



# Permeation Grouting ou Jet Grouting?

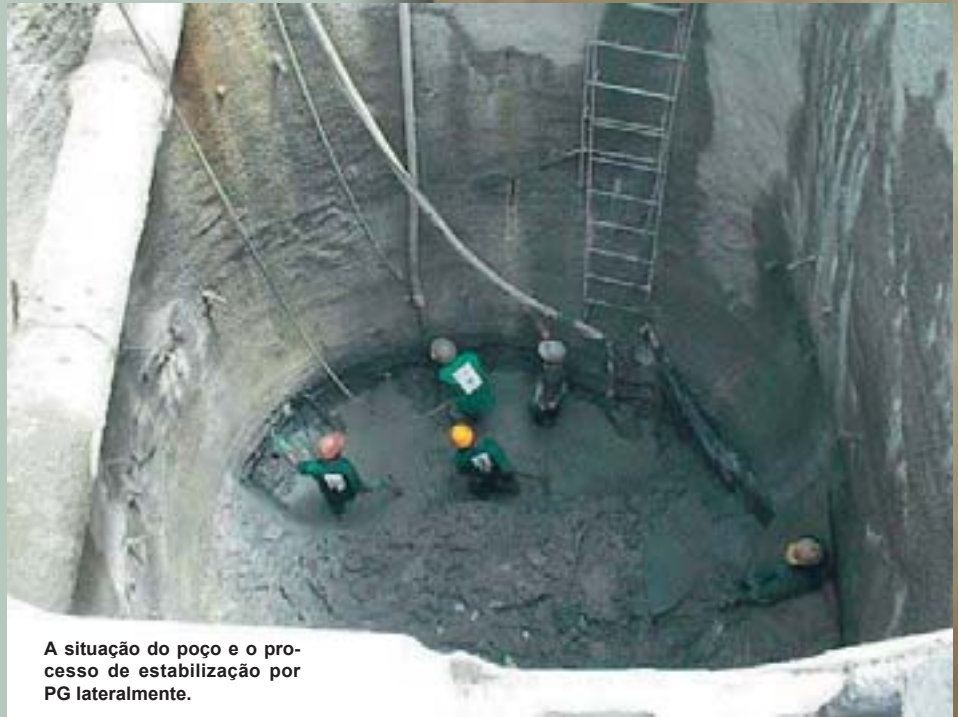
Saiba porque o Permeation Grouting tem um custo x benefício melhor que o Jet Grouting na estabilização de solos e fundações.

**Carlos Alberto Monge**

No contexto da estabilização de um solo ou no reforço de uma fundação, grouting significa injetar uma resina ou um cimento concomitantemente com a introdução de tubos, que podem, inclusive, ser de ferro galvanizado de 3/4 que se encontra em qualquer loja de esquina, de modo a modificar química e fisicamente as características do solo. Ao contrário do caro jet grouting (JG) que altera apenas fisicamente, através de altíssimas pressões, as características do solo pelo seu rompimento e introdução de um novo material, o permeation grouting (PG) promove a alteração do solo com pouco ou nenhum distúrbio em sua estrutura. Opera com baixas pressões, da ordem de 1MPa, modificando quimicamente as condições da solução existente entre grãos, tornando-a uma matriz aglomerante, semelhante ao cimento portland e/ou fisicamente, pelo preenchimento dos vazios existentes.

### Conhecendo o solo

Dentro deste universo, torna-se necessário conhecer as propriedades do solo, ou seja o tamanho dos grãos, sua mineralogia e a quantidade de água existente. Tudo isto intrinsecamente interrelacionado. Por exemplo, minerais que formam as argilas conseguem reter grande quantidade de água, ao passo que solos de granulometria fina são regidos por um conceito de consistência (limites de atterberg) relacionada com o teor d'água existente em seus vazios. Já os solos arenosos, sem qualquer participação de argila ou silte, não possuem coesão. A Thomastec Editora dispõe da apostila "Ensaios



A situação do poço e o processo de estabilização por PG lateralmente.

Um acidente, no Rio de Janeiro, com uma máquina TBM, provocou o afundamento do equipamento entre um túnel e outro, num solo de argila orgânica mole. A medida que se aprofundava a escavação do poço para o resgate do equipamento, ocorria um deslocamento desproporcional do solo para dentro do poço, invisibilizando o resgate. A técnica do Jet-Grouting foi contraindicada em função da natureza do terreno. O uso do Permeation Grouting (PG) através de furos laterais estabilizou o solo anexo ao poço, permitindo sua escavação e o resgate do equipamento.



Após a execução da PG obteve-se a consolidação necessária à escavação para retirada do equipamento enterrado.

# SOLOMAX

FAZ  
MILAGRES  
EM

SOLOS E  
ROCHAS



**SOLOMAX** é uma resina com viscosidade igual a da água. Ideal para estabilização de solos arenosos e argilosos. Sua performance em argilas moles e turfas é inigualável. No próximo trabalho de estabilização, recomende Permeation Grouting com **SOLOMAX**.

**ROGERTEC**



[www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br)  
[rogertec@infolink.com.br](mailto:rogertec@infolink.com.br)

Fax consulta nº 32

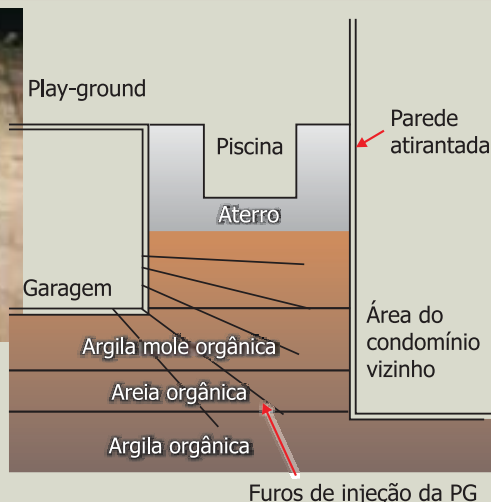


## CONSTRUÇÃO EM CIMA DE ATERROS?

Está ficando difícil encontrar “solo bom” em áreas urbanas, diz o mestre de uma empresa de sondagem. O fato é que cada vez mais construtoras encontram aterros em seus solos de fundação. Uma rápida sondagem atesta a presença de refugo doméstico, industrial e de construções, além de lixo químico. O aproveitamento deste solo dá problemas. Não é só o aspecto físico de resistência que deve ser avaliado, o aspecto químico atual e posterior é importante. Pode acontecer a total modificação do solo, inclusive com formação de produtos ou gases extremamente tóxicos (veja RECUPERAR Nº 30). Análises físico-químicas tornam-se necessárias, principalmente da água do solo. A simples compactação destes aterros, mesmo considerando-se edificações de pequeno porte, não impede o aparecimento de recalques, motivados pela consolidação secundária, devido a ação físico-química e bioquímica. Os aterros sanitários apresentam composição variada, ao mesmo tempo em que seu comportamento físico-químico é alterado com a contínua decomposição orgânica, surgindo vazios, gases metano e sulfeto de hidrogênio, que podem causar explosões. A presença de sulfatos no lixo que forma o aterro contamina a água freática e ataca ferozmente peças estruturais de concreto armado, como é o caso de estacas. De um modo geral, a densidade dos aterros varia 120 a 300kg/m<sup>3</sup>, possuindo teores de umidade em torno de 25%. Graus químicos adequados, com carga de caldas de cimento ou cal promovem o encapsulamento do lixo, immobilizando a perigosa ação bioquímica e física, formando o que alguns pesquisadores chamam de túmulo.



Uma piscina, dentro de um condomínio, próximo à Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro, apresentava recalque contínuo desde a entrega da obra pela construtora. Camadas de argila mole orgânica e areia orgânica “sustentavam” sua estrutura. A estabilização foi feita com PG a partir do nível da garagem. O controle de recalque posterior confirmou a estabilização da piscina.



Fundamentais de Solos para a Construção”, que custa R\$ 15,00 e ensina, de maneira fácil, como fazer, com o mínimo de aparelhagem, todos os ensaios fundamentais e obter informações essenciais para o conhecimento do solo.

### A estabilização do solo

A injeção ou o “Grouting” de substâncias fluidas em um solo visa melhorar a estabilidade de seu volume, sua resistência através das propriedades tensão/deformação, a permeabilidade e a durabilidade. Para se obter altas resistências e rigidez torna-se necessário, basicamente, reduzir o espaço entre vazios ou aglutinar as partículas ou grãos maiores do solo. A utilização da PG com resinas químicas (também chamadas de grouts químicos) apenas, ou em conjunto com cal ou cimento portland, aumenta a capacidade de carga do solo, reduz ou interrompe os recalques existentes, aumentando a resistência ao cisalhamento. Esta ação também estabiliza o solo contra movimentos laterais, reduzindo ou eliminando o fluxo d’água (permeabilidade) ou, simplesmente altera a resistência coesiva de solos friáveis, antes de escavações. Uma das atividades mais frequentes feitas com PG é a impermeabilização de solos com cortinas subterrâneas onde há contaminação com produtos químicos tóxicos. Ao contrário da dispendiosa técnica do jet grouting, que usa hidrocorte no solo com posterior injeção de calda de cimento a altas pressões, para formar colunas impermeáveis e estabilizantes “tipo concreto”, a PG pode ser executada

Continua pág. 08

## Parece difícil recuperar?



### A ARCANO recupera.

A ARCANO Eng<sup>a</sup> é especializada na arte de recuperar concreto armado. Nossa especialidade é o reforço estrutural com fibra de carbono e a utilização de resinas de baixa viscosidade no tratamento de trincas e fissuras. Utilizamos proteção catódica para interromper a corrosão no concreto armado e protendido. Consulte-nos hoje mesmo.



Tel/Fax: (21) 252-1154  
Celular: (21) 9913-2679



EPT - ENGENHARIA  
E PESQUISAS  
TECNOLÓGICAS S/A

### Recuperação de Estruturas

- ✓ Reforço Estrutural
- ✓ Fibra de Carbono
- ✓ Concreto Projetado
- ✓ Impermeabilização

### Laboratórios de Ensaios

- ✓ Concreto, Aço e Materiais para Construção
- ✓ Solos e Pavimentação



São Paulo - R. Catão, 523 - Lapa - Fone (011) 3873-3399  
Porto Alegre - R. Marcelo Gama, 41 - Fone: (051) 3342-7766  
E-mail: ept@ept.com.br - Home Page: <http://www.ept.com.br>

# Não é visão! É Permeation Grouting.

Agora você tem grouts químicos à base de resinas poliméricas, além de microcimento de baixíssima viscosidade capazes de ser injetados em qualquer tipo de solo, inclusive em turfas ou solos moles, modificando-os, com obtenção de excelentes resistências e rigidez. O grauteamento químico é também usado, extensivamente, para controlar a intrusão da água freática em estruturas subterrâneas, principalmente na construção de barragens subterrâneas para conter a contaminação química de solos. A simples mistura com o solo promove maciços rígidos como rocha. Jet Grouting já tem alternativa. É Permeation Grouting, mas pode chamar de PG. Alugamos e vendemos bombas para aplicação. Damos total assessoria técnica.



**ROGERTEC**



Grout Modification Specialists

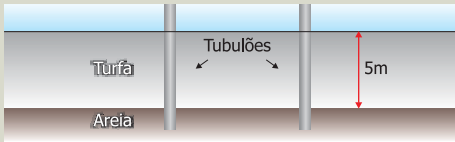
[rogertec@infolink.com.br](mailto:rogertec@infolink.com.br)  
[www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br)

Fax consulta nº 33





O aterro, no solo de mangue, de encontro ao viaduto.



O solo e a situação dos tubulões.



A situação dos 2 tubulões e o pântano turfoso.



Visão do buraco feito para constatação da primeira "laje" criada com PG. Na foto da direita veja o detalhe do buraco

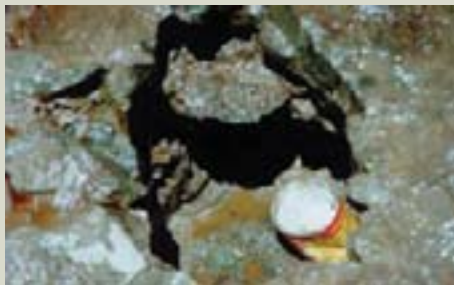
A situação de dois tubulões com camada de 5m de turfa amorfa envolvendo-os preocupavam os projetistas, já que haveria uma camada de aterro com 4m de altura sobre a turfa. A solução foi a execução de uma malha de furos em torno dos dois tubulões e a execução de PG. O resultado foi a formação de "lajes" e "paredes" até a formação de areia.



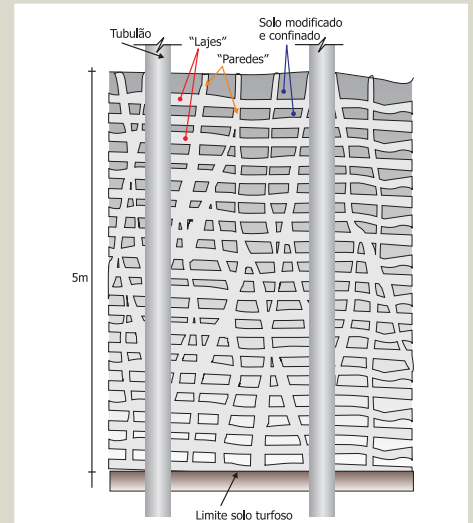
Os 4m de aterro sobre a área tratada.



