



Evandro Salles Pinto

# É prudente usar concreto armado/protendido em ambiente corrosivo sem proteção efetiva?

O aço, em ambientes corrosivos, é reativo e desintegra-se. Por que continuamos a usá-lo sem qualquer controle e proteção efetiva?

Os vergalhões estruturais CA 50 e CA 60 são barras dimensionadas para a construção civil de acordo com a norma NBR7480/96, exatamente por sua resistência à tração, facilidade de fabricação e custo, mas não por sua resistência à corrosão. Um metal quimicamente puro e rigorosamente homogêneo, como o ouro, não corrói. O aço da construção está longe de ser um metal quimicamente puro, uma combinação de ferro com carbono, contendo, adicionalmente, outros elementos como enxofre, fósforo, magnésio, manganês, silício, níquel, cobalto, molibdênio, cromo, tungstênio, vanádio etc.

Ao sair do alto forno, depois de sofrer diversos tratamentos de purificação, de modo a torná-lo utilizável nas nossas obras, o ferro, ao esfriar, cristaliza em diminutos grãos, com diferentes dimensões, ligando-se ou soldando-se uns aos outros como se fosse um conglomerado. Desta forma, no aço da construção, sem elementos – ligas e com quantidade de carbono inferior a 0,8 %, encontram-se grãos de ferro, praticamente puros que, na nomenclatura metalográfica chama-se ferrita. Além de grãos de uma combinação de ferro com carbono, o carboneto de ferro, denominado cimentita. A cimentita e a ferrita aparecem ainda geralmente misturados, formando uma substância chamada perlita. Durante a etapa normal de resfriamento da liga, ao se impor velocidades ainda maiores, não ocorre a formação de perlitas e sim de martensitas. Esta solução é considerada sólida e estável, totalmente diferente dos constituintes anterior-



Usinas geradoras de energia...



...edificações a beira mar...



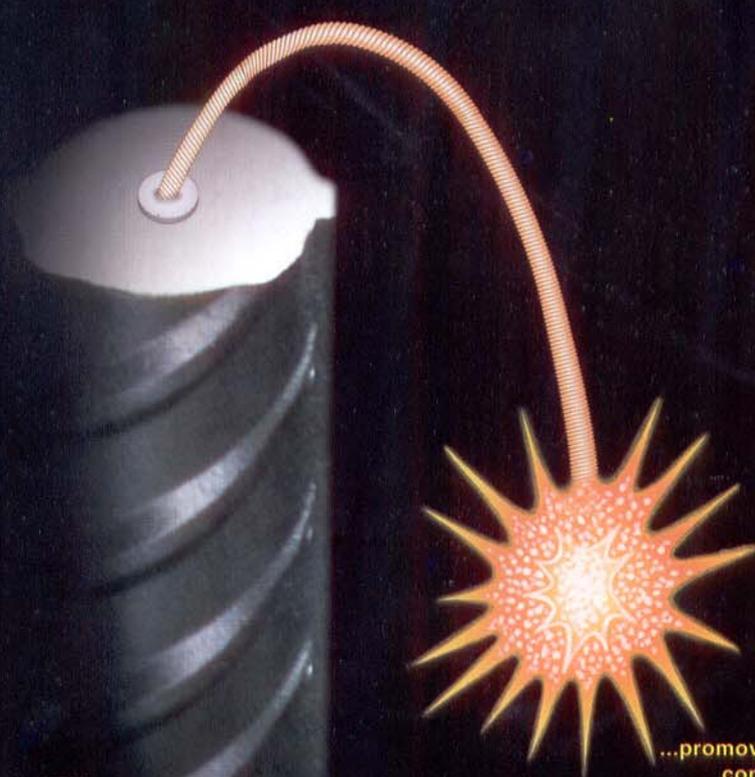
...pontes e viadutos a beira mar...



...indústrias químicas...



...e estruturas off-shore de concreto armado e aço...



...promovem rápida contaminação do concreto com conseqüente desintegração do aço. Soluções existem, mas exigem a compreensão do comportamento eletroquímico do aço.

mente citados, com o ferro totalmente protegido pelo excesso de carbono, cuja presença impede as deformações intergranulares. O carbono concede uma certa proteção ao aço e, por isso, a cimentita funciona como catodo em relação a ferrita. Facilmente compreende-se, portanto, que desta maneira o aço contém em sua estrutura micro-pilhas que podem originar corrosão, à medida que haja uma solução ou eletrólito revestindo-as e interligando-as.

Um outro fator que ocorre para a heterogeneidade da superfície do aço resulta do trabalho mecânico que a peça sofre, um verdadeiro saco de pancadas que deixa cicatrizes, ou melhor, deformações residuais irreversíveis. Nos trechos onde o vergalhão sofreu esticamentos, ou seja, tracionamentos, haverá forte tendência do ferro de se dissolver, liberando seus íons  $Fe^{++}$  para a solução no contato com o concreto e “desacorrentando” seus elétrons que “fugirão” através da barra. Aí está uma região anódica, diretamente da fábrica. Nos trechos do vergalhão submetidos a amassamentos ou compressões, haverá estabilidade eletroquímica suficiente para que os elétrons “fugitivos” possam parar e “transar” com elementos como o oxigênio, hidrogênio, e outros que estiverem em con-

tato ali na superfície, ou seja, formando uma região catódica.

### O aço e seus componentes

O aço da construção, além do ferro, seu principal componente e do carbono, possui pequenas porcentagens de outros elementos que são introduzidos na composição da liga para melhorá-la e os que entram literalmente como penetas (impurezas). Esses “penetas” podem combinar entre si, formando inclusões como o  $MnS$ ,  $SiO_2$ ,  $MnO$ ,  $Al_2O_3$  etc, e reagir com o ferro, constituindo eutéticos ou soluções sólidas como o  $FeSi$ ,  $Fe_3P$ ,  $FeS$ ,  $Mn_3C$  etc.

Na micrografia de uma amostra de aço, analisa-se sua seção plana, devidamente polida e atacada por um reagente apropriado. As inclusões existentes são vistas ao microscópio antes do ataque. Os eutéticos só após o ataque. Na solução sólida formada, ou seja, a liga homogênea, não se pode analisar se é formada por grãos puros. Algumas inclusões são facilmente identificadas por sua cor, forma e aspecto. A análise química da amostra do aço pode dar resultados positivos ou seja que satisfaçam as especificações mais exigentes e, no entanto, o material apresentar pontos fracos em con-

seqüência de concentrações acentuadas de impurezas em determinado trecho da barra. Se essas impurezas estiverem situadas em regiões submetidas a tensões mais elevadas podem, mesmo sem ultrapassar os valores admissíveis para o material sem defeito, serem demasiadas para a resistência desejada. Daí, a possibilidade do aparecimento de pequenas fissuras locais que, com a repetição dos esforços, se propagam paulatinamente através de toda a seção, reduzin-

### GLOSSÁRIO

**Coque** – produto sólido, resultado da destilação do carvão em um forno. É usado como combustível na fabricação do aço.

**Calcário** – solo que apresenta concentração de carbonato de cálcio superior a 13%. Rocha sedimentar constituída principalmente por carbonato de cálcio.

**Ductibilidade** – Capacidade do aço em deformar plasticamente sem fratura.

**Escória** – subproduto da elaboração metalúrgica, com forte teor de silicato e óxidos metálicos.

**Gusa** – produto siderúrgico obtido em alto forno. Nome do ferro cru, proveniente do alto forno. Contém muitas impurezas como carbono, silício, manganês, fósforo, enxofre etc.

**Liga** – substância com propriedades metálicas, compostas por dois ou mais elementos químicos, sendo que, pelo menos um, é o elemento principal. Mistura de metais fundidos para formarem um outro metal.

**Carboneto ou Carbeto** – substância do carbono com um ou mais elementos metálicos.

## A distribuição do carbono no aço

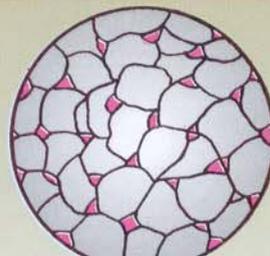
Como os outros metais, o aço também é um corpo de estrutura cristalina. Ao microscópio distinguem-se facilmente seus cristais irregulares,



Cristais de ferrita

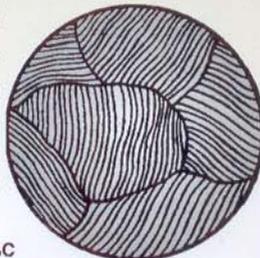
de cor clara, que se aglomeram entre si, delimitando as chamadas regiões de contorno e formando a estrutura cristalina denominada ferrita.

A adição de carbono na massa de ferro que está sendo fundida resulta em átomos de carboneto de ferro  $Fe_3C$ , ou seja um átomo de carbono combinando-se a três átomos de ferro. Quanto mais carbono se adiciona mais carboneto se produz, até o momento em que começa a aparecer entre os cristais de ferrita. A esta surgência dá-se o nome de perlita. Quanto mais carbono, mais perlita formar-se-á, até que, chegando-se a 0,90% de carbono, o ferro fica saturado e toda a



Ferrita e perlita - 0,15%C

sua massa se transforma em perlita. Aparece, então, ao microscópio uma formação uniforme de lâminas de carboneto de ferro. Ultrapassando-se 0,90% de carbono, a estrutura cristalina formada, já saturada de perlita, começa a se separar, formando carbonetos livres chamados de cimentita, estabelecendo a famosa região de contorno entre grãos. A denominação da liga aço varia segundo o conteúdo de carboneto. Saturado, ou seja com 0,90% de carbono, a liga recebe o nome de aço eutético.



Perlita 0,90%C

RESI

**RESI é o medidor de resistividade mais preciso e completo que existe. Verifique.**

**Tele-atendimento**  
 (0XX21) 2493-4702  
 fax (0XX21) 2493-5553  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 35



A liga aço, em estado fundente, com algumas inclusões, na fase carboneto. 500X.

do-a sucessivamente até torná-la insuficiente. Ocorre, então, uma ruptura brusca da peça porque, na maioria das vezes, a fissuração se desenvolve no interior da barra, sem nenhum vestígio perceptível externo. Muitas das chamadas rupturas por fadiga originam-se assim.

**Ferro**

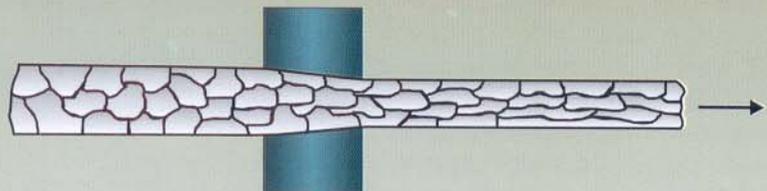
Basicamente, é o único elemento e o mais importante do aço estrutural, preenchendo cerca de 95 % da liga.

**Carbono**

Próximo, em importância, ao ferro, é o elemento químico mais importante do aço. Aumentando-se a quantidade de carbono, aumenta-se a resistência e diminui a ductibilidade do aço. Um típico aço estrutural tem teores de carbono em torno de 0,05 a 0,25 %.

**O fio da meada**

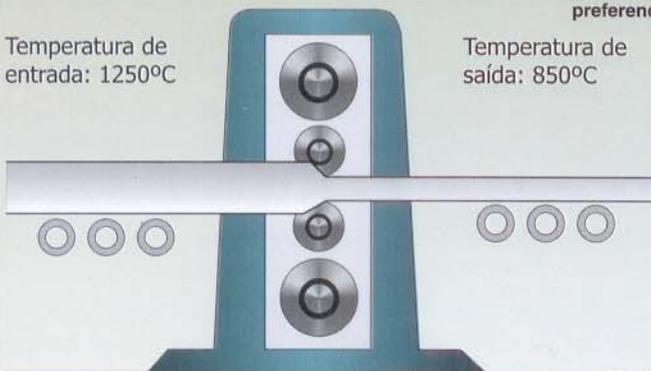
O ferro existe na natureza sob a forma de óxidos, nos minérios de ferro, dos quais é extraído quase sempre por meio de um forte aquecimento em presença do coque ou carvão de madeira, em fornos adequados, nos quais o óxido é reduzido e o ferro resultante, ligado ao carbono. Forma-se, assim, uma liga



processo de trefilação, ou seja, a barra é submetida a uma deformação a frio, reduzindo-lhe a seção ao mesmo tempo em que impõe-se uma orientação preferencial aos grãos.

