: 01 nov. 2017b.
- (15) HF SENSOR Microwave sensing head; MOIST P. Disponível em: < <http://www.hf-sensor.de/download/moist-peng.pdf> >. Acessado em: 01 nov. 2017c.
- (16) PROCEQ. Resipod Family operating instructions. Disponível em: <[https://www.proceq.com/uploads/tx\\_proceqproductcms/import\\_data/files/Resipod%20Family\\_Operating%20Instructions\\_English\\_high.pdf](https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/Resipod%20Family_Operating%20Instructions_English_high.pdf)> Acessado em: 09 nov. 2017.
- (17) INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO), **ISO 1920-12: Determination of the carbonation resistance of concrete - Accelerated method**, Geneva, 2015, 12p.

# Distintas formas de corrosão das armaduras de estruturas em concreto armado: uma revisão

---

Tatiana Conceição Machado Barretto<sup>a</sup>, Igor Machado da Silva Parente<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Doutorando, Engenheiro Civil - Universidade Federal da Bahia

<sup>b</sup> Mestrando, Engenheiro Civil - Universidade Federal da Bahia



Concrete is one of the most used materials in the world, so it is very important to study this type of material and the structures in which they are used. Many constructions are made with reinforced concrete are affected by several pathologies, both in the pulp and in the armors, caused by physical and chemical factors. One of the main pathologies that affect reinforced concrete is the corrosion of its reinforcement. Porosity, exposure to aggressive agents are the main factors that promote the destabilization of the armature and allow degradation of the same. However, for corrosion, three factors are needed: electrolyte, potential difference and oxygen. Many structures in reinforced concrete undergo electrochemical corrosion with the presence of oxygen and the formation of iron oxide, the so-called "red corrosion", where the aggressive agent, usually chloride ions, comes into contact with the reinforcement and causes degradation. But this is not the only form of corrosion of the armor, it can be found, under special conditions and the absence of oxygen, or black corrosion. In this paper, the forms of corrosion that affect reinforced concrete reinforcement will be discussed.

**Keywords:** reinforced concrete, corrosion, Black rust, leakage current corrosion.

O concreto é um dos materiais mais utilizados no mundo, por esse motivo é muito importante estudar este tipo de material e as estruturas em que são utilizados. Muitas construções são confeccionadas com concreto armado são atingidas por diversas patologias, tanto na pasta, quanto nas armaduras, ocasionadas por fatores físicos e químicos. Uma das principais patologias que atingem o concreto armado é a corrosão de suas armaduras. Porosidade, exposição a agentes agressivos são os principais fatores que promovem a despassivação da armadura e permitem com que ocorra a degradação da mesma. Porém, para que haja corrosão são necessários três fatores: eletrólito, diferença de potencial (d.d.p.) e oxigênio. Muitas estruturas em concreto armado sofrem corrosão eletroquímica com presença de oxigênio e formação de óxido de ferro, a conhecida "corrosão vermelha", onde o agente agressivo, em geral os íons cloretos, entram em contato com a armadura e promovem a degradação. Mas essa não é a única forma de corrosão das armaduras, pode-se encontrar, em condições especiais, e a com ausência de oxigênio, ou corrosão negra. Neste trabalho, serão discutidas as formas de corrosão que atingem as armaduras de concreto armado.

**Palavras-chave:** Concreto armado, corrosão, corrosão negra, corrosão por correntes de fuga.

## Introdução

Patologia das construções necessita de uma avaliação multidisciplinar com o objetivo de se estudar as origens da 'doença', suas formas de manifestação e atuação. Para ser considerado um sintoma patológico, é necessário que o mesmo danifique alguma das exigências da estrutura, sejam elas as capacidades mecânica, estética ou funcional. (1).

Há uma relação direta entre patologia e desempenho da estrutura, já que a medida da primeira depende da segunda. Outros dois pontos importantes para a análise das patologias são o tempo e as condições de exposição. Esses

fatores estão associados a o conceito de durabilidade, vida útil e desempenho. (1).

Os agentes causadores de manifestações patológicas possuem diversas origens, desde falha humana, tanto no projeto como execução, até problemas com a estrutura química dos componentes dos materiais, ou ainda, ataques de agentes agressivos ao material concreto e às armaduras. Para uma melhor compreensão das causas e origens, estas foram divididas e detalhadas em três grandes grupos: causas intrínsecas de manifestações patológicas, causas extrínsecas, e processo físico de deterioração do concreto armado. (2).

O conhecimento aprofundado das causas de deterioração do concreto é de suma importância, visto que possibilitará identificar, e desta forma evitar as possíveis causas de degradação do concreto, que, podem ser de origem química, por conta das reações de troca entre um fluido agressivo e componentes da pasta de cimento endurecida, reações envolvendo hidrólise e lixiviação dos componentes da pasta de cimento endurecida e reações envolvendo formação de produtos expansivos, e podem ser de origem física.

As causas químicas de deterioração podem ser internas ao material ou externas, como o ataque químico devido à ação de íons agressivos, como cloretos, sulfatos, dióxido de carbono, entre outros. (3). A corrosão das armaduras é uma das principais patologias que atingem o concreto. Fatores como porosidade, exposição a agentes agressivos promovem a despassivação da armadura, aliados a presença de um eletrólito, ddp e oxigênio, permitem com que ocorra a degradação da mesma. Mas o processo corrosivo pode se apresentar de formas distintas nas armaduras, a mais comum, “corrosão vermelha”, ou em condições especiais, as corrosões por correntes de fuga e a com ausência de oxigênio, ou corrosão negra.

