

# SOLOS MOLES

A GEOTECNIA DAS FUNDAÇÕES, NO BRASIL, FICOU RESUMIDA, DURANTE ANOS, À ENGENHARIA DO SPT. QUAL A INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA DE CAMPO A SER FEITA? O QUE FAZER PARA MELHORAR OU CONSOLIDAR O SOLO AO INVÉS DE REFORÇAR A FUNDAÇÃO? COMO CERTIFICAR-SE DE QUE O SOLO FOI MELHORADO?

Instalação de geodrenos para acelerar o adensamento da camada profunda de solo mole. Quando se tem camadas de solo mole profundas ou seu coeficiente de adensamento é muito baixo, a pré-compressão com aterro temporário é ineficiente. A melhor solução é empregar a Compactação Profunda Radial (CPR).

SOLOS

Jorge Luiz  
F. Almeida

**T**écnicos e engenheiros ao depararem com camadas de solos moles em seu terreno de fundação, batem de frente com a inexperiência geotécnica no assunto e, na maioria das vezes, baseiam-se em indicativos inespecíficos para tomadas de decisão. Acontece que, quase invariavelmente, apóiam-se na genérica sondagem a percussão (SPT), também denominada de simples reconhecimento, para “entender” o solo fofo ou mole sob sua futura obra. O SPT é um teste extremamen-

te útil e serve como primeira informação acerca do solo que se quer investigar. A ocorrência de camadas de solo fofo ou mole no perfil de sondagem de reconhecimento, de acordo com a obra que se deseja construir, deverá ser motivo de sondagem adicional, específica para analisar seu comportamento, ou seja, sua resistência e compressibilidade. É preciso enfatizar que os parâmetros geotécnicos sobre solo fofo ou mole, informados no SPT são meramente uma classificação preliminar das camadas através-

## GLOSSÁRIO

**SPT** – sigla do inglês standard penetration test ou teste padrão de penetração, segundo a norma ABNT-NBR-6484.

**Adensamento** – redução rápida ou lenta do volume de uma massa de solo sob o efeito de seu próprio peso e/ou de cargas externas ou invasivas. Ocorre em 3 estágios sucessivos: inicial, primário e secundário.

**Coefficiente de adensamento** – também chamado de  $C_v$ , é o parâmetro que associa a alteração da poropressão com o tempo, ou seja, tem a ver com a água que drena dos vazios do solo num determinado período, devido ao adensamento primário.

**Poropressão** – pressão que atua na água contida nos vazios do solo. O mesmo que pressão neutra. Quando um solo compressível, saturado e de baixa permeabilidade é tensionado, de alguma forma, as tensões são, no início, transferidas ou suportadas pela água de seus poros, que acarreta o chamado excesso de poropressão e que, aos poucos, vai sendo transferido para a estrutura do solo.

## SOLUÇÃO. SOLO.

Para entender a resistência de um solo, e especificamente solos moles ou fôfos, é necessário muito mais que um simples SPT. É preciso ter um CONE\* estático ou dinâmico acessível e com alma holandesa\*\*. Consulte-nos hoje mesmo para conhecer a mais respeitada tecnologia de sondagem penetrométrica adequada à sua empresa. Ajudamos projetistas, empresas de sondagens e construtoras a repensarem sua estratégia de tratamento para solos complicados e para refundação.

Liberte-se da velha maneira de sondar solos. Use a melhor e a mais precisa tecnologia holandesa de CPT, acessível ao seu bolso.



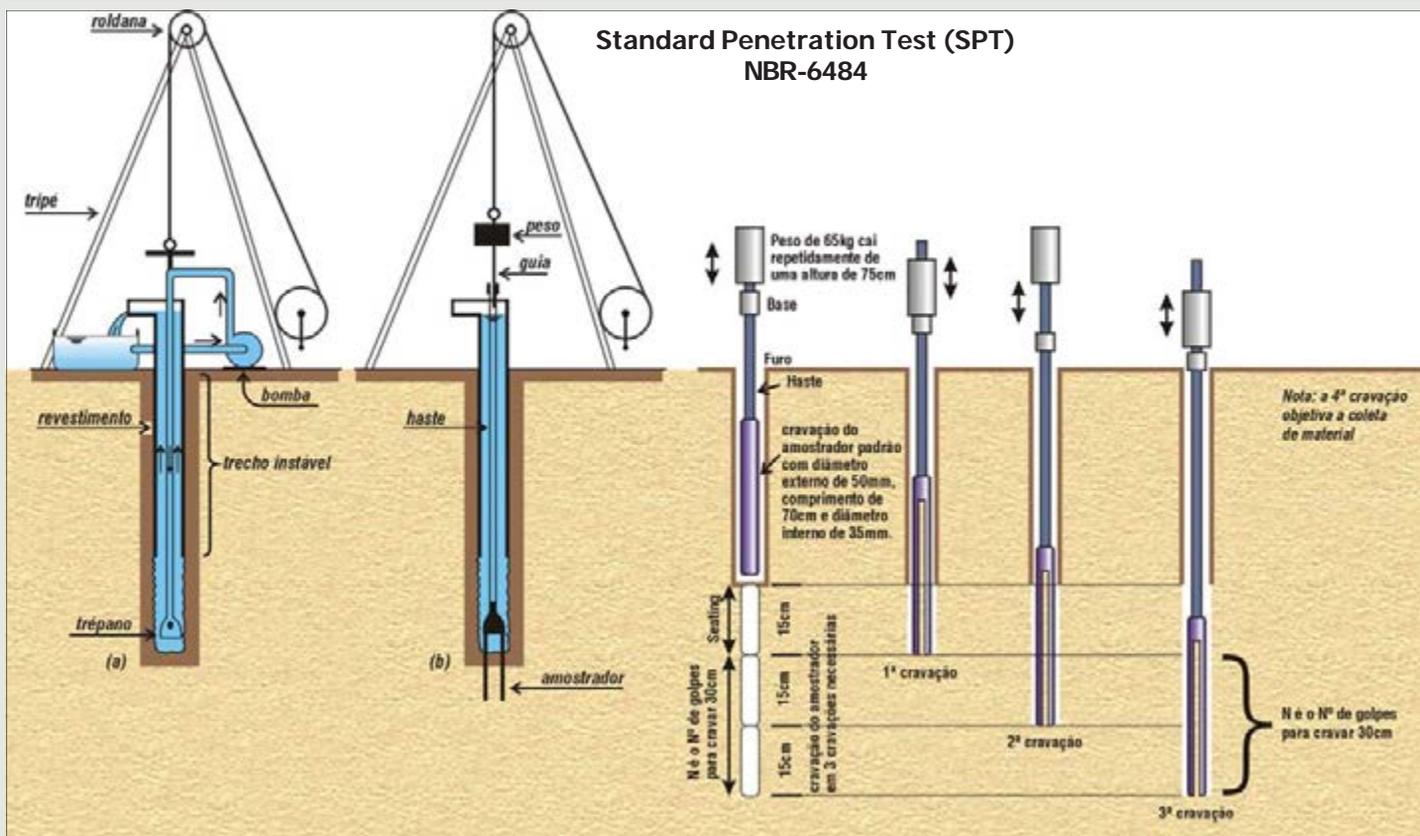
CPT mecânico estático.



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

\* Ou CPT (Cone Penetrometer Test).

\*\* O CPT nasceu e aperfeiçoou-se na Holanda.



Standard Penetration Test (SPT)  
NBR-6484

Etapas da execução de sondagem a percussão: (a) avanço da sondagem por desagregação e lavagem e (b) ensaio de penetração com a cravação do amostrador padrão no solo, revestido ou não, usando a queda repentina do peso. O valor  $N_{SPT}$  é o nº de golpes necessários para fazer o mostrador penetrar 30cm após a cravação inicial de 15cm. De um modo geral, os valores médios da penetração,  $N_{SPT}$ , podem servir de indicação qualitativa da resistência do solo. Assim, se for obtido valor de  $N_{SPT}$  superior a 30, significa solo resistente e estável, sem necessidade de sondagens mais específicas. Mas se for obtido valor de  $N_{SPT}$  inferior a 5, ter-se-á solos compressíveis e pouco resistentes. Eles não devem ter a solução produzida com base única neste ensaio, mesmo porque nesta faixa de variação (0-5) não há qualquer chance da representatividade ou desempenho.

sadas, já que seu inerente processo de lavagem e coleta é específico para solos arenosos.

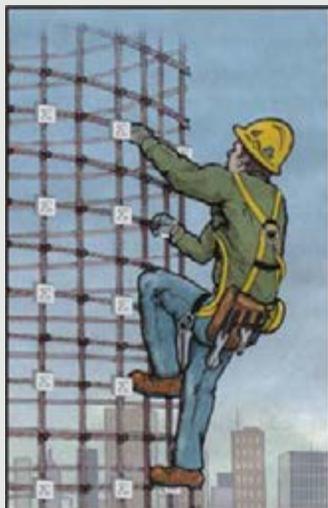
O SPT altera a estrutura peculiar da argila, amolgando-a, ao mesmo tempo em que interfere em seu estado natural de tensões. É exatamente por isso que diversos pesquisadores nacionais e internacionais recomendam que para valores de  $N_{SPT} < 5$ ,

tanto para solos arenosos fofos como argilosos moles, dever-se-á executar sondagens de penetração de cone, no intuito de “decifrar” o que realmente está lá embaixo. Como exemplo citam-se solos arenosos que apresentaram  $N_{SPT}$  de 3 a 4 golpes e, de acordo com a norma brasileira, não poderiam ser utilizados para fundação direta, já que o mínimo exigido é 5 golpes.

No entanto, subseqüentemente, foram realizados ensaios de penetração de cone e

**GLOSSÁRIO**

- Sondagem** – processo de investigação que consiste na perfuração manual ou mecânica do terreno, com o objetivo básico de identificá-lo e analisá-lo.
- Perfil do subsolo** – representação ou contorno das sub-camadas que formam o solo de fundação.
- Amolgamento** – destruição da estrutura natural do solo por intenso manuseio.



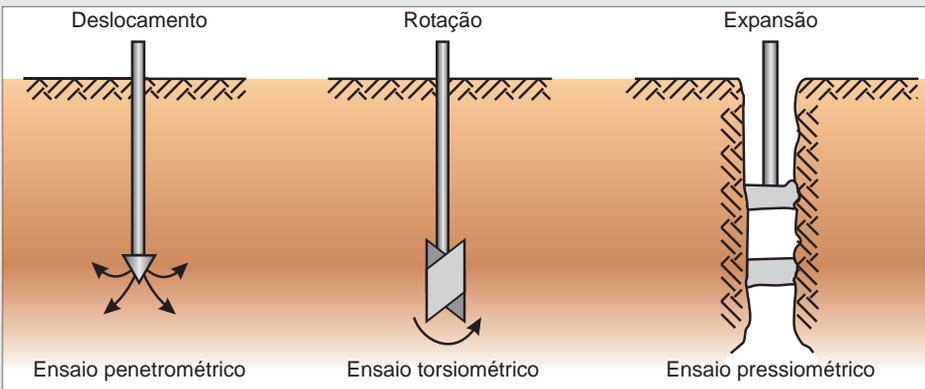
# PASTILHA Z como cocadas? SIM.

**Principalmente em estruturas hidráulicas.**

“Cocadas” de PASTILHAS Z é a solução, principalmente em estruturas hidráulicas, pois uniformizam a distância fôrma-armadura e promovem toda aquela proteção que o aço deseja contra a corrosão durante, pelo menos, 15 anos. Cocada boa é PASTILHA Z.

**PASTILHA Z**

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 01



Princípios de funcionamento das sondagens principais: ensaio do cone, ensaio de palheta e ensaio pressiométrico.

obtiveram-se resistências de ponta superiores a 2MPa, viabilizando a escolha por fundação direta.