Temperatura de entrada: 1250°C

Temperatura de saída: 850°C



Processo de laminação a quente para os aços utilizados no concreto

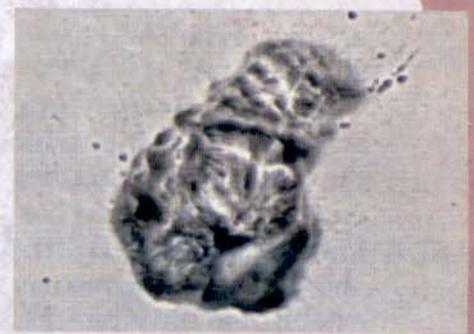
de ferro e carbono que, depois de refinada, constitui a matéria prima para a fabricação dos vergalhões, empregados na construção civil, com propriedades mecânicas interessantes e baixo custo. Este aço é classificado de acordo com sua composição química, sen-

etc, que entram ou como "penetras" na forma de impurezas ou para a melhoria da liga. O aço, como todo metal, é altamente condutivo, o que é tudo para a corrosão. ele promove verdadeiros tobogans para o transporte de elétrons dos anodos para os catodos. A maioria

das propriedades mecânicas do aço são substanciadas por tratamentos térmicos. Isso faz diminuir sua resistência à corrosão. Quando as operações de tratamento do aço se dão à temperatura ambiente, o chamado trabalho a frio, sua estrutura é plasticamente deformada, obtendo-se grãos alongados com grande tendência à corrosão e tensões residuais. No final das contas cada metal tem sua própria tendência a corroer. Qualquer tabela de potenciais de oxidação evidencia a força eletromotriz de cada metal. O sódio, por exemplo, é um metal extremamente ativo que corrói espontaneamente em presença da água, através de violenta reação. O ferro é considerado um metal moderadamente reativo, que também corrói espontaneamente em presença da água.

**GLOSSÁRIO**

**Inclusão** – pequenos partículas de óxidos, sulfetos etc, pulverizados por toda a liga. Estas inclusões são verdadeiros pavios acesos quando existentes na superfície do aço. Os efeitos da inclusão na superfície do aço estão evidenciados abaixo:



Inclusão não metálica na liga.

## Manganês

Tem efeito similar ao carbono. Normalmente, usa-se porcentagens em torno de 0,5 a 1,7 %. Aumenta a forjabilidade do aço, assim como a resistência ao choque, o limite elástico, diminuindo a dutibilidade.

## Cromo

A utilização do cromo visa dar resistência à corrosão ao aço. Normalmente, utiliza-se de 0,1 a 0,9 %.

## Cobre

Também é adicionado com o objetivo de melhorar a resistência à corrosão do aço. Utilizam-se quantidades menores do que 0,2 %. A adição de elementos ligantes para melhorar a resistência à corrosão uniforme pode aumentar a susceptibilidade a processos de corrosão localizada, do tipo pites ou intergranular.



O concreto protege o aço. Por ser um falso sólido é facilmente contaminado por gases e líquidos. A partir daí, acabou a proteção.

## GLOSSÁRIO

**Elementos – ligas ou ferro-ligas** – é o nome genérico dado às ligas de ferro com outros metais (com exceção do carbono), em teores mais ou menos elevados. Destinam-se a servir de adição nos diversos processos siderúrgicos.

**Energia** – É a capacidade de produzir movimento e realizar trabalho. Uma partícula ou uma peça de um material tem energia porque está movendo-se de sua posição em relação a outras partículas ou peças de outro material. A energia pode ser convertida em diferentes formas, não podendo, porém, ser criada ou destruída. Graças a energia pode-se ter materiais coesos. Pode vir a tornar-se massa ou proveniente de uma massa, tomando a forma de energia potencial, calorífica, química, elétrica e atômica, assim como pode também mudar de uma destas formas para outra.

**Minério** – Material mineral que se retira da mina e do qual é possível extrair, industrialmente, um metal.

## Silício

Não exerce influência importante nas propriedades mecânicas do aço, sendo um elemento de adição para atenuar a formação de bolhas, removendo oxigênio durante o processo de lançamento e solidificação. Utilizam-se teores menores que 0,3 %.

## Alumínio

Este metal é um desoxidante mais eficiente que o manganês e o silício. Por isso é empregado para “acalmar” o aço, minorando ou extinguindo o desprendimento de gases que o agitam na solidificação. Forma, com o oxigênio, a substância  $Al_2O_3$  (alumina), que se apresenta ao microscópio na forma de partículas duras e indeformáveis, esparsas ou agrupadas.

## O molibdênio

Tem efeito similar ao manganês. Aumenta a resistência do aço, assim como a resistência à corrosão. Utiliza-se cerca de 0,65 %.

## O níquel

É um poderoso agente anticorrosão, quando adicionado.

## Enxofre e fósforo

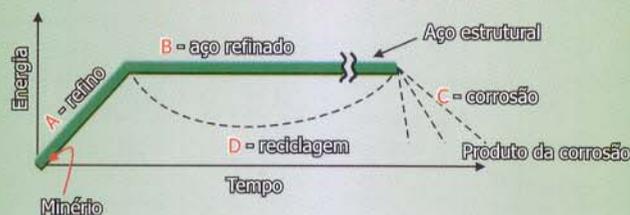
Estes dois elementos são prejudiciais à resistência do aço, aumentando, no entanto, a dureza e a ca-

pacidade do material ser torneado, aplainado etc. Utilizam-se teores inferiores a 0,05 %.

## Manifestações da Corrosão

Há, portanto, toda uma predisposição do aço à corrosão, já que há muita energia acumulada em sua massa. O mecanismo do gatilho que dispara o processo de corrosão no aço foi explicado. O fenômeno da corrosão nas armaduras do concreto classifica-se, usualmente, de duas maneiras, sempre a partir do modo como se manifestam, ou seja, conforme sua aparência e características da superfície atacada. A primeira é quando há a formação da ferrugem característica, geralmente uniforme, provocando aquela expansão característica da camada de recobrimento do concreto que protege a armadura. A segunda, também atuante, mas menos observada, é a que conduz “à fragilização do aço”, seja pela corrosão que adentra entre os grãos da liga, seja pela formação de bolsas de gás hidrogênio aprisionadas entre grãos e vazios, provocando empolamentos.

## Ciclo de vida de um aço



## Iliescu Recuperação e Reforço de Estruturas

Eng.º Marcelo Iliescu  
Consultor

- Diagnósticos e Laudos Técnicos de RRE.
- Reforço com Fibra de Carbono.
- Ensaios de Ion Cloreto e de Potenciais.
- Projetos Estruturais de RRE.
- Tratamento da Corrosão com Proteção Catódica com Anodos de Sacrifício.
- Impermeabilização contra a carga hidrostática (injeção de poliuretano).

Atendemos em todos os estados

www.iliescu.com.br • iliescu@ig.com.br  
(21)9165.5373 / 2570.2406

## Trincas com movimento?

Trincas vivas precisam de Epóxi 36

A melhor solução para as trincas problemáticas que têm movimento é com o EPOXI 36. Ele adere, de forma excelente, nas bordas, permitindo que a trinca “trabalhe” adequadamente, sem comprometer o resto do piso. As juntas serradas também devem ser tratadas com EPÓXI 36.

Use Tecnologia.

Use EPÓXI 36

Fax consulta nº 2

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6740  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br

### A conhecida corrosão com expansão

Sua causa está associada ao fácil acesso do oxigênio à superfície do aço, através da desprestigiada camada de recobrimento do concreto. Os óxidos hidratados ocupam um volume oito vezes maior do que a seção original do aço, provocando o conhecido deslocamento do recobrimento. Como a camada de ferrugem, nesta situação, é extremamente permeável, não é suficiente para passivar ou proteger a superfície da armadura, ocorrendo uma contínua e febril difu-

são dos íons hidroxilas dos catodos para os anodos, onde serão moeda de troca para a formação dos expansivos óxidos e hidróxidos ferrosos. Enquanto houver oxigênio disponível, claro.

### A corrosão fragilizante

Esta patologia manifesta-se pela corrosão através da região de contorno entre grãos, devido à introdução de hidrogênio proveniente da reação de corrosão nos catodos. A corrosão fragilizante altera ou diminui a

### GLOSSÁRIO

**Aço** – liga de aço-carbono que contém outros elementos, caracterizado por sua resistência à tração e dureza.

**Contorno entre grãos** – zona de transição de uma orientação cristalográfica para outra, ocorrendo, assim, a separação entre um grão e outro.

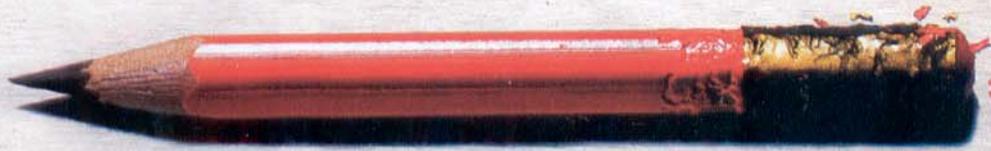
**Grão** – um cristal individual do aço policristalino.

**Fragilidade** – perda severa da dutibilidade ou tenacidade ou ambas, que ocorre no aço.

**Difusão** – transporte de material devido ao movimento das partículas constituintes. A mistura de dois gases ou líquidos é feita por difusão. Movimento aleatório de íons ou moléculas com tendência a ocorrer uma distribuição uniforme dentro de um sistema. Este fenômeno não acontece devido a vazios ou capilares no sistema. É causado e controlado por mecanismos químicos.

**Dutibilidade** – propriedade do material deformar plasticamente sem fraturar.

RECUPERAR on line [www.recuperar.com.br](http://www.recuperar.com.br)



## Dúvidas ao lidar com corrosão?

- Estudos da corrosão.
- Acompanhamento forense.
- Treinamento e palestras.
- Especificações.
- Pesquisa e desenvolvimento.
- Consultoria.

### CONSUL-CORR



Especialistas em corrosão.

Tele-atendimento  
(0XX21) 2494-4099  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 3

### Esta não é uma boa injeção...



...mas para  
impermeabilizar com  
injeção de gel é preciso  
conhecimento.

### Este é o gel da concorrência

Procedência .....	Alemanha
Base .....	Poliuretano
Coloração .....	Marrom Claro
Densidade .....	1,02g/cm <sup>3</sup>
Relação de mistura .....	3:1 em peso
Viscosidade .....	285cps
Pot life .....	50'
Tempo de reação .....	2 horas
Resistência à tração .....	-
Dureza Shore .....	40
Preço .....	R\$ 55,00/litro
<b>Obs.: Atende norma alemã (KTW) para contato com água potável.</b>	

Viu? agora nos próximos serviços de injeção de poliuretano, para acabar com infiltrações em barragens, estações de tratamento de águas e esgotos etc., não aceite outro GEL para injetar.

Fax consulta nº 4

### Veja agora o nosso Gel

#### GEL XPTO

Procedência .....	Alemanha
Base .....	Poliuretano
Coloração .....	Marrom Claro
Densidade .....	0,98g/cm <sup>3</sup>
Relação de mistura .....	2:1 em peso
Viscosidade .....	70cps
Pot life .....	50'
Tempo de reação .....	2 horas
Resistência à tração .....	2,2MPa
Dureza Shore .....	52
Preço .....	R\$ 45,00/litro
<b>Obs.: Atende norma alemã (KTW) para contato com água potável.</b>	

## Injete XPTO

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6740 • fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br

coesão entre grãos, abaixando sensivelmente as propriedades mecânicas do aço. Como não há produtos de corrosão visíveis, não se observam manifestações externas, podendo então obter-se rupturas repentinas das armaduras do concreto armado, o que não é muito comum. É mais frequente no concreto protendido. Como as armaduras encontram-se tensionadas, estas forças de tração incentivam a surgência e o aumento de fissuras através da seção do aço. Como já salientamos, em se tratando de cabos ou cordoalhas do concreto protendido, a coisa fica preta, pois a elevada energia interna a que estão submetidos aumenta a reatividade química, acelerando ainda mais o processo. A corrosão fragilizante subdivide-se em dois outros tipos, que explicamos a seguir.

### Corrosão pelo hidrogênio

Já vimos que no corpo a corpo do ferro com o hidrogênio, o primeiro corrói, despachando elétrons para segundo, motivado pela diferença na escala de potenciais de equilíbrio dos metais abaixo.

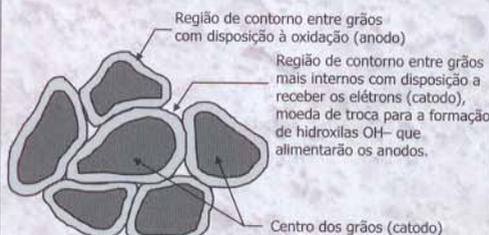
Elemento	Potencial (volts)
Sódio	-2,714
Alumínio	-1,69
Zinco	-0,76
Cromo	-0,71
Ferro	-0,44
Níquel	-0,23
Estanho	-0,14
Chumbo	-0,13
Hidrogênio	0
Cobre	+0,337
Prata	+0,797
Mercúrio	+0,798
Platina	+1,20
Ouro	+1,50

Além deste troca-troca incentivado na superfície do aço, o hidrogênio ionizado, vulgo  $H^+$ , presença frequente na massa do concreto, vai mais além e entra nos domínios da rede inter cristalina formada pelos grãos do aço. Ora, uma vez adentrando neste domínio, o hidrogênio ionizado, aloja-se nos vazios e contornos de diferentes dimensões entre grãos e, no troca-troca com os elétrons provenientes da oxidação do ferro  $Fe^{2+}$ , transforma-se no hidrogênio molecular  $H_2$ , gasoso, ficando impossibilitado de

sair. À medida que a difusão do íon  $H^+$  continua, aumenta mais e mais a acumulação do hidrogênio gasoso entre grãos. A elevada pressão deste gás pode exercer tensões suficientes para dissociar os grãos, provocando fissuras na superfície da barra, cabos ou fios de protensão, baixando consideravelmente seu comportamento tensão-deformação, ou seja, promovendo a fragilização do aço.