O serviço de Permeation Grouting: a bomba e o misturador.



Detalhe da primeira "laje" com cerca de 20cm seguida de uma camada de turfa modificada e nova laje.



Situação do esqueleto formado que deu estabilidade a turfa, protegendo os dois tubulões.

por qualquer empresa de recuperação já que envolve apenas a utilização de uma bomba que possa injetar caldas e resinas, uma misturadora, tubos de aço galvanizado e um martelo para a cravação.

### O permeation grouting (PG)

O PG, também chamado de grouting de penetração, consiste na injeção de resinas, orgânicas ou não, de baixíssima viscosidade além de caldas, que possam permear pelo solo, preenchendo seus poros e vazios entre partículas ou apenas formando esqueletos ou lâminas, proporcionando a modificação física e, mais importante, química, do solo motivo da recuperação. Cada solo pode ser identificado pelas características obtidas através de testes muito simples, o que pode ser constatado através da apostila "Ensaio fundamentais de solos para a construção", obtida nesta Editora. Como a integração solo/líquido a ser injetada

# BOMBA R25 e MISTURADOR R80

A melhor ferramenta para a execução de Permeation Grouting. Grandes trabalhos de estabilização com tão pouco investimento!

Fax consulta nº 34



## COMO SÃO OS SOLOS MUITO ORGÂNICOS?

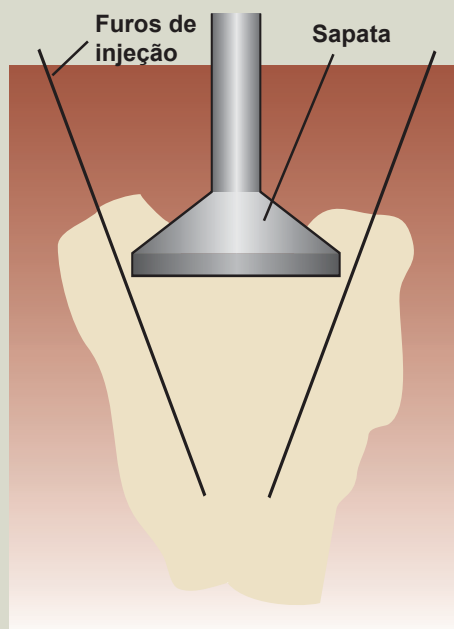
Solos orgânicos, ou mais precisamente, uma turfa é uma acumulação de plantas parcialmente desintegradas e decompostas, as quais sofrem um processo de fossilização sob condições de aeração incompleta e com alta quantidade de água. Processos biofísicos e físico-químicos fazem com que o material orgânico permaneça em estado de preservação por enormes períodos de tempo. A partir, por exemplo, do tipo de turfa bem amorfa, aquela lama bem viscosa e pegajosa, até a de coloração preta marrom, formada por restos de madeira e fibras, compondo um conjunto fibroso/granular, poder-se-á ter diferentes fases na turfa. De forma genérica, poder-se-á subdividir os solos turfosos em: turfás verdadeiras, solos orgânicos turfosos, solos orgânicos e solos com algum teor de matéria orgânica. Sua parte mineral é composta por areia de quartzo e silte que, usualmente, aumenta com a profundidade. Sua relação de vazios varia de 9, para a turfa granular amorfa, até valores superiores a 25 para as turfás fibrosas. O volume de vazios, naturalmente, influencia a grande quantidade de d'água existente neste tipo de solo e definem o volume de material a injetar. Sua retração pode variar de 10 a 75%, em relação ao seu volume original. Recalques excessivos e diferenciais caracterizam estes solos que, ao receberem uma carga, praticamente não oferecem resistência lateral. Grandes tensões de cisalhamento surtem mesmo para pequenas cargas, acompanhado de fluência, deslocamento lateral ou, em casos extremos, até de escorregamento rotacional com levantamento do solo adjacente. A matéria orgânica, que aumenta com o grau de humidificação, retarda ou anula a hidratação do cimento portland pelo fato de sequestrar ou absorver seus íons cálcio. O tratamento com PG e grouts químicos (ou resinas) específicos neutraliza este efeito, além de assegurar uma resistência quase que instantânea.

é desejada, torna-se necessário identificar as características deste último, ou seja, sua viscosidade, resistência ao cisalhamento, teor e tamanhos de partículas. Esta interação controla a injetabilidade. A PG pode ser executada cravando-se o tubo da injeção à profundidade desejada e, a partir daí, de baixo para cima, proceder-se o "grouting" em estágios, de acordo com um determinado volume de injeção, com 100 litros por metro, por exemplo. Há situações em que se deseja, além da injeção do grout químico, composto por diferentes tipos de resinas, injetar caldas de cimento, bentonita, cal ou pozolanas, de modo a auxiliar no tratamento. Desta forma, a PG é executada em duas etapas. A primeira é a cravação do tubo onde é injetada, simultaneamente, a resina. Na segunda etapa, após o tubo ter alcançado a cota desejada, inicia-se a fase de retirada do tubo com a injeção de material reativo, composto por uma determinada calda. Adicionalmente, poder-se-á, após a execução da primeira etapa, complementar o reforço do solo com uma barra, que é deixada para trás, à medida que puxa-se o tubo e é injetada a calda.

Para o caso de solos argilosos moles, com presença de teores elevados de matéria orgânica (ácido húmico), por exemplo, torna-se necessária a introdução prévia de um grout químico (1ª etapa da PG) de modo a modificar o ambiente, injetando-se posteriormente (2ª etapa) a calda de cal ou cimento CP4.

### Onde se aplica a PG

Qualquer tipo de solo pode ser estabilizado com PG e cimento portland. Os solos altamente orgânicos, aquelas argilas muito plásticas ou combinações, podem, perfeitamente, serem estabilizadas com um determinado



O pilar, de uma edificação de 3 andares, sofreu aumento de carga. A estabilização foi feita com PG a partir da região inferior de sua sapata.



A cravação, por percussão, do tubo de injeção...



...e o posicionamento da mangueira para posterior injeção de PG.



Grupo falcão bauer

- Controle global da qualidade na construção;
- Controle tecnológico de concreto, solos e pavimentação;
- Recuperação e reforço de estruturas;
- Gerenciamento e fiscalização de obras;
- Inspeções e laudos técnicos em estruturas;
- Provas de cargas e controle de recalques;
- Análises químicas, físicas e metalográficas.

Rua Aquinos, 111 - São Paulo - CEP 05036-070 - fones: (11) 861-0833 / 861-0677 - fax: (11) 861-0170  
internet: <http://www.falcaobauer.com.br> - e-mail: [bauer@falcaobauer.com.br](mailto:bauer@falcaobauer.com.br)

CRENCIADO: INMETRO E IBQN



# Transforme cimento portland em microcimento.

**O misturador coloidal HS300 é o crack que transforma caldas comuns em caldas com propriedades semelhantes a do microcimento, conferindo grande penetração, diferente de tudo que você já fez.**

A atuação de caldas de cimento preparadas de maneira convencional é limitada a solos apenas arenosos. Você perde tempo, material e a obra. Misturadores coloidais dão outra performance às caldas tradicionais. A linha de misturadores coloidais, com alto poder cizalhante, é reconhecida no mundo inteiro por sua performance, eficiência e durabilidade.

Os misturadores High Shear misturam eficientemente caldas de microcimento; cimento portland e qualquer outro tipo de suspensão simples ou com adição de areia, de tamanho até 8mm. O resultado é uma profunda atuação em solos mais finos e comprometidos, com vantagens que você nunca viu. Exija mais. Exija misturadores coloidais ÄNY.



**Fax consulta nº 35**

## E OS SOLOS COM PRESENÇA DE SULFATOS?

A desintegração de estruturas de concreto enterradas devido ao ataque de sulfatos no solo é bastante comum, principalmente quando este solo tem uma fração argilosa apreciável e há presença de água ou umidade. O que ocorre é que, quando o teor de  $SO_3$  e  $SO_4$  está em torno de 0,2 e 0,5%, ou mais, respectivamente, ou quando o teor de  $SO_3$  da água do solo excede a 300mg/litro há grande risco da deterioração da peça estrutural e mesmo da estrutura. A utilização de PG com o uso de grauts químicos específicos e caldas de cimento neutraliza este perigo, permitindo, adicionalmente, a hidratação e formação de uma série de silicatos. Neste particular, através do trabalho de F.T. Sherwood, "The Stabilization with Cement of Weathered and Sulphate-bearing clays", evidencia-se que o cimento resistente a sulfatos não é melhor que o cimento portland comum, quando se deseja tratar ou estabilizar solos argilosos que contenham sulfatos.



**Estaca protendida com perda total de seção devido a presença de sulfatos.**

tipo de resina e uma calda, seja de cimento ou de hidróxido de cálcio (Ca). É interessante relatar que a utilização de misturador com alto poder cizalhante transforma caldas de cimento portland comum (partículas com diâmetro médio de 70 micrômetros) em caldas com propriedades semelhantes a um microcimento, que é caro e possui uma média de partículas com diâmetros que variam entre 3 e 4 micrômetros.

- O tratamento ou a estabilização de solos de mangues, turfas ou solos muito orgânicos,
- além dos que tem alto teor de sal, especial-

## ENCAPSULANDO O LIXO RADIOATIVO COM PG

Estudos recentes feitos com a utilização de difração de raios X, exame microestrutural com microscopia eletrônica de varredura e com monitoramento da migração de íons tóxicos de lixo radioativo e industrial comprovam a eficiência da barreira formada com a técnica de tratamento do solo com PG e grouts químicos. O simples tratamento com barreiras de caldas de cimento (como as formadas com jet grouting) ficam suscetíveis de ataque a este aglomerante. Este fato é particularmente importante para lixos contendo substâncias como o ácido bórico, que tanto inibem todo o processo da reação de pega dos cimentos portland como atacam os cristais hidratados. O lixo formado por sulfato de sódio e isótopos de célio radioativo, substâncias contaminantes encontradas na indústria nuclear, assim como o lixo formado por metais pesados provenientes da indústria da eletrolgalvanização sensibiliza também as barreiras formadas pela matriz cimentícia do portland comum aditivado com microsílica. A formação de barreiras estanques com o uso de grouts químicos e caldas de cal ou cimento pozolânico (CP4), utilizando-se a técnica de duas fases da PG, pode ser separada em três categorias de reações, conforme explicada por Conner no trabalho "Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes":

- Reações de hidratação do cimento.
- Interação da resina solúvel com a hidratação do cimento.
- Reação entre resina e cátions de metais polivalentes (do lixo radioativo e/ou cimento), formando silicatos metálicos insolúveis.

A adição de determinados grouts químicos ou precisamente resinas ricas em sílica reativa e cimento portland conduz à formação de maiores quantidades de hidróxido de silicato cálcico, deixando no prejuízo o hidróxido de cálcio portlandita (CH). Esta redução do CH padrão, formado durante a hidratação do cimento (portland) resulta em substâncias mais estáveis para a solidificação tanto de lixos tóxicos como radioativos. Estudos comprovam a total retenção do célio e do estrôncio em cimentos proposadamente modificados com redução da atuação do CH.



mente sulfatos, normalmente retardam ou impedem a hidratação de uma calda de cimento injetada. De fato, solos contendo teores de material orgânico superiores a 2%, e com pH inferior a 5 são, usualmente intratáveis. Com a técnica PG e um leque de resinas orgânicas e inorgânicas, adequadas a cada caso, já não existem estes obstáculos. O fato é que a matéria orgânica retarda e/ou impede a hidratação do cimento devido a ação do ácido húmico que sequestra ou absorve os íons cálcio. A utilização de caldas de cal (hidróxido de cálcio), por exemplo, além de ser uma fonte de cálcio, juntamente com a injeção prévia da resina CARBOSIL permite a neutralização daquele ambiente inóspito ao mesmo tempo em que favorece a formação de silicatos de cálcio que garantirão a estabilização do solo, reduzindo ou eliminando a presença da água livre e imobilizando a participação do húmus no contexto do solo.

### Fax consulta nº 43

Para ter mais informações sobre  
Estabilização de solos  
click aqui:  
<http://www.recuperar.com.br>

### REFERÊNCIAS

- Carlos Alberto Monge é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- A. Atkinson and J.A. Hearne, "Mechanistic Model for the Durability of Concrete Barriers Exposed to Sulphate-Bearing Groundwater", Materials Research Society.
- W.F. Langelier, "The Analytical Control of Anti-Corrosion Water Treatment", J. Amer. Water Work Assoc.
- S.A. Greenberg and T.N. Chang, "Investigation of the Colloidal Hydrated Calcium Silicates. II. Solubility Relationships in the Calcium Oxide-Silica-Water System at 25°.
- American Concrete Institute, "Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures", ACI209R-92.
- K. Tuuti, "Corrosion of Steel in Concrete", Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm.
- American Concrete Institute, "Corrosion of Metal in Concrete", ACI 222R-89.
- American Concrete Institute, "Code Requirements for Nuclear Safety Related Concrete Structures and Commentary", ACI349-85(90)/349R-85(90).
- Ghosh, M.M., and H. Johannmeyer, Fixation of Heavy Metals in Electroplating Wastes, AIChE Symposium Series Number 243.
- Iler, R., The Chemistry of Silica, John Wiley & Sons.
- Coatman, R.D., N.L. Thomas, and D.D. Double, Studies of the Growth of "Silicate Gardens" and Related Phenomenon. Journal of Materials Science.
- Lea, F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, Edward Arnold, London.
- Taylor, H.F.W. (Ed.), Chemistry of Cements. Volume 1, Academic Press, New York & London.
- Bogue, R.H., The Chemistry of Portland Cements. Reinhold, New York.
- Stein, H.N., and J.M. Stevels, The Influence of Silica on the Hydration of  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Journal of Applied Chemistry.