### A investigação preliminar com sondagem SPT

A investigação preliminar ou de simples reconhecimento objetiva conseguir dados preliminares do subsolo. É feita com sondagem a percussão SPT ao longo do eixo projetado da rodovia, ao longo do aterro, nos locais de acesso às obras de arte etc. Para grandes áreas de aterros, sugere-se uma sondagem a percussão SPT no ponto mais baixo do eixo projetado. Caso se confirme a existência de camadas de solos moles ou fofos, dever-se-á executar outras ao longo do eixo, com afastamento máximo de 100m, de maneira a definir a seção geotéc-

nica longitudinal do subsolo em toda a extensão do aterro. Para áreas pequenas de aterros, três sondagens são necessárias, de acordo com a norma ABNT-NBR-6484/1980, até profundidades que delimitem a camada de solo mole ou fofo (compressível) e o solo subjacente resistente, respeitando-se os critérios de paralisação estabelecidos pela mesma norma. Com os relatórios dos furos de sondagens, dever-se-á desenhar as seções geotécnica longitudinal e transversal do subsolo, com base no perfil topográfico existente. Esta sondagem também permite, além da coleta de amostras representativas do terreno em diversas profundidades, a obtenção de informações sobre sua resistência, mediante o grau de dificuldade oferecida à penetração do equipamento de penetração. A identificação e a descrição das amostras são regulamentadas pela nor-

### A tensão admissível no SPT

A tensão admissível ou capacidade de carga do solo  $\sigma_A$  argiloso pode ser relacionada ao valor do  $N_{SPT}$  com resultado em  $kg/cm^2$ .

$$\text{argila siltosa} \quad \sigma_A = \frac{N}{5}$$

$$\text{argila arenosa siltosa} \quad \sigma_A = \frac{N}{7,5}$$

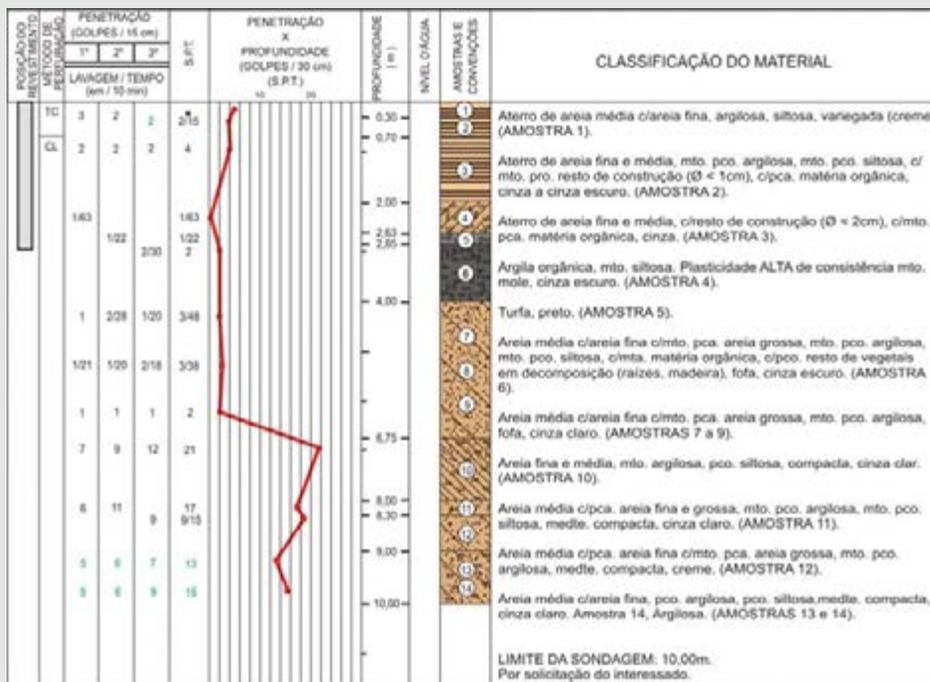
### SOLOS ARGILOS

Consistência	$N_{SPT}$
Muito mole	2
Mole	2 – 4
Média	4 – 8
Rija	8 – 15
Muito Rija	15 – 30
Dura	> 30

ma ABNT-NBR-7250, sendo os resultados apresentados sob a forma de boletins, conforme figura abaixo. Caso haja ocorrência de obstáculos impenetráveis à percussão, como bloco de rocha e matacões, recomenda-se deslocar o furo da sondagem de sua posição original, conforme recomenda a norma ABNT-NBR-6484. Havendo camada de aterro sobrejacente ao depósito de solo mole onde se constate obstáculos, o que é muito comum, recomenda-se a execução de escavação manual com remoção.

### A investigação principal

A consistência de um solo é avaliada avançando ou batendo uma sonda solo adentro, medindo-se a força necessária à penetração. Os testes principais de campo baseiam-se em três modelos de análise: por deslocamento, rotação e expansão. Em todos os três ensaios, o solo é levado à ruptura de modos diferentes. Os ensaios pe-



Modelo de sondagem SPT. Repare que em cada verificação há coleta de amostra do solo.

### GLOSSÁRIO

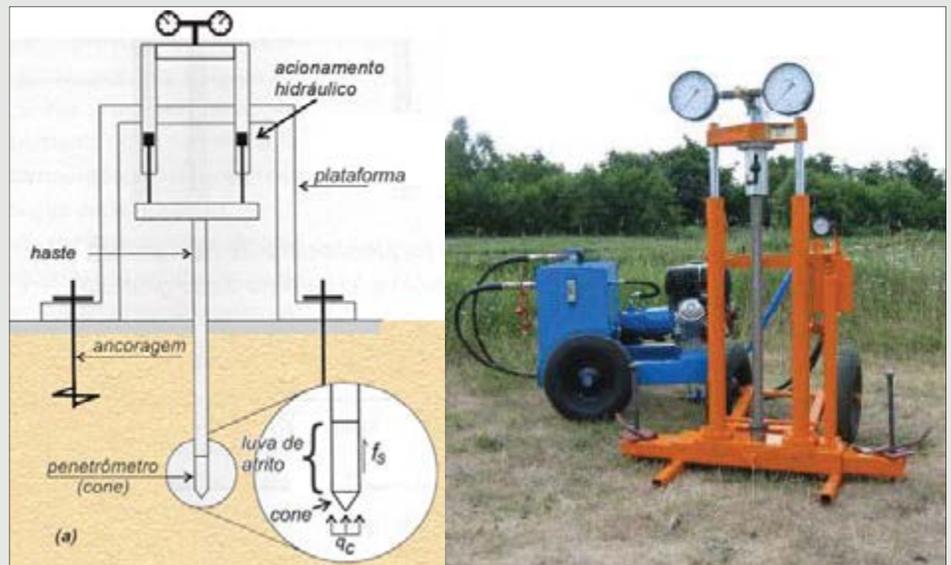
**Resistência ao cisalhamento** – todos os solos rompem por cisalhamento, que está combinado à coesão (c) e ao atrito interno ( $\phi$ ). A coesão tem a ver com a adesão entre as partículas do solo, o que é significativo nos solos argilosos e zero nas areias lavadas. O ângulo de atrito interno ( $\phi$ ) deve-se a aspereza estrutural entre partículas do solo, considerável nas areias e fraca nas argilas. Assim a resistência ao cisalhamento é igual a coesão + tensão total x tg  $\phi$ . A tensão total é fundamental para a resistência ao cisalhamento que, no entanto, divide com a poropressão essa tarefa, já que esta última absorve parte da carga imposta, reduzindo-a. Lembramos que a tensão total é igual a tensão efetiva + poropressão. A tensão total, em qualquer plano do solo, é a soma da tensão efetiva ou seja tensão entre partículas sólidas do solo e a pressão do fluido existente em seus vazios.

netrométrico e pressiométrico são mais completos e possibilitam a determinação da deformabilidade, da resistência ao cisalhamento, coesão etc. O ensaio torsiométrico permite apenas obter o valor da resistência ao cisalhamento e, atualmente, não tem tanto valor.

O critério para a execução e distribuição das sondagens principais devem ser estabelecidas com base na caracterização das zonas críticas do solo mole, ou seja, onde se localizam perfis heterogêneos e suas diversas profundidades. Os mesmos testes deverão ser executados após os trabalhos de consolidação do solo, seja por aterro temporário ou por compactação profunda radial (CPR).

### Ensaio penetrométricos com cone

Os ensaios penetrométricos com cone ou em inglês, Cone Penetration Test (CPT) é, hoje, a mais importante ferramenta de prospecção geotécnica. Sua performance representa uma verdadeira prova de carga no solo. Ao contrário do SPT, não são adequados para solos arenosos muito duros. Por outro lado, são extremamente recomen-



Ensaio CPT: (a) princípio de funcionamento e (b) vista de um tipo de CPT mecânico estático mais simples, que é vendido pela ROGERTEC, onde  $q_c$  é a resistência de ponta e  $f_s$  é o atrito lateral. A resistência total =  $q_c + f_s$ .

**GLOSSÁRIO**

**CPT** – do inglês “Cone Penetration Test”. Significa sondagem de penetração com cone. É composto das hastes de cravação, da luva de atrito e do cone, que pode ser simples ou equipado com sensores sofisticados.

**Cone** – extremidade fixada na haste de cravação do equipamento CPT.

**Resistência do cone ( $q_c$ )** – força que atua no cone,  $Q_c$ , dividida pela área especificada do cone,  $A_c$ . Ou seja, é a relação  $q_c = Q_c/A_c$ .

**Luva de atrito** – seção do cone onde é medido o atrito da luva.

**Atrito da luva ( $f_s$ )** – força do atrito ( $F_s$ ) que atua na luva de atrito, dividida por sua área superficial ( $A_s$ ), ou seja  $f_s = F_s/A_s$ .

**Piezocone** – CPT elétrico contendo sensor para análise da poropressão.

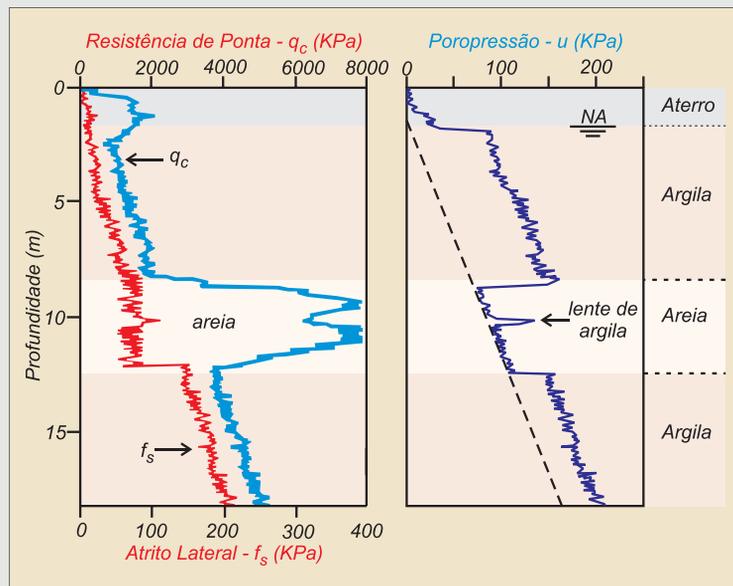
**Teste de dissipação** – teste feito com o CPT piezocone. Nos intervalos da penetração, mede-se a queda da pressão neutra (poropressão).

**A tensão admissível no CPT**

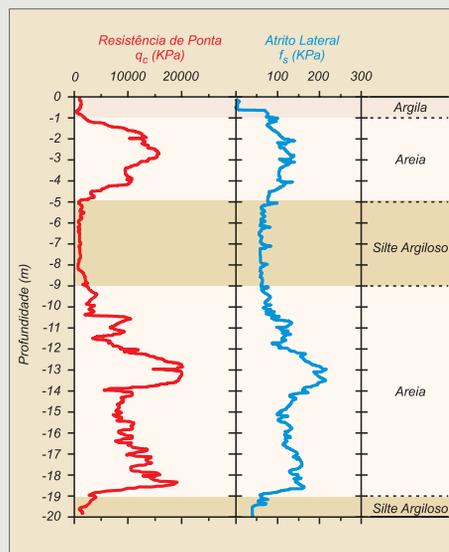
A tensão admissível ou capacidade de carga do solo,  $\sigma_A$ , pode ser relacionada ao valor da resistência de ponta,  $q_c$ , dado em kg/cm<sup>2</sup>.

**FUNDAÇÕES RASAS**

solos granulares      solos argilosos

$$\sigma_A = \frac{q_C}{10} \qquad \sigma_A = \frac{q_C}{20}$$


Resultado de um ensaio CPTU, onde é informada, adicionalmente, a poropressão  $u$ . 100KPa = 1kg/cm<sup>2</sup>. Repare como a poropressão é maior nas camadas de argila.