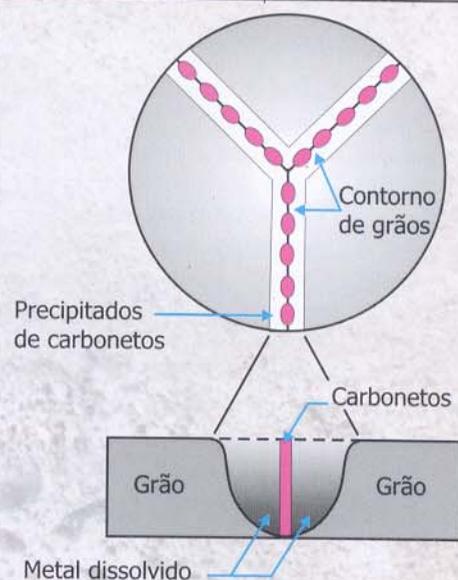
### Corrosão intercrystalina

A justaposição entre grãos do aço, naturalmente acarreta a formação de juntas (as chamadas regiões de contorno) que ficam suscetíveis à ação da solução que se deposita na interface da armadura-concreto. Esta suscetibilidade tem origem na etapa de endurecimento da massa que funde a liga, durante sua fabricação, ocorrendo a precipitação de certos componentes para o interior do grão, deixando-o carente de certos elementos, estabelecendo-se assim, uma perigosa região intergranular, chamada de



Esquema de constituição que produz a corrosão intercrystalina. Catodos e anodos dentro da própria massa do aço.

contorno entre grãos. Esta região fronteira, entre grãos, que está empobrecida devido a ausência de certos elementos que lhe garantiam um certo grau de imunidade à corrosão, torna-se naturalmente um anodo em relação ao centro do grão, com predisposição para catodos. Desta forma, a solução presente nos vazios do concreto, e que chega à superfície das armaduras, simplesmente ligará a pilha por aquela região fronteira entre grãos. A temida corrosão sob tensão, muito comum no aço de protensão, também é considerada corrosão intercrystalina, cau-



Representação da precipitação dos carbonetos na região de contorno.

sada não tanto pela intensidade corrosiva dentro das bainhas, que geralmente é pouca, mas sim devido a grande energia interna dentro daquele tipo de aço. Desta forma, o pouco se torna suficiente. **T**

### Fax consulta n° 5



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- Eyandro Salles Pinto é engenheiro metalúrgico.
- J.A. Jacobs and T.F. Kilduff, "Engineering materials technologies".
- D.J. Wuli, "Understanding how components fail".
- Heat-treater's guide: practices and procedures for irons and steels.
- ASM Handbook, Properties and selection: irons, steels and high-performance alloys.
- Dumas, E., "Sur une méthode de protection des aciers contre la corrosion".
- Arpaia, M., "Conduites en béton precontraint et phénomènes de corrosion".

ON LINE  
**RECUPERAR**

www.recuperar.com.br

Não perca tempo.  
Tecnologia, materiais e equipamentos ON LINE.



Hermínia Gonçalves Brandão

## Um novo aço para o concreto armado.

O aço tradicional que usamos em nossas obras estará condenado? Em seu lugar, um aço resistente à corrosão.

Ferro e aço se confundem na história da construção. Irmãos siameses, jogadores insubstituíveis do Corrosão Futebol Clube, mascaram esta ruindade perna de pau com uma gestão cara de pau baseada apenas em suas características de resistência à tração, facilidade de fabricação e custo. Esta relação incestuosa manifesta-se no campo, com uma velocidade de corrosão ou perda de metal extremamente perigosa, tipo bomba relógio, provavelmente dogma de um desconhecimento enrustido. Todo o aço da construção corrói numa atmosfera úmida

como a nossa, com maior ou menor velocidade.

A metalurgia do aço estrutural é definida, numa primeira visão, pelo conteúdo de ferro e carbono que entra na liga. Numa análise mais apurada e com maior responsabilidade capta-se os demais elementos que entram na liga, adicionados para dar maior resistência, dutibilidade, além de outras características. A adição de 0,2% de cobre à liga do nosso aço-carbono tem a propriedade de reduzir sua velocidade de corrosão, da mesma forma os elementos fósforo, man-

### GLOSSÁRIO

**Ferrita** – ferro quase puro. Resistência à tração 28kg/mm<sup>2</sup>.

**Cementita** – carboneto de ferro (Fe<sub>3</sub>C). Contém 6,67% de carbono e 93,3% de ferro.

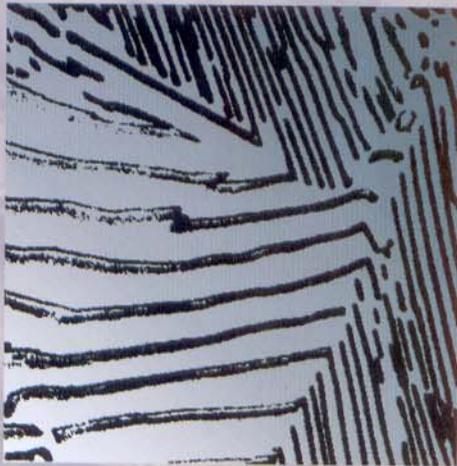
**Perlita** – ferrita e cementita. Compõem-se de 13,5% de carboneto e 86,5 de ferro. Resistência à tração de 80kg/mm<sup>2</sup>.

**Austenita** – é uma solução sólida de carboneto de ferro. Pode conter desde 0% até 1,8% de carbono.

Todos os aços se formam por cristais de austenita. Resistência à tração de 88 - 105kg/mm<sup>2</sup>.

**Martensita** – com um conteúdo de carbono não superior a 0,9%, aumenta a dureza, resistência e a intrínseca fragilidade da liga. Depois dos carbonetos e da cementita, é o constituinte mais duro dos aços.

Apresenta-se em forma de agulhas na microestrutura do aço.



Microestrutura do aço evidenciada pelas camadas alternadas de ferrita (áreas claras) e cimentita (áreas escuras) 2.500X.

ganês, cromo e o níquel, quando adicionados.

### Considerações sobre a fabricação das barras

Exatamente pelo fato do custo dos materiais de construção ser menor do que a metade do custo do aço estrutural é que todo projetista deveria atentar para o somatório de sua performance no campo, particularmente no que se refere à corrosão. Este conhecimento ajudará o projetista e o engenheiro de campo a especificar e a utilizar, respectivamente, o aço estrutural mais eficientemente. A verdade é que o aço tem uma qualidade que deve ser atendida, mas que, infelizmente, varia de fabricante para fabricante. Não estamos nos referindo às

suas propriedades mecânicas, bastante conhecidas, mas sim às suas propriedades químicas e metalúrgicas, seu calcanhar de Aquiles. A aceitação pura e simples do produto com base apenas em sua resistência de tração é a miragem de um cenário realista que passa a ser fantasioso à medida que se constrói em ambientes corrosivos, como a beira mar e o industrial. O concreto, que reveste o aço, o protege até um certo tempo. A partir daí passa a ser o seu pior inimigo. O conhecimento, portanto, de suas propriedades metalúrgicas e químicas, analisando-se a estrutura dos seus grãos, tamanho e forma, realmente, revelará o seu futuro comportamento. A estrutura cristalina do aço ou, propriamente, seu "grão" é função dos seus componentes químicos, do tratamento térmico e do resfriamento imposto.

### O controle da corrosão pela seleção do aço

Cada fabricante e cada partida de barras fabricada tem um comportamento único e inerente com vistas à corrosão. Sua resistência à corrosão dependerá do ambiente a que estará exposta a estrutura, ou seja, sua composição química, temperatura, umidade etc. A relação geral que estipula aquele aumento característico da corrosão, tornando o aço um verdadeiro saco de pancadas, via desintegração, é dado pela relação:

$$\frac{\text{Corrosividade do ambiente}}{\text{Resistência à corrosão da barra}} \approx \text{Velocidade do ataque corrosivo}$$

Com base no acima exposto, quer dizer, cada barra com seu crachá estipulando uma determinada resistência à corrosão, se a cor-

rosividade do ambiente aumentar, a velocidade da corrosão, na barra, irá aumentar. Na verdade, o resultado do corpo a corpo de uma estrutura de concreto armado mantida em um determinado ambiente é conhecido. Muitos projetistas simplesmente ignoram. Outros, mais prudentes, procuram limitar ou retardar a velocidade do ataque com revestimentos e pinturas. No fundo, no fundo, estão fixando uma velocidade de corrosão suficientemente baixa ou aceitável. Por exemplo, catorze anos. Está bom? Esse negócio de resistência à corrosão do aço deveria ser motivo de discussão futebolista. Assim como acontece com suas propriedades mecânicas. Porque é importante, particularmente, para estruturas submetidas a ambientes sabidamente corrosivos. Quer dizer, a liga aço, como metal reativo que é, deveria ser questionada com relação aos seus componentes e à sua fabricação. Desta forma poder-se-ia limitar ou estabelecer uma alta resistência à corrosão, assim como sua resistência à tração.

Corrosão é coisa muito séria. Custa, por ano, aos EUA \$ 300 bilhões. Falam os números.

### As características metalúrgicas

O aço que utilizamos em nossas obras caracteriza-se por suas propriedades mecâni-

cas, químicas e metalúrgicas. Os testes que estabelecem suas propriedades mecânicas são bem conhecidos e resumem-se ao de

## MEDIDOR DA VOLTAGEM DE CORROSÃO?

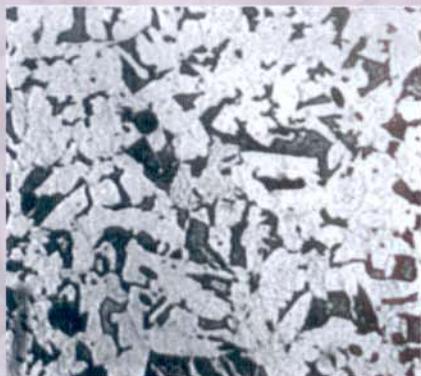
### SEMI-PILHA CPV4

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, o estado de corrosão e a sua evolução, antes que a estrutura comece a ter deslocamentos e armaduras expostas.

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 8

tração, fratura, dureza e dobramento. Os testes que definem suas propriedades químicas e metalúrgicas, curiosamente, são muito menos sujeitos a interpretação e disputa que os mecânicos.

Na usina siderúrgica, o calor absorvido pelas barras, antes da rolagem, tende a se dissipar em locais apropriados. Esta dissipação de calor, com inevitável resfriamento irregular ao longo de sua superfície, conduz ao desenvolvimento de tensões residuais na barra. A prensagem concomitante das barras, que ocorre durante a rolagem, reduz o tamanho original ao diâmetro final. Durante este processo, mudanças cristalinhas continuam a ocorrer, primariamente na forma de grãos que ainda crescem nas regiões pouco resfriadas e de afinamento dos grãos nas regiões da barra rapidamente resfriadas. Tudo isto gera mais tensões residuais nas barras.

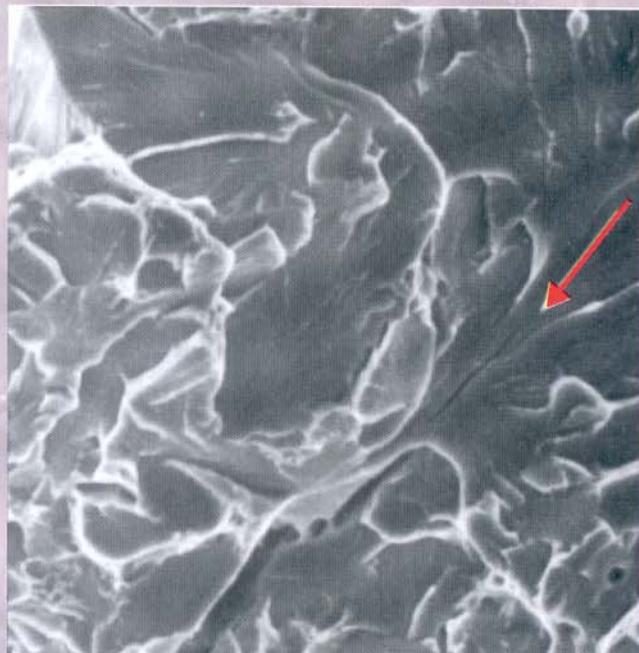
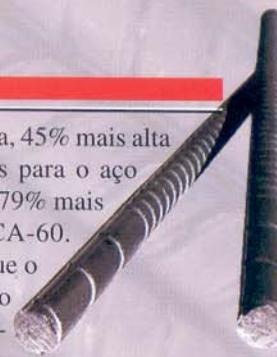


A microestrutura após o tratamento térmico. Ferrita na forma de blocos maciços brancos. A perlita aparece escura. As partículas arredondadas é sulfeto de manganês.