Este trabalho trata-se de uma revisão de literatura, em que serão discutidas as formas de corrosão que atingem as armaduras de concreto armado.

## **Corrosão das Armaduras de Estruturas em Concreto Armado**

Define-se corrosão como sendo um processo de deterioração dos materiais, com perda de massa, devido à ação do meio ambiente. Este processo ocorre de forma espontânea devido à necessidade dos materiais em atingir seu estado de menor energia, ou seja, mais estável. Na natureza, em seu estado de menor energia, os metais são encontrados na forma de compostos (sob a forma de óxidos ou sais metálicos, na forma de sulfetos, carbonatos e silicatos) (4).

A corrosão pode ser classificada como química ou eletroquímica. A primeira, também

chamada de corrosão seca, ocorre na presença de gases com a formação de uma película de óxido. A segunda, chamada de aquosa, só ocorre em presença de umidade e de um eletrólito, havendo movimento de elétrons ao longo de trechos da armadura e movimento iônico através do eletrólito (1). Segundo Helene (5), o mecanismo predominante de corrosão em concreto armado é o eletroquímico. Quando se trata de um processo eletroquímico, a corrosão pode ser classificada também, como sendo a reação de oxi-redução da superfície dos materiais, onde ocorre um fluxo de elétrons e íons entre a região catódica e anódica com formação de uma pilha eletroquímica (6).

Como se trata de um mecanismo eletroquímico, para que ocorra a corrosão são necessários fatores, como a presença de um eletrólito, diferença de potencial, oxigênio e agentes agressivos (7). Para que se inicie o processo torna-se necessário a despassivação da armadura, que permite a propagação do fenômeno e depende de diversos condicionantes que irão determinar a sua intensidade e velocidade. Alguns dos principais elementos que contribuem com o desenvolvimento da corrosão em armaduras de concreto armado são a umidade e temperatura. A primeira devido à presença da água que atua como eletrólito durante o processo eletroquímico e a segunda promovendo o estímulo e aceleração da velocidade da reação de oxi-redução, favorecendo o transporte de íons (4).

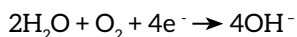
A passivação é relativa à perda de reatividade química de certos metais e ligas sob condições particulares. Sua formação se dá em ambiente altamente alcalino onde forma-se uma película protetora de caráter passivo. O concreto possui uma alta alcalinidade oriunda das reações de hidratação dos silicatos de cálcio ( $C_3S$  e  $C_2S$ ), que liberam certa porcentagem de  $Ca(OH)_2$  promovendo a passivação da armadura (8). Alterações no pH do interior de uma estrutura de concreto armado torna a película passiva instável, causando o fenômeno de despassivação, a qual pode ser provocada pela ação de agentes agressivos, tais como: dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e cloretos (8).

Para Ribeiro (8), a corrosão da armadura pode ser equacionada resumidamente da seguinte forma:

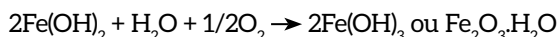
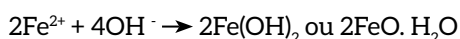
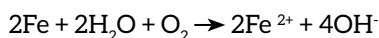
a) Na região do ânodo, o ferro perde elétrons, acarretando na dissolução do metal (processo de oxidação):



b) Na região do cátodo, em meios neutros e aerados, se processa a redução:



c) 3. Tendo como reação global, as seguintes reações de corrosão, com formação da ferrugem:



O mecanismo é ilustrado Figura 1.

Diversas são as consequências advindas do processo corrosivo em estruturas de concreto armado. Tal ação provoca a redução do desempenho estrutural das construções civis, reduzindo seu tempo de vida útil. Um grande problema relativo à corrosão é devido ao fato de que diversas propriedades estruturais podem ser afetadas de forma simultânea, intensificando a degradação da estrutura (9).

As principais consequências da corrosão na armadura do concreto se apresentam na forma de perda de aderência entre o aço e o concreto,

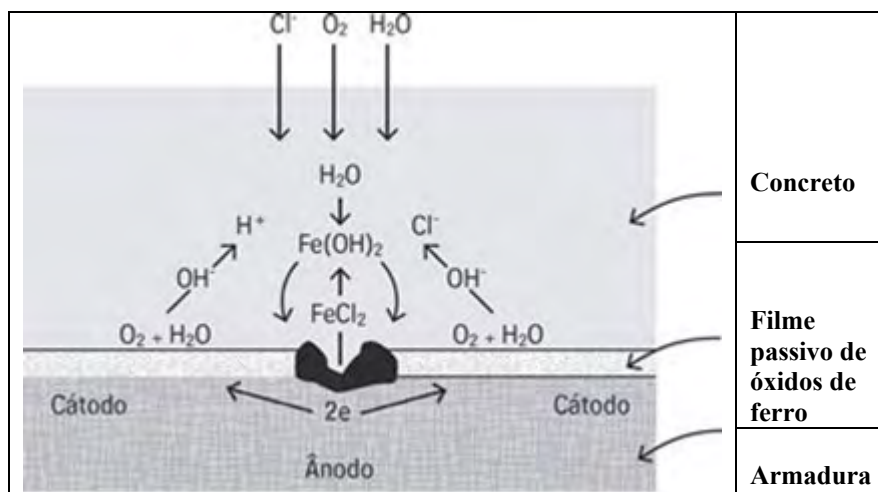
redução da área da seção transversal das barras de armadura, desenvolvimento de tensões radiais de tração que afetam o concreto, deslocamento do concreto, alteração da capacidade de resistência à tração, entre outros (6)