Ensaio CPT típico em solo sedimentar estratificado.  $q_c$  é a resistência de ponta e  $f_s$  é o atrito lateral. 100KPa = 1kg/cm<sup>2</sup>. A resistência do cone, como nenhuma outra sondagem, é a medida real da resistência não drenada do solo, parâmetro super importante para determinação da tensão efetiva e, finalmente, da relação de superadensamentos efetivados principalmente com CPR.

dados para solos moles. Baseiam-se nos modelos estático e dinâmico. No estático faz-se avançar um cone, aplicando-se uma força (quase) estática para introduzi-lo. No dinâmico, aplicam-se impactos com energia conhecida e contagem do nº de impactos suficientes para a introdução do cone.

## Cones estáticos

Os cones estáticos dividem-se em mecânicos e elétricos. Seu acionamento é feito por uma unidade hidráulica. Durante a cravação, mede-se a força da penetração sobre o cone (resistência de ponta,  $q_c$ ) e sobre a

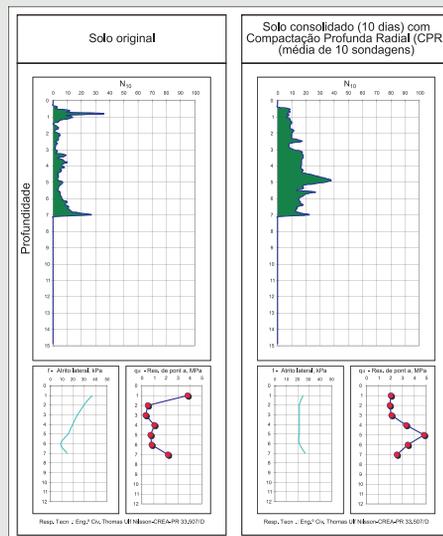
### GLOSSÁRIO

**Compactação profunda radial (CPR)** – técnica de consolidação do solo mole ou fofo com a redução da compressibilidade e o aumento de sua resistência, através da instalação prévia de geodrenos e a posterior compactação de suas partículas, devido a formação de bulbos de grout bombeado a alta pressão. O Compaction Grouting é uma variação do método.

**Adensamento ou consolidação** – redução progressiva do volume de uma massa de solo mole ou fofo com conseqüente perda d'água, sob o efeito do seu próprio peso e/ou de um acréscimo de tensões na massa do volume do solo provocadas pelas técnicas de estabilização com geodrenos/aterro temporário ou geodrenos/compactação profunda radial (CPR). A quantidade de compressão aplicada por um dos dois processos, em qualquer período de tempo, não se relaciona apenas às cargas desenvolvidas, mas principalmente à quantidade de tensões transmitidas no contato das partículas, ou seja, à diferença entre a tensão imposta e o excesso de poropressão, quer dizer a tensão efetiva.

**Resistência não drenada** – é a resistência (cisalhamento) do solo sob condições não drenadas (sem geodrenos), imediatamente após a aplicação do aterro temporário ou do CPR e antes que o processo de drenagem seja iniciado.

**Pressão neutra ou poropressão** – pressão que atua na água contida nos vazios do solo. Qualquer mudança na poropressão fará com que a água se movimente através da massa do solo e, naturalmente, suas propriedades alterar-se-ão.



**Resultado comparativo feito com cone dinâmico antes e após a consolidação feita (10 dias apenas após os serviços) com Compactação Profunda Radial (CPR). Repare o aumento da resistência do solo nos ensaios em relação ao solo original.**

luva de atrito (atrito lateral,  $f_s$ ), a uma velocidade de 2cm por segundo. Uma variação do cone elétrico chamado Piezocone, contém um sensor que, além dos dois parâmetros anteriores, mede também a pressão neutra (poropressão), captada durante a cravação do cone. Existem cones com mais de vinte tipos de sensores. A reação aos esforços da cravação é obtida pelo peso próprio do equipamento e/ou através da fixação ao solo de hélices de ancoragem manu-



Modelo de CPT mecânico estático tradicional robotizado. Equipamento sofisticado e caro.

al. A normatização dos ensaios é dada pelas normas ASTM (1979), ISS MFE e ABNT-MB-3406.

Há diversos tipos de CPT mecânico e elétrico, naturalmente com diversos preços. Todos, no entanto, obedecem ao mesmo princípio de funcionamento. O CPT elétrico é extremamente caro e pouco acessível.

## Cones dinâmicos

O cone dinâmico mais comum no Brasil é o DPL NILSSON. É leve, portátil, de custo baixo e fornece a estratigrafia do solo, resistência de ponta, atrito lateral e nível d'água. O princípio de funcionamento é dinâmico, diferente do CPT. Mesmo assim pode ser facilmente correlacionado com



CPT estático no mar.

### CONE

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 02

# CONE é CONOSCO

Os ensaios de cone, CPT estático ou dinâmico, são, hoje, as mais importantes ferramentas de prospecção geotécnica. Dispomos de equipes e equipamentos cone-penetrométricos adequados à sua obra, principalmente as com solo mole. Permitem o registro contínuo da resistência à penetração e sua estratigrafia, essenciais à composição de custos de projetos de fundações, possibilitando estimativas realistas das propriedades do solo, justamente em condições nas quais outras técnicas de sondagem mostram-se inadequadas.

**CONES ESTÁTICOS e DINÂMICOS**  
Consulte-nos hoje mesmo.



CPT dinâmico (DPL).



**Instituto de Patologias da Construção**



CPT dinâmico. O peso de 10kg descansando na base do equipamento. Sua haste de cravação é graduada em trechos de 10m.

## As tensões no solo

O peso específico do solo é  $\delta$  dado em  $\text{kgf}/\text{m}^3$ . A tensão total vertical  $\sigma_v$  relaciona-se ao peso de uma coluna vertical com área unitária de  $1\text{m}^2$  na profundidade  $h$ . O peso desta coluna dividido pela área da base é a tensão total vertical  $\sigma_v = \delta \cdot h$  dada em  $\text{kgf}/\text{m}^2$ , atuando em um plano horizontal na profundidade  $h$ . A pressão neutra ou poro pressão,  $U$ , é determinada considerando-se uma coluna vertical unitária apenas d'água. A presença dos sólidos do solo não têm efeito nesta determinação. Assim,  $U = \delta_w \cdot h$  onde  $\delta_w$  é o peso específico da água ( $1000\text{kgf}/\text{m}^3$ ). Ao carregarmos, rapidamente, uma camada de solo mole ocorre um crescimento da poro pressão. A água fluirá para fora da zona de influência do carregamento e no solo circundante não afetado pelo carregamento. Este fluxo tende a reduzir, ocorrendo, como consequência, o adensamento do solo, quer dizer, o aumento de sua resistência devido a aproximação de suas partículas sólidas.

### GLOSSÁRIO

**Tensão de rutura** – tensão, a partir da qual ocorre a rutura do solo.

**Tensão admissível** – é a maior tensão que o solo resiste, suportando deformações, que serão, com segurança, absorvidas pela estrutura.

**Tensão de trabalho** – é a tensão realmente atuante sobre o solo e que deve ser menor ou igual a tensão admissível.

**Conversão:**

1tf = 10kN

1kgf = 10N

1kgf/cm<sup>2</sup> = 100kN/m<sup>2</sup> = 100kPa



CPT dinâmico. O ensaio de torsão na haste após a cravação.

### GLOSSÁRIO

**Amostra deformada** – amostra retirada por processo que procura preservar o volume, a estrutura e a umidade do solo. As tensões são naturalmente aliviadas e deverão ser recompostas em laboratório. Solos bem moles, com coesão inferior a 5KPa, não se prestam para este ensaio.

**Solo mole** – são solos sedimentares com baixa resistência à penetração (valores de SPT inferiores a 4 golpes), em que a fração argila imprime as características de solo coesivo e compressível (plástico). São argilas moles ou areias argilosas fofas. Os depósitos ou ambientes de deposição variam desde fluvial (aluviões nas várzeas dos rios) até o costeiro, passando pelos pântanos, onde ocorrem os depósitos orgânicos.

**Tempo de adensamento ou consolidação** – relaciona-se, primeiro, a quantidade de água que é expulsa da massa do solo. Vincula-se ao produto das tensões impostas, à compressibilidade (quanto mais plástico mais compressível) do solo e ao seu volume. Segundo, o tempo para ocorrer a consolidação é inversamente proporcional à velocidade com que a água flui pelo solo. O uso de geodrenos em solos moles aumenta substancialmente sua baixíssima permeabilidade e altera o tempo de consolidação.

CPT pela cravação com pouca energia que aparenta um modo “semi-estático”. O avanço é feito com o impacto dinâmico de uma massa de 10kg em queda livre de 50cm.

Trata-se de uma sondagem bastante acessível sob todos os aspectos.

### O ensaio pressiométrico

Consiste na instalação de uma sonda cilíndrica de borracha em um pré-furo feito no solo. A sonda expande com a injeção de água pressurizada, medindo-se a variação de volume consoante com a pressão aplicada. Fornece a tensão horizontal, o coeficiente de empuxo, o módulo de young, o módulo de cisalhamento e a resistência não drenada. É pouco empregado no Brasil.

### O ensaio torsiométrico

É caracterizado pelo ensaio de PALHETA, tradicionalmente empregado para a

## Cravação de Geodrenos RG

*A moderna tecnologia de acelerar adensamento de solos moles. Consulte-nos.*

**GEODRENOS RG**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 03

## O tratamento do solo mole

São usadas técnicas que visam melhorar suas propriedades geotécnicas, quer dizer, sua resistência e deformabilidade. A técnica de substituição do solo mole por solo de boa resistência já não é viável por questões ambientais. Assim mesmo, só é interessante para profundidades até 5m. O uso de estacas de distribuição para transferir a carga do aterro para camadas profundas mais resistentes exige blocos de capeamento e torna-se inviável. O uso de colunas de areia ou pedra exige escavação e, como no caso anterior, apresenta custo benefício elevado. Mantas geotêxteis na interface aterro-fundação, com finalidade de "melhorar" as condições de estabilidade, têm sido prática corrente com resultados não muito bons. São duas, basicamente, as técnicas de tratamento do solo mole, que baseiam-se na pré-compressão do solo mole de maneiras distintas, o que induz o adensamento, o ganho de resistência, e a antecipação dos recalques futuros. Ambas utilizam geodrenos verticais que aceleram o tempo necessário à consolidação do solo.

### Geodreno e aterro temporário

Basicamente, instala-se geodrenos verticais e constrói-se um aterro na região da construção, com carga superior a que atuará durante a vida da futura obra. Nesta técnica, estabelece-se o tempo de atuação do aterro e o ganho

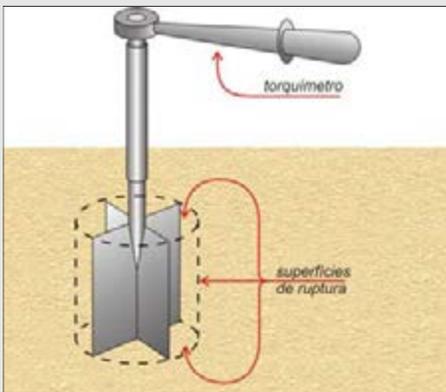
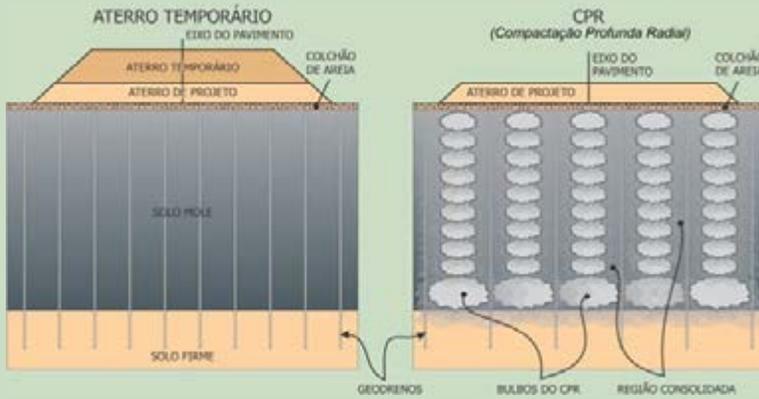
da resistência necessária ao futuro projeto. Este método de tratamento só consegue bons resultados quando a camada de solo mole tem pouca espessura, assim mesmo exige análise de desempenho com intensa instrumentação.