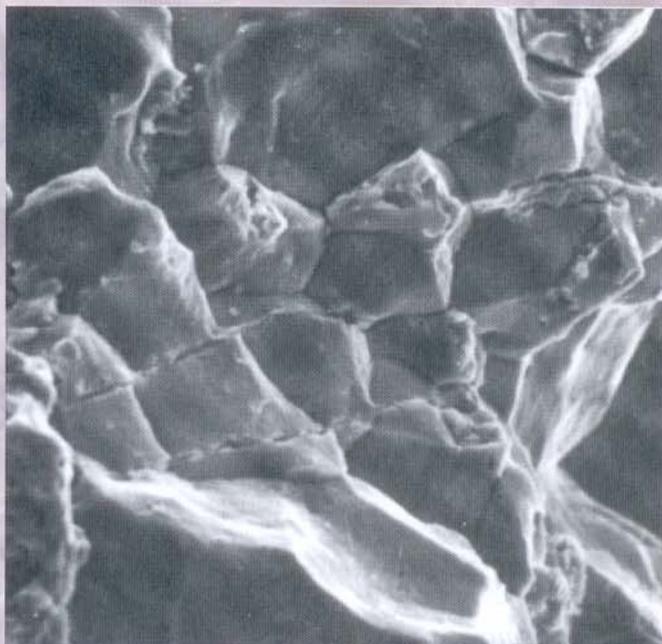
No que tange ao monitoramento da corrosão nas estruturas de concreto armado/protendido, falta-nos rígidas especificações para os aços ali empregados. Por exemplo, a norma ASTM A 416, 1999 “standard specification for steel strand, uncoated seven-wire for prestressed concrete”, a ASTM A 82, 1997 “standard specification for steel wire, plain, for concrete reinforcement” e a ASTM A 496, 1997 “standard specification for steel wire, deformed, for concrete reinforcement” especificam que o material base é o aço, mas não limitam sua composição química. A norma ASTM A 615, 2000 “standard specification for deformed and plain billet-steel bars for concrete reinforcement” limita o teor de fósforo a 0,06% mas não limita os percentuais de carbono, manganês e enxofre.

De acordo com boletim técnico BT/PCC/272 da USP os professores Osvaldo Cascudo e Paulo Helene analisam a resistência à corrosão dos diferentes aços carbonos destinados ao uso como armaduras para concreto armado, especificamente as barras CA-50 e o fio CA-60. Concluem que o aço CA-50 sem carepa apresentou velocidade

de corrosão, em média, 45% mais alta do que as registradas para o aço CA-50 com carepa e 79% mais alta do que o aço CA-60. Concluem também que o pior desempenho do aço de estrutura martensítica (CA-50 e CA-



Microfoto eletrônica de varredura de uma fratura no aço. Note a progressão da marca da fratura na direção da seta. Os contornos entre grãos foram atravessados sem qualquer efeito aparente. 2000X.



Microfoto eletrônica de varredura de uma fratura intergranular no aço. Note que a fratura ocorre entre grãos. A superfície da fratura mais parece um torrão de açúcar, revelando as formas dos grãos individuais. 2000X.

#### GLOSSÁRIO

**Tensões residuais** – são tensões existentes na microestrutura da peça, mesmo que não esteja submetida a qualquer força externa ou gradiente térmico.

**Tensões residuais térmicas** – são causadas, primariamente, por expansão diferencial quando, por exemplo, uma barra de aço é aquecida, e contração quando resfriada. As mudanças que ocorrem no aço, como resultado de um mal dimensionamento causam tensões residuais termicamente induzidas.

**Tensões residuais metalúrgicas** – são causadas, primeiramente, pela expansão não uniforme que ocorre durante o processo de endurecimento da martensita no aço.

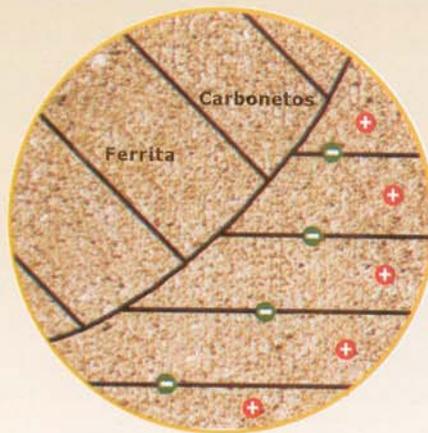
50C) em relação ao de estrutura ferrita-perlita, CA-60, deve-se, provavelmente, ao maior nível de tensões internas daquela estrutura, associado ao fato de que ela apresentou maiores teores de carbono e manganês, elementos tidos como redutores da resistência à corrosão de aços carbono. Efetivamente, não há limitações prescritas em normas da ABNT. A norma NBR 7480, específica para armaduras do concreto, não faz menção nem ao tipo de tratamento (se foi encruado ou não) sofrido pela barra, podendo o aço CA-50 ser encruado e, mesmo assim, ser classificado pela norma.

### Um novo aço estrutural

O aço estrutural que compõe armaduras e cabos de protensão já vai, então, "literalmente sabotado" para a obra. Pilhas microgalvânicas, inerentes à sua microestrutura, detonam reações químicas em direção a produtos de corrosão, como o  $Fe(OH)_2$ , reduzindo o aço à sua condição de origem. Eliminando ou minimizando a formação destas micropilhas, ou seja, aquela microestrutura ferrítica-perlítica na qual formam-se carbonetos na fase ferro-carboneto e nos contornos do grão, interferiremos profundamente em sua atividade corrosiva, empurrando o  $i_{CORR}$  (veja RECUPERAR nº 42 e 46) para valores insignificantes.

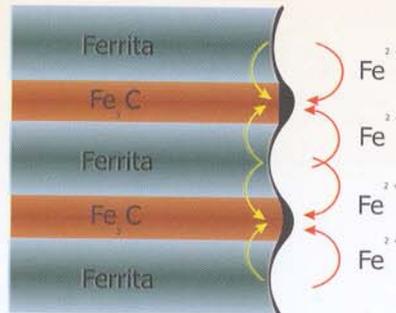
### O aço imune à corrosão

Uma composição química bem direcionada e um processo de produção que controle a microestrutura martensítica do aço, impon-

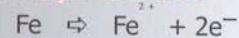


Aço convencional da construção, com a microestrutura ferrítica/carbonetos (perlítico). O resultado é a formação de micro-pilhas galvânicas.

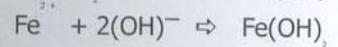
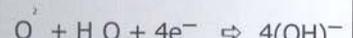
### A reação eletroquímica convencional que ocorre nas barras de aço



#### Reação Anódica

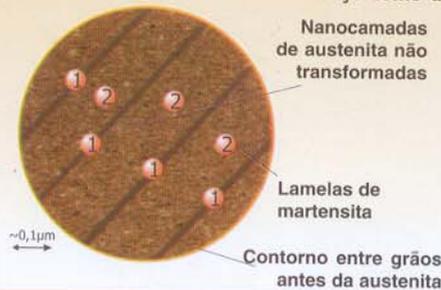


#### Reação Catódica



A eletroquímica convencional do aço com a formação de pilhas microgalvânicas entre fases ferro-carbonetos e ferritas. A corrosão é neutralizada, evitando-se a formação destas pilhas microgalvânicas.

### O aço como um microcompósito



### A microestrutura de um novo aço.

Martensita 100% empacotada. O pacote é a estrutura de um nano microcompósito de lamelas martensitas formando um sanduíche com camadas muito finas de austenita não transformada. Existirá, apenas, um máximo de quatro diferentes orientações de empacotamento em cada grão de austenita. Aumentando-se a formação de um microcompósito inteligente, elimina-se a formação de pilhas galvânicas.

# RECONCRET

Engenharia de Recuperação e Estruturas Ltda

- RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS.
- REFORÇO ESTRUTURAL COM UTILIZAÇÃO DE FIBRA DE CARBONO.
- REFORÇO DE FUNDAÇÕES COM P.G.
- TRATAMENTO DE CONCRETO APARENTE.
- IMPERMEABILIZAÇÃO COM INJEÇÃO DE POLIURETANO.

Av. Euzébio Matoso, 422 - São Paulo  
Fone: (11) 3812-2877  
Fax: (11) 3812-9910

# Capa dura para a RECUPERAR

Compre a capa dura e encarte suas edições.

R\$ 18,00

RECUPERAR

PATOLOGIA DA CONSTRUÇÃO

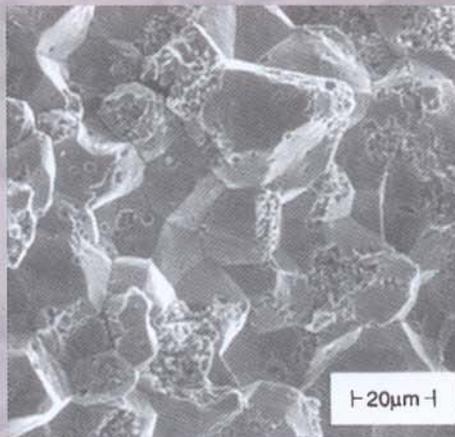
Tele-atendimento (0XX21) 2493-4702  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 9





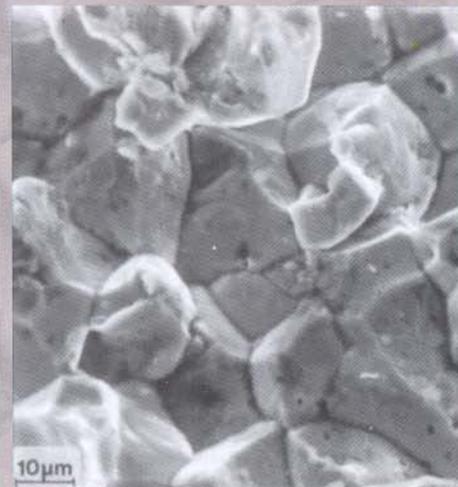
Montanhas mágicas. Esta microfotografia eletrônica mostra o aço com 0,8% de carbono usando contraste com interferência diferenciada.

do-lhe nano camadas de austenita entrecortadas por lamelas de martensita, promove a formação de um aço virtualmente livre de carbonetos. A análise das propriedades



Corrosão sob tensão fraturante intergranular (CST) em um aço submetido a uma solução quente de nitratos e, posteriormente, limpa com solução de HCl. O aço, submetido à tensão de tração, começa a desenvolver fissuras/trincas, através das quais adentra o contaminante e expõe as superfícies dos grãos que corroem.

microestruturais do material resultante é facilmente conferida, através de uma micros-



CST intergranular de uma amostra de aço extraído de uma peça de concreto armado.

copia eletrônica de varredura (SEM).

O teste de resistência à corrosão do aço é feito através de um ensaio de polarização

## Rumo às Estruturas Inteligentes

Breve, breve toda estrutura de concreto armado e protendido estará sob controle, no que tange à corrosão. A **GALVAPULSE**, com seu revolucionário design e pronto diagnóstico, antecipou-se no tempo, oferecendo todo o poder do controle da corrosão.

**GALVAPULSE** oferece:

- A velocidade da corrosão em 10 segundos.
- O reconhecimento da corrosão nas armaduras, mesmo em ambiente anaeróbico.
- Potenciais e resistividade simultaneamente.
- Eletrodo com design moderníssimo.
- Computador e software fácil de operar.
- A corrente que circula nas armaduras.
- Dados fáceis de acessar para o Windows, obtendo-se o mapeamento em 2D e 3D.