I. Aderência entre o aço e o concreto: uma vez iniciada a corrosão, a aderência entre o aço e o concreto é prejudicada pelo acúmulo de produtos de corrosão ao longo da barra de armadura.

II. Redução da área da seção transversal das barras de armadura: ao ser atacada por agentes causadores de corrosão, a exemplo dos cloretos, na armadura são formados pites. Nestes pontos, a seção de armadura pode ficar comprometida, com elevada redução da mesma, o que pode levar a ruptura total de certos trechos da barra.

III. Desenvolvimento de tensões de tração, fissuração e deslocamento: Os produtos formados na corrosão, ocupam um volume maior (de 3 a 10 vezes) que do aço original. Este aumento de volume cria altas tensões internas contra o concreto circundante (superiores a 15 MPa), o que gera sua fissuração e o deslocamento na direção paralela à armadura corroída, que facilita a penetração de agentes agressivos, como o  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CO}_2$ , (10) (9). A Figura 2 ilustra o efeito dos produtos de reação.

Figura 1. Modelo de corrosão da armadura. (7)



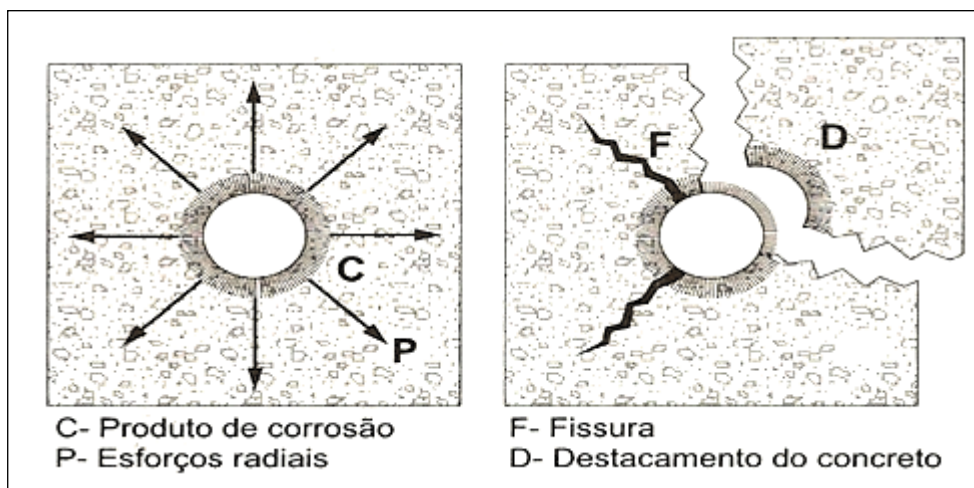


Figura 2. Esforços produzidos pelos produtos de corrosão, levando à ruptura do concreto. (10).

Santos (7) expõe que a corrosão eletroquímica está baseada na ocorrência um desequilíbrio elétrico entre metais diferentes ou entre distintas partes do mesmo metal. Tal configuração exemplifica a chamada pilha de corrosão ou célula de corrosão que tem seu processo iniciado após a ruptura do filme passivo.

## Corrosão Negra

Existem alguns casos em que há ausência de oxigênio nos poros do concreto, como quando ocorre a imersão da estrutura em água. O processo de corrosão do aço nestes casos é denominado de corrosão anaeróbica e, apesar do seu estudo ser importante para inúmeras áreas como por exemplo calhas de maré e em estruturas de pontes, inclusos cabos de pré-esforço em suas vigas, existindo muito pouca informação na literatura sobre esse processo e a formação da ferrugem. (8) (11)

A corrosão do aço é um processo eletroquímico que necessita de oxigênio na presença de umidade para ocorrer. O produto de corrosão, geralmente, ocupa um volume algumas vezes maior do que o aço não corroído, o que origina fissuras no concreto. Quando há restrição de oxigênio em ânodos ativos pode ser originada a ferrugem negra (Figura 3) formada pelo processo de corrosão anaeróbica. Este tipo de ferrugem não é expansivo, por esse motivo, a corrosão gerada no concreto armado é um dos

mais difíceis de serem detectados e considerado mais grave do que a corrosão normal, devido ao fato de estar presente muito tempo antes de ocorrer evidências visíveis na superfície do concreto (11).



Figura 3. Ferrugem negra em viga de borda. Fonte: (11)

Segundo O'Donovan et. al (11), para que a corrosão anaeróbica ocorra, são necessárias algumas condições concomitantes: disponibilidade de oxigênio no cátodo; existência de um meio que condicione o livre fluxo de elétrons da região anódica para sítios catódicos; e o ânodo está em um ambiente com deficiência em oxigênio.