### Geodreno e compactação profunda radial (CPR)

Nesta técnica também instalam-se geodrenos verticais, previamente. A seguir, é feita a malha de cravação dos tubos de bombeio do grout, de acordo com o projeto da obra. A partir daí, é feito o bombeamento do grout específico para o solo mole, com características que impeçam o fraturamento hidráulico do solo, formando-se grandes bulbos que acabam por comprimir toda a massa do solo ao longo de toda a profundidade da camada mole de maneira uniforme.



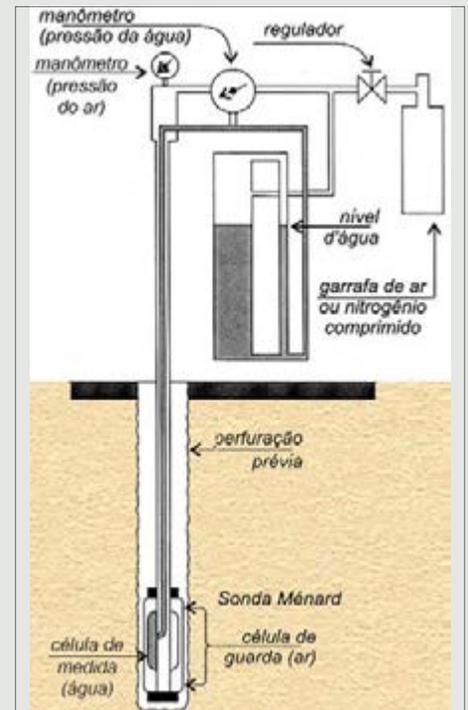
O bombeamento do CPR.



Ensaio de palheta (vane test) na sua versão mais simples (que utiliza um torquímetro para medição do momento aplicado, M).

determinação da resistência ao cisalhamento não drenada nos solos moles. Utiliza uma palheta de seção cruciforme que, cravada em argilas saturadas, de consistência mole, é submetida ao torque necessário para cisalhar o solo por rotação, em condição não drenada. É necessário, portanto, o conhecimento prévio da natureza do solo onde será feito o ensaio.

O ensaio PALHETA perdeu muito da importância que lhe foi atribuída devido ao tempo necessário para mobilizar a coesão e ao efeito da anisotropia do solo.



Ensaio pressiométrico: princípio de execução (com sonda tipo Ménard),

fax consulta nº 04



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Solos.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- **Jorge L. F. de Almeida** é professor e engenheiro de fundações.
- ABNT: MB 3406. Ensaio de Penetração de Cone In Situ (CPT) - Método de Ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991.
- ALMEIDA, M.S.S. Aterros Sobre Solos Moles: Da Concepção à Avaliação do Desempenho. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 1996.
- ALMEIDA, M.S.S. & FERREIRA, C.A.M. "Consolidation parameters of a very soft clay from field in situ tests and laboratory tests", in: Solos e Rochas, 16 (1) 47-67. São Paulo: ABMS, 1993.
- ALONSO U.R. "Correlações entre resultados de ensaios de penetração estática e dinâmica para a cidade de São Paulo", in: Solos e rochas, 17 (3), 19-25. São Paulo: ABMS, 1980.
- ÁRABE, L.C.G. Aplicabilidade de Ensaio Insitu Para a Determinação de Propriedades Geotécnicas de Depósitos Argilosos e de Solos Residuais. Rio de Janeiro: PUC, 1993.
- ASTM. Tentative Method for Deep Quasi-static, Cone and Friction Cone Penetration Tests in Soils, D3441-75T, 1975.
- FAIÇAL MASSAD. Obras de Terra. 2003.

# POR QUE ESTRUTURAS NÃO DURAM?

A VELHA QUÍMICA É A RESPONSÁVEL PELA MAIORIA DOS SINTOMAS QUE ATUAM NESTE DIFÍCIL XADREZ QUE É A DURABILIDADE DO CONCRETO ARMADO-PROTENDIDO. CONHEÇA AS ESTRATÉGIAS PARA GANHAR ESTE JOGO.



ANÁLISE

Patrícia  
Karina Tinoco

A desestruturação do concreto revela-se por diversos fatores que acontecem de forma simultânea e/ou sucessiva. Um destes fatores, que está sempre no banco dos réus, é o ambiente que cerca a estrutura de concreto armado-protendido. Este é e sempre será, sem novidade, o primeiro fator a ser considerado no diagnóstico das causas quase sempre ignoradas. Como diziam os antigos médicos, para curar qualquer doença é necessário um correto diagnóstico, sem o que, qualquer

medicamento, por mais miraculoso que seja, será ineficaz.

## Santos também pecam?

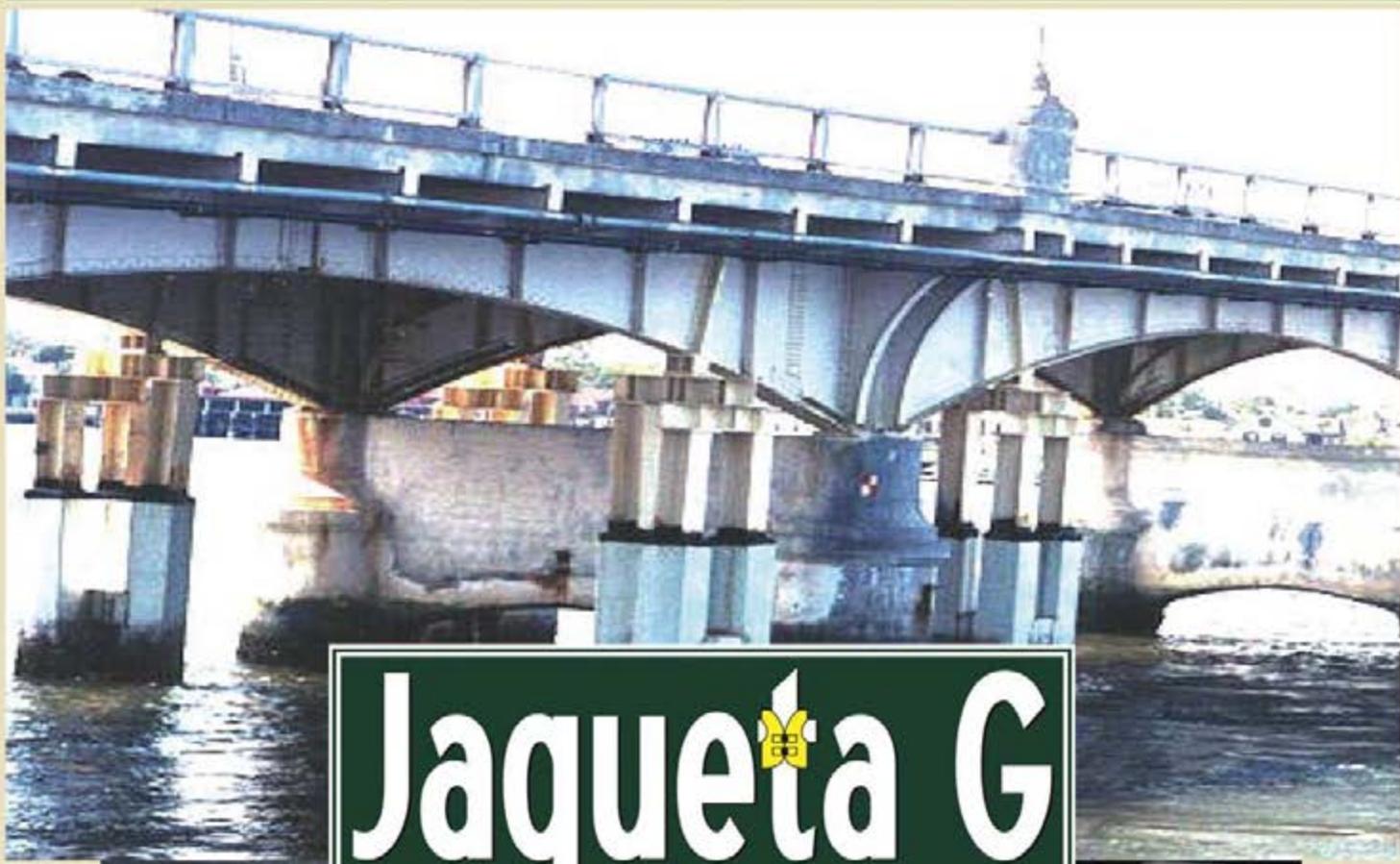
O concreto armado-protendido é o santo que nos protege. A principal qualidade, sua capacidade de carga, tem a ver com sua resistência mecânica, o que nos lembra força. No entanto, técnicos e engenheiros civis que prescrevem o concreto armado-protendido para suas obras apresentam-se sempre com insu-

ficiência de conhecimentos de química, aquela velha ciência que estuda transformações que ocorrem nos materiais, sua composição e, por fim, as leis que regulam suas ações. É verdade. O tempo faz-nos ver que o concreto não é um material inerte, inativo, morto, imune ao ambiente que o envolve. Ao contrário, o afeta e, acredite, altera-o de tal forma que acaba por perder suas características principais – a resistência mecânica e a idéia de coisa durável. É complicado. Esta situação nos remete àquele inventário complicado, para

Continua na pág. 14

RECUPERAR • Maio / Junho 2007

# CORROSÃO EM ESTACAS DE CONCRETO ARMADO-PROTENDIDO?



# Jaqueta G

**PROTEÇÃO CATÓDICA**  
na medida certa para estacas de  
concreto armado protendido em  
zonas críticas de variação de marés.

Há mais de 10 anos a **JAQUETA G** substitui os antigos tratamentos à base de massinhas e revestimentos que só mascaram a eletroquímica da corrosão. **JAQUETA G** é o mais moderno e eficiente sistema de **Proteção Catódica**, na medida certa para a zona crítica de variação da maré e abaixo, com planos de garantia superiores a 10 anos. Somente **JAQUETA G** permite total monitoramento de sua eficiência, a qualquer hora, ano após ano. Concreto armado-protendido e água salgada não combinam. Com **JAQUETA G** a história é outra.

# Jaqueta G

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 05

não dizer maluco da durabilidade. Sim, porque antigamente não se exigia tanto do concreto. Seria porque o conhecíamos pouco? Por ser mais permeável? Porque quanto mais cimento adicionávamos mais “resistente” o tornava? Mais resistente significa(va) mais durável? Porque antigamente fazia-se concreto com mais atenção e qualidade? Ou porque antigamente não havia toda essa poluição no ar, na água e no solo que nos cerca?

Muito se falou e publicou sobre a idéia da durabilidade do concreto nestes últimos 50 anos. Mas, com certeza, temos hoje mais problemas com este conceito do que tínhamos. Não se pode exigir que uma estrutura de concreto dure 100 anos, se a colocamos em mares, lagoas contaminadas e indústrias corrosivas. Em todo o mundo estruturas de concreto armado-protendido, especialmente pontes e viadutos, apresentam problemas já em sua adolescência. Um estudo recente na Suécia nos informa que lá existem 25.000 pontes, 9.000 das quais são feitas de concreto armado-protendido. O mesmo documento mostra que, anualmente, são gastos 100 milhões de euros em sua recuperação. Nos EUA 253 mil pontes estão catalogadas com diferentes estágios de degradação. A este grande número soma-se todo ano 35 mil pontes. O custo anual da recuperação só em pontes, lá, ultrapassa os US\$ 200 bi-



Como é possível construir estruturas de concreto armado em pleno mar sem um plano de seguro, quer dizer, sem um mínimo de proteção tanto para o concreto como para suas armaduras. A química explica.

lhões. Em nosso país não há números que contabilizem o que gastamos anualmente em nossas pontes e viadutos. Também com um presidente que nada sabe e nada vê... E cada vez mais construímos estruturas de concreto armado, nuas, face a face com “águas” cada vez mais contaminadas, pode? Concreto é um falso sólido, total-

mente permeável, que tem de ser protegido e monitorado de forma específica, de acordo com a importância da estrutura.

### Os problemas aparecem

A ruína (conceito de durabilidade?) estrutural evidencia-se na forma de trincas, des-

Esta é a tecnologia de melhoramento para cicatrizes, usada por grandes cirurgões plásticos.



Tele-atendimento (OXX21) 3154-3250  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta n° 06

**SOLUTION EPOXY 36** que monolitiza trincas e fissuras com o mesmo nível de tensões existente no concreto base, de maneira rápida, discreta e 100% eficiente. E você não precisa ser cirurgião plástico para utilizá-la.



Entendeu?