**GALVAPULSE**  
O domínio da corrosão.

Tele-atendimento  
(0XX21) 2494-4099  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 10



Grupo falcão bauer

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)  
CREDENCIADO: INMETRO E IBQN

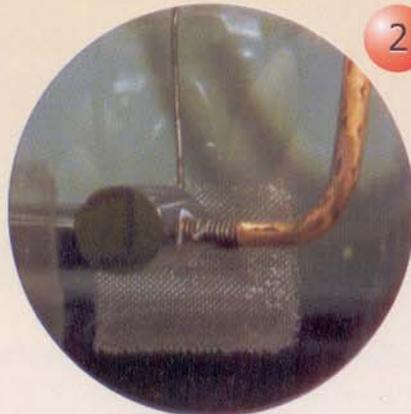
- Controle global da qualidade na construção;
- Controle tecnológico de concreto, solos e pavimentação;
- Recuperação e reforço de estruturas;
- Gerenciamento e fiscalização de obras;
- Inspeções e laudos técnicos em estruturas;
- Provas de cargas e controle de recalques;
- Análises químicas, físicas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

Ensaio de resistência à corrosão



1

Aço típico usado no concreto armado.  
7 de Agosto  
8:15 horas



2

Aço sem disposição para corroer.  
7 de Agosto  
8:15 horas



1A

Aço típico usado no concreto.  
25 de Agosto  
20:00 horas



2A

Aço sem disposição para corroer.  
26 de Agosto  
20:00 horas

O aço com alta resistência à corrosão, efetivamente, tem um ciclo de vida extraordinariamente maior, mantendo suas qualidades mecânicas intactas.

potenciodinâmica, onde as amostras são imersas em uma solução 3,5% de NaCl, obtendo-se a medida da relação entre o potencial eletroquímico e a consequente

GLOSSÁRIO

**Corrosão sob tensão (CST)** - defeito evidenciado pela formação de fissuras/trincas provocadas pela ação combinada de corrosão e tensão de tração, tanto externamente aplicada quanto de natureza residual. As trincas tanto podem ser intergranular quanto transgranular.

corrente de corrosão. A resposta potencial-corrente é testada para uma determinada faixa de potenciais aplicados, normalmente, controlando-o e monitorando-se a corrente produzida, como uma função do tempo ou do potencial. No teste em questão, aplicou-se uma polarização anódica nas amostras de um

continua

**Os problemas das pontes em vigas caixão?**

Próxima Edição  
**RECUPERAR**

**Após a limpeza...**

**ZLP** zinco líquido puro

**15 anos de proteção contra a corrosão.**

**ZLP**  
PROTEÇÃO CATÓDICA LÍQUIDA

Tele-atendimento  
(0XX21) 2494-4099  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 11

A microscopia eletrônica de varredura:  
Microestrutura de nanocamadas de  
austenita entre lamelas de martensitas  
livre de carbonetos

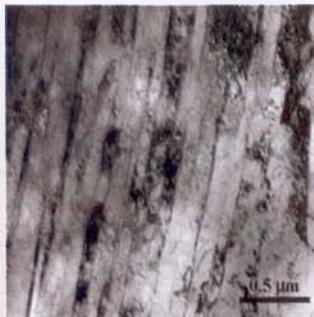


Imagem da amostra com brilho.



Imagem da amostra escurecida.



Equipamento de microscopia eletrônica utilizado na observação.



Camadas de cimentita sobre contornos de grãos em um aço.

aço da construção e, depois, em um aço da mesma categoria, mas resistente à corrosão, fazendo-se com que o potencial aplicado fosse mudado para uma direção anódica (mais positivo), tornando a amostra um anodo, ou seja, retirando seus elétrons. O resultado está apresentado nas fotos. A estimativa de vida de um aço comum da construção, em uma estrutura submetida a um ambiente marinho ou industrial, varia de 10 a 20 anos, enquanto que com um aço resistente à corrosão pode chegar a 100 anos.

Todas as pontes e viadutos das auto-estradas norte-americanas passarão a utilizar o aço resistente à corrosão, segundo a Federal Highway Administration.

Fax consulta nº 12



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

REFERÊNCIAS

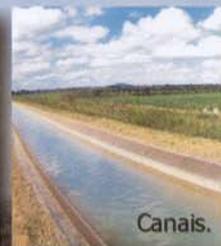
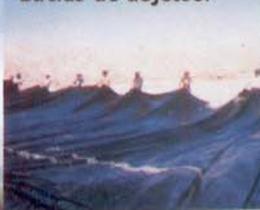
- **Hermínia** Gonçalves Brandão é engenheira metalúrgica.
- S. P. Pednekar, A.K. Agrawal, H.E. Chaung, and R.W. Staehle, J. Electrochem. Soc., Vol. 126. K. Sieradzki, R.L. Sabatini, and R.C. Newman, Metal Trans. A, Vol. 15A. E.I. Melitis and R.F. Hochman, Corrosion Sci., Vol. 24.
- R. Liu, N. Narita, C. Alstetter, H. Birnbaum, and E. N. Pugh, Metall. Trans. A, Vol. 11A.
- B. E. Wilde, Metals Handbook, Vol. 11, Failure Analysis, 9th ed., ASM International, Metals Park.
- R. N. Parkins, Environment-Induced Cracking of Metals, R. P. Gangloff and M. B. Ives, eds., NACE, Houston.
- R. H. Jones and R. E. Ricker, Metals Handbook, Vol. 13, Corrosion, 9th ed., ASM International, Metals Park.
- R. W. Staehle, Stress Corrosion Cracking and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys, R. W. Staehle et al, eds., NACE-5, NACE.
- R. N. Parkins, Br. Corrosion J., Vol. 14.
- P. S. Pao and R. P. Wei, Metals Handbook, Vol. 11, Failure Analysis, 9th ed., ASM International, Metals Park.
- L. Engel and H. Klingele, Atlas of Metals Damage, Prentice-Hall.
- D. O. Sprowls, Metals Handbook, Vol 13, Corrosion, 9th ed., ASM International, Metals Park, OH.
- M. O. Speidel, Proc. Int. Conf. on Stress Corrosion and Hydrogen Embrittlement of Iron Base Alloys, NACE, Houston.
- D. J. Duquette and H. H. Uhlig, Trans. Am. Soc. Metals.
- G. Kobrin, Metals Handbook, Vol. 13, Corrosion, 9th ed., ASM International, Metals Park.
- B. D. Craig, Metals Handbook, Vol. 13, Corrosion, 9th ed., ASM International, Metals Park.

**PVC MANTA**  
MANTA DE PVC FLEXÍVEL ULTRA RESISTENTE

A melhor solução impermeabilizante

- Edificações.
- Aterros sanitários.
- Cisternas.
- Tanques de dejetos.
- Reservatórios e canais.
- Impermeabilização de lado positivo.

Bacias de dejetos.



Canais.



Edifícios.



Tanques.

40 milhões de m<sup>2</sup> colocadas no mercado atestam a eficiência da manta de PVC flexível, ultra resistente. Peça seu catálogo hoje mesmo.

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 13



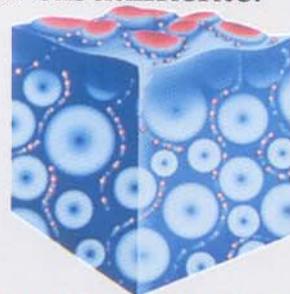
# O que você deve saber sobre terrenos contaminados

## Oscar Boaventura Filho

Mexer com terreno contaminado é perigoso. Exige conhecimentos e experiência. É o tipo de negócio que não dá para entrar casualmente.

De repente você se vê diante de uma proposta tentadora de um cliente para fazer um serviço que nada tem a ver com o seu, como fazer um trabalho de demolição e limpeza de um terreno de uma antiga fábrica de zinco, demolir dois tanques de concreto que

armazenavam ácido sulfúrico ou mesmo fazer um trabalho de recuperação numa unidade industrial onde se produz cianeto. Proposta excitante! Dinheiro fácil! Aparentemente sem concorrência. Qual o problema? Mucho, mucho. Você e seu pessoal



## CONSULTORIA EM MEIO AMBIENTE

- Planejamento ambiental.
- Ligação cliente-órgão fiscalizador.
- Gerenciamento em empresas poluentes.
- Preparação para auditoria e certificação na ISO 14.000.
- Licenciamento ambiental.
- Legislação e direito ambiental.
- Assessoria na recuperação de:
  - Solos Contaminados.
  - Efluentes industriais e domésticos.

**SOLO CONSULT**  
Consultores Ambientais

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6740  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 14



ção, cheirando e absorvendo, por cada milímetro quadrado da pele, gases e líquidos reconhecidamente perigosos, agora padecem os de asma... e outras e enfermidades. Simplesmente, não há qualquer controle neste lado do planeta. Com a falta de emprego ou trabalho acabamos sendo escravos de uma situação de extremo perigo para o nosso complexo organismo.

### Muita atenção

Mas o objetivo desta matéria é chamar a atenção para um tipo de trabalho de recuperação extremamente perigoso que está se impondo, à medida que deparamos com terrenos contaminados e com a água freática no mesmo lugar comum. A técnica de

remoção ou limpeza, sua recuperação ou, finalmente, pelo seu encapsulamento. A falta de legislação, normas, regulamentações, critérios e, propriamente, de justiça aqui faz com que sigamos por transfusão forçada ou por simples cópia, as regras de conduta de lá, mesmo que virtualmente. Com alguma frequência lá, empresas de engenharia na área de recuperação, se metem a recuperar terrenos contaminados, naturalmente seguindo regras estabelecidas por empresas de consultoria especializadas na área de descontaminação de solos. Se o serviço começa e acaba sem problemas, tudo bem, tudo muito bom. Mas quando a empresa de recuperação começa a ter baixas com pessoal contaminado ou afeta-se o terreno vizinho, aí o bicho pega. Entram em cena as agências regulamentadoras e é multa pra todo mundo. Por outro lado, se se empregam empresas licenciadas e espe-



Interpretação para as concentrações de risco.

estarão se expondo, principalmente o segundo, a níveis de poluição ou contaminação perigosas quanto desconhecidas, sem qualquer segurança e entregues à própria sorte. Nos EUA, entrar em um serviço destes sem estar legalmente preparado dá multa superior a US\$ 7.000,00, além de processos que lhe custariam o que você não tem. Não é exagero. É a realidade de um país onde pessoas morreram ou ficaram irremediavelmente doentes, causando sérios prejuízos aos bem controlados cofres públicos. Bom, dinheiro e desafios todos nós gostamos, mas expor-se a níveis de contaminação química desconhecidos e mais, sem qualquer noção do que possa provocar, não a curto ou médio, mas a longo prazo, só com uma mascarazinha e um par de luvas valentes, é doideira. O profissional responsável precisa ter domínio ou total conhecimento do ambiente em que irá trabalhar ou expor seus funcionários. Mais, precisa estar muito bem preparado. Quantos de nós, que trabalhamos em indústrias químicas e petroquímicas, fazendo recupera-

tratamento geralmente descamba para a sua

## TRINCAS EM PISOS DE CONCRETO? SINISTRO, MUITO SINISTRO!

*Aplique hoje mesmo METACRILATO e considere o crime resolvido.*

O que as trincas e fissuras fazem em um piso de concreto, seja industrial ou comercial, é um verdadeiro crime. Combata estes efeitos com a melhor e mais eficiente arma: METACRILATO. É só verter, espalhar e pronto. Acaba-se o sinistro. METACRILATO restitui, em 30 minutos, a monoliticidade do concreto, pois adentra sozinho em fissuras de até 0,01mm. Aplicável também em vigas, pilares e lajes, sem equipamento de injeção.

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 16

cializadas em descontaminação de terrenos, os problemas, caso ocorram, ficam extremamente minimizados.

### Como proceder

A primeira sugestão que damos, quando a empresa de recuperação suspeita ou tem certeza da existência de solo contaminado é contactar profissional ou empresa especializada em contaminação ambiental, de modo a buscar orientação e, principalmente, procurar saber junto ao cliente o histórico do local. Nos EUA, pergunta-se se o "level one survey" já foi feito. O "nível um de investigação" (LOS) nada mais é do que um relatório de como aquele terreno foi utilizado, procurando identificar, desta forma qualquer presença de contaminação. O LOS passa de proprietário para proprietário e vai informando como o terreno foi utilizado, sendo documento obrigatório quando se deseja pedir empréstimo a bancos. O LOS, como se vê, é um documento

de grande interesse. Informa, inclusive, se já foram executados trabalhos de recuperação naquele solo, ou se deverá, obrigatoriamente, partir-se para o "nível dois de investigação" (NTS) que nada mais é do que a análise da água e do solo. Nada se poderá fazer neste terreno, antes desta análise, pois não se tem idéia do grau de contaminação existente. Caso existam contaminantes, dever-se-á contactar o "Federal Resource Conservation and Recovery Act" que estipula a devida responsabilidade pelo abacaxi. O novo proprietário poderá exigir que o antigo pague pela recuperação do solo e da água freática.

De um modo geral, poder-se-á verificar, através de uma simples análise visível, se o terreno apresenta contaminação. Por exemplo, a existência de vegetação escassa ou com aparência doentia, depressões na superfície do terreno, vestígios de nivelamento forçado, o que sugere a existência anterior de depósitos de material contaminante. Superfície descolorada também é um indício de

contaminação. O Instituto de Patologias da Construção (IPC) possui a lista do LOS com 23 questões padronizadas pela ASTM (American Society of Testing and Materials) que, certamente, poderá ajudá-lo a conhecer melhor todo tipo de terreno sob suspeita. Chama-se "Questionário de evidências de solo contaminado".