**Você está tratando  
mineração d'água  
com produtos de  
superfície?  
Tratamentos tópicos  
apresentam riscos  
e você sabe disso.**

**Injete PH FLEX.**

*A tecnologia da injeção com poliuretano hidroativado PH Flex ataca, de maneira profunda, a água de onde quer que ela venha. Assim, infiltrações em galerias e paredes de barragens, paredes diafragma, minações d'água, pisos e poços de elevadores, metrô e vazamentos em castelos d'água são resolvidos direta e profundamente, sem chance de retorno. Para sempre!*

**Conheça o  
nosso GEL**



**ROGERTEC**



[www.rogertec.com.br](http://www.rogertec.com.br)  
[rogertec@infolink.com.br](mailto:rogertec@infolink.com.br)  
Fax consulta nº 328





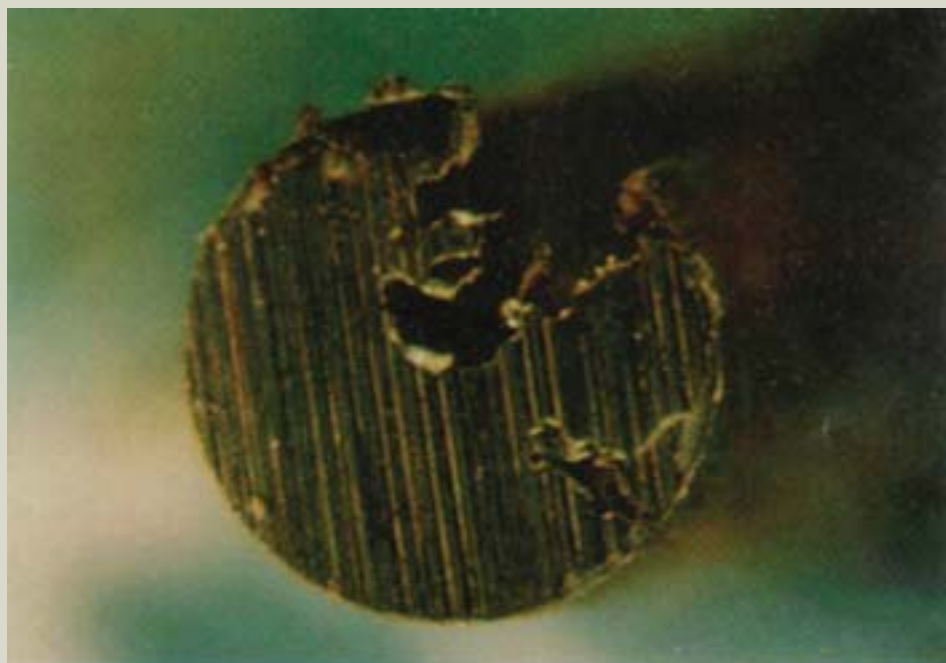
## Como identificar a biocorrosão.

Os microorganismos estão aí e, rapidamente, estão invadindo nosso ambiente provocando novas formas de corrosão e grandes prejuízos. Veja como identificá-los.

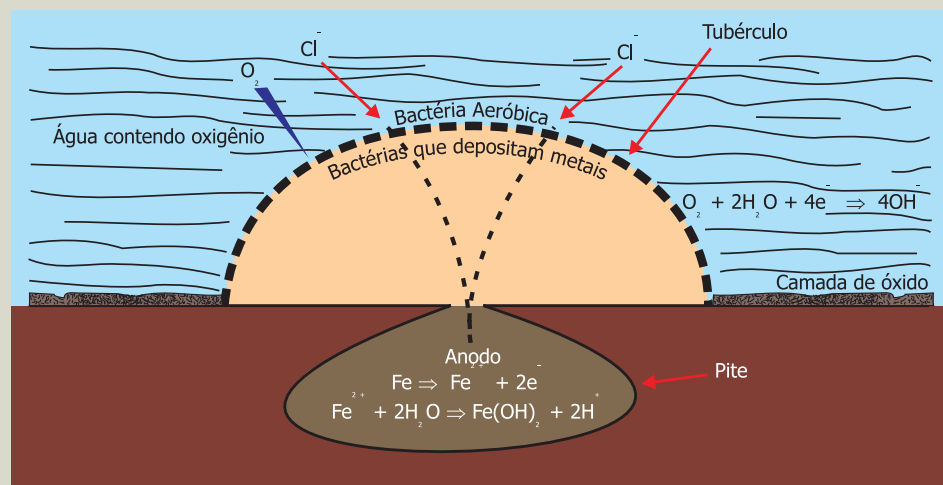
**Carlos Carvalho Rocha**

Os microorganismos florescem facilmente e podem colonizar qualquer ambiente ou superfície, desde que haja presença d'água e nutrientes. Uma importante característica microbiana é sua surgência, quase que instantânea, evidenciando um crescimento exponencial e, mais importante ainda, quase que invisível. Com estas características, adentram nas estruturas definindo a estratégia de ataque e degradação. É bastante comum vermos estruturas de concreto ou metálicas, além de seus revestimentos (por exemplo o mármore) totalmente arruinados pela presença de colônias de bactérias localizadas.

Torna-se importante, pois, distinguir os aspectos que formam a corrosão induzida por microorganismos (CIM) ou biocorrosão da corrosão não-biológica, já que a solução deste grande problema dependerá da compreensão de suas causas. Os microorganismos de interesse na CIM são, predominantemente, as bactérias e os fungos. Os depósitos de algas sobre a superfície do metal, do concreto ou dentro deste último podem servir de base ou porto para as bactérias e fungos. Por exemplo, se o problema é biológico, a aplicação de determinados "revestimentos de proteção" poderá, simplesmente, servir de nutriente para a bactéria que provoca a corrosão. Por outro lado, se aumentarmos a temperatura de operação de um sistema com processo de corrosão, sem dúvida diminuirá em muito a atividade biológica, mas se não for esta a causa certamente estaremos aumentando a taxa de corrosão da estrutura. Poder-se-á ter também a CIM e outras formas de corrosão juntas, em uma mesma região, tornando-se difícil, nes-



Fotografia microscópica evidenciando ataque por biocorrosão, com formação de pite, com comprometimento superior a 50% da seção da barra de aço.



Possíveis reações sob os tubérculos originados pelas bactérias formadoras de depósitos de metais.

# BIOCORROSÃO.



**Você não pode ignorá-la.  
É prejuízo na certa.**

**Bactéria redutora de Sulfatos**



**Dispomos de testes para detecção de:**

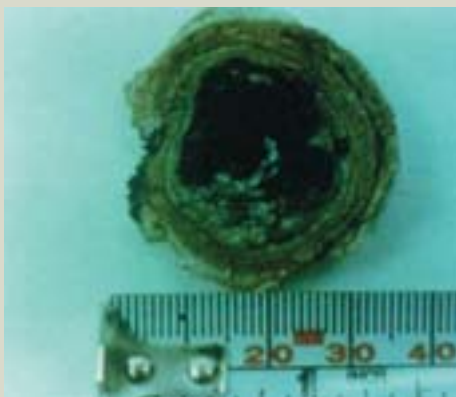
- BRS.
- Fermentação e mofo.
- Bactérias aeróbicas.
- Bactérias e fungos de imersão.
- Produção de H<sub>2</sub>S.
- Bactéria oxidante do enxofre e do ferro.

Em nossa vida diária é fundamental monitorar o processo industrial, de modo a impedir qualquer contaminação microbiológica em materiais críticos como água de refrigeração, flúidos para trabalhos com metais, sistemas de proteção ao fogo, lubrificantes, combustíveis, lamas de papel e polpa além de outras águas de processamento. Os kits da BioSoluções também são usados na investigação de resíduos sólidos.



Fax consulta nº 36





Seção de um tubérculo removido da superfície de uma estrutura de aço carbono. Note a cavidade no centro e o material negro identificado como sulfeto de ferro revestindo a cavidade. Repare no detalhe da estrutura em forma de anel que forma o tubérculo.

te caso, provar conclusivamente se o comportamento biológico tem função relevante no processo.

### A análise química do problema

Toda CIM ocorre em presença de água livre ou em fase aquosa, incluindo-se aí solventes orgânicos e combustíveis. A atividade biológica é concentrada em ETES, ETAs, fundo de tanques e lagoas, além da situação onde há gotejamento de água através de qualquer sistema, tornando-se obrigatório para o engenheiro ou técnico identificar se a água é limpa ou uma solução aquosa perigosa. A atividade biológica da CIM é muito influenciada pela temperatura, sendo perfeitamente aceitável que a temperatura “ótima” de crescimento varie de 20 a 50°C. Acima ou abaixo deste limite, a atividade do organismo diminui ou é interrompida, não impedindo, no entanto, que outros organismos possam florescer a outras temperaturas. Uma coisa é certa, a corrosão eletroquímica quase sempre aumenta com a elevação da temperatura. Logo, se a extremidade de uma peça com sintomas de corrosão fica submetida a uma temperatura diferente da existente na outra extremidade e há possibilidade de conhecer-se essas temperaturas, é bom verificar esta relação.

### Observe o tipo de corrosão

Com poucas exceções, a CIM é sempre localizada, isto é, padronizada por pites ou por frestas de corrosão. Chapas ou tubulações metálicas, assim como armaduras de concreto expostas à água biologicamente ativa, no entanto, poderão apresentar uma

CIM generalizada, de modo que os pites fiquem tão próximos uns dos outros que, frequentemente, caracteriza-se esta patologia de “corrosão generalizada não uniforme”. Dever-se-á relatar a morfologia da superfície das áreas corroídas, indicando a presença ou ausência de fatores biológicos, lembrando-se sempre que microorganismos causam corrosão, devido a geração de uma química corrosiva ou pela ajuda que dão à transferência de elétrons através da superfície do metal. A morfologia da superfície a que nos referimos tem a ver com a química existente na superfície do metal, não à presença ou ausência de bactérias ou mi-

croorganismos. A CIM, realmente, está relacionada a certos padrões de corrosão e, por exemplo, pites cilíndricos sob discretos tubérculos em superfícies de aço carbono, geralmente significam CIM, sendo por isso chamados, apropriadamente, de corrosão por tuberculação. Por exemplo, aquelas cavidades subsuperficiais ao longo de emendas por soldas em equipamentos de aço inox, usualmente, direcionam para bactérias que oxidam o ferro. Para cada manifestação de corrosão, e havendo ambiente propício, dever-se-á sempre suspeitar que haja CIM. O quadro patológico por si só não prova nada.

**Não ARRISQUE seu INVESTIMENTO em AMBIENTE MARINHO.**

**Use primeiro nossos serviços**

- Análise da água do mar.
- Teste de corrosão sob atmosfera marinha.
- Envelhecimento sob atmosfera marinha e teste de durabilidade.
- Avaliação de protótipos de equipamentos.
- Avaliação do comportamento sujeito a água do mar.
- Testes metalúrgicos e mecânicos/electro-químicos.
- Monitoramento da corrosão no local.
- Análise da ruína por corrosão/consultoria.
- Análise microbiológica – biocorrosão.