# PH FLEX super

**Ponto final no trânsito da água.**

*Solution with one shot intelligent foam*



**Impermeabilização com  
injeção de poliuretano espuma hidroexpansiva  
sem necessidade de injeção de gel.**

**PH FLEX SUPER**

Tele-atendimento

(0XX21) 3154-3250

fax (0XX21) 3154-3259

produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº 07



Nos consoles, peca-se pela falta de compreensão do seu funcionamento, tanto a nível de projeto quanto de execução.

placamentos, perdas de massa. As causas da deterioração do concreto armado-protendido são físicas e químicas e, na maioria das vezes, uma combinação das duas. Muitos engenheiros e técnicos apostam que não há problemas em suas estruturas. Mas até onde vai o interesse ou mesmo o conhecimento necessário para uma avaliação minuciosa e consciente? Quantas estruturas de concreto ar-

mado-protendido nuas ou quase de proteção estão em contato com substâncias tóxicas? Nestas condições um concreto normal torna-se ainda mais poroso e fraco. E, como sabemos, torna-se susceptível de doenças. A olho nu, uma estrutura nestas condições, pode parecer em perfeito estado. Em estágio avançado, a deterioração aparece. Mas aí o(s) problema(s) já está instalado. Ataques su-

cessivos e simultâneos de diversos fatores aceleram o processo de deterioração, que aumenta exponencialmente devido a efeitos sinérgicos. Nem sempre encontram-se efeitos cumulativos.

### Investigando a durabilidade

Estruturas de concreto armado-protendido, adequadamente projetadas e protegidas para ambientes específicos, tornam o falso sólido concreto extremamente durável. O projeto de uma estrutura de concreto armado-protendido exige muito mais do que conceitos de cálculo estrutural. É necessária a compreensão dos processos que causam sua deterioração, inclusive as velocidades com que costumam engatar, consoante com as condições do ambiente de exposição. É preciso, em condições anormais de exposição, ou seja em contato com ambiente corrosivo, conhecer um total fator de durabilidade. A seguir, apresentamos alguns dos principais processos de deterioração.

#### GLOSSÁRIO

**Durabilidade** – é a disposição do concreto para resistir à ação natural do envelhecimento e, principalmente, a ataques químicos, abrasivos e outras condições de serviço.

**Fator de durabilidade** – medida correspondente às mudanças das propriedades do concreto, em um certo período de tempo, em resposta a exposição a condições particulares que lhes causam deterioração, expressa em porcentagem com relação às propriedades antes da exposição.

**TECNOLOGIA?**

*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 velocidade, antes que a estrutura apresente sinais de ruína por sintomas de corrosão (desplacamentos).*

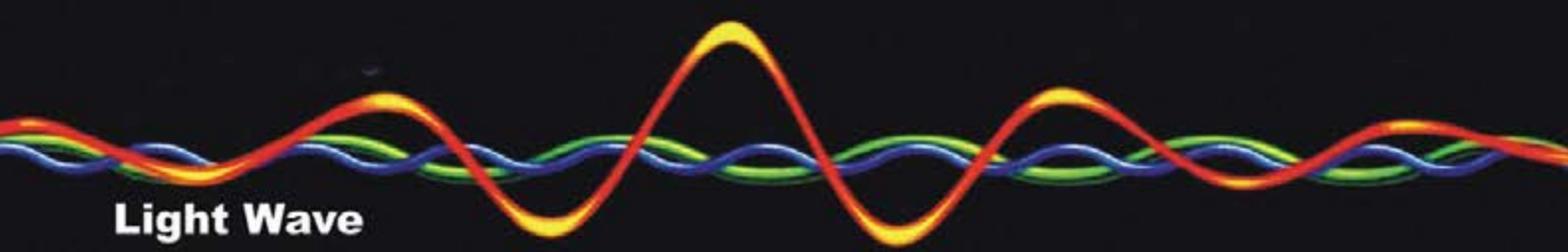
**Evite isto!**

**SÓ COM semi-pilha CPV-4**

**CPV-4**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 08



**Sound Wave**



**Light Wave**

**HYDRAWAVE** Cortes perfeitos sem chateação. Inclusive dentro d'água.



Para serras  
circulares

Unidades hidráulicas independentes



Serras de correias



Extratoras



Marteletes

**REGRA # 1: Ter a ferramenta certa.**

Dispomos das melhores e mais modernas máquinas para todo tipo de corte, inclusive para serviços subaquáticos. Serras circulares, de correia, extratoras e marteletes. Todos com vantagens hidráulicas.



Invented for repair



A corrosão motivou a substituição dos cabos de protensão das lajes deste condomínio situado à beira mar.

### Carbonatação

É um dos fatores (normais) de envelhecimento do concreto. O dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , presente no ar e em contato com a superfície do concreto, penetra nos poros e acaba por dissolver-se na solução aquosa com alto pH ali presente, produzindo íons  $\text{CO}_3^{2-}$  e formando o ácido carbônico ( $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$ ). Este mesmo ácido então reage com os íons alcalinos da matriz cimentícia presente, na forma de hidróxidos de sódio, potássio e cálcio formando carbonatos e diminuindo o pH do concreto e, conseqüentemente sua alcalinidade característica [ $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow$

$\text{CaCO}_3$  (pH neutro) +  $\text{H}_2\text{O}$ ]. A profundidade do ataque ou da carbonatação aumenta com o tempo. É preciso entender que a alcalinidade do concreto não cria o estado passivante das armaduras, mas sei seus próprios óxidos, presentes na superfície do aço. A solução alcalina garante a estabilidade e a segurança aos óxidos. A redução do pH, devido à carbonatação ou à lixiviação (esta última causa aquelas eflorescências brancas) instabilizam o tal filme e aí, portas abertas à corrosão.

Claro que o aumento da espessura da camada de recobrimento ajuda a proteger, mas não é suficiente. Lembre-se que o concreto, em sua concepção é, obrigatoriamente, um pseudo sólido. A superfície do concreto e suas armaduras devem ser protegidas, de forma específica, de acordo com o ambiente que o cerca. Se o ambiente é corrosivo, suas armaduras, já na fase de projeto, deverão ser protegidas catodicamente com anodos galvânicos, tipo TELA G, PASTILHA Z ou FIO G. Trata-se do último baluarte que garantirá a sobrevivência das armaduras. Isto, porque a obrigatória aplicação de película de poliuretano anti-carbonatação é uma barreira com tempo de vida definido que, na maioria das vezes é esquecida de ser renovada. Uma vez ultrapassada, o ambiente concreto será aliciado e conseqüentemente alienado, comprometendo também suas armaduras.

### Gases industriais

Gases poluentes aumentam dia após dia devido ao aumento da industrialização e do tráfego de veículos. Gases como o  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  etc formam ácidos em contato com a água da chuva e penetram na superfície do concreto, finalmente.

### Reação álcali-agregado (RAA)

Esta reação é um processo químico em que os álcalis sódio e potássio na matriz cimentícia reagem com determinados tipos de agregados, formando géis ávidos por água e tremendamente expansivos. O resultado é a expansão do volume do concreto e sua destruição. A neutralização do processo de RAA instalado é fei-

#### GLOSSÁRIO

**Nitro compostos orgânicos** – importante série de compostos orgânicos nitrados, isto é, que possuem um ou mais grupos nitro ( $\text{NO}_x$ ) ligados diretamente a moléculas orgânicas.

**Lixiviação** – depósito de sais brancos na superfície do concreto, provenientes do seu interior.

**Reatividade álcali-agregado (RAA)** – reação química deletéria no concreto entre seus álcalis sódio e potássio da matriz cimentícia e os componentes de certos agregados, conduzindo a processo de fissuração característico, acompanhado de expansão do concreto.

**Álcali** – sais dos metais alcalinos, principalmente sódio e potássio presentes na matriz cimentícia (pasta de cimento), usualmente detectados na forma de óxidos  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ .

## Concreto armado-protendido sem corrosão?

Só com  TELA G

O aço da construção é reativo e corrói fácil. Armaduras e cordoalhas de protensão são de aço. O concreto é um falso sólido. A proteção do aço é apenas passiva. Com esta situação, a defesa natural e efetiva do aço é a proteção catódica. Sua atuação é facilmente checada e monitorada com uma semi-pilha. Concreto armado-protendido sem proteção catódica é uma fria. Use TELA G preventivamente ou na recuperação. E ainda tem 20 anos de garantia.

### TELA G

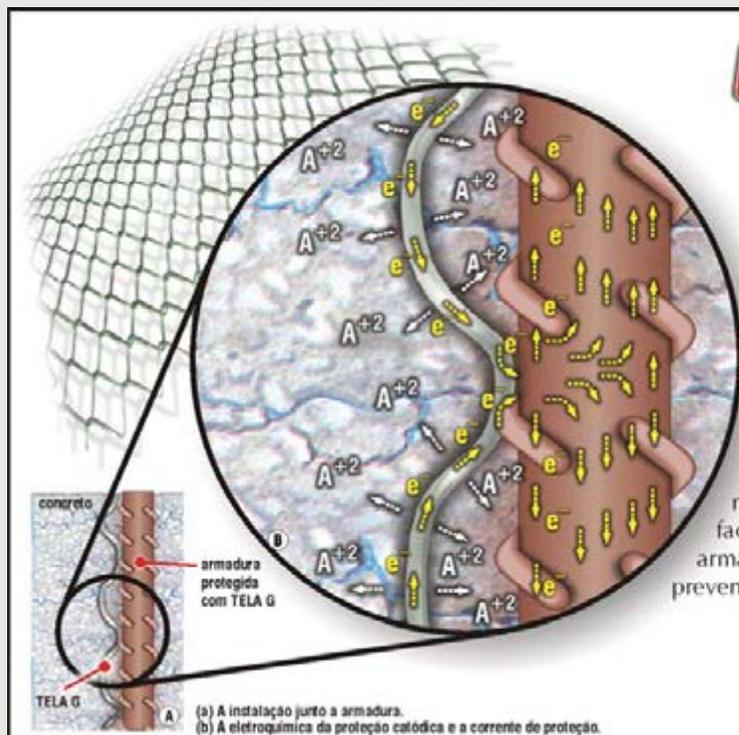
Tele-atendimento

(0XX21) 3154-3250

fax (0XX21) 3154-3259

produtos@recuperar.com.br

Fax consulta nº 09



(a) A instalação junto a armadura.  
(b) A eletroquímica da proteção catódica e a corrente de proteção.



Processo de expansão em marcha devido a RAA nesta peça de concreto armado.



Tanque de decantação de uma ETE. Corrosão do concreto.

ta com injeção de produto à base de lítio, o RENEW.

### A água como agente de deterioração

Estruturas de concreto armado-prontido não podem ficar em contato direto com qualquer tipo de solução aquosa. A interface de contato deverá ter revestimento específico. Quando a água ou qualquer solução fazem contato com a superfície do concreto, molha-o facilmente, penetram e dissolvem o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , que, subsequentemente, é lixiviado, comprometendo a matriz cimentícia. O contato do concreto, sem proteção, com água ou soluções aquosas em movimento potencializa ainda mais o caso anterior. Estes fluidos dissolvem a maioria dos sais, promovem a formação de líquidos ácidos que penetram no concreto e pronto. Na atual prática investigativa, fre-

qüentemente encontramos efeitos sinérgicos de vários fatores que não podem ser divorciados. Estes efeitos aceleram o processo de deterioração que acaba por se manifestar com quadro múltiplo e bastante complicado.

**fax consulta nº 10**



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

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

**REFERÊNCIAS**

- **Patrícia Karina Tinoco** é engenheira civil especialista em polímeros.

- Richardson, M.K., Carbonation of Reinforced Concrete: Its Causes and CITIS, Dublin.
- Venuat, M. and Alexandre, J., De la carbonation du beton (On the Carbonation of concrete), Ref. Mater. Constr. 639, 469.
- Lea, F.M., The Chemistry of Cement and Concrete, Edward Arnold.
- Berger, R.L., Young, J.F., and Leung, K., Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon dioxide treatment, Nat. Phys. Sci., 20(97).
- Aschan, N. Termogravimetrisk undersökning av karbonatiserings - fenomenet i betong (Thermogravimetric investigation of carbonation phenomenon in concrete), 17(3), 275.
- Verbec, G.J., Carbonation of hydrated Portland cement, Am. Soc. Test. Mater. Spec. Tech. Publ., 205, 17-36. PCA Res. Dep. Bull.
- Mall, G., Einwirkung von kohelensaurerhaltigem Wasser auf Zement (The action of water containing carbonic acid on cement), Zem. Kalk Dips, 4(11), 291.
- Satish Chandra. Polymers in concrete.