Nossa sugestão, para as nossas condições, é que qualquer engenheiro ou técnico da área de recuperação não se meta a bobo neste tipo de serviço, pois poderá custar caro à sua saúde e a de seus funcionários. A realidade é nua e crua pois, com frequência, um trabalho de descontaminação poderá ficar mais caro que o próprio terreno.

### O equipamento de proteção individual (EPI)

Este é um item importante para qualquer técnico que queira trabalhar com este tipo de serviço. A seleção do EPI apropriado é bastante complexa, pois leva em conta o

## recuperação ambiental?



A BIOTECH tem a solução para o seu problema

- remoção de asbestos, PCBS, pó de chumbo...
- solos contaminados e tanques subterrâneos...
- descontaminação ambiental.
- metais pesados, mercúrio, cádmio...
- limpeza industrial.



Tele-atendimento  
(0XX21) 2494-4099  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 17

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

... Para estruturas existentes

**RENEW®**

LITHIUM FÓRMULA

... Para estruturas a serem executadas

**LIFETIME®**

LITHIUM FÓRMULA



Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 18

## Limites de contaminação (padrão holandês)

Substância	Concentração no solo (mg/kg peso seco)			Concentração na água freática (g/l)		
	A	B	C	A	B	C
<b>Metais</b>						
Cromo	100	250	800	20	50	200
Cobre	50	100	500	20	50	200
Zinco	200	500	3000	50	200	800
Arsênico	20	30	50	10	30	100
Cádmio	1	5	20	1	2,5	10
Mercúrio	0,5	2	10	0,2	0,5	2
Chumbo	50	150	600	20	50	200
<b>Poluentes Inorgânicos</b>						
Cianeto livre	1	10	100	5	30	100
Cianetos totais	5	50	500	10	50	200
Enxofre total	2	20	200	10	100	300
Bromo	20	50	300	100	500	2000
<b>Substâncias aromáticas</b>						
Benzeno	0,01	0,5	5	0,2	1	5
Tolueno	0,05	3	30	0,5	15	50
Fenóis	0,02	1	10	0,5	15	50
Aromáticos totais	0,1	7	70	1	30	100
<b>Orgânicos Clorados</b>						
Clorobenzenos totais	0,05	2	20	0,02	1	5
Clorofenóis totais	0,01	1	10	0,01	0,5	2
Bifenil policlorados totais	0,05	1	10	0,01	0,2	1
<b>Outros poluentes</b>						
Pesticidas totais	0,1	2	20	0,1	1	5
Combustíveis	20	100	800	10	40	150
Óleo mineral	100	1000	5000	20	200	600

tipo de contaminação ou simplesmente a suspeita, as formas de contaminação, se por inalação, absorção pela pele, ingestão ou pelo simples contato com a pele ou olhos e, finalmente, a eficácia deste sistema de proteção. O maior nível de proteção é o A, tanto para a pele, olhos ou respiração, e aqui devem ser incluídas a máscara "full face", garrafas de oxigênio para respiração, luvas e botas específicas e macacão ou vestimenta de proteção química. O nível B aplica-se quando torna-se necessário um maior nível de proteção da pele. Isto inclui

o equipamento de respiração, o macacão de proteção química, com luvas, botas etc. O nível C é o menor nível de exposição e especifica apenas um macacão simples, luvas e botas de proteção química (descartáveis), além de óculos específicos. Frequentemente, encontram-se casos em que o proprietário ou contratante não informa à empresa que irá executar o serviço, seja ela de recuperação ou construtora, a real gravidade do local. O resultado é uma seqüência de casos de doença nos funcionários em um ou dois meses da obra inicia-

da, desencadeando problemas de custos, tanto médico como, posteriormente, trabalhistas, com todo tipo de ações.

O ideal é que, tomando conhecimento dos riscos que irá correr ou mesmo apenas suspeitando do local do trabalho, a empresa que irá executar o serviço coloque no item "responsabilidades de V.Sas.", despesas por qualquer tipo de contaminação que o pessoal venha a sofrer além das conseqüências. É claro que é um item que afugenta o cliente, mas já pensou nos problemas? Nos EUA há empresas seguradoras especializadas neste tipo de serviço assim como advogados de causas ambientais, que já preparam o circo para o que der e vier. Infelizmente, ainda não chegamos a este ponto, mesmo porque nossas leis são arcaicas e as empresas seguradoras não se interessam. **T**

### Fax consulta nº 19



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Meio Ambiente.

[www.recuperar.com.br](http://www.recuperar.com.br)

### REFERÊNCIAS

- Oscar Boaventura Filho é geólogo e especialista em assuntos sobre contaminação ambiental.
- Agg. A. R., "Sewage sludge: current disposal practice and future developments in selected companies" ..
- BSI 1999. BS5930. "British standard code of practice for site investigation".



## NEUTRODOR

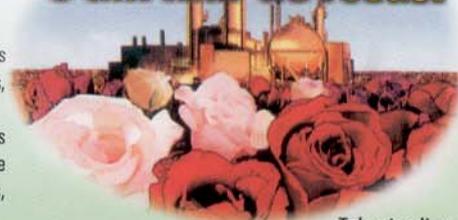
O controle total do odor

O neutralizador de odores NEUTRODOR recupera quimicamente gases nocivos, transformando-os em gases totalmente sem cheiro ou com aromas. A fórmula do NEUTRODOR utiliza ingredientes orgânicos biodegradáveis, absolutamente não corrosivos e seguros para o meio ambiente.

Projetado com o objetivo de desodorizar simultaneamente uma grande quantidade de gases ácidos ou alcalinos, as diversas fórmulas de NEUTRODOR dissolvem e neutralizam gases, através de reações químicas inversas e de absorção. As fórmulas do NEUTRODOR são especialmente adequadas para neutralizar odores de refinarias, estações de tratamento de esgotos e de lixo, indústrias de processamento químico, etc.

Faça um teste rápido em seu laboratório (poucos minutos) e você saberá porque NEUTRODOR é a melhor resposta para a presença daquele cheiro que compromete seu negócio.

**NEUTRODOR**  
é um mar de rosas.



Fax consulta nº 20

Tele-atendimento  
(0XX21) 2493-6740  
fax (0XX21) 2493-5553  
[produtos@recuperar.com.br](mailto:produtos@recuperar.com.br)

ON LINE  
**RECUPERAR**  
[www.recuperar.com.br](http://www.recuperar.com.br)

Não perca tempo. Tecnologia, materiais e equipamentos ON LINE.



## Os mecanismos que controlam a velocidade da corrosão...

Joaquim Rodrigues

# Os segredos da corrosão II

Na edição anterior, iniciamos esta série de matérias que visa agrupar conhecimentos de eletroquímica para que o leitor possa entender a corrosão no concreto armado-protendido, ao mesmo tempo em que objetiva-se a melhor solução para o seu controle e neutralização. Na engenharia da recu-

### GLOSSÁRIO

**Polarização catódica** - é a mudança do potencial de uma interface em direção a valores mais negativos devido ao fluxo de corrente atuante.

### ERRATA

Na página 30, 3ª coluna 17ª linha da edição anterior, houve um erro que passou despercebido. O correto é, "...enquanto tiver esta voltagem o aço não corrói".

peração, objetiva-se sempre saber a velocidade com que ocorre a corrosão.

### Mecanismos que controlam a velocidade da corrosão

O sacode de conhecimentos apresentados nas edições anteriores evidenciaram que a força da implosão das reações de corrosão tem ligação direta com a diferença de potencial entre o anodo e o catodo na região da pilha de corrosão e mais, a velocidade com que aquelas reações ocorrem é exatamente igual a corrente que trafega pela pilha, que é função das espécies iônicas solúveis presentes na solução existente na

enorme quantidade de vazios do concreto. Vamos nos lembrar sempre que, no concreto, são os íons que levam nas costas a corrente elétrica. As dificuldades encontradas ao desenvolvimento da corrosão, ou seja, a resistência existente na pilha é o somatório das resistências encontradas no anodo, no caminho iônico através do concreto, no catodo e, finalmente, no caminho eletrônico através das armaduras. Já sabemos que em circuitos elétricos simples, como uma pilha de corrosão, impera a badalada lei de ohm, que flagra a relação incestuosa entre o potencial, a corrente e a resistência existente. No bacanal rola que, quando há uma diferença de potencial entre o anodo e o

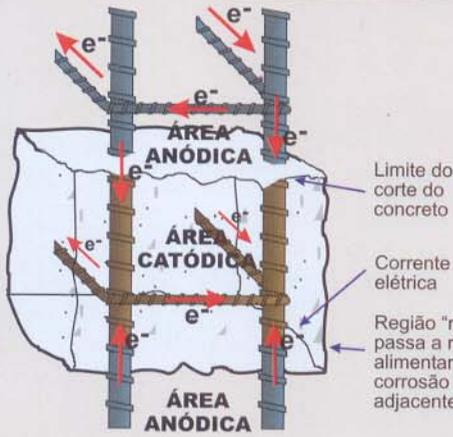


Figura 2 - Situação típica de uma "recuperação" estrutural convencional. A região central apresentava corrosão nas armaduras e foi "tratada" com "argamassa especial" contra a corrosão. Logicamente, esta região da armadura deixou de ser anódica para ser catódica. A região superior e a inferior, que eram catódicas, ou seja, não tinham corrosão, passaram a ser anódicas porque têm pH inferior e estão contaminadas. Mais, tem agora um excelente catodo para alimentá-las, principalmente na região limite da armadura, entre a região "recuperada" e as intocadas (superior e inferior). O chamado anel anódico.

catodo, a corrente, ou o que é o mesmo, a velocidade da corrosão aumenta à medida

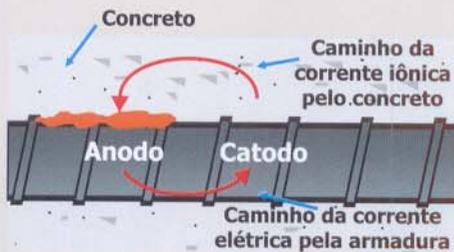


Figura 1 - A corrosão e as resistências pertinentes a cada etapa da pilha.

que a resistência através da pilha diminui. Invertendo a situação, a velocidade de corrosão diminui à medida que a resistência através da pilha aumenta.

Esses elementos que criam dificuldades ou resistências durante o corpo a corpo dos elétrons trafegando pelas armaduras e dos íons pela massa do concreto, estabelecem dois tipos de mecanismos que, efetivamente, controlam a velocidade da corrosão e podem ser visualizados facilmente através de retas (ou curvas) no gráfico voltagem x velocidade da corrosão. Estes mecanismos, naturalmente, também têm o rabo preso com

a desmunhecada do tranquilo potencial de corrosão  $E_{corr}$ , em uma região da estrutura, quando aparece uma corrente estranha ou externa. Esta overdose de voltagem ou over-

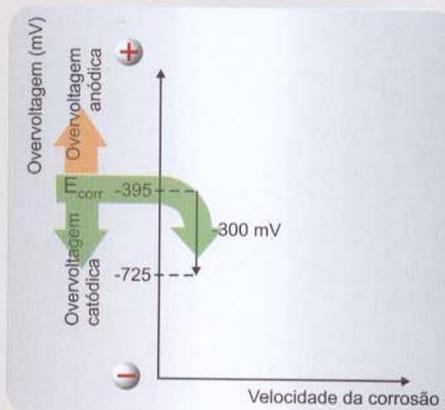
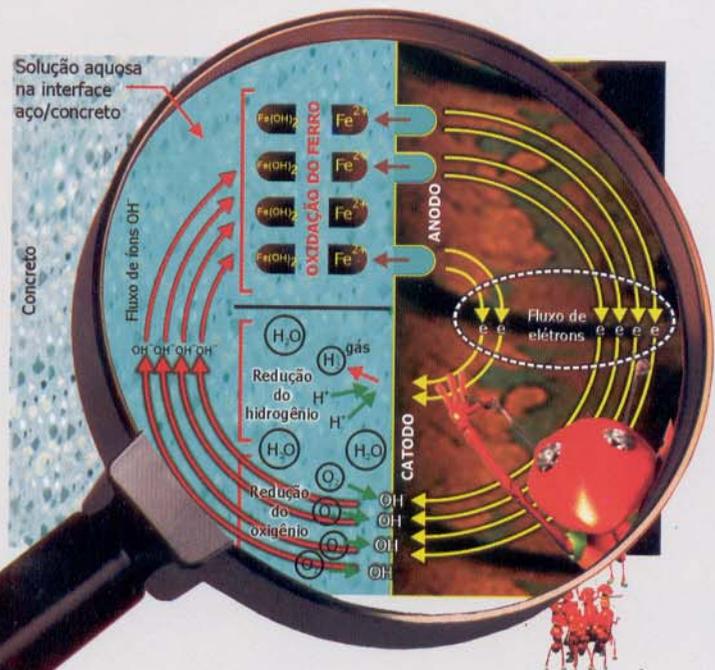


Figura 3 - A posição referencial do potencial de corrosão  $E_{corr}$  para a determinação das overvoltagens anódicas e catódicas.

voltagem ( $\eta$ ) é a quantidade de polarização que esta ocorrendo e tem como referencia o potencial de corrosão  $E_{corr}$ , mediado com a semi-pilha. Quando a overvoltagem apre-

galvânicas, poder-se-á obter um potencial ou uma voltagem de  $-725\text{mV}$ . Logo, teremos nesta região da estrutura uma overvoltagem catódica de  $-300\text{mV}$  (figura 3).