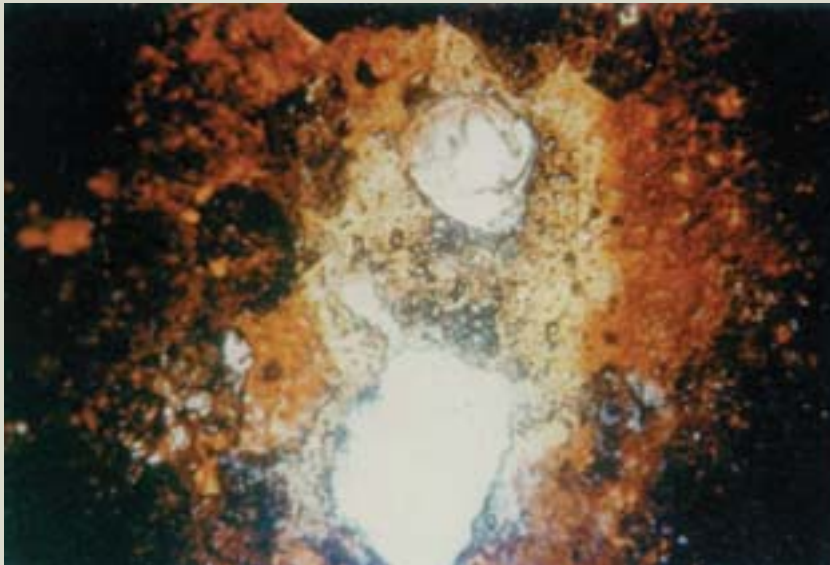
**Corrosão é prejuízo.**

**SeaWater**  
Corrosion Technology

**Fax consulta nº 37**

## O que está cobrindo a corrosão?

Quase todos os casos de CIM são acompanhados de depósitos ricos em matéria biológica. Não devem, pois, ser remanejados antes da pesquisa, já que, certamente, fornecerão indício da causa da corrosão. Se sobre a superfície da peça houver depósitos umedecidos ou molhados com aquela textura limosa e apresentando pH neutro, provavelmente indicará, o que se denomina, lodo bacteriano ou exopolímero, significando que a bactéria formadora do lodo está ativa na superfície. Junto a estruturas metálicas caracterizadas por aço carbono ou mesmo armaduras do concreto, os biodepósitos podem conter quantidade considerável de óxidos de ferro e sólidos formando uma espécie de tampão, sob o qual existe aquele material limoso comprometedor. Muitos tubérculos existentes na superfície do aço caracterizam-se por serem duros e quebradiços, muito embora possam ser biologicamente ativos. O fato é que qualquer depósito ou montículo sobre a armadura do concreto, tubulação ou qualquer outra peça metálica, mesmo que não seja aço carbono é indicativo de atividade biológica, tornando-se obrigatório saber se estão



Detalhe da superfície do aço após remoção do tubérculo com limpeza química. Note o brilho do metal, indicativo de corrosão ativa.

ou não causando corrosão. Desta forma, o próximo passo a ser tomado é analisar a natureza do material do montículo, detectando-se a presença, por exemplo, de enxofre, fósforo, ferro, manganês e cloretos, os quais seriam um indicativo da CIM. O método mais adequado para se analisar o material dos depósitos é através da microscopia eletrônica de varredura equipada com espectroscopia dispersiva. É muito comum por exemplo, aparecer sobre metais como o aço carbono ou ferro fundido, tubérculos ou depósitos ricos em fósforo associados à CIM, causados pela bactéria redutora de sulfatos (BRS). Bem escondidinho, o enxofre poderá estar presente, como produto da corrosão,

nhada de montículos, e um belo exemplo é a corrosão subsuperficial em forma de túnel, sob um biofilme bem uniforme, que ocorre no aço inóx. Geralmente, este biofilme, formado sob água clorada, é rico em manganês e cromo.

Uma observação final a ser dada sobre os depósitos ou biofilmes é que estes materiais são, em primeira instância, partículas inorgânicas presas pela água ou simplesmente depositadas pelos organismos. Quando estes materiais secam, tornam-se virtualmente indistinguíveis a partir do lodo seco. Isto faz com que os biodepósitos sejam rotulados, incorretamente, de “sedimentos sólidos inorgânicos”.

*Esgoto, efluentes industriais e bactérias fazem isto em contato direto com o concreto.*

*Apenas um epóxi aguenta este tranco.*

*Já percebemos que é loucura deixar superfícies de concreto em contato direto com produtos extremamente ofensivos. Somente uma formulação epóxi, de forma garantida, atende a todas as exigências de resistência química e bacteriológica em estações de tratamento de esgotos e indústrias químicas, com garantia, o epóxi 28. Os demais vão para o sacrifício.*

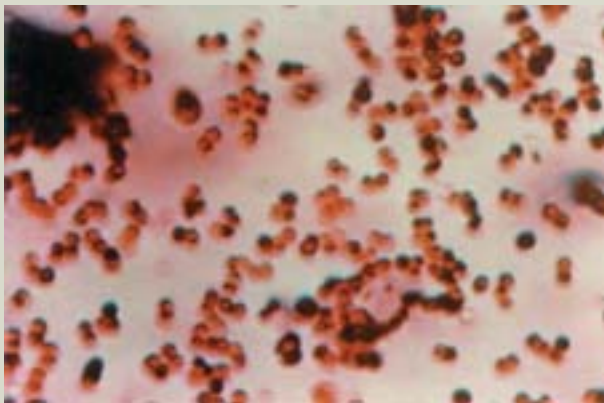
Use tecnologia.



**EPÓXI 28**  
Tecnologia na medida certa.

**Fax consulta nº 271**





Fotografia microscópica evidenciando a presença da BRS. A amostra foi removida de um pite de corrosão onde havia Biocorrosão Anaeróbica Ativa.

### A análise dos produtos da corrosão

Freqüentemente a CIM apresenta produtos de corrosão bastante diferenciados, principalmente abaixo da cobertura da biomassa. Uma situação característica é quando há presença da BRS, as quais produzem sulfetos, muito reativos e com tendência a se combinarem com diversos íons metálicos, inclusive ferro, cobre, cromo e manganês. Bastante comum também é a situação em que há falta destes íons metálicos. Isso faz com que os sulfetos reajam com o hidrogênio para formar o extremamente volátil e tóxico sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ), causador daquele cheirinho de ovo podre, muito comum entre nós, devido ao lançamento dos nossos esgotos nas bocas de lobo das ruas e canais. A BRS, como toda bactéria, usa a química dos materiais fosforosos para armazenar energia, evidenciando quase sempre produtos de corrosão de cor preta, caso sejam observados no local. Por outro lado, a presença de ferrobactérias está associada ao cloreto férrico. Os mecanismos que fazem os microorganismos concentrarem cloretos ainda não está bem entendido. Talvez pelo fato de que estes íons, extremamente ágeis e ativos, simplesmente se difundem nos depósitos e pites, onde há deficiência de consumo de elétrons, característico das reações químicas de redução, interferindo substancialmente neste processo. A simples concentração de cloretos geralmente não

prova que haja uma CIM, a não ser que se detecte um número significativo de microorganismos cobrindo a biomassa ou na superfície do metal. Se os depósitos de corrosão contêm grande quantidade de sulfatos, torna-se evidente que há substâncias ricas em enxofre no meio. Se este local não tiver nenhuma relação com ácido sulfúrico ou se este produto não tiver sido utilizado em sua limpeza, certamente teremos uma atividade biológica ali. Por extensão, será possível que bactérias que oxidam enxofre ou sulfatos estejam presentes na superfície do metal e por, conseqüência, estaremos diante também da BRS, já que elas estariam produzindo o enxofre ou os sulfetos.

O fato de encontrarmos apenas óxidos do metal nos produtos de corrosão sobre a superfície não significa que não tenhamos atividade biológica no local, pois existem muitos organismos que geram ácidos orgânicos, como acético, fórmico e propiônico que, em contato com o ar, farão aparecer aqueles ou outros óxidos. Mesmo se analisado no local, os anions orgânicos (partículas carregadas negativamente na solução) não são detectáveis pelas técnicas analíticas comuns (raio X). Logo, é preciso muita cautela quando da existência destes anions orgânicos, já que, como afirmamos, muitos microorganismos podem produzi-los. Um exemplo são as variações da BRS que produzem acetatos.

### E o pH do local?

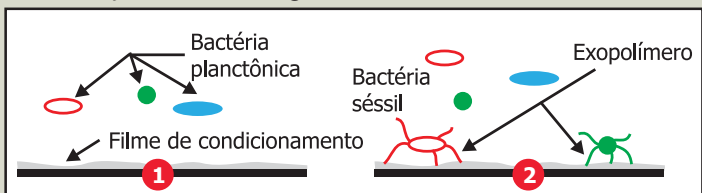
Se removermos os produtos de corrosão das paredes de um tanque de ácido sulfúrico após o seu esvaziamento e limpeza, provavelmente teremos uma situação interessante onde o pH existente não será baixo. Isto porque o sulfato do ferro não é um ácido e, como o ácido sulfúrico residual era solúvel, foi lavado ou removido. O mesmo pode

ser verdade para a CIM pois, exista ou não um baixo pH no local da corrosão em estudo, poder-se-á encontrar um pH neutro na superfície do metal. Por este motivo, a checagem do pH após a “preparação” do local pode conduzir a conclusões errôneas. Existem muitas situações de CIM que conduzem a um baixo pH. Uma delas envolve a bactéria tiobacillus, produtora de ácido sulfúrico. Este organismo não só produz baixo pH como algumas de suas variações crescem melhor em ambiente de pH 2 e até abaixo de 1.

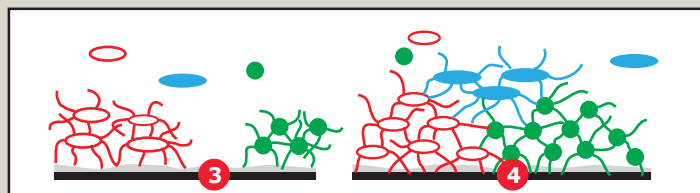
### Procurando mais provas da CIM

Imaginemos que um caso específico de corrosão seja comparado com um exemplo apresentado nesta matéria, evidenciando-se um típico caso de CIM pelo fato dos depósitos e produtos de corrosão analisados terem tudo a ver. As amostras foram enviadas a laboratórios especializados em microbiologia que confirmaram a presença de microorganismos “corrosivos”. Algumas pessoas ligadas ao problema, no entanto, e é bastante comum, poderão aferir que trata-se apenas de “corrosão provocada pela água” e queiram, naturalmente, tratá-la com proteção catódica, inibidores e até dispersantes. Os outros, que juram ser um caso típico de CIM, deverão querer utilizar biocidas, aumento de temperatura ou limpeza contínua. E aí? Bem, se o caso é grave e implica em grandes prejuízos, torna-se necessário esticar o processo de investigação, reproduzindo o problema da corrosão em laboratório ou no próprio campo. Em ambos os casos, entretanto, torna-se necessário desenvolver um teste paralelo de “controle” para evidenciar os verdadeiros efeitos das variáveis existentes, essencial em casos de CIM, já que a atividade biológica não é constante, variando de acordo com a intensidade da umidade, temperatura, presença de chuvas e muitos outros fatores que nem sempre são aparentes.

A melhor dica para identificar a biocorrosão é fazer o exame macroscópico (inspe-



Estágio 1: Filme de acondicionamento acumula-se sobre a superfície submersa. Estágio 2: Colônia de bactérias planctônica na água (solução) existente sobre a superfície, desencadeando a existência sésil excretando exopolímero que ancora a célula na superfície.



Estágio 3: Diferentes espécies de bactérias sésil dobram para trás na superfície do metal.

Estágio 4: Microcolônias de diferentes espécies continuam a crescer estabelecendo, eventualmente, relações entre si. O biofilme aumenta sua espessura. Mudam as condições na base do biofilme.



Camada de lodo sobre parte do mecanismo de acionamento do tanque de purificação ou clareamento de uma ETE. A raspagem desta camada evidenciou a presença de H<sub>2</sub>S e o mal cheiro característico de ovo podre. A BRS pode ser uma das culpadas pela formação deste gás.

ção visual) da área afetada. A superfície do aço, freqüentemente, é modificada devido a presença de microorganismos que produzem o ataque microbiológico com as seguintes características:

- Acumulação de material pulverulento e/ou depósito de limo.
  - Tubérculos ou protuberâncias metálicas, freqüentemente contendo bactérias vivas.
  - Buracos ou perfurações distribuídas sobre a superfície do aço com padrão irregular.
  - Pequenos furos com grandes cavidades inferiores.
  - Surgência de ranhuras bem visíveis e com algum brilho, após a remoção dos depósitos. A morfologia dos depósitos formadores sobre a superfície do aço freqüentemente indica o tipo de microorganismo presente.
  - Depósitos fibrosos podem estar associados a fungos filamentosos.
  - Depósitos escuros ou pretos podem indicar a presença de bactéria redutora de sulfatos (BRS).
  - Depósitos alaranjados ou marrons sugerem a presença de bactéria oxidante do ferro (galionela).
  - Depósitos amarelados podem ser atribuídos à bactéria oxidante do enxofre (tiobacilus).
  - Depósitos viscosos acinzentados ou cor de café podem indicar a presença de bactéria formadora do limo (pseudomonas).
- Nem todos os depósitos, necessariamente, indicam biocorrosão. Logo, torna-se necessário proceder-se análises microbiológicas para confirmar a causa do ataque no aço, através de uma investigação geral e específica dos microorganismos. Recomenda-se três métodos de detecção e contagem:
- Contagem de células totais (vivas e mortas).

- Contagem de células capazes de reprodução.
- Medida da atividade metabólica.

A investigação geral envolve o uso de métodos de microscopia e imunologia, ao passo que a investigação específica tem a ver com a detecção dos componentes das células, baseada no seu crescimento em uma grande variedade de meios sólidos ou líquidos, envolvendo também a determinação da atividade de uma enzima ou a obtenção de um certo produto metabólico. Enzimas são proteínas complexas aptas

para atuar em determinadas moléculas, chamadas de substratos das enzimas. A presença de enzimas específicas a certos tipos de microorganismos possibilita sua detecção. Existem kits no mercado, à base de enzi-

mas que possibilitam, de forma fácil e rápida, detectar numerosos tipos de bactérias envolvidas em processos de corrosão, como a BRS e o tiobacilus.