O fluxo de elétrons de locais anódicos para catódicos é conseguido quando a resistividade elétrica do concreto é reduzida a menos de 12 kΩcm. Essa redução é conseguida devido à presença de íons altamente condutores, como cloretos ou nitratos. É importante saber que, taxas



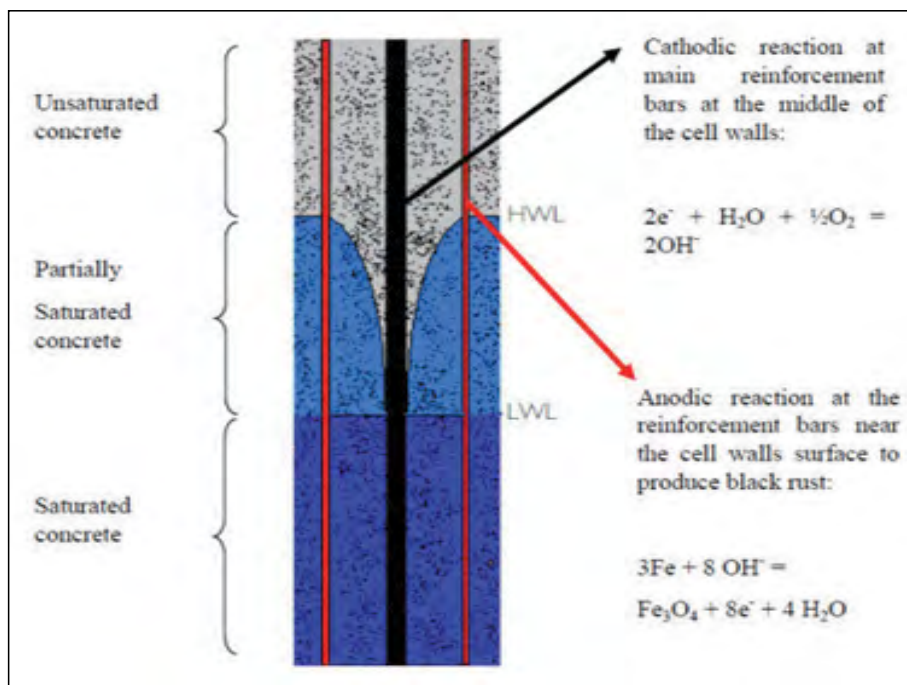


Figura 4. Formação de ferrugem negra em canalizações. (11).

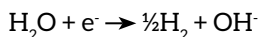
de corrosão do aço sob condições anaeróbias variam de 0,1 a 7,0  $\mu m$  por ano. (11)

As condições anaeróbicas em concreto armado podem ocorrer quando o ânodo está desprovido de oxigênio por fatores como sistemas de impermeabilização de concreto, acumulação da camada de ferrugem, revestimento em reforço de aço ou dentro de concreto submerso. (11)

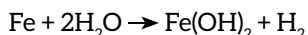
A corrosão do aço é um processo eletroquímico e em condições anaeróbias a reação de interesse é a dissolução anódica de ferro:



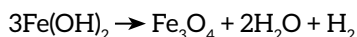
A redução catódica:



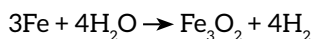
A reação de corrosão global pode ser escrita como:



A reação de Schikkor converte  $Fe(OH)_2$  para  $Fe_3O_4$ :



Alternativamente, a formação de  $Fe_3O_4$  pode ser escrita como:



Na Figura 4 podem ser observados os mecanismos de corrosão anaeróbica da literatura para a formação de ferrugem preta e verde.

O produto de corrosão resultante pode apresentar coloração verde ou preta, por este fato é conhecido como ferrugem verde ou negra. Imagina-se que o produto verde seja um complexo de cloreto já o produto negro é uma combinação de óxido férrico e ferroso. (11)



Figura 5. Corrosão negra. Fonte: (11)

A ferrugem negra é descrita como sendo um produto esponjoso e solúvel em água. Este não é um material cristalino e ocupará espaços



disponíveis, tais como vazios e poros, ou planos de fratura dos concretos (se a fissuração estiver presente por outras causas) sem exercer pressão expansiva sobre o mesmo. É possível que ocorram manchas de ferrugem na superfície do concreto, pois o produto da corrosão é relativamente instável, podendo migrar lentamente para a superfície onde, se o oxigênio é mais abundante, pode formar manchas de ferrugem marrom/laranja convencionais, ou seja, converte a ferrugem negra em óxido férrico, ou pode simplesmente ser perdido na água do mar (Figura 5). Portanto, o período inicial após a ruptura do concreto pode ser crucial para que a presença de corrosão anaeróbia sejam identificados corretamente. (11)

Uma vez que existem poucos sinais exteriores deste mecanismo, e embora este processo seja geralmente lento, uma perda significativa de metal pode ocorrer ao longo do tempo com subsequente perda de integridade estrutural e possível falha súbita e catastrófica. Mesmo o concreto sendo de alta qualidade e densidade, pode corroer por este mecanismo. (11)

A presença de corrosão anaeróbica pode ser indicada pelos seguintes métodos de detecção: observação da coloração vermelha da ferrugem presente na superfície do concreto, medição de potenciais de meia-célula, teste de continuidade elétrica, teste de cloretos e perfurações no concreto. (11)

## Conclusões

Entender as causas de degradação do concreto armado ajuda a criar estruturas mais duráveis, e que não passem por muitas intervenções corretivas ao longo de sua vida útil, ganhando em qualidade, economia e atendendo as novas necessidades competitivas e exigências de sustentabilidade do setor da construção.