O assassino da  
Reatividade  
Álcali-Agregado  
(RAA)



**RENEW**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
[produtos@recuperar.com.br](mailto:produtos@recuperar.com.br)  
Fax consulta nº 11

# A CONTAMINAÇÃO PELO ABANDONO.

ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO, DE UM PRÉDIO À BEIRA MAR, FOI DEIXADA ABANDONADA POR 10 ANOS. SUA REATIVAÇÃO, AGORA SINTOMÁTICA, COM DESPLACAMENTOS E CORROSÃO EXIGIU UMA SÉRIE DE TESTES PARA SABER A EXTENSÃO DOS DANOS.



CORROSÃO

Joaquim Rodrigues

**N**ão é difícil encontrar estruturas de edificação incompletas e abandonadas, com seu concreto armado-protendido totalmente exposto à intempérie, à umidade, maresia e à ação de água salobra estagnada em seu subsolo.

A investigação do concreto armado deste prédio com 10 andares não foi difícil porque não havia qualquer acabamento, embora suas duas garagens subterrâneas apresentassem problemas de infiltra-

ções com inundação no 2º subsolo. Exatamente nestas duas garagens foram feitas uma série de testes, particularmente voltados não para confirmação dos sintomas evidentes de corrosão, através de deslocamentos e ferragens expostas, mas sim para levantamento do grau de comprometimento “invisível” do processo corrosivo, quer dizer, a busca de evidências nas regiões “aparentemente boas”.

## Primeiras impressões

Na primeira visita deparou-se com um quadro sinistro, onde a laje do 2º subsolo encon-

### GLOSSÁRIO

**Água salobra** – com gosto um pouco salgada. Água de gosto desagradável pela presença de sais com concentração entre 0,5 e 0,30 gramas/litro ou outras substâncias que a fazem desagradável, embora com salinidade inferior a da água do mar.

Designed for the urban wild.



**TOP COAT CARBO FC**

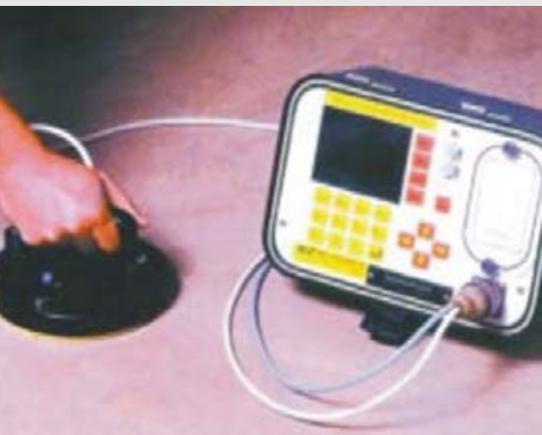
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
fax (0XX21) 3154-3259  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 12

Com **TOP COAT CARBO FC** você está acessando o nano-age world. Superior a tudo que você aplicou como película de proteção. **TOP COAT CARBO FC** é o mais perfeito coating para enfrentar a carbonatação do concreto em estruturas urbanas.

<http://www.rogertec.com.br/topcoatcarbomfc.htm>

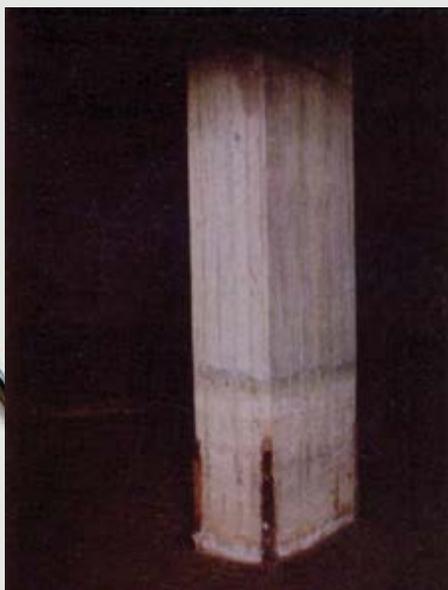
trava-se submersa, com cerca de 20cm de altura de água salobra estagnada, com seus pilares e paredes estruturais periféricas naturalmente submetidas ao mesmo quadro. Estabeleceram-se quatro procedimentos básicos para a avaliação da edificação:

- 1 – Inspeção visual e fotográfica.
- 2 – Pesquisa dos danos existentes.
- 3 – Levantamento dos locais para tomada de amostras.
- 4 – Levantamento dos locais para testes "in situ".



#### Análise com o GECOR 8.

Com uma equipe de 10 técnicos, iniciou-se o levantamento com detectores de armaduras nas duas garagens, de modo a identificar a padronização da ferragem existente em cada peça estrutural, de acordo com o projeto existente. Paralelamente, procedeu-



Marcas d'água, lixiviação e corrosão à vista neste pilar do 2º subsolo.

se o mapeamento dos danos visíveis, resumidos a deslocamentos e ferragens expostas.

Todas as superfícies das peças estruturais, "aparentemente boas", foram analisadas estatisticamente em busca de potenciais de corrosão e de valores comprometedores da resistividade do concreto, utilizando-se o sensor B do GECOR 8. uma vez feito o mapeamento das áreas com potenciais de corrosão e resistividade comprometedores, aprofundou-se a pesquisa com o levantamento da velocidade da corrosão naquelas áreas, utilizando-se o sensor A do GECOR 8. Os testes eletroquímicos, naquelas áreas, foram acompanhados de testes quími-



Defeitos de concretagem no topo do pilar, além de umidade intensa devido a presença de água da chuva na laje do 2º subsolo,

cos com kits CLOR-TEST, de modo a identificar a presença de contaminação do concreto por cloretos e a análise da presença de carbonatação a diversas profundidades com a utilização de lápis medidor de pH.

#### A situação dos pilares

Praticamente todos os pilares do 2º subsolo, na região anteriormente submersa, evidenciaram superfícies com manchas de óxidos e eflorescências brancas. A espessura de recobrimento média foi de 1,5cm. As regiões superiores destas peças apresentaram defeitos de concretagem e fissuras de forma aleatória. Na página a seguir apresentamos quadro com o levantamento eletroquímico em um pilar típico (pilar 22). Repare que os valores dos potenciais de corrosão ainda não são compromete-

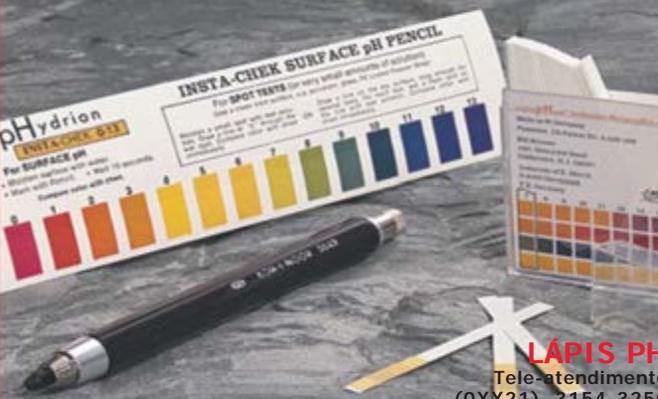


### Detector de contaminação por sais cloretos em peças metálicas e de concreto

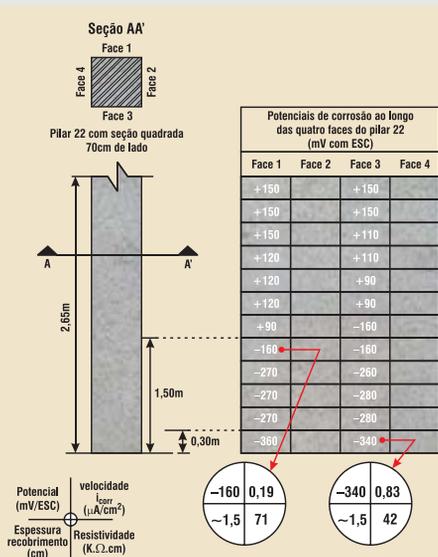
Clor-test foi desenvolvido para analisar a contaminação em qualquer tipo de superfície. Seus componentes são pré-medidos, de modo a assegurar resultados precisos, em partes por milhão (ppm) e microgramas por centímetro quadrado (mgr/cm<sup>2</sup>), sem necessidade de qualquer correção em relação à temperatura ambiente. Em outras palavras: Clor-test é a precisão do laboratório na obra.

**CLOR-TEST**  
 Tele-atendimento (0XX21) 3154-3250  
 fax (0XX21) 3154-3259  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 13

### Lápis medidor de PH para Superfícies de Concreto



**LÁPIS PH**  
 Tele-atendimento (0XX21) 3154-3250  
 fax (0XX21) 3154-3259  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 14



Situação do pilar 22, ao nível do 2º subsolo, evidenciando problemas eletroquímicos de contaminação e corrosão consequente, através do cruzamento de dados obtidos. Obs.: O GECOR dispõe de parâmetros de resistividade e da velocidade da corrosão próprios.

dores. A determinação da velocidade da corrosão com o sensor A do GECOR 8, contudo, nos dá evidências do que realmente está acontecendo. Nos dois círculos apresentamos detalhes do levantamento. A velocidade de 0,19 $\mu A/cm^2$ , obtida a 1,50m de

altura, é baixa e desperta alguma preocupação. O valor de 0,83 $\mu A/cm^2$ , no entanto, obtido a 0,30m do piso, informa que há processo de corrosão em andamento nesta região do pilar, muito embora não exista sinais de deslocamentos ou trincas. A resistividade do concreto, com valores em torno de 60k $\Omega$ .cm apresenta-se com situação moderada. Ficou claro que a região da garagem, anteriormente submersa, apresentava comprometimento. Registrou-se que, apesar da alta umidade relativa no 2º subsolo, 79%, durante todo o período de investigação, não foi suficiente para detonar potenciais de corrosão mais comprometedores que os localizados abaixo da região submersa. Testes com penetrômetro (pistola fina pinos) indicaram um concreto com resistência média de 30MPa, ou seja, atende ao projeto de 25MPa e ao padrão de durabilidade exigido atualmente, acima de 28MPa. A alcalinidade, típica do concreto, manifestou-se comprometida a partir da metade do pilar para cima. Em algumas destas regiões superiores analisou-se o pH do concreto com o Lápis Medidor de pH, encontrando-se frente de carbonatação (pH~10) a meio caminho das armaduras, ou seja, a 10mm de profundidade, o que evidencia perigo para

as armaduras. A análise da contaminação por cloretos com o Kit Clor-Tes evidenciou um valor máximo de 500ppm de Cl<sup>-</sup> (0,35% de Cl<sup>-</sup> por peso de cimento) nos pés dos pilares, valor considerado preocupante se considerarmos, por exemplo, a norma inglesa BS-8110 que estabelece um máximo de 0,40% de cloretos por peso de cimento. Valores decrescentes e até de ausência foram encontrados ao longo de toda a altura dos pilares.

**GLOSSÁRIO**

**ppm** – sigla de parte por milhão. Medida de concentração expressa pelas partes em peso de uma certa substância presente em um milhão de partes em peso de um sistema. Converter ppm para percentual por peso de concreto basta dividir por 10.000. Por exemplo, 800ppm corresponde a 0,08% de cloretos por peso de concreto. Para converter esta última medida para percentual de cloretos por peso de cimento dever-se-á considerar o peso de cimento empregado no concreto e seu peso específico. Assim, para converter 0,08% de cloretos por peso de concreto para % de cloretos por peso de cimento basta multiplicar 0,08 pelo peso do concreto (2.500kg/m<sup>3</sup>) e, a seguir, dividir o resultado pela quantidade de cimento existente ou estimativa (360kg/m<sup>3</sup>), obtendo-se 0,55% de cloretos por peso de cimento.

**Resistividade** – parâmetro que, junto com a presença de oxigênio, controla a velocidade da corrosão do aço no concreto. Depende da umidade do mesmo.