### Como tratar o aço contaminado com biocorrosão

A CIM ou biocorrosão é o resultado de ambientes físicos ou químicos gerados por microorganismos que produzem sedimentos na superfície, como os polímeros extracelulares, com estrutura gelatinosa, que aderem na superfície do metal. Esta estrutura gelatinosa é chamado de biofilme e os microorganismos existentes em seu interior controlam eficazmente o ambiente químico ali existente, de modo a poderem respirar, crescer e se reproduzem, criando, adicionalmente, pilhas de corrosão eletroquímicas. Alguns microorganismos podem gerar espécies químicas corrosivas como o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e ácido sulfúrico

Continua pág. 19

## Você deseja proteção?



## BIOCIDAS

Gatos ainda possuem 7 vidas, mas águas de processamento e produtos industrializados não. Para liquidar algas, fungos e bactérias que afetam seu sistema, use biocidas BIOCUM.

Melhor Qualidade, sem Restrições.

Se você deseja biocidas, conte conosco.



BIOCUM

Fax consulta nº 50



# **BIOCORROSÃO**

## **Procurando Microorganismos?**

Biocorrosão é um tipo de corrosão que, freqüentemente, resulta em rápida ruína de tanques, ETEs, ETAs, tubulações e equipamentos petroquímicos, geração elétrica e em indústrias químicas.

Dispomos dos melhores profissionais e equipamentos para análise microbiológica.

**Pare de ter prejuízo.  
Use nossos serviços.**

**KGT Laboratories**  
Especializada em Serviços de  
Laboratório para Indústrias

Fax consulta nº 38

(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), a partir de substâncias ricas em enxofre presentes naquele ambiente. Alguns dos produtos desta corrosão, particularmente o sulfeto do ferro, é notável na formação de um efetivo catodo numa pilha de corrosão eletroquímica.

Caso se detecte a CIM, será necessário determinar que tipo(s) de corrosão foi produzida, além da natureza dos subprodutos dos microorganismos. Por exemplo, uma bactéria halofílica poderá estar associada à cloretos ou outros halogênios que, obrigatoriamente, deverão ser removidos dos pites ou frestas, assim como de toda a superfície do metal antes da aplicação do tratamento. Outro exemplo é a BRS que pode produzir camadas de sulfetos que também deverão ser bem removidas.

De um modo geral, poder-se-á afirmar que a CIM é o resultado de interações complexas entre grupos de microorganismos, sendo que nem todas são classificadas como bactérias. Conseqüentemente, a química na interface metal/biofilme torna-se diferente da existente entre o meio (o qual o metal está exposto) e o metal (sem a presença do biofilme), diferenças estas como o pH, concentração de oxigênio, substâncias orgânicas e inorgânicas além da confirmação de gases como o H<sub>2</sub>S. Torna-se, portanto, necessário a compreensão das interações metalúrgicas com estes microorganismos, o que pode e deve ser realizado em laboratório especializado, antes de qualquer tipo de preparação de superfície a ser feita. Uma vez completada a análise microbiológica, o engenheiro ou técnico poderá, então compreender a extensão e a natureza da corrosão instalada. Somente desta forma, então, poder-se-á escolher o tipo de tratamento a ser

dado à estrutura. A morfologia do pite não pode ser usada como identificação do mecanismo de corrosão. Por exemplo, quando da confirmação da existência de corrosão provocada pela BRS, adota-se a seguinte técnica de limpeza:

- 1 Hidrojateamento, com água potável, a altas pressões suficiente para a remoção do lodo e incrustações que formam o produto da corrosão.
- 2 Hidrojateamento com água potável sem pressão. Poder-se-á fazer uso de esponjas ou escovas, adicionando-se cerca de 1ppm de solução de hipoclorito como biocida. Posterior lavagem com água potável.
- 3 Hidrojateamento de areia no grau Sa 2 ½ (SSPC-SP10/NACE 2) criando um perfil de 50 a 70 micrômetros na superfície.
- 4 Soldagem dos pites e frestas. Opcionalmente (critério estrutural) poder-se-á preencher as cavidades com epóxi adequado a tratamentos contra bactérias.

Após a limpeza das superfícies e antes da execução do 4º item anterior, dever-se-á retestar a superfície contra a existência de microorganismos e espécies químicas que, uma vez confirmada, seguir-se-á com métodos químicos para sua remoção. Nesta etapa, poder-se-á utilizar kits para se detectar cloretos e outras espécies químicas.

Caso se confirme ainda a concentração, dever-se-á fazer uso de biocidas específicas ao tipo de micróbio existente. É preciso tomar cuidado para não selecionar biocidas que possam criar complexos organo-metálicos. Muitos biocidas são a base de cobre ou prata e, dependendo da situação, pode-

ão afetar a metalurgia do aço. Seu tipo e concentração, além do tempo de aplicação, deverão ser adequados de modo a assegurar uma penetração completa no biofilme residual.

Deve ficar bem claro que, caso não se elimine totalmente os microorganismos, e dependendo da qualidade do revestimento aplicado (material e aplicação), permitir-se-á o acesso de novos nutrientes que garantirão a continuidade do biofilme e da corrosão.

### Detectando microorganismos

Apresentaremos, na próxima edição, mais dados que evidenciam a necessidade da identificação dos organismos associados à corrosão, assim como formar de tratamento para a biocorrosão. As técnicas apresentadas são bastante comuns e poderão ser executadas por engenheiros ou técnicos não especializados em microbiologia. **T**

#### Fax consulta nº 44

Para ter mais informações sobre Biocorrosão.

Click aqui:

<http://www.recuperar.com.br>

#### REFERÊNCIAS

- Carlos Carvalho Rocha é engenheiro civil, especialista em serviços de recuperação.
- R.E. Tatnall, "Experiments in Microbiologically Influenced Corrosion".
- D.H. Pope, "Discussion of Methods for the Detection of Microorganisms Involved in Microbiologically Influenced Corrosion".
- R.E. Tatnall, K.M. Stanton, R.C., Ebersole, "Methods of Testing for the Presence of Sulfate-Reducing Bacteria".
- Gregory Kobrin, "A Practical Manual or Microbiologically Influenced Corrosion".

## Só existe uma maneira de interromper a REATIVIDADE ÁLCALI-SÍLICA...

... Para estruturas existentes

**RENEW®**

LITHIUM FÓRMULA

... Para estruturas a serem executadas

**LIFETIME®**

LITHIUM FÓRMULA



Fax consulta nº 364





## 0 revestimento dos revestimentos

Os fluoropolímeros estão aí com uma linha de revestimentos, elastômeros e tintas bem superiores aos existentes no mercado.

### Michelle Batista

Concreto armado e aço carbono ainda são os materiais mais econômicos e duráveis para a construção civil e industrial. Estes materiais, no entanto, quando submetidos a ambientes corrosivos são facilmente atacados, particularmente quando há presença de ácidos, álcalis e solventes. O segredo, para os técnicos especializados em sua proteção, está no conhecimento das formulações, sejam elas epóxicas, estervinílicas, poliéster ou poliuretanos. Neste contexto, se inserem diversos tipos de indústrias, como a siderúrgica, a da transformação química, a da celulose e papel, além das que tratam a água e esgoto. Neste ambiente, concreto e aço carbono sem proteção são alvos fáceis à rápida degradação. Os fluoropolímeros estão aí, estabelecendo um novo padrão de resistência química e física, sendo, tecnicamente, a opção para as situações onde há suspeitas de não atendimento com os revestimentos ou pinturas de proteção normais de mercado.

### Os fluoropolímeros

Os protetores fluoroelastoméricos foram concebidos para resistirem a ataque químico pesado, associado a altas temperaturas. Portanto, é provavelmente o melhor sistema de proteção industrial contra a corrosão. São sistemas formados por dois componentes, resina e catalizador, com cura à temperatura ambiente. Suas propriedades físicas são controladas, variando-se a dosagem do catalizador. Concebidos nos anos 70, já mostravam total e completa superioridade



Na indústria de processamento químico cada vez mais se exige revestimentos que resistam a produtos corrosivos e a altas temperaturas.



Toda o tipo de Tanques...



...sujeitos a altas temperaturas devem ser pintados com fluoropolímeros.

com relação aos demais polímeros termorrígidos, como por exemplo os epóxis, considerando-se as propriedades fundamentais como resistência química, retenção de cor, envelhecimento e impermeabilidade. A resina original deste fluoropolímero é a difluoreto de polivinilideno (DFPV), que além de promover a mais resistente ligação molecular ou aderência entre o fluor e o carbono, para a maioria dos substratos, apresenta incrível resistência a ataques químicos. O problema é que é excessivamente cara e de difícil aplicação.

A segunda geração de fluoropolímeros, com a resina éter vinila etileno fluorotada (EVEF) e o politetrafluorotileno (PTFE) diferem da primeira, DFPV, exatamente pela facilidade de aplicação e, principalmente, pelo seu preço.

Por serem consideradas tintas ou revestimentos de altíssima performance, necessita-se de extremo cuidado ou de inspeção rigorosa na preparação das superfícies (metálica ou concreto), na mistura do material,

em sua aplicação e na verificação do filme formado, já que caso haja qualquer problema em uma destas etapas, ter-se-á um grande problema, pois é muito difícil remover, integralmente, a película aplicada.

### Os fluoroelastômeros do mercado

Existe uma grande variedade de fluoroelastômeros na forma de tintas, elastômeros (selantes) e revestimentos. As tintas, à base d'água ou solvente, podem ser aplicadas com bomba airless ou com rolo e pincel. Possuem as seguintes características:

- Resistente a ácidos fortemente concentrados, além de solventes diversos.
- Resistente a temperaturas de -4 a +200°C.
- Excelente aderência ao concreto e a superfícies metálicas.
- Excelente flexibilidade.
- Insensível à luz solar e a radiação UV.
- Resiste à ação de bactérias e fungos.

As tintas fluoroelastoméricas (à base d'água

#### Propriedades Físicas

Resistência à tração .....	superior a 150MPa
Alongamento na rutura % .....	superior a 500
Potlife .....	2 a 4 horas
Espessura de película seca desejável .....	500µm (1/2mm)

# FLUOROPOLÍMEROS



## Mantas Autoaderentes e Pinturas

*Indicada para qualquer superfície submetida a temperaturas elevadas e substâncias agressivas. Você nunca viu nada igual.*

Para

- Regiões sujeitas a altas temperaturas
- Zonas de respingos e gases tóxicos
- Estocagem secundária



**FluoroMax™**

CONTACT FILM & COATINGS

Fax consulta nº 47



e solventes) e suas características estão na tabela abaixo. Uma outra forma de trabalhar com este polímero, bem superior aos demais, é utilizando-o na forma de películas auto-aderentes, extremamente fáceis de aplicar, próprio para superfícies de concreto e metálicas. As informações sobre seu comportamento são interessantes, considerando-se particularmente a performance do adesivo, submetido a proces-

os acelerados de envelhecimento, choques e ciclos térmicos, umidade e imersão em ácidos concentrados. O revestimento auto-aderente fluoroelastomérico não necessita de tempo de cura e impressão, bastando apenas a remoção, no caso do concreto, da película que caracteriza a nata superficial, utilizando-se uma fresa leve (tipo TVA) ou lixamento eletromecânico.

### Revestimentos fluoroelastoméricos auto-aderentes

Teste de envelhecimento ASTM B 117-95 (exposição à névoa salina) .....	atende e excede
Teste de envelhecimento ASTM G 53-96 (exposição à radiação UV) .....	atende e excede
Imersão em ácido nítrico concentrado .....	sem comprometimento após 2000 horas (padrão)
Choque térmico (50 ciclos) -5 a 250°C .....	atende e excede
Ciclo térmico (500 ciclos) -5 a 150°C .....	atende e excede
Os testes de adesão em concreto e aço extrapolaram os valores tradicionais exigidos .....	ASTM D 0903 e ASTM D 4541

## ANÁLISE DE TINTAS E POLÍMEROS

a **PCL**

### Atende a

- Fabricantes de tintas e revestimentos.
- Fornecedores de matéria prima.
- Construtoras.
- Órgãos públicos e privados.
- Consultores.

### Oferece

- ✓ Análise completa de tintas.
- ✓ Deformulação, caracterização.
- ✓ Suporte a P e D.
- ✓ Análise da ruína que ocorre em películas de tintas.
- ✓ Consultoria.

**PCL**  
POL COAT LABORATORIES

**POL COAT LABORATORIES**

Fax consulta nº 42

## Teste de Arrancamento?



O **DYNA** mede a resistência da superfície do concreto que vai receber qualquer tipo de revestimento. Mede também a resistência do adesivo de qualquer revestimento aplicado sobre o concreto, seja ele epóxico apenas ou de reforço com fibra de carbono, além de qualquer tipo de pintura, inclusive sobre superfícies metálicas.

**Não fique na dúvida.  
Teste com o DYNA.**

**DYNA**  
Pull-off Tester

Fax consulta nº 07

A aplicação de tintas, elastômeros e revestimentos fluoroelastoméricos auto-aderentes são particularmente recomendados para situações onde as características das resinas epóxicas, estervinílicas, etc são insuficientes ou apresentam um tempo de vida curto, principalmente onde há grande intensidade de ataque químico corrosivo e altas temperaturas.



#### Fax consulta nº 45

Para ter mais informações sobre Revestimentos.

Click aqui:

<http://www.recuperar.com.br>



#### REFERÊNCIAS

- Michelle Batista é Química.

## Como tratar a biocorrosão?

Próxima Edição

# RECUPERAR

Técnicos de Recuperação

## Plantão técnico

Quem quer respostas imediatas consulta Recuperar Online.