As formas mais difundidas que visam garantir a durabilidade do concreto armado incluem: assegurar cobrimento mínimo das armaduras e adequado fator água/cimento em função dos macros e microclimas, correto adensamento e cura do concreto. Porém, de acordo com pontos abordados nesse trabalho, essas medidas

podem não ser suficientes para combater a corrosão das armaduras de estruturas de concreto. Observou-se que fatores externos, não ligados diretamente a construção, como o ambiente de exposição, mas devem ser considerados no projeto, são decisivos e de extrema importância.

O tema é bastante amplo e importante, o que gera grande quantidade de livros, dissertações, teses e outras publicações. As medidas de combate dos fatores degradantes do concreto passam por um bom planejamento, boa execução e realização de manutenções periódicas. De acordo com a regra de Sitter, o custo inicial para a construção de uma obra em que são observadas medidas de combate dos fatores degradantes são mais altos quando comparados a construções que não tomam essas precauções e podem estar em meios agressivos de deterioração, porém, esse custo é recuperado a longo prazo, uma vez que é mais caro executar intervenções corretivas do que intervenções preventivas.

Portanto, é necessária a ciência dos vários fatores envolvidos na durabilidade das estruturas de concreto e quanto antes são realizadas ações de combate a esses agentes mais econômica irá ficar a construção.

## Referências bibliográficas

- (1) ISAIA, G.C. **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, v.1 e v. 2, IBRACON: São Paulo, 2005.
- (2) GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações**. Monografia. UFRJ. Rio de Janeiro. 2015.
- (3) NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. 2 ed. São paulo: PINI, 1997. p. 503-510.
- (4) RIBEIRO, D.V; ALMEIDA, F. C.R.A.; CUNHA, M.P.T.; HELENE, P.R.L.; LOURENÇO, M.Z.; SALES, A.; DE SOUSA, C.A.C. **Corrosão em Estruturas de Concreto Armado: Teoria, Controle e Métodos de Análise**. 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier Brasil, 2014. v. 1. 244p.
- (5) HELENE, P. R.L. **Corrosão em Armaduras para Concreto Armado**. 3º reimpressão (fev. 96). São Paulo, PINI, IPT, 1986.
- (6) FORTES, LYTTELTON REBELO, **Corrosão na armadura do concreto armado e sua avaliação pela técnica do potencial de eletrodo**, dissertação de mestrado UFCE. Fortaleza, 1995. 228p.
- (7) SANTOS, Aleison Vilas-Bôas dos. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido à carbonatação**. Revista online IPOG – Especialize. 2015.
- (8) RIBEIRO, D.V. **Influência da Adição da Lama Vermelha nas propriedades e na corrosibilidade do concreto armado**. Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos

- Materiais. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2010. 260 p.
- (9) GRAEFF, Ângela Gaio. **Avaliação experimental e modelagem dos efeitos estruturais da propagação da corrosão em elementos de concreto armado**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.
  - (10) CASCUDO, O. **O controle da corrosão de armaduras em concreto - inspeção e técnicas eletroquímicas**. Goiânia, GO: Editora UFG, 1997. 237p.
  - (11) O'DONOVAN, R. ; O'Rourke, B. D. ; Ruane, K. D; Murphy, J. J. "Anaerobic Corrosion of Reinforcement", Key Engineering Materials, Vols. 569-570, pp. 1124-1131, 2013.
  - (12) SANTOS, L. **Avaliação da resistividade elétrica do concreto como parâmetro para a previsão da iniciação da corrosão induzida por cloretos em estruturas de concreto**. 161p. Dissertação (Mestrado em estruturas), Departamento de Estruturas, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
  - (13) RODRIGUES, Joaquim. Corrosão no concreto armado; A proteção Catódica no Concreto Armado. **Revista Recuperar** n° 33, p. 4 -27 Rio de Janeiro, Ed. Thomastec, 2000.
  - (14) SANTOS, Aleíson Vilas-Bôas dos. **Corrosão de armadura em estruturas de concreto armado devido à carbonatação**. Revista online IPOG - Especialize. 2015.
  - (15) CASIMIRO, Paulo Jorge Nico. **Materiais de contacto com água para consumo humano, mecanismos de degradação e contaminação**. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2010.
  - (16) BOTELHO, A. P.; SILVA, D. S. **Corrosão de Armadura em Estruturas de Concreto Armado**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade da Amazônia, Belém, Pará. 2008. 85p.
  - (17) CORSINI, R. Ambientes Agressivos. **Revista Técnica**. Edição 196. Editora PINI. São Paulo, SP. 1 julho 2013. P. 36-39. Disponível em: < <http://technepini.com.br/engenharia-civil/196/artigo294033-1.aspx>> Acesso em 22 dezembro 2016.
  - (18) FIGUEIREDO, E. P. **Efeitos da carbonatação e de cloretos no concreto**, **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, IBRACON, Cap. 27, p.829 – 855, V. 2, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005
  - (19) GENTIL, V. **Corrosão**. 4º ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2003. 341p.
  - (20) LAPA, J. S. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto**. Monografia (Especialização em Construção Civil). Escola de Engenharia Departamento de Engenharia de Materiais e Construção. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais. 2008. 56p.
  - (21) LIMA, M.G. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**, **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, IBRACON, Cap. 24, p.713 – 772, V.1, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2011
  - (22) LIMA, M.G. **Ação do meio ambiente sobre as estruturas de concreto**, **Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações**, IBRACON, Cap. 21, p.733 – 751, V.1, ed. Geraldo C. Isaia, São Paulo. 2005
  - (23) METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. IBRACON. 3ª edição. 2008. 674p.
  - (24) POLDER, R. B.; ROOIJ, M. R. Durability of marine concrete structures – field investigations and modelling. **Heron Journal**, Vol. 50, N° 3, 2005, p. 133 – 153.
  - (25) PONTE, Maria José J. S.. **Capítulo 3 – Formas de Corrosão**. Notas de aula. Universidade Federal do Paraná. 2012.