Figura 4 - Visão ampliada das interfaces de oxidação e alimentação (redução) que provocam a destruição da armadura no concreto armado. No anodo, átomos de ferro ao perderem seus elétrons ganham carga positiva. Esta transação chama-se corrosão. Como íons metálicos na interface, os  $\text{Fe}^{2+}$  esperam os íons hidroxilas  $\text{OH}^-$  para formar produtos de corrosão do tipo  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ . Os elétrons "abandonados" imediatamente fluem através da armadura para regiões catódicas onde, em contato com a solução, "oferecem" suas cargas elétricas ao oxigênio, à água e ao hidrogênio ali presentes que, com o troca-troca, promoverão reações de redução no oxigênio e no hidrogênio, formando íons hidroxilas ( $\text{OH}^-$ ) e gás hidrogênio ( $\text{H}_2$ ). Caso a água, nos vazios do concreto, contenha outros íons, poder-se-á formar além do hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , no anodo, outras substâncias como  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , etc. Para manter a neutralidade da carga, os íons hidroxila  $\text{OH}^-$  migram do catodo para o anodo através da solução interfacial, para reagir com os íons  $\text{Fe}^{2+}$ . O que vemos, então, é um fluxo de elétrons através da armadura e um fluxo de íons pela solução interfacial concreto-armadura.



As causas da polarização são as mais diversas e tem tudo a ver com o aço corroendo ou sendo deliberadamente protegido. As mais comuns devem-se a:

- Presença dos produtos que alimentem a corrosão (oxidantes).
- Diferenças na concentração iônica dos elementos presentes na solução existente nos vazios e interface concreto/armadura.
- Diferenças na temperatura e aeração que ocorre no concreto, junto a armadura.
- Proteção catódica por corrente galvânica (ânodo de sacrifício).
- Proteção catódica por corrente impressa.

Todos geram curvas catódicas mais empinadas que a anódica, e tornam o processo de corrosão ou de proteção pertencentes ao partido catódico. Em outras palavras, ou ocorre uma corrosão catódica ou uma proteção catódica.

Já ficou evidente, pelo apresentado na edição passada, que a overvoltage tem a ver com a velocidade de corrosão e a resistên-

## GLOSSÁRIO

**Gradiente** - inclinação ao longo de um caminho, como de uma estrada, canal ou superfície inclinada. Em relação a corrente, refere-se a taxa de aumento e diminuição em sua velocidade, usualmente em sua vertical ou curva que representa essa taxa.

**Difusão** - ocorre com o resultado da falta de homogeneidade do sistema, isto é, quando diferentes regiões do concreto possuem diferentes soluções em seus vazios ou mesmo que contenham a mesma solução, mas com diferentes concentrações, o que provoca um aumento no gradiente da concentração. A difusão é diferente da condução elétrica, em que íons positivos e negativos movem-se na mesma direção, enquanto sob o efeito da corrente, move-se em direções opostas. Relaciona-se ao coeficiente de difusão, que indica o número de íons que se difundem através de uma seção da solução ( $1\text{cm}^2$ ) por segundo a um gradiente de concentração igual a um. Refere-se à mistura e ao transporte de íons, devido ao inerente movimento existente em cada uma destas partículas.

**Polarização** - (1) é motivada pela introdução de correntes de corrosão ou de proteção que alteram o potencial de corrosão original medido com a semipilha (potencial de circuito aberto). (2) é a mudança dos potenciais durante uma proteção catódica, onde o ânodo converge para valores mais positivos e o cátodo para valores mais negativos, em relação aos seus potenciais originais.

**Polarização anódica** - é a mudança do potencial de uma interface em direção a valores mais positivos, devido ao fluxo de corrente atuante.

cia oferecida pela região ao fluxo da corrente elétrica. Estas resistências, que se opõem ao transporte das cargas elétricas, apresentam-se de diversas formas, sendo que cada uma delas corresponde a um certo tipo de overpotencial. Logo, toda essa mecânica do motor que impulsiona ou neutraliza a corrosão, estabelece duas diferentes velocidades ou overvoltagens. São as overvoltagens de ativação e concentração, que poderão estar presentes, simultaneamente, numa única situação. De qualquer maneira, a overvoltage total de um processo será a soma de todos os overpotenciais existentes. Um outro aspecto que veremos a seguir é que os fatores que controlam a velocidade da corrosão mudam constantemente, alterando as inclinações das retas (ou curvas) dos processos anódico e catódico.

## Overvoltage de ativação

Esta marcha, ou overvoltage de ativação, baseia-se na vontade natural e espontânea do ferro em corroer, expelindo, conseqüentemente, seus íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) para a interface armadura-concreto. Ora, a força eletromotriz que impulsiona este fenômeno nada mais é do que a overvoltage atuante, ativando um processo anódico e um catódico. Logo, fica evidente a proporcionalidade entre a overvoltage e a velocidade de corrosão (corrente). Esta proporcionalidade, na verdade, significa o arranque para o início do processo (figura 5). Se usarmos uma escala logarítmica para a velocidade da corrosão, sua relação com a overvoltage será linear, formando uma linha reta inicial.

Repare que para overvoltagens positivas em relação ao potencial de corrosão  $E_{\text{corr}}$ , ocorre o processo de dissolução do aço e para overvoltagens negativas em relação ao  $E_{\text{corr}}$  ocorre o processo de alimentação daquela dissolução através da transformação do oxigênio em presença da água. No potencial de corrosão  $E_{\text{corr}}$ , ou seja na overvoltage zero, não há qualquer velocidade de dissolução ou alimentação já que ambas são iguais nes-

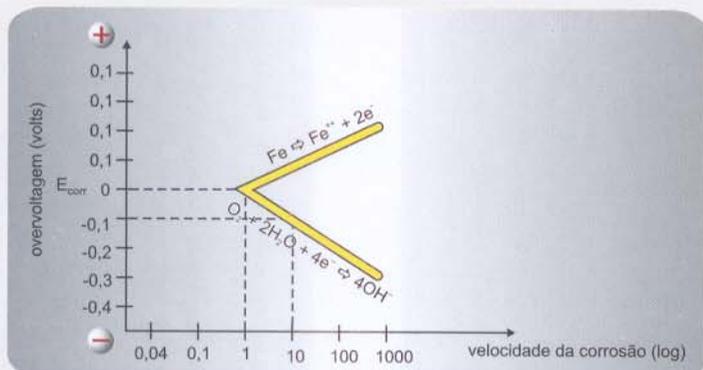
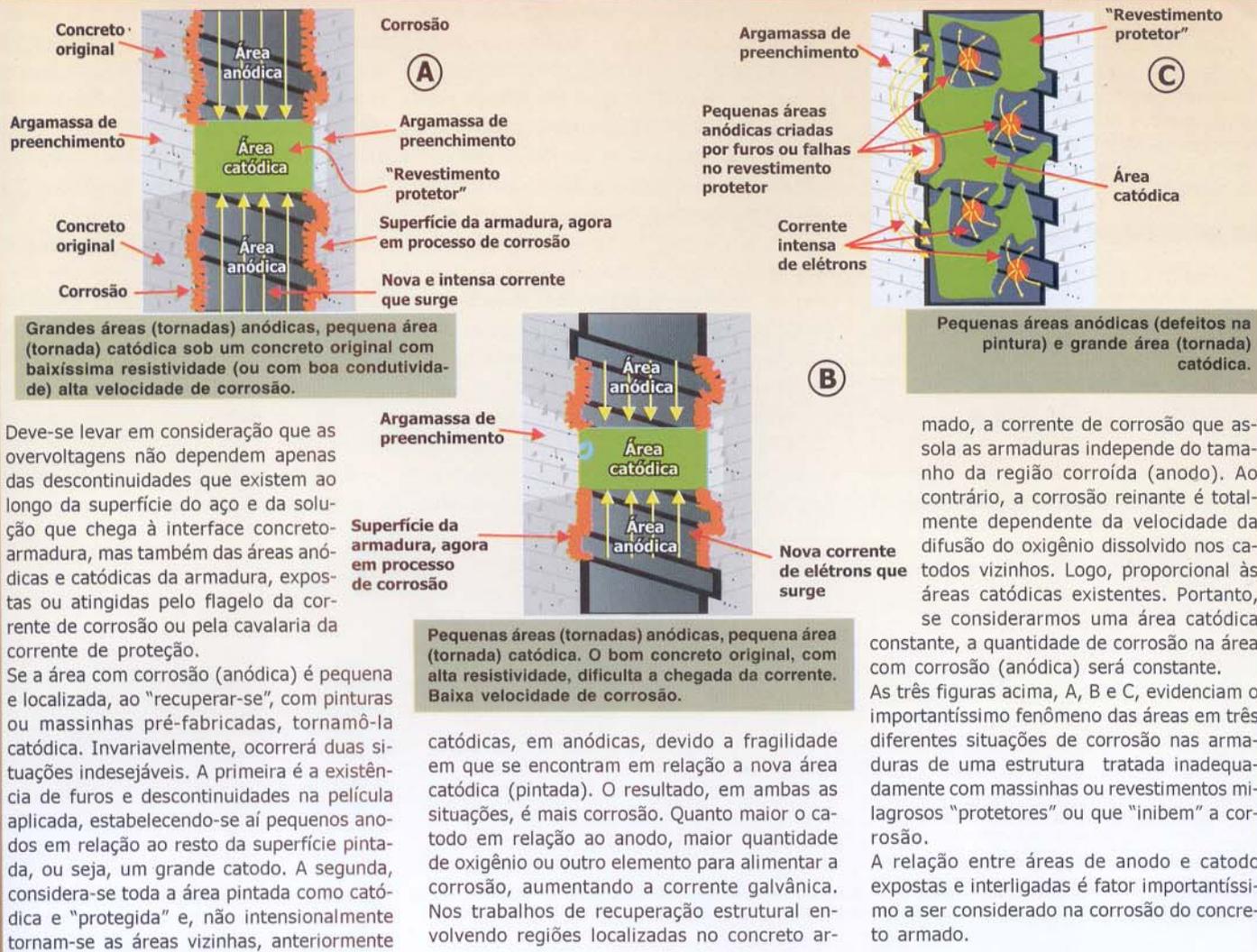


Figura 5 - Curvas características de overvoltage por ativação anódica e catódica de uma armadura. Trata-se de uma situação irreal, só para efeito explicativo, já que temos apenas processos de ativação em ambos os comportamentos.



A ausência de mecanismos que controlem verdadeiramente a corrosão em ambientes industriais, conduz a prejuízos incalculáveis.

## A relação das áreas



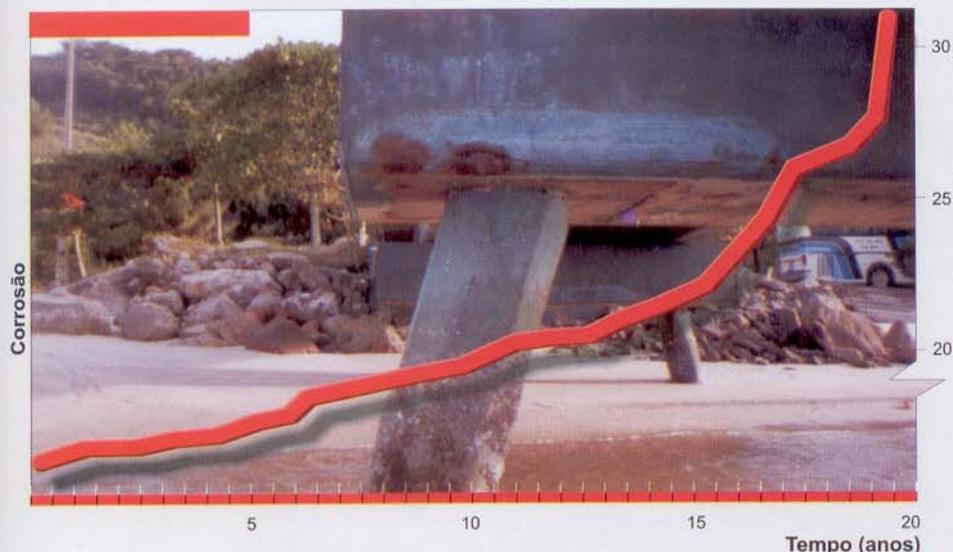
te ponto. Fica claro, portanto, que para mantermos uma armadura longe do tranqüilo, porém destrutivo potencial de corrosão  $E_{corr}$ ,

dever-se-á "injetar" corrente por meio de anodos de sacrifício ou por anodos de corrente artificial.