**RECUPERAR** Online

# MEDIDOR DOS POTENCIAIS DE CORROSÃO

Para medir os potenciais de corrosão no concreto armado, já está disponível o novo conjunto semi-pilha **CPV-4** com voltímetro digital. A semi-pilha **CPV-4** é um revolucionário instrumento que mede os potenciais de corrosão em superfícies de concreto armado e protendido. Com este equipamento poder-se-á levantar ou monitorar, de tempos em tempos, possíveis estados de corrosão e a sua evolução, antes que a estrutura apresente sinais de ruína por sintomas de corrosão (desplacamentos).

## SEMI-PILHA CPV4

Fax consulta nº 351

 **TR Technologies**





# Recuperando... para pior.

Saiba porque os serviços convencionais de recuperação estrutural, motivados por corrosão, comprometem ainda mais o concreto armado.

Joaquim Rodrigues

A incompatibilidade ou rejeição, com conseqüente ruína prematura é muito comum em serviços de recuperação estrutural cuja causa é a corrosão. E originada no desequilíbrio entre as propriedades físicas, químicas e eletroquímicas do material de recuperação e o concreto original. Em outras palavras, esta incompatibilidade gera tensões mecânicas (veja RECUPERAR nº 25) e efeitos eletroquímicos. Eles, até então desconhecidos, tornam o serviço trivial de recuperação estrutural um verdadeiro veneno para a estrutura a recuperar.

De forma simples, embora em diagramas, apresentaremos os mecanismos de corrosão no concreto armado, de modo a que, com total segurança, possamos pisar no campo minado da desconhecida incompatibilidade eletroquímica (IE), fábrica eficiente de enormes pilhas de corrosão.

A IE ocorre, primeiramente, devido ao desequilíbrio entre os potenciais eletroquímicos dos diferentes metais que compõem o aço da construção, gerando micropilhas com conseqüente formação de corrosão acelerada daqueles metais mais ativos. Para entendermos melhor, basta colocarmos uma pequena barra de alumínio e outra de ferro dentro de um copo de

### CHLOR-TEST



Extrai-se o pó do concreto a várias profundidades...



...Insere-se o pó no recipiente plástico com o reagente. A sonda informará o teor de contaminação por cloretos.

### Teste de verificação de contaminação por cloretos

Contaminação no concreto armado e protendido é fatal. O que se pode fazer para saber se o concreto está ou não contaminado? CHLOR-TEST é a única maneira de verificar se há ou não contaminação por íons cloretos, esses "bichinhos" que ativam o concreto, tornando-o um "inferno" para o aço. CHLOR-TEST é um teste high-tec que, em apenas 3 minutos, informa a existência daqueles bichinhos e sua quantidade. CHLOR-TEST é vendido em 3 versões:

**CHLOR-TEST "S"** - para superfícies de concreto e metálicas.

**CHLOR-TEST "W"** - para água de amassamento.

**CHLOR-TEST "A"** - para areia de jateamento

# COMBATA A CORROSÃO EM SUA OBRA DE **RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL**

100%  
PROTEÇÃO CATÓDICA

Faça proteção catódica com Pastilha Z, sua única garantia contra o retorno da corrosão nos seus serviços de recuperação/reforço estrutural. Suas vantagens são inúmeras:

- Proteção localizada contra a corrosão nas armaduras, em qualquer tipo de estrutura, para todo tipo de ambiente.
- Anula a corrosão do anôdo de anel (ring anode), muito comum nos serviços de recuperação estrutural localizados.
- A Pastilha Z é facilmente incorporada em armaduras novas ou em estado de corrosão.
- A Pastilha Z garante sua estrutura por, pelo menos, 15 anos contra a corrosão.



**PASTILHA Z**  
Não faça recuperação sem ela!

Fax consulta nº 400

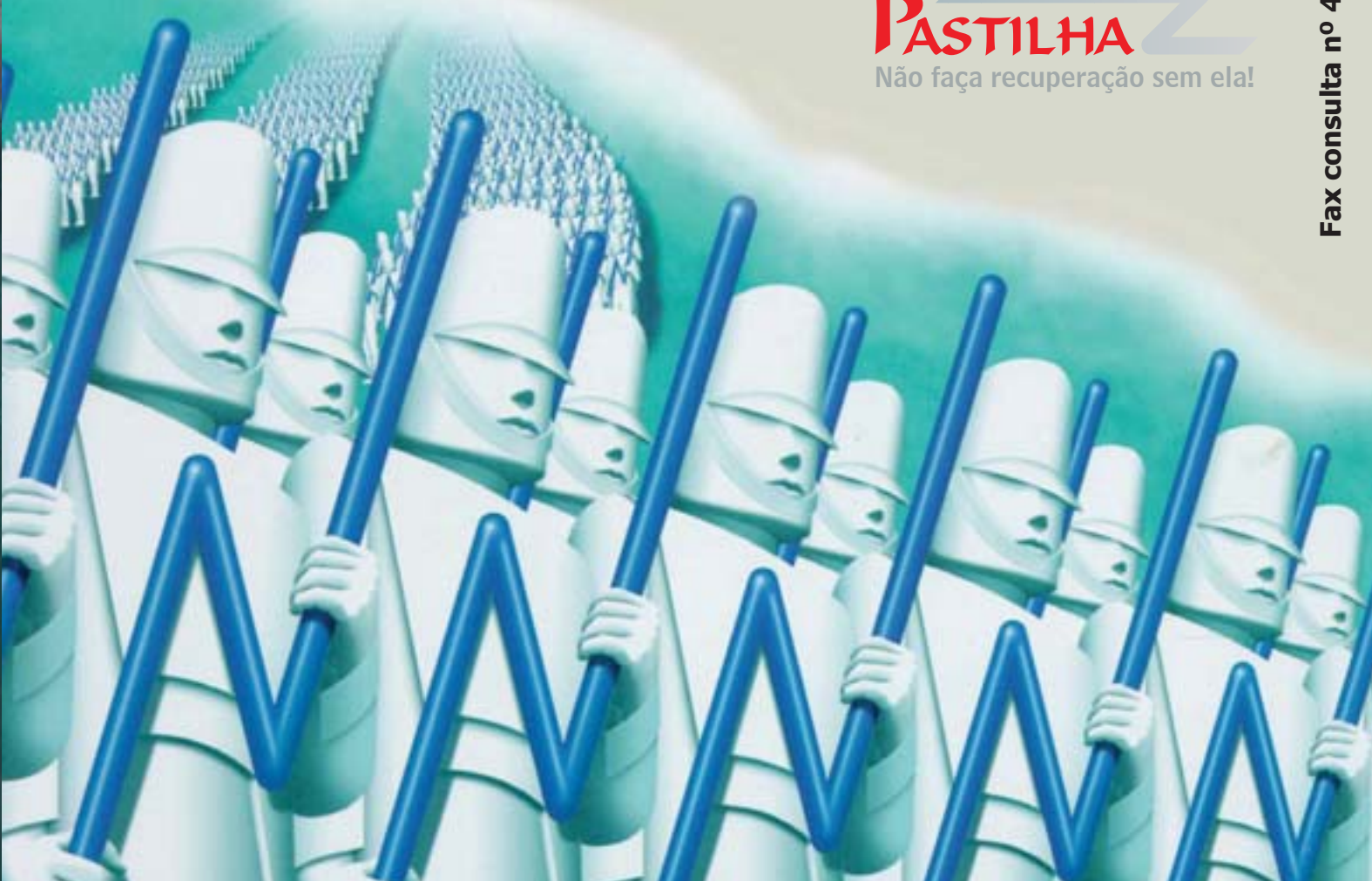




Diagrama de Evans representa o potencial do aço da armadura, em volts, e a velocidade de corrosão que tem a ver com a corrente, em amperes, e serve para discutir e explicar muitos fenômenos da corrosão. De acordo com a teoria que rege este diagrama, qualquer reação eletroquímica pode ser algebricamente dividida em reações de oxidação e redução, sem qualquer acumulação de carga elétrica residual. Na ausência de qualquer potencial externo aplicado, a oxidação (ou corrosão) do aço e a redução de qualquer elemento da solução (eletrolito) existente nos vazios do concreto e que envolve o aço ocorrem simultaneamente na interface aço/eletrolito. Sob esta circunstância, a corrente resultante é zero e o aço em estado de corrosão tem carga neutra, isto é, todos os elétrons produzidos pela corrosão do aço foram consumidos instantaneamente por uma ou mais reações catódicas, ou seja, os elétrons ( $e^-$ ) produzidos igualam-se aos elétrons consumidos, sem que haja qualquer excedente. A corrente de corrosão é melhor expressa como densidade de corrente, isto é, corrente/área, já que tem a ver diretamente com as características e propriedades da área interfacial do aço que está correndo, ou seja, relaciona-se diretamente com a taxa de perfuração que ocorre no aço. A ocorrência de corrosão localizada, por exemplo, é uma prova clara de que a corrosão não depende apenas do metal e do eletrólito, mas também da área exposta do aço à ação de diferentes concentrações de elementos atuantes na solução existente nos vazios do concreto. Conseqüentemente, a relação entre as áreas do catodo e do anodo é fator importantíssimo na velocidade de corrosão. Em outras palavras, o tamanho da área anódica é, de forma freqüente, inversamente relacionada à corrosão. Ocorrendo aquelas duas famosas reações eletroquímicas de corrosão  $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$  no anodo e  $\frac{1}{2}O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$  no catodo, significa que haverá migração de elétrons para o catodo. Logo, o potencial na superfície do aço tornar-se-á mais negativo. Estes elétrons, com suas cargas negati-

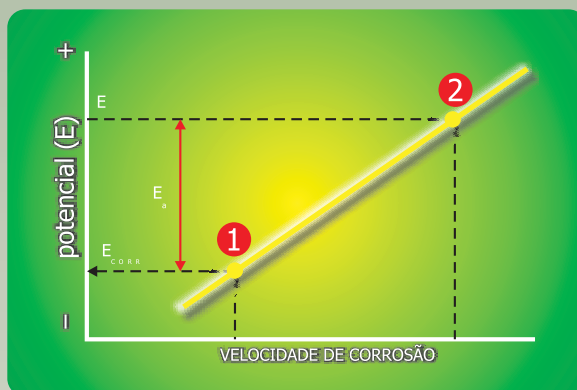


Figura 1 - Do ponto 1 ao ponto 2 vemos que o potencial  $E_{CORR}$  aumenta para E e a velocidade de corrosão também. A polarização anódica  $E_a$  aumenta substancialmente.

vas, no catodo, reagirão com os elementos existentes na solução interfacial e a reação será tanto mais rápida quanto mais elementos aparecerem para absorver os elétrons ali depositados. Esta mudança, nas regiões catódicas, para potencial negativo é chamada polarização catódica. Por outro lado, a deficiência de elétrons ocorrida na superfície anódica do aço produz uma mudança para potenciais positivos chamada polarização anódica. À medida que esta deficiência (polarização) torna-se maior, o aço certamente estará perdendo seção ou, em linguagem eletroquímica, submetendo-se a uma dissolução anódica. Logo, polarização anódica nada mais é do que uma forte força propulsora corrosiva provocada por reações no anodo. Evidentemente, quanto maior o poder corrosivo da solução (eletrolito) existente nos vazios do concreto, mais positivo o potencial em uma região típica de dissolução anódica, devido à maior polarização anódica. A solução existente nos vazios do concreto, em contato com o aço, sempre alcança um estado de equilíbrio, objetivando-se um potencial estável  $E_{CORR}$ , que depende da facilidade e rapidez com que os elétrons podem ser trocados através das reações catódicas e anódicas disponíveis. À medida que o potencial da superfície aumenta de  $E_{CORR}$  para E, a velocidade da reação anódica ou velocidade de corrosão aumenta, como pode ser visto na figura 1. A polarização anódica  $E_a$  é definida como  $E_a = E - E_{CORR}$ . É fácil visualizar que, sem polari-

zação, produzir-se-ia uma fraquíssima força propulsora corrosiva, mas suficientemente poderosa para ocasionar altíssima velocidade de corrosão. A reta pertencente a esta última situação seria horizontal, sem qualquer inclinação. Na figura 2 verifica-se porque muitos metais, incluindo-se o aço da construção, são chamados de aço ativo-passivo, pelo fato de as velocidades de corrosão diminuírem a partir de um determinado potencial chamado crítico ( $E_c$ ). Esta resistência à corrosão, a partir de  $E_c$ , apesar da alta força propulsora corrosiva ou polarização anódica neste ponto, é chamada de passividade, e é caracterizada pelo desenvolvimento de velocidades de corrosão muito baixas. A figura 2 mostra que, até chegar ao estado  $E_c$ , o aço corrói a uma velocidade relativamente alta, à semelhança da figura 1 teórica. Esta passi-

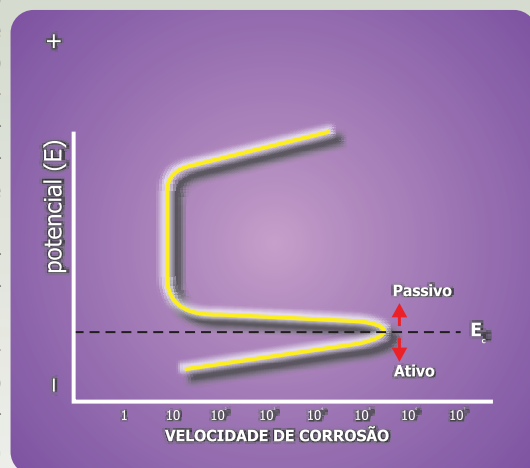


Figura 2 - Passividade para potenciais oxidantes acima de  $E_c$ .

vidade é causada pela formação de finas camadas de óxidos hidratados protetores, produtos do processo corrosivo, que atuam como barreira instável à reação de dissolução anódica. Realmente, a passividade produz efeitos colaterais indesejáveis pelo fato de o filme passivo ser fino e frágil. Sua ruptura causa formas de corrosão imprevisíveis, tais como pites, frestas e a terrível fragilidade devido às trincas por corrosão sob tensão.