# Nova presidente da ABRACO: Dra. Zehbour Panossian

Uma das mais importantes pesquisadoras da corrosão no Brasil, assume a presidência da Associação Brasileira de Corrosão – ABRACO durante o biênio 2021-2023.

**D**ra. Zehbour Panossian é uma eminente professora universitária e pesquisadora brasileira, estudiosa da corrosão e da eletroquímica, com toda uma vida dedicada à corrosão e à proteção anticorrosiva, com uma inigualável capacidade de trabalho e de comunicação. Tem sido uma profissional motivadora do interesse pela pesquisa da corrosão no País, e disponibilizado para a comunidade um grande acervo de trabalhos técnico-científicos, merecendo destaque o seu livro Corrosão e Proteção contra Corrosão em Equipamentos e Estruturas Metálicas. A sua extrema capacidade de comunicação, trabalho e dedicação têm impactado profundamente os conceitos e os estudos da corrosão em nosso país. A Dra. Zehbour pertence a uma família de origem armênia, mas nasceu em Beirute, no Líbano, na década de 1950. Veio para o Brasil, radicando-se na cidade de São Paulo, ainda pequena, na companhia dos seus pais e aqui adotou a nacionalidade brasileira. Fez seus primeiros estudos no Externato José Bonifácio, tendo concluído o curso primário em 1962. Em 1966 concluiu o curso ginásial e, em 1970, concluiu o curso Técnico em Química Industrial no Liceu Eduardo Prado. A seguir entrou na Universidade de São Paulo, no Instituto de Física, em 1971, graduando-se Bacharel em Física em 1975. Nos anos de 1975 a 1977 fez licenciatura em física, também pelo Instituto de Física da USP e no período de 1976 a 1981 fez doutorado no Instituto de Química da mesma universidade.

Dra. Zehbour já ocupou importantes e significativos cargos, principalmente dentro da estrutura do IPT, dentre os quais podem ser citados: em primeiro lugar, o de Presidente da Instituição o qual, pela primeira vez na sua história, foi ocupado por uma mulher e Diretora de Inovação e Negócios. Já ocupou os cargos de Pesquisadora, Pesquisadora Chefe de Laboratório, Professora e Professora Convidada. Foi Diretora e Conselheira da Fundação de Apoio ao IPT. Foi Coordenadora Geral das duas unidades da Embrapii do IPT, sendo ainda orientadora de mestrado tecnológico do IPT. É também orientadora de doutorado e de mestrado da Universidade de São Paulo, na Escola Politécnica – Departamento de Metalurgia e de Materiais. Além disso atua como consultora ad-hoc do CNPq, da FINEP, da FAPESP e do Programa Ibero Americano de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento – CYTED.

Com relação à sua atuação no campo da ABRACO, destaca-se a participação dela na maioria dos nossos eventos técnicos onde tem apresentado trabalhos, quer seja na área de pesquisa científica ou trabalhos de tecnologia, no campo da proteção anticorrosiva. Já atuou como membro do nosso Conselho Deliberativo, da Diretoria da Associação, e o cargo mais recente como vice-presidente no biênio 2019-2021. Participa ainda de comissões técnicas, especialmente como Comissões de Estudo do CB 43 – Comitê Brasileiro de Corrosão, da ABNT. Como pesquisadora na área de corrosão elaborou e apresentou centenas de artigos técnicos nos mais importantes eventos do Brasil e do Mundo e nas principais revistas sobre o assunto. Por tudo isto a Dra. Zehbour Panossian é um grande exemplo para todos nós!



## Mensagem final da presidente aos nossos leitores

“Fazemos parte um grande grupo chamado “Corrosão e Proteção” e temos uma Associação Brasileira de Corrosão, a ABRACO, cuja missão é nos congregar para um objetivo só: disseminar o conhecimento sobre corrosão e proteção, fortalecer o nosso setor no país para a nossa sobrevivência e das gerações vindouras. Se você acredita nessa missão: junte-se a nós e traga seus colegas.”