### Overvoltagem de concentração

Deve-se a variação da concentração iônica que ocorre entre a solução em contato com a armadura e a existente na camada de recobrimento do concreto. O transporte da massa dos íons (corrente ou fluxo iônico), através do seu inerente processo de difusão, envolvendo o ator principal oxigênio, sempre bem acompanhado por moléculas d'água, e que pintam na área catódica da armadura para alimentarem a corrosão, estará provocando uma overvoltagem de concentração.

Em ambientes marítimos o uso de proteção com barreiras, à base de tintas orgânicas, funciona como bombas relógio localizadas.



## A força eletromotriz (FEM)

Quando dois pólos de uma pilha são unidos por um fio, ocorre uma queda nas duas voltagens existentes e um conseqüente fluxo de corrente através do fio. Esta queda na voltagem da pilha, motivada pela diferença entre pólos, é a força eletromotriz da pilha.

Note, na figura 6, que para velocidades de corrosão pequenas, as reações catódica e anódica são controladas por uma overvoltagem de ativação e, à medida em que a velocidade torna-se mais pronunciada, as duas reações se pronunciam até o ponto em que apenas há aumento da voltagem sem qualquer resposta da velocidade da corrosão. Significa que as espécies iônicas

presentes na interface foram todas consumidas. Desta forma, estará acontecendo uma overvoltagem de concentração, muito comum na corrosão de estruturas de concreto armado com alto fck, bem compactas e bem dimensionadas que, dificultam (porém não impedem) o acesso do oxigênio através de suas camadas de recobrimento, estabelecendo baixas velocidades de corrosão. O transporte do oxigênio para a superfície do aço ocorre por permeabilidade, adsorção, difusão e convecção. Desta forma, a velocidade da corrosão dependerá das condições hidrodinâmicas do concreto. Na falta de oxigênio, no entanto, predomina a reação de evolução do hidrogênio e de íons hidroxilas pela decomposição da água ( $2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$ ). Repare que as curvas controladas por concentração tem força eletromotriz (FEM) mais do que sufi-

ciente para que aconteça as reações de dissolução/alimentação da corrosão. Contudo, no entanto, a velocidade da reação não é mais dependente apenas da voltagem que impera (FEM) e sim, também, da velocidade com que as espécies reagentes (hidrogênio, oxigênio etc) chegam à superfície catódica da armadura e também da velocidade de formação dos produtos daquela reação.

### O comportamento ativo-passivo do aço

Passividade, é um fenômeno observado durante a corrosão do aço da construção e é definida como a perda de sua reatividade química sob certas condições ambientais. O estado de passividade do aço gera três importantes observações:

1. No estado passivo, a velocidade de corrosão é muito pequena.

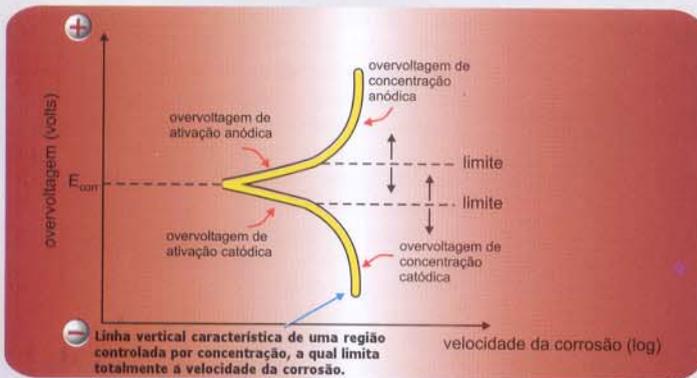


Figura 6 - A linha tracejada limita as regiões sob influência da overvoltagem de ativação e concentração, tanto para a reação anódica quanto para a catódica.

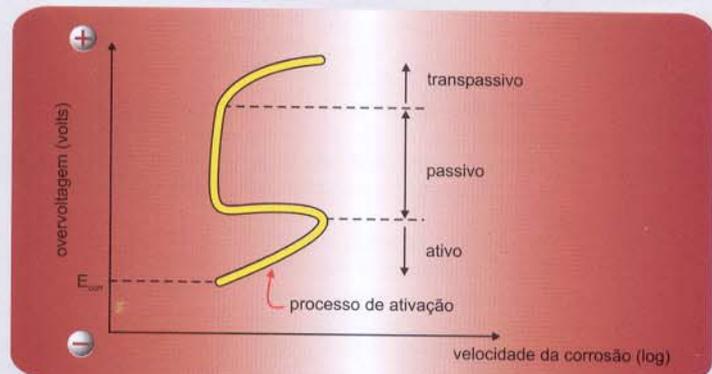


Figura 7 - Curva típica da overvoltagem anódica do aço.

**Lápis Medidor de pH**

Este lápis mede facilmente o pH de qualquer superfície. Basta riscá-la e pronto. Em poucos instantes o risco na superfície mudará de cor. Comparando esta cor com a tabela fornecida, obter-se-á o pH da superfície.

Tele-atendimento (0XX21) 2493-6862  
fax (0XX21) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº 27

2. A passividade do aço deve-se a existência de um filme superficial com espessura aproximada de 30 angstroms ou menos, contendo considerável água de hidratação.
3. O estado passivo do aço é instável e sujeito a transição para o estado ativo. Sua velocidade de dissolução anódica (curva anódica) é por ativação e aumenta a medida em que o potencial torna-se mais positivo. Observa-se um aumento linear até o início da overvoltagem de concentração, formando aí uma espécie de nariz (figura 7). A medida em que a voltagem toma a direção positiva, verifica-se um queda acentuada na velocidade da corrosão, devido a deposição de um filme de corrosão, passivo e insolúvel. Nesta região passiva, a pequena velocidade da corrosão é independente da voltagem atuante, como mostra a reta vertical. A partir de um certo ponto, o estado de passividade dá lugar a um novo estado de corrosão atuante.

## A corrosão do aço

O comportamento da corrosão no aço da construção é analisado exatamente no cruzamento das curvas anódica e catódica. Já vimos que o aço tem uma maneira de ser característica de dissolução através de sua curva anódica típica, com "nariz e testa". Por exemplo, analisando-se o seu comportamento, em uma determinada posição da estrutura, através da figura 8, verificamos que o aço corrói, no estado ativo, a uma velocidade correspondente ao ponto A. A

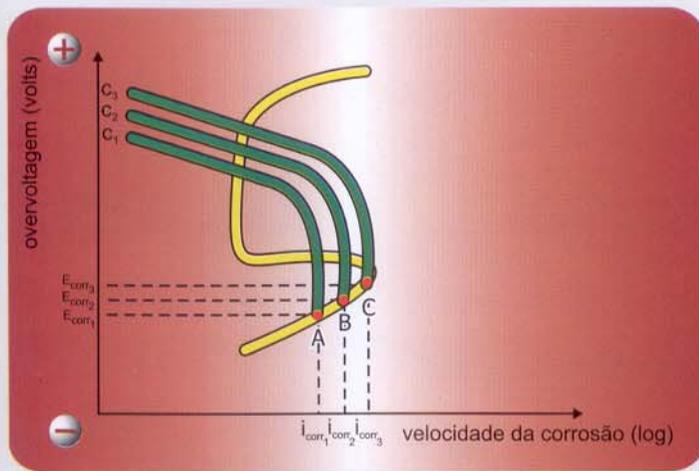


Figura 8 - O efeito do aumento da concentração do oxigênio na curva anódica da corrosão do aço e nas curvas catódicas de alimentação da corrosão.

medida em que a concentração do oxidante aumenta, de  $C_1$  para  $C_3$ , a velocidade da corrosão aumenta até o ponto C. O fato das curvas catódicas  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  cortarem também a curva anódica na região de passivação (vertical) não tem importância, já que o aço é um metal muito reativo, prevalecendo a interseção na região ativa para a definição do seu estado. Repare que as curvas

### GLOSSÁRIO

**Permeabilidade** - é uma propriedade dos materiais homogêneos que varia com as condições de exposição. Permeabilidade média de um concreto é o produto entre sua permeância e sua espessura.

**Permeância** - permeância ao vapor d'água, entre duas superfícies de um corpo é a relação entre a sua transmissão de vapor d'água e a diferença de pressão de vapor existente em cada superfície.

**Convecção** - movimento dado a um fluido, devido a diferenças em sua densidade e que acelera quando a temperatura oscila.

**Potencial de corrosão ( $E_{corr}$ )** - o potencial da superfície da armadura, em estado de corrosão, medido com a semi-pilha. É chamado também de potencial de circuito aberto.

**Corrosão catódica** - corrosão resultante de uma condição catódica presente em uma estrutura.

**Angstrom** - unidade de comprimento, equivalente a  $10^{-4}\mu\text{m}$

catódicas  $C_1$ ,  $C_2$  e  $C_3$  são controladas por concentração.

## A corrosão do aço em ambientes industriais

Para esta condição, o aço começa a corroer devido a um aumento na velocidade da reação catódica,

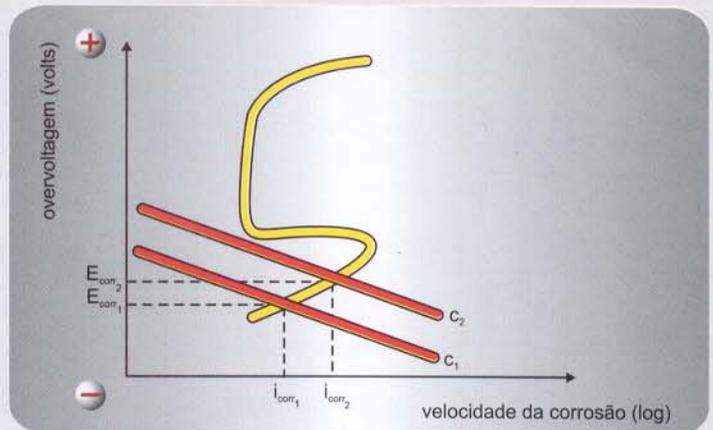


Figura 9 - Comportamento do aço sob condição corrosiva industrial. O efeito do aumento da velocidade da reação catódica traduz-se pelo acesso cada vez mais rápido da concentração do ácido através da camada de recobrimento do concreto.

motivado pela contaminação do concreto por solução ácida, ou seja, tipicamente industrial, onde as condições iniciais evidenciam um estado de corrosão em que o potencial de corrosão  $E_{corr}$  e a velocidade de corrosão  $i_{corr}$ , correspondente,

dos ácidos. As curvas catódicas de alimentação da corrosão interceptam a anódica na região ativa, evidenciando, portanto, uma velocidade de corrosão crescente.

### Fax consulta nº 26



**RECUPERAR**  
Para ter mais informações sobre Corrosão.

www.recuperar.com.br

estão indicadas na figura 9.

Repare que as retas catódicas  $C_1$  e  $C_2$  estão sob controle de ativação único. O comportamento da curva anódica já é conhecido. Nestas condições, o processo de alimentação da corrosão ocorre pela reação de evolução do hidrogênio típico

### Quando o Assunto é Impermeabilização Contra a Carga Hidrostática...



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 em pisos e poços de elevadores, metrô e vazamentos em castelos d'água são resolvidos direta e profundamente, sem chance de retorno. Para sempre!

### Injete PH FLEX

Tele-atendimento  
(021) 2493-4702 • fax (021) 2493-5553  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 25

### 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.
- Sagoe-Crentsil, K.K. and Glasser, F.P., Steel in Concrete, Part I: A Review of the Electrochemical and Thermodynamic Aspects, Mag. Conc. Res.
- Langford, P., and Broomfield, J.P., Monitoring the Corrosion of Reinforcing Steel, Construction Repair..
- Spellman, D.L., and Stratfull, R.F., Concrete Variables and Corrosion Testing, Highway Research Record..
- Stern, M., and Geary, A.L., Electrochemical Polarization I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves. Journal of Electrochemical Society.
- Tafel, A., Phys. Chem..
- Rodriguez, P., Ramirez, E., and Gonzalez, J.A., Methods for Studying Corrosion in Reinforced Concrete, Mag. Concr. Res..
- Matsuoka, K., Kihira, H., Ito, S., and Murata, T., Corrosion Monitoring for Reinforcing Bars in Concrete, Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065, (N. S. Berke, V. Chaker, and D. Whiting, eds.).
- Wheat, H. G., Corrosion Rate Determination on Repaired Reinforced Concrete Specimen, Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065, (N. S. Berke, V. Chaker, and D. Whiting, eds.), ASTM.
- Andrade, C., Merino, P., Novoa, X. R., Perez, M. C., and Soler, L., Passivation of Reinforcing Steel in Concrete, Materials Science Forum.