água, levemente salgada ou com algumas gotas de limão e veremos que a barra de alumínio corrói mais rápido do que se ela estivesse sozinha. É o efeito da pilha formada pelos dois metais.

## A incompatibilidade eletroquímica (IE)

A IE ocorre de forma muito comum no concreto armado e protendido, devido ao desequilíbrio entre regiões com diferentes pH,

com maiores ou menores concentrações de oxigênio, como também de íons metálicos, resultantes das reações eletroquímicas da corrosão. Lembrando a teoria eletroquímica, vamos

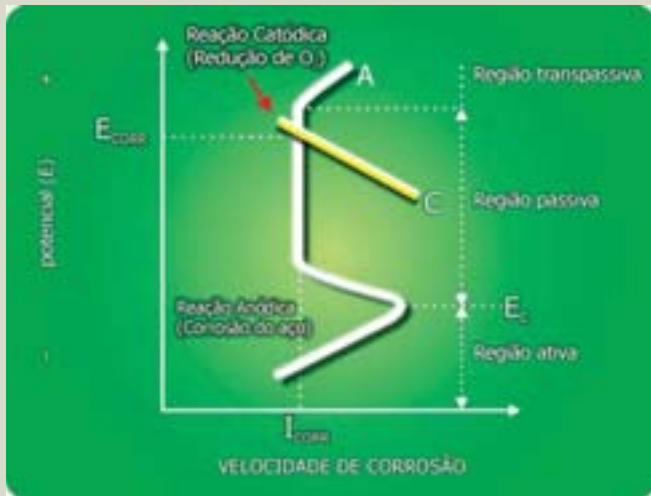


Figura 3 - Curva típica de corrosão do aço.

fazer uso do diagrama de Evans (veja box explicativo na página anterior) para explicar a situação da armadura inserida no ambiente chamado concreto. No diagrama acima (figura 3) está caracterizado o comportamento eletroquímico do aço (ativo/passivo) que compõe a armadura do concreto. A curva A evidencia o comportamento anódico do aço, mais propriamente baseado na reação de oxidação do aço. O exame da curva A diagnostica três importantes regiões que ocorrem durante o processo, praticamente inevitável, de corrosão do aço. Na primeira, chamada de região de corrosão ativa há o aumento da taxa de corrosão assim como da surgência de potenciais de corrosão. Na segunda região, chamada de passiva, a taxa de corrosão permanece constante, muito embora com aumento dos potenciais.

Com a continuidade das reações eletroquímicas na superfície do aço, verifica-se uma terceira região, chamada transpassiva, caracterizada pelo contínuo aumento dos potenciais, só que agora com o agravamento do aumento da taxa de corrosão. A curva C representa o consequente comportamento catódico, evidenciado pelas reações de redução. Como a eletroquímica da corrosão nos informa que para ter-

mos reações de oxidação ou corrosão precisamos de reações simultâneas de redução, fica evidente, no cruzamento das curvas A e C, os valores característicos do potencial e da corrente de corrosão.

De posse da compreensão do mecanismo anterior, veremos como ocorre a corrosão no aço devido a formação das pilhas de corrosão. Para tanto, associaremos, de forma separada, a influência ou o efeito da presença de áreas mais ou menos aeradas (oxigênio) na superfície do concreto armado ou protendido, assim como também o efeito devido à presença dos íons cloretos na estrutura, motivados pela ação da maresia, água do mar ou pela aplicação de substâncias cloradas.

## O OXIGÊNIO E A CORROSÃO

A água, geralmente, contém elementos que aceitam elétrons, permitindo uma reação catódica necessária à corrosão, como o oxigênio dissolvido e os íons  $H^+$ . O teor de oxigênio dissolvido e o pH da água são dois fatores que têm efeito combinado na corrosão do aço, quando fazem parte do ambiente chamado concreto. É importante dizer que a redução do íon  $H^+$  ocorre no catodo, espontaneamente, quando da corrosão do aço. Logo, as armaduras do concreto corromem porque oxidam, liberando elétrons que são consumidos por uma outra substância existente no meio alcalino do concreto. O oxigênio em presença da água existente nos vazios do concreto gera a reação de redução  $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$  que, com a presença constante dos íons  $H^+$  também deflagra a seguinte reação de redução  $H^+ + 2e^- \rightarrow 2OH^-$ . A reação de oxidação é a conhecida  $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e^-$ . A corrosão originada pelo oxigênio poderá ocorrer de forma geral, através da existência de uma solução aerada totalmente espalhada dentro do concreto, sendo fundamental a constante alimentação do oxigênio dissolvido. No caso de termos esta alimentação de forma localizada ocorrerão, portanto, concentrações diferenciadas de oxigênio ao longo do concreto da peça estrutural, o que detona uma grande pilha de corrosão, ou macropilha, motivada pelas diferenças de concentração de  $O_2$ .

### O oxigênio e a corrosão

Primeiramente vamos entender como diferentes concentrações de oxigênio afetam o potencial e a velocidade de corrosão no aço. No diagrama ao lado (figura 4) temos, novamente, uma reação anódica no aço, ou, propriamente, como o aço corrói, representada pela curva A. Temos também uma série de curvas catódicas originadas, cada uma, por diferentes concentrações de oxigênio atuando em diferentes partes do concreto da peça estrutural. Nota-se que, à medida que diminui a concentração de oxigênio, obtem-se potenciais de corrosão mais negativos nos cruzamentos das curvas. Repare que, se as interseções ocorrem na chamada região passiva do aço, a velocidade de corrosão ou propriamente sua corrente de corrosão permanece constante. Agora, se a interseção ocorre na chamada região ativa do aço teremos, por continuidade, potenciais de corrosão mais negativos, só que agora com efetivo aumento da velocidade de corrosão.

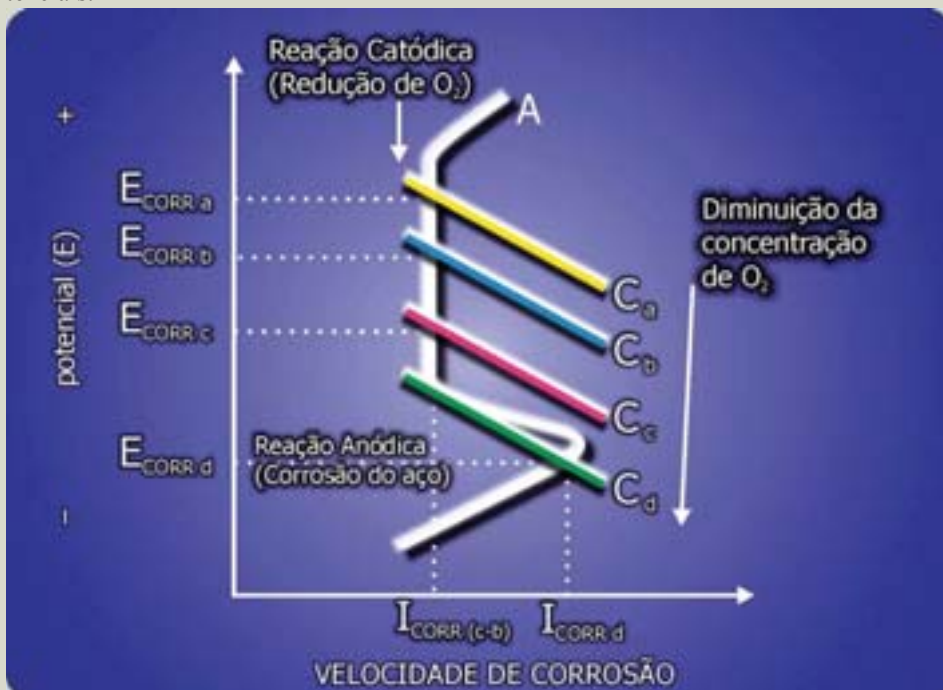


Figura 4 - A corrosão do aço originada por diferentes concentrações de oxigênio nos vazios do concreto.





Figura 5 - Nesta torre, à beira mar, trabalhos convencionais de recuperação perpetuam a corrosão no concreto armado.



Figura 6 - Repare os vazios em torno dos estribos desta viga invertida, que contribuem para ativar o processo de corrosão.



Figura 8 - A projeção de concreto pura e simples, nos serviços de recuperação estrutural motivados por corrosão, não altera a situação da corrosão.

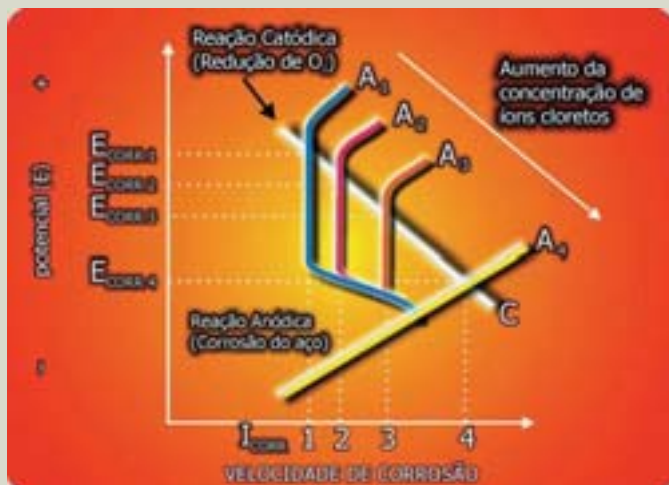


Figura 7 - Variações na concentração de íons cloretos aceleram a velocidade de corrosão.

Desta forma, podemos ver no diagrama que, se tivermos uma região com grande incidência de oxigênio em uma peça estrutural naturalmente submetida a um determinado potencial de corrosão e uma outra região, desta mesma peça, com uma baixa concentração de oxigênio, com um outro potencial de corrosão, certamente haverá uma diferença de potencial que conduzirá a uma grande formação de corrosão. É esta diferença de potencial que causa a IE. Esta grande formação de corrosão localizada ou macropilha é chamada de pilha de concentração de oxigênio, motivada simplesmente pela forma como o oxigênio acessa a estrutura.

### Os cloretos e a corrosão

Antes de nos referirmos aos íons cloretos, devemos lembrar que pertencem à família dos íons halogênios, que têm como caracte-

terística a extrema facilidade de formar substâncias salinas ao combinarem-se com elementos eletropositivos, como o cálcio e o sódio. Assim orientados, penetram na camada óxido protetora existente sobre a armadura, dispersando-a para a forma coloidal e tornando-a uma verdadeira peneira, além de favorecer reações de redução com o oxigênio na superfície

do metal. Desta forma, na figura 7, as concentrações de íons cloretos afetam os potenciais que surgem na superfície do aço, reduzindo sua região passiva, o que pode ser evidenciado pelo conjunto de curvas anódicas A1 até A4, que representam regiões com diferentes concentrações de íons cloretos, ao mesmo tempo em que, com este avanço, evidencia-se a diminuição proporcional da região passiva do aço até o ponto em que, simplesmente, desaparece (A4). Nota-se, claramente, que à medida em que aumenta a concentração destes íons, os potenciais de corrosão das armaduras tornam-se mais negativos, aumentando sobremaneira a velocidade de corrosão. Imaginemos

## OPINIÃO

### Quem está sendo enganado?

A sistemática tradicional de recuperação estrutural motivada por corrosão resume-se no corte do concreto da área corroída, limpeza das armaduras em processo de corrosão e aplicação de uma argamassa, geralmente pré-fabricada “específica” para recuperação. Todos nós, que trabalhamos nesta área, sabemos que esta solução conduz a um futuro (ou breve) processo de corrosão que surgirá na área adjacente à recuperação ou na própria área recuperada. Estudos recentes comprovam que, aplicando-se argamassas ricas nisto ou naquilo, ocorre uma mudança na curva anódica, devido a remoção da antiga região anódica. Como consequência, haverá mudanças no ambiente que envolve as armaduras, mais precisamente uma re-passivação do aço acompanhado de uma alteração do pH. É a mudança na reação anódica, devido a “recuperação” que causa a diferença de potencial e isto, hoje, é perfeitamente demonstrado pelas análises apresentadas. A “impermeabilidade” imposta na “recuperação” não afeta a reação anódica e sim a reação catódica, devido a mudança no controle da difusão do oxigênio e no transporte dos íons hidroxilas dentro da “recuperação”. Em outras palavras, a causa da corrosão não é atacada e o processo corrosivo continua ativo. Pior para o proprietário da estrutura e para a empresa de recuperação.