## Brasil recebe Prêmio Bronze em inovação no International Stainless Steel Forum

**D**esenvolvido no Brasil para o setor de embalagens, os tambores em aço inoxidável da **Aperam no Brasil** representaram uma inovação que culminou o Prêmio Bronze no International Stainless Steel Forum. Trata-se de uma alternativa sustentável e duradoura aos tradicionais tambores de aço-carbono e plástico. Feitos a partir do aço inoxidável 430DDQ, esses tambores são até 23 % mais leves e, devido à sua elevada resistência à corrosão, oferecem uma vida útil mais longa. O aço inoxidável também é um material mais limpo e seguro para o transporte e armazenamento de mercadorias – particularmente de produtos alimentícios. E, ao contrário de suas contrapartes de aço-carbono e plástico, os tambores de aço inoxidável podem ser reutilizados e reciclados, resultando em produtos menos descartados, com um impacto ambiental mínimo e contribuindo para a economia circular.

**NOTA DE FALECIMENTO • 21.05.2021**

## Sérgio Murilo do Amaral

A Associação Brasileira de Corrosão – ABRACO, lamenta com pesar o falecimento do Sr. Sérgio Murilo do Amaral, profissional que desde 1981 atuava na área de preparação de superfícies, pintura líquida e aplicações de diversos revestimentos anticorrosivos, sendo integrante da primeira turma de qualificação de inspetores da ABRACO em 1987.

A diretoria e toda equipe de colaboradores da ABRACO, expressam sinceras condolências a todos seus familiares e amigos.



# Estudos mostram que as normas técnicas contribuem para o crescimento econômico

**A**nova biblioteca da ISO apresenta pesquisas baseadas em evidências sobre o impacto das normas técnicas. De acordo com pesquisa publicada por membros da ISO, as normas técnicas foram responsáveis por 28 % do aumento do PIB nos países nórdicos e no Reino Unido. Outro estudo, conduzido na França, mostrou que mais de 66 % das empresas pesquisadas (incluindo MPEs) afirmaram que as normas técnicas aumentaram seus lucros e 69 % consideraram que a normalização teve um impacto positivo em seus negócios.

Essas são apenas algumas das muitas publicações na nova ISO Research Library que demonstram o valor das Normas Internacionais. A Biblioteca apresenta estudos de membros da ISO, artigos acadêmicos, publicações de organizações internacionais e uma variedade de outras fontes. Espera-se que seja um recurso valioso para qualquer pessoa interessada em

normalização técnica. Novas publicações continuarão a ser adicionadas à Biblioteca ao longo do tempo e os membros da ISO e as partes interessadas são incentivados a contribuir.

O secretário-geral da ISO, Sergio Mujica, disse: "Construir a base de evidências para normas e padronizações é vital para demonstrar o valor do nosso trabalho. Esperamos que, à medida que este corpo de pesquisa continua a crescer, o mesmo acontece com a compreensão das pessoas sobre os benefícios das Normas Internacionais e o importante papel que desempenham na governança global."

Qualquer pessoa que deseje contribuir para a Biblioteca ISO deve enviar suas ideias para [research@iso.org](mailto:research@iso.org).

---

*Notícia gentilmente compartilhada pelo Felipe Naciuk para ABRACO e Fernando de Loureiro Fragata*  
Tradução: equipe de marketing da ABRACO



## Anuncie na Revista Corrosão & Proteção

Um veículo que leva seu anúncio ao alcance de quem realmente tem interesse na área.

INFORMAÇÕES:  
[marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)





# Corrosão: um dos maiores vilões da indústria

A corrosão consome anualmente o equivalente a 4% do PIB do Brasil.

Danos e deterioração de tubulações, válvulas e conexões são comuns, mas a tecnologia tem avançado em busca de novas formas de driblar estes e outros problemas.

Uma das estratégias mais eficazes para vencer a corrosão está na prevenção.

Recentemente, mais precisamente em 2020, a Belzona, líder mundial na inovação de compostos para reparos e revestimentos industriais, revolucionou o mercado de polímeros com o seu mais novo lançamento: o Belzona 5871, um revestimento expansível de barreira “frio ao toque”, capaz de reduzir a temperatura das tubulações em até 150°C para abaixo de 60°C.

Além de contribuir para um ambiente seguro para o trabalho, sem riscos de queimadura, é eficaz para prevenir a corrosão sob isolamento.

O que difere essa solução das demais alternativas do mercado é a capacidade de isolar termicamente ao mesmo tempo em que fornece proteção contra corrosão.

Outro fator de grande importância é a praticidade. O produto é aplicável por pincel, cartucho ou spray, permitindo aplicações em geometrias pequenas e complexas, bem como

em grandes áreas. O fato de ser expansível permite que a aplicação alcance o triplo da sua espessura em uma única camada. A velocidade de cura e o número de camadas garantem rápido retorno ao serviço.

Revestimentos adequados de barreira de isolamento térmico, são comprovadamente eficazes para garantir aumento de eficiência energética e durabilidade. Dessa forma, é possível estender a vida útil do equipamento, reduzindo custos de substituições futuras, o que justifica aos proprietários e gestores de ativos a importância de optar por produtos e serviços de qualidade e de reconhecida procedência.