# GECOR 8



- Fundamental
- Infalível
- Preciso

**GRANDES OBRAS EXIGEM O MELHOR EQUIPAMENTO**

Medição dos potenciais, resistividade e da velocidade da corrosão do concreto armado-protendido



**GECOR 8**  
 Tele-atendimento  
 (0XX21) 3154-3250  
 produtos@recuperar.com.br  
 Fax consulta nº 15



### A situação das vigas

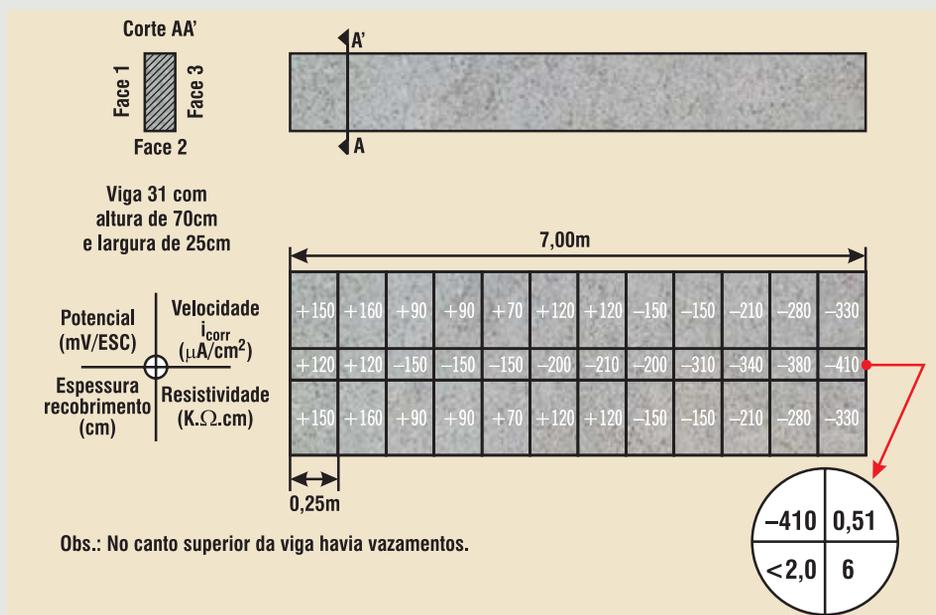
As vigas do 2º subsolo evidenciaram valores mais saudáveis. A situação de algumas vigas analisadas tipifica outras não ensaiadas, principalmente com relação aos potenciais de corrosão, sem comprometimento, a não ser em regiões localizadas onde há permeabilidade, ou melhor, vazamentos através da laje piso do 1º subsolo, junto às vigas. A média da resistência à compressão das vigas, com o penetrômetro, foi de

### Situação de uma das vigas analisadas no 2º subsolo.

32MPa, o que satisfaz o critério de durabilidade. A profundidade da carbonatação foi de 4mm, havendo uma espessura de recobrimento média de 1,5cm. Não há, portanto risco imediato de corrosão por carbonatação para as armaduras. O nível de contaminação por cloretos foi também insignificante e bem abaixo do limite tolerado, ou seja, encontrou-se um valor médio de 50ppm de  $Cl^-$  (0,03% de  $Cl^-$  por peso de cimento). Particularmente nas regiões com infiltração detectou-se potenciais de corrosão e velocidades deste processo significativos, além, claro, da resistividade. Quer dizer, situações bem localizadas e que, naturalmente, de fácil controle.

### A situação das lajes dos dois subsolos

O grande problema residia na laje piso do 2º subsolo, com infiltrações e consequen-



Situação da viga 31 com os levantamentos eletroquímicos. Obs.: O GECOR dispõe de parâmetros de resistividade e da velocidade da corrosão próprios.

### O que dizem as normas

A preocupação com a durabilidade e sua investigação é tarefa essencial para engenheiros e técnicos responsáveis pelo projeto, execução e manutenção de estruturas de concreto armado-protendido. Abaixo, estão os parâmetros padronizados relativos à corrosão nas estruturas. O GECOR dispõe de parâmetros de resistividade e de velocidade de corrosão próprios.

VELOCIDADE DA CORROÇÃO	
Grau da corrosão	Velocidade ( $\mu A/cm^2$ )
Desprezível	0,1 a 0,2
Início	> 0,2
Com efeitos	~1
Com muitos efeitos	> 10

Norma ASTM C876 Potencial de corrosão (ESC - mV)	Probabilidade de corrosão (%)
Mais negativo que -350	95
Mais positivo que -200	5
De -200 a -350	Incerta

RESISTIVIDADE DO CONCRETO NORMA CEB 192	
Resistividade (K.Ω.cm)	Probabilidade de corrosão
> 20	Desprezível
10 a 20	Baixa
5 a 10	Alta
< 5	Muito alta

Não perca!  
**Promoção**  
imperdível.

R\$ 530,00

Todos os números\*  
da **RECUPERAR** em CD

Fone: (21) 3154-3255  
atendimento@recuperar.com.br

\* do nº 1 ao 78



**Grupo Falcão Bauer**

Laboratório Credenciado pelo INMETRO

Tel.: 11 3611-0833

www.falcaobauer.com.br

bauer@falcaobauer.com.br

- Inspeções, recuperação e reforço estrutural convencional e com fibra de carbono.
- Gerenciamento e fiscalização de obras.
- Provas de carga e controle de recalque.
- Controle global da qualidade na construção civil, controle tecnológico de concreto, solos, pavimentação e estruturas metálicas.
- Análises químicas, físicas e metalográficas.
- Meio ambiente.



Serviços posteriores de tratamento da corrosão, com FIO G, com diâmetro 4mm. Repare o processo de corrosão insipiente em algumas regiões da laje do 2º subsolo, só detectado com a SEMI-PILHA CPV-4 e o GECOR.

te inundação devido a ausência de impermeabilização, razão pela qual a água do lençol freático salobra permeava pelo concreto e chegava a 20cm de altura. Não se constatou redução na alcalinidade do concreto nesta laje, no entanto, obteve-se indícios de contaminação por cloretos com um valor médio máximo também de 500ppm de  $Cl^-$ . Provocou interesse, contudo, o fato de não ter sido detectado potenciais nem velocidades de corrosão, de forma generalizada, já que a laje do 2º subsolo apresentava 2 camadas de armaduras: uma inferior e outra superior. A média dos potenciais comprometedores encontrados foi de  $-350mV$  associada a velocidade média de  $0,16\mu A/cm^2$ . O recobrimento do concreto médio detectado foi de 2cm, destacando-se altos valores para sua resistividade devido a alta umidade presente ainda no concreto (média de  $45K.\Omega.cm$ ).

### Conclusão

Com todos estes dados coletados e a evidência de contaminação química pelo  $Cl^-$

pela carbonatação recomendou-se o tratamento com proteção catódica nos locais sintomáticos mapeados incluindo-se regiões da laje piso do 2º subsolo e, claro, nos locais com sintomas de deslocamentos e exposição de armaduras visíveis. A opção por tratamentos convencionais com aplicação de massas pré-fabricadas e pintura das armaduras (apenas) nas regiões sintomáticas iria provocar a falsa impressão de tratamento, já que estas regiões tornaram-se iam catódicas e com pH diferente do concreto original, que encontra-se contaminado e com pH diferente. Ou seja, esta opção, cada vez mais desprezível, implica em novos processos de corrosão por concentração e pH diferencial.

fax consulta nº 16



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Análise.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- Joaquim Rodrigues é engenheiro civil, mestre em corrosão, membro de diversos institutos nos EUA, em assuntos de patologias da construção. É editor e diretor da RECUPERAR, além de consultor de diversas empresas.
- ASTM C876-87, "Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete" (West Conshohocken, PA: ASTM, 1987).
- S. Feliú, J.A. Gonzáles, V. Feliú, S. Feliú, Jr., M.L. Escudero, I. Rz. Maribona, V. Austiín, C. Andrade, J.A. Bolaño, F. Jiménez, "Corrosion Detecting Probes for Use With a Corrosion-Rate Meter for Electrochemically Determining the Corrosion Rate of Reinforced Concrete Structures".
- O.T. Rincón and Members, DURAR, "Manual For Inspecting, Evaluating and Diagnosing Corrosion in Reinforced Concrete Structures", Ibero-American Program Science and Technology for Development Subprogram XV, Corrosion/Environmental Impact on Materials.
- P.B. Bamforth, "Factors Influencing Chloride Ingress into Marine Structures", Economic and Durable Construction through Excellence.
- Crane, A. P., Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction.
- Evans, U.R., The Corrosion and oxidation of metals: scientific principals and practical applications.

## Monitoramento de Estruturas? Só com FIBRA ÓTICA.

**TOTAL CONTROL** mede variações de temperatura, campos magnéticos, vibrações, umidade, cargas, pressões, contaminação química etc. Barragens, pontes, túneis, estacas, interceptores oceânicos, instalações nucleares são algumas das estruturas monitoradas, de modo global e com resolução micrométrica, pelos nossos sensores. Nada escapa ao **TOTAL CONTROL**.

**FIBRA ÓTICA**

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
Fax consulta nº 17

# OS AGENTES DE COLAGEM.

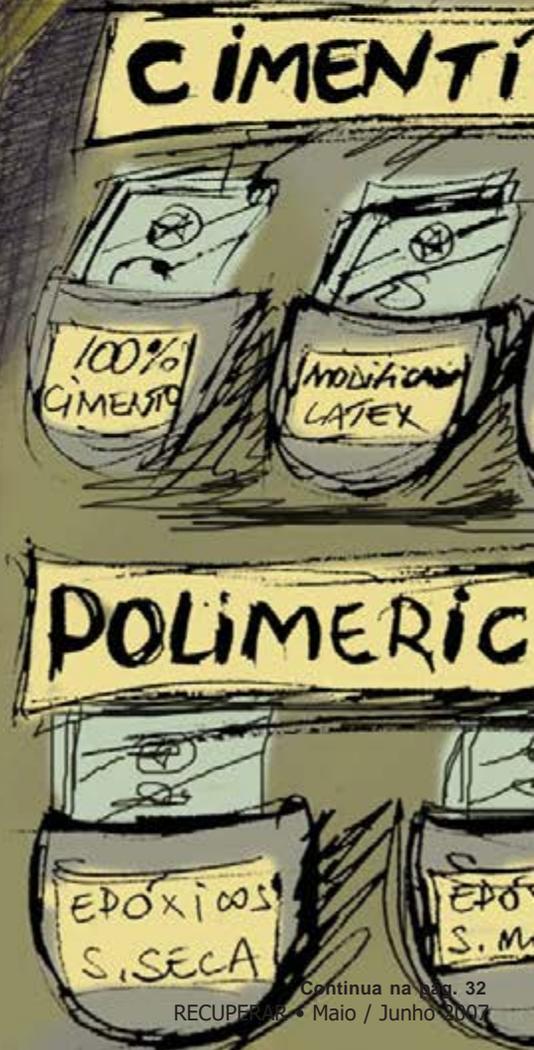
CONHEÇA A INTIMIDADE DESTES MATERIAIS QUE FAZEM A PERIGOSA LIGAÇÃO ENTRE A RECUPERAÇÃO E O CONCRETO ORIGINAL.

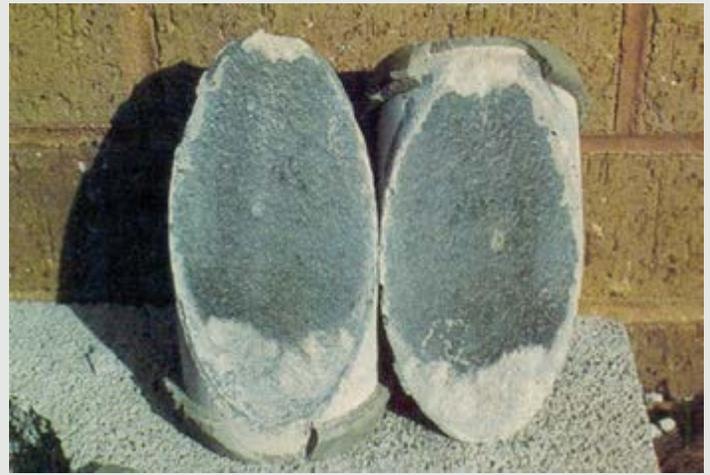
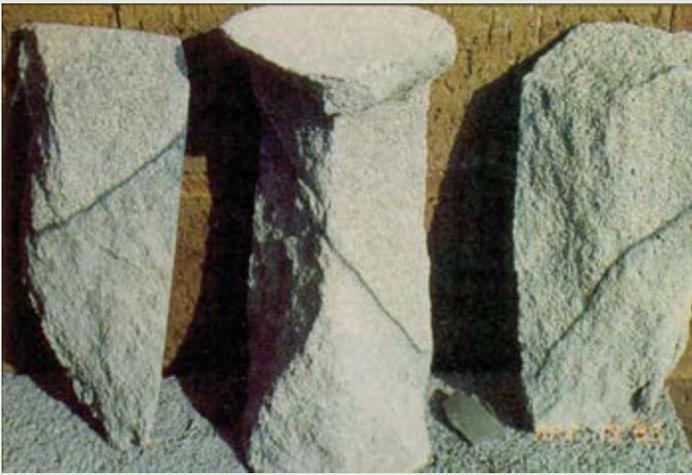
FUNDAMENTOS

Mariana Tati

**N**a bula de qualquer material de recuperação a ser aplicado na superfície do concreto, existe o lembrete: “a superfície a ser recuperada deverá ser adequadamente preparada”. Trata-se de uma observação bastante comum, motivo de muita discussão acerca de como procedê-la. No final das contas, discute-se sobre o uso ou não do super badalado agente de colagem que, na maioria das vezes, acaba por embarcar no rabo de foguete de todo processo de recuperação.

Devemos aceitar que, basicamente, materiais de recuperação devem ser aplicados fortemente de encontro ao substrato a ser recuperado, de maneira que penetrem em seus poros, procedendo a ancoragem desejada. Esta particularidade aumenta a resistência da adesão via aumento da área superficial aderida. Sem nosso ilustre desconhecido agente de colagem, metáfora de ponte de aderência ou ligação, tradicionalmente utiliza-se chapisco, pressão ou vibração para unir a massa nova com a





Os corpos de prova da esquerda, preparados com colagem inclinada, romperam adequadamente, fora do plano de colagem. Os da direita romperam no plano de colagem.

superfície antiga e, nos casos especiais, o concreto/argamassa projetados costumam promover a adesão desejada.

A discussão persiste no fato de que reparos manuais não garantem aque-

### Comparação entre resistência de colagem e modo de rutura em corpos de prova com e sem agentes de colagem

#### Teste em corpos de prova de acordo com a norma ASTM C882 – Teste para resistência de aderência com cisalhamento inclinado para 14 dias

Agente de colagem	Tensão média na rutura $\text{kg/cm}^2$	Rutura no substrato de colagem
Sem agente (controle)	152	20%
Pasta de cimento	155	15%
Pasta de cimento com latex	153	25%
Pasta de cimento com epóxi	165	70%
Epóxi	172	85%

A carga de rutura utilizada nos corpos de prova colados com agentes feitos com pasta de cimento/adesivo epóxico base água e apenas epóxi foi ligeiramente superior aos preparados sem qualquer agente e apenas com agente à base de pasta cimentícia. O mais importante, no entanto, é que quando se usa agentes de colagem, o plano de rutura geralmente ocorre fora da região de colagem.

le contato íntimo com a superfície a ser recuperada. De fato, superfícies de lajes, tetos e paredes apresentam o inconveniente da posição, o que praticamente obriga a ação do agente de colagem. Até mesmo nas superfícies horizontais não se pode contar com a gravidade para garantir contatos íntimos de 3º grau. É aí que entra o sinistro agente de colagem.

#### Os agentes de colagem

Tecnicamente poderemos dizer que este super agente não passa de um antigo e simples “primer”. Ou seja, é uma questão de terminologia. Primer parece-nos mais familiar, mais seguro. No entanto, este termo adequa-se perfeitamente para as tintas que, na maioria das vezes, para não dizer sempre, necessitam de um primer para se estabelecerem. Faz sentido e não há qualquer controvérsia.



Vamos voltar então para a idéia do agente de colagem, com aplicação em superfícies de concreto, antes da entrada do ator principal, quer dizer, da argamassa/concreto de recuperação. Todos conhecemos agentes de colagem, aquela gororoba à base de cimento portland, polímeros ou mistura de

#### GLOSSÁRIO

**Resistência da colagem** – resistência de adesão da argamassa ou concreto de recuperação do substrato original que está em contato. Expressão coletiva para todas as forças tipo adesão, atrito devido à retração, cisalhamento longitudinal etc, envolvidas em contatos diversos.

**Tensão de colagem** – força da adesão por unidade de área de contato entre duas superfícies aderidas, seja concreto/concreto, concreto/armadura, concreto/argamassa etc.

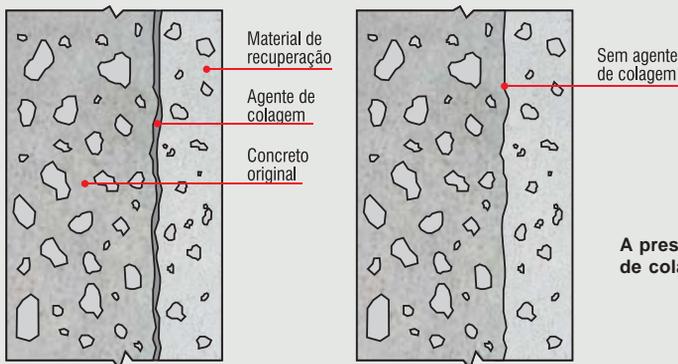
**Agente de colagem** – argamassa ou pasta aplicada em um determinado substrato de maneira a ajudá-lo a segurar o material a ser aplicado.

**Híbrida** – argamassa ou pasta feita com o cruzamento de materiais distintos.

**Emulsão** – meio heterogêneo constituído pela dispersão de um líquido em outro, no qual o primeiro não aceita mistura.



obras. Um outro aspecto de interesse fundamental para qualquer colagem em serviços de recuperação: quais serão os melhores agentes de colagem?



A presença e ausência do agente de colagem na recuperação.

### Os melhores agentes de colagem

Sem entrar no mérito da questão podemos adiantar que, dependendo da aplicação, cada agente de colagem apresenta vantagens e desvantagens. Agentes de colagem podem ser feitos com cimento portland, polímeros ou híbridos. Independente da munção pesada do agente empregado, a preparação da superfície deverá ser sempre a melhor possível: substrato sólido, limpo, rugoso e com poros abertos. O leitor, naturalmente, já estará questionando que agentes de colagem, cimentícios ou poliméricos pensam de maneira diferente em relação à umidade presente no substrato. Está certo. Agentes secretos, quer dizer, agentes



O agente de colagem cimentício é literalmente esfregado na superfície, antes da nova argamassa.

indicador da qualidade do teste é o que apresenta o plano de ruptura fora da interface de colagem, ou seja, no concreto de base ou no próprio material de recuperação. A tabela que apresentamos ao lado evidencia testes de adesão com cisalhamento inclinado, feitos em corpos de prova (CPs) com e sem agente de colagem. A carga utilizada para romper CPs, colados com pasta de mistura de epóxi com material cimentício e apenas epóxi, foi levemente superior a necessária para romper os mesmos CPs sem qualquer agente de colagem. A queda de braço, no entanto, evidencia um detalhe muito interessante. A maioria dos CPs que se utilizaram agentes de colagem, romperam fora da interface de colagem. Estas observações, contudo, desaguam no mesmo delta do chamado equívoco acadêmico: testes laboratoriais raramente refletem a realidade das obras. Realmente, superfícies de colagem feitas em laboratório recebem muito mais atenção do que as executadas em

ambos. Algumas pesquisas indicam que não há praticamente diferença nos valores da resistência de colagem, utilizando-se ou não agentes de colagem. Então, por que usá-los? A questão é muito simples e resume-se ao modo de como rompe o teste e, propriamente, ao valor da resistência de adesão encontrada. Quer dizer, dois testes podem apresentar valores iguais de resistência de colagem. No entanto, o melhor

#### GLOSSÁRIO

**Fluência** – aumento da deformação no concreto, com o correr do tempo, quando submetido a carga constante. Deformação lenta dependente do tempo que ocorre sob tensão constante.

**Látex** – dispersão microscópica com resina sintética em meio aquoso. As resinas sintéticas mais empregadas são acrílicas e as de acetato de polivinila (PVA).

**Epóxi** – resina sintética resultante da combinação química da epícloroidrina e bisfenol. Número quantidade de polímeros formados por condensação, feitos pela reação da epícloroidrina com substâncias polihídricas como os fenóis, glicóis e novolacs.

## ADESIVO EPÓXICO 38



O concreto é o mais versátil e econômico material para a construção. Ninguém discute. O ADESIVO EPÓXICO 38 é o resultado da evolução da arte de colar concreto. Possui a mais alta tecnologia de colagem entre concreto fresco/endurecido (juntas de concretagens) ou concreto e aço. Possui a melhor performance para "soldar" trincas de pisos, colagem entre superfícies de concreto endurecido (peças estruturais pré-moldadas), fixação de apoios de pontes, placas de comportas de barragens, ancoragem de cabos e fixação de todo tipo de material de construção. O moderníssimo EPÓXI 38 é formulado com consistência fluida, tixotrópica para pega ultra rápida e para imprimação. Conheça hoje mesmo a mais moderna tecnologia em adesivos estruturais. Epóxis evoluem. Evolua você também. Colagem estrutural? EPÓXI 38.

### EPÓXI 38

Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 24

# Want Stronger Adhesion?



**O maior problema em serviços de pintura e recuperação estrutural é o descolamento.**

Teste pull-off ou de arrancamento é sua melhor garantia contra problemas de descolamento de pinturas, reparos e prejuízos.

Dispomos de testes **PULL-OFF** específicos para películas de pintura, inclusive de reforço estrutural com fibra de carbono, vidro estrutural e Kevlar, e camadas de argamassa/concreto nos serviços de recuperação. Não jogue com a sorte. Faça um **PULL-OFF**.

**PULL-OFF**  
Tele-atendimento  
(0XX21) 3154-3250  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 25

100% cimentícios adoram superfícies secas saturadas (SSS), ou seja, substratos saturados, sem qualquer presença de água livre, de modo que não absorvam qualquer água do agente de colagem. Por outro lado, agentes poliméricos pensam, ou melhor, atuam de maneira diferente: exigem substratos com poros secos. Faz sentido.

### Os agentes cimentícios

Sua aplicação é feita esfregando-se o agente contra o substrato com escovas ou com vassourões. Após sua aplicação, o material de recuperação deverá ser imediatamente aplicado. Em outras palavras, o agente jamais poderá secar antes da aplicação da massa de reparo.

### Os agentes 100% cimentícios

São formados por pastas ricas em cimento (água e cimento), argamassas cimentícias (água, muito cimento e areia fina) e concretos com dosagem semelhante à da recuperação, podendo-se adicionar uma pequena quantidade de pasta a mais. Em todas as três situações percebe-se que o material tem como característica um excesso de pasta cimentícia, de modo a preencher ou ancorar nos poros do substrato.

### Os agentes cimentícios modificados com látex

A adição de emulsões de latexes nos três tipos de agentes cimentícios citados acima aumenta a resistência de aderência. Sua inclusão é particularmente necessária e deve obedecer a norma ASTM C1059, quando a obra exige especificação rigorosa ou quando a interface de colagem fica sob tensão ou estressada o tempo todo. Atenção, pois nem

todos os latexes são compatíveis com a argamassa/concreto. Os permitidos são o acrílico, o estireno butadieno (SBR) e o acetato de polivinila (PVA). Os acetatos de polivinila reemulsificáveis não devem ser utilizados, pois reemulsionam quando submetidos a ciclos de secagem e molhagem.

### Os agentes cimentícios modificados com epóxi

Trata-se, simplesmente, de adicionar epóxi à base d'água com agentes cimentícios. Obviamente, em tese, seu uso está associado à aplicação em pequenas regiões e a ocorrência de níveis de tensões bem superiores na interface de colagem, devido ao seu custo. O pot-life destes agentes não costumam ser tolerantes. Se adicionarmos fumo de sílica ou areia bem fina na mistura, obtém-se um super agente, já que potencializa o poder de ancoragem nos poros do substrato. Claro, tudo precisa ser muito bem testado antes.

### Os agentes poliméricos

Estes espíões, quer dizer, estes agentes não andam armados com cimento portland. Sua munição é relativamente nova, pesada e, invariavelmente, à base de epóxi. Sua utilização é restrita a pequenas regiões e trabalham melhor em substratos secos. Alguns destes produtos funcionam como agentes duplos e aceitam superfícies úmidas e até molhadas para fazer seu trabalho. Seu crachá tem aquele alerta fundamental que norteia os agentes cimentícios: o material de recuperação/reforço