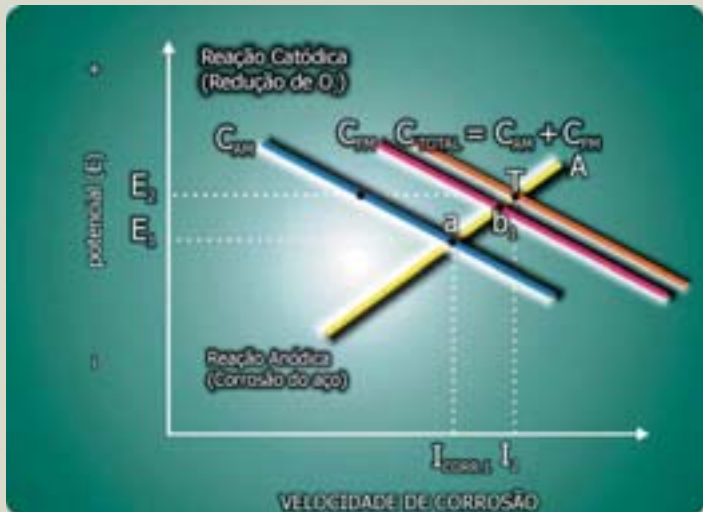


Figura 9 - Como um simples trabalho de recuperação altera toda a eletroquímica da corrosão. Para pior.

que numa peça estrutural de uma estrutura tenhamos uma região não contaminada com cloretos e com um determinado potencial,  $E_1$  na figura 7. Se houver uma outra região, nesta mesma peça estrutural, formada pelo mesmo concreto, só que agora contaminado com cloretos e, naturalmente, submetendo a armadura a um outro potencial  $E_2$ , seguramente teremos com ajuda da solução existente nos vazios do concreto, uma diferença de potencial e conseqüente formação de uma macropilha de corrosão, denominada pilha eletroquímica, gerada por diferentes concentrações de cloretos. Todos sabemos que a formação de uma macropilha conduz a um processo acelerado de corrosão, o que pode ser visto no diagrama da figura 7.

### E a região “recuperada”?

Na figura 9, A é a curva anódica e  $C_{AM}$  é a curva catódica de redução, ambas obtidas em uma determinada região da peça de concreto armado, evidenciando ausência de macropilha (AM), apresentando no ponto de interseção (a) uma velocidade de corrosão  $I_{CORR1}$  e um potencial  $E_{CORR1}$ . Portanto, nenhum “trabalho” foi executado até agora. Com a execução da “recuperação” estrutural criou-se, automaticamente, uma nova reação de redução  $C_{FM}$  com formação de macropilha (FM), pela diferença de potencial criada. A redução total ( $C_T$ ) será a soma das duas anteriores, sendo que o novo estado de corrosão fica caracterizado pelo ponto T, que define um potencial  $E_2$  e uma velocidade de corrosão  $I_2$ . Como se vê, o potencial de corrosão mudou para um valor mais positivo  $E_2$ , só que acompanhado por um aumento da velocidade de corrosão ( $I_2$ ).

Logo, observa-se que é a cinética da reação catódica de redução que controla as velocidades de corrosão das armaduras do concreto. Em outras palavras, a interferência no controle da difusão do oxigênio e no transporte dos íons hidroxilas, dentro da área “recuperada”, afeta sobremaneira a reação catódica de redução.

### Recuperações perigosas

Passando da teoria à prática, materializaremos dois exemplos bem comuns de como a IE pode ocorrer em um serviço de recuperação estrutural, motivado por corrosão nas armaduras, após a execução do “serviço”.

#### 1º caso prático

**Uma argamassa, grout ou concreto de recuperação extremamente denso e compacto, aplicado sobre as armaduras corroídas, previamente limpas, de um concreto originalmente mais permeável e menos resistente.**



A análise dos potenciais é fundamental no controle da corrosão.

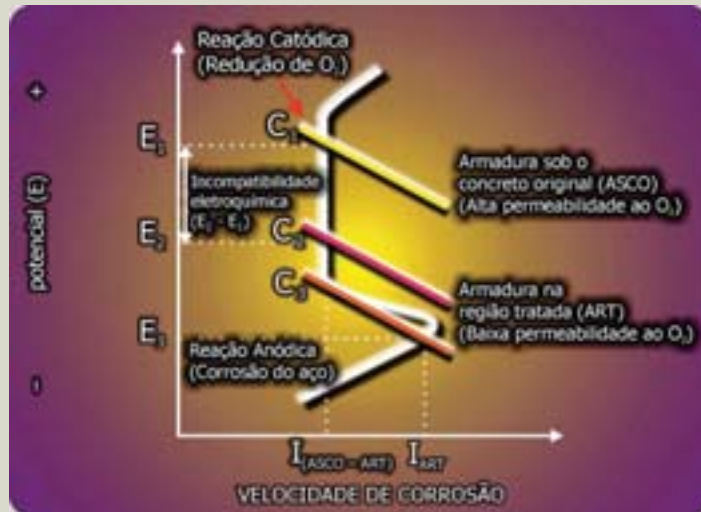


Figura 10 - A simples aplicação de uma argamassa, grout ou concreto sobre a armadura anteriormente corroída, efetivamente nada muda no processo de corrosão. Repare que, com o tempo, teremos a curva  $C_3$ .

A análise deste primeiro caso será feita através do diagrama da figura 10, onde temos a curva A de reação anódica e a curva  $C_1$ , de reação catódica simultânea. Ambas acontecendo em uma região da armadura coberta pelo concreto original da peça estrutural, mas apresentando grande permeabilidade ao oxigênio. Pelo fato de termos, nesta região, uma alta concentração de oxigênio, haverá um potencial de corrosão  $E_1$ . A curva  $C_2$  representa a reação catódica após a “recuperação” estrutural com uma argamassa, grout ou concreto de alta qualidade, bem compacto, geralmente material pré-fabricado, envolvendo a zona corroída. Para este caso, o potencial de corrosão é  $E_2$ . Como se vê, a “recuperação” estrutural efetuada provocou uma diferença de potencial ( $E_2 - E_1$ ), causando uma IE, com conseqüente formação de macropilha de corrosão, fato este verificado, com o correr do tempo, através da curva C. Este mecanismo de corrosão pode ser melhor entendido pela figura 11, onde temos a região original vizinha à “recuperação” efetuada, com um ambiente rico em oxigênio e, naturalmente, tornando-se um perfeito catodo para as reações de redução do oxigênio. No lado direito, a zona de “recuperação” tornar-se-á (de novo) um anodo onde ocorrerão as reações de oxidação do aço.

#### 2º caso prático

**Uma recuperação estrutural efetuada sobre um concreto contaminado com cloretos.**

Aqui, uma “recuperação” foi executada sobre um concreto contaminado por cloretos e a figura 12 ilustra o caso. A curva A re-



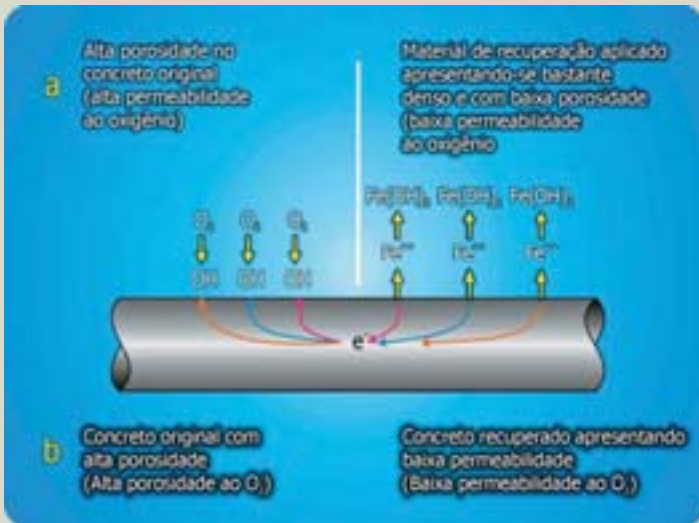


Figura 11 - A situação da figura 9 fica mais evidenciado que a região intacta continua servindo de catodo devido ao grande acesso de oxigênio permitindo a reação de redução. No lado direito “recuperado”, a desintegração ou corrosão do aço.



Figura 13 - Aqui fica mais claro a armadilha em que nos metemos ao executar uma recuperação numa estrutura com presença de cloretos. A área aparentemente boa torna-se, agora, um grande anodo.

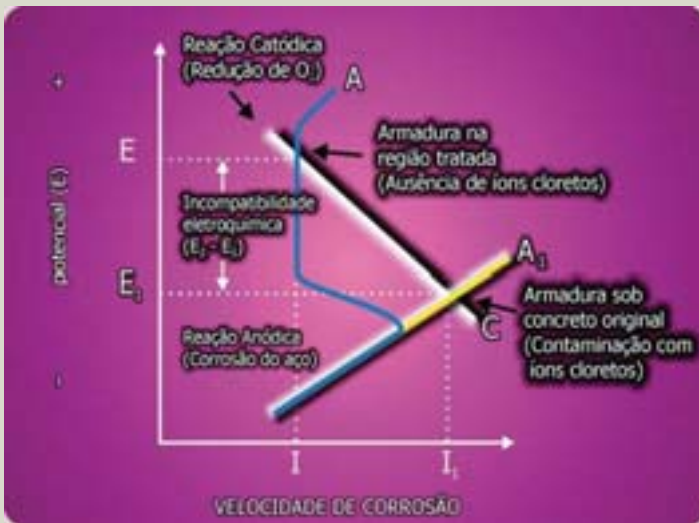


Figura 12 - Em uma estrutura contaminada com cloretos, o mecanismo tradicional de recuperação só piora a situação do concreto armado.

presente a armadura na região “tratada”, possuindo agora uma excelente região passiva pelo fato de não ter qualquer presença dos diabólicos íons cloretos no novo ambiente (nova argamassa, grout ou concreto) que envolve a armadura, após limpeza por escovagem ou hidrojateamento de areia. Neste novo ambiente temos um alto teor de álcalis que elevou o pH da região tratada. A curva  $A_1$ , repare bem, reflete agora a situação do concreto original adjacente, que encontra-se contaminado e que até o momento da “recuperação”, efetivamente, não apresentava risco significativo, já que era uma região catódica de reações de redução moderadas. Pois bem, agora passou a ser um grande e feroz anodo, sem qualquer presença de zona passiva e com alta taxa de corrosão. Como pode se constatar, verifica-se o potencial de corrosão da região “recuperada” em  $E_2$  e da região original em  $E_1$ , obtendo-se, portanto, uma sig-

nificativa diferença de potencial que causa a IE, com conseqüente formação de uma grande região em estado de corrosão ou macropilha. Em outras palavras, a região original com concreto contaminado, adjacente à “recuperação”, tornar-se-á um anodo, promovendo a oxidação ou corrosão das armaduras ali situadas. Veja a interseção com a curva catódica C. A região “recuperada”, agora

“perfeita” e não mais contaminada com íons cloretos tornar-se-á um catodo, ocorrendo aí a redução do oxigênio. Veja a interseção com a curva C. As curvas de polarização apresentadas podem ser simplificadas pela figura 13, onde se nota que, no lado esquerdo, que era um catodo, passou a ser um grande anodo. A área “recuperada” passou a ser um belo catodo.

Com esta situação deflagrada, perguntar-se-á, qual será então a solução para neutralizar a incompatibilidade eletroquímica nas recuperações estruturais, motivadas por corrosão nas armaduras?

Efetivamente, a única alternativa (mensurável) para a interrupção do processo de corrosão nas armaduras do concreto armado é a proteção catódica através de corrente galvânica ou impressa.

**Fax consulta nº 46**  
 Para ter mais informações sobre Corrosão.  
 Click aqui:  
<http://www.recuperar.com.br>

**REFERÊNCIAS**

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil, membro de diversos institutos nos EUA, em assuntos de patologia da construção. É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor técnico de diversas empresas.
- ACI Committee 222. Corrosion of Metals in Concrete, ACI 222R-96. Manual of Concrete Practice Part I, American Concrete Institute.
- ASTM G 3. Standard Practice for Conventions Applicable to Electrochemical Measurements In Corrosion Testing. American Society of Testing and Materials.
- Bamforth, P.B.; Prediction of the Onset of Reinforcement Corrosion Due to Chloride Ingress. International Congress on Concrete Across Borders, Danish Concrete Association.
- Cook, H.K. and W.J. McCoy. Influence of Chloride in Reinforced Concrete. Chloride Corrosion of Steel in Concrete, ASTM STP 629, D.E. Tonini and S.W. Dean, Jr., Eds., American Society for Testing Materials.
- Gu, P., J.J. Beaudoin, P.J. Tumidajski, and N.P. Mailvaganam. Electrochemical Incompatibility of Patches in Reinforced Concrete.
- Hime, W. and B. Erlin. Some Chemical and Physical Aspects of Phenomena Associated with Chloride-Induced Corrosion. Corrosion, Concrete, and Chlorides, Steel Corrosion in Concrete: Causes and Restraints, ACI SP-102, F. W. Gidson, Ed., American concrete Institute.
- Schiessl, P. and M. Raupach. Laboratory Studies and Calculations on the Influence of Crack Width on Chloride-Induced Corrosion of Steel in Concrete. ACI Materials Journal.