Corrosão Sob Isolamento\_Hita Belzona



## EMPRESAS ASSOCIADAS

A IDEAL SOLUÇÕES ANTICORROSIVAS EIRELI ME  
[www.aideal.com.br/site/](http://www.aideal.com.br/site/)

---

ADVANCE TINTAS E VERNIZES LTDA.  
[www.advancetintas.com.br](http://www.advancetintas.com.br)

---

AKZO NOBEL LTDA - DIVISÃO COATINGS  
[www.akzonobel.com/international](http://www.akzonobel.com/international)

---

APERAM  
[www.brasil.aperam.com](http://www.brasil.aperam.com)

---

BBOSCH GALVANIZAÇÃO DO BRASIL LTDA.  
[www.bbosch.com.br](http://www.bbosch.com.br)

---

CEPEL - CENTRO PESQ. ENERGIA ELÉTRICA  
[www.cepel.com.br](http://www.cepel.com.br)

---

COVESTRO INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE POLÍMEROS LTDA  
[www.covestro.com](http://www.covestro.com)

---

DE NORA DO BRASIL LTDA.  
[www.denora.com](http://www.denora.com)

---

DEEPWATER DO BRASIL ENGENHARIA LTDA.  
[www.stoprust.com](http://www.stoprust.com)

---

FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S/A  
[www.furnas.com.br](http://www.furnas.com.br)

---

G P NÍQUEL DURO LTDA.  
[www.grupogp.net](http://www.grupogp.net)

---

HITA COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA.  
[www.hita.com.br](http://www.hita.com.br)

---

ICM METAIS  
<http://site.icm.ind.br/>

---

IEC INSTALAÇÕES E ENG<sup>a</sup> DE CORROSÃO LTDA.  
[www.iecengenharia.com.br](http://www.iecengenharia.com.br)

---

INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO  
EM ELETROQUÍMICA – ISI – EQC  
[www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/nossarede/eletroquimica/](http://www.senaipr.org.br/tecnologiaeinovacao/nossarede/eletroquimica/)

---

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA – INT  
[www.int.gov.br](http://www.int.gov.br)

---

JOTUN BRASIL IMP. EXP. E IND. DE TINTAS LTDA.  
[www.jotun.com](http://www.jotun.com)

---

PETROBRAS S/A - PETRÓLEO BRASILEIRO / CENPES  
[www.petrobras.com.br](http://www.petrobras.com.br)

---

PETROBRAS TRANSPORTES S/A - TRANSPETRO  
[www.transpetro.com.br](http://www.transpetro.com.br)

---

PRESSERV DO BRASIL LTDA.  
[www.cortecpresserv.com.br](http://www.cortecpresserv.com.br)

---

PROMAR TRATAMENTO ANTICORROSIVO LTDA.  
[www.promarpintura.com.br](http://www.promarpintura.com.br)

---

RENNER HERRMANN S/A  
[www.renner.com.br](http://www.renner.com.br)

---

SACOR SIDEROTÉCNICA S/A  
[www.sacor.com.br](http://www.sacor.com.br)

---

SMARTCOAT ENGENHARIA EM REVESTIMENTOS LTDA.  
[www.smartcoat.com.br](http://www.smartcoat.com.br)

---

TBG - TRANSP. BRAS. GASODUTO BOLÍVIA – BRASIL  
[www.tbg.com.br](http://www.tbg.com.br)

---

TECHNIQUES SURFACES DO BRASIL LTDA.  
[www.tsbrasil.srv.br](http://www.tsbrasil.srv.br)

---

TECNOFINK LTDA.  
[tecnofink.com](http://tecnofink.com)

---

TINÔCO ANTICORROSÃO LTDA.  
[www.tinocoanticorrosao.com.br](http://www.tinocoanticorrosao.com.br)

---

W&S SAURA LTDA.  
[wsequipamentos.com.br](http://wsequipamentos.com.br)

---

ZERUST PREVENÇÃO DE CORROSÃO LTDA.  
[www.zerust.com.br](http://www.zerust.com.br)

---

ZINCOLIGAS INDÚSTRIA E COMÉRCIO LTDA.  
[www.zincoligas.com.br](http://www.zincoligas.com.br)

---





**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO**

Av. Venezuela, 27 • Sl. 412/418 • Centro • Rio de Janeiro • CEP 20081-311

(21) 2516-1962 • [www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)

Facebook: [facebook.com/abraco.official](https://facebook.com/abraco.official)

LinkedIn: [linkedin.com/in/abraco](https://linkedin.com/in/abraco)

Instagram: [@abraco\\_br](https://instagram.com/abraco_br)

Youtube: Associação Brasileira de Corrosão

**SETORES**

Associados: [secretaria@abraco.org.br](mailto:secretaria@abraco.org.br)

Biblioteca: [biblioteca@abraco.org.br](mailto:biblioteca@abraco.org.br)

CB-43: [cb43@abraco.org.br](mailto:cb43@abraco.org.br)

Comunicação: [marketing@abraco.org.br](mailto:marketing@abraco.org.br)

Eventos: [eventos@abraco.org.br](mailto:eventos@abraco.org.br)

Financeiro: [financeiro@abraco.org.br](mailto:financeiro@abraco.org.br)

Gerência Geral: [gerenciageral@abraco.org.br](mailto:gerenciageral@abraco.org.br)

Presidência: [presidencia@abraco.org](mailto:presidencia@abraco.org)

Qualificação e Certificação: [qualificacao@abraco.org.br](mailto:qualificacao@abraco.org.br)

Treinamentos: [cursos@abraco.org.br](mailto:cursos@abraco.org.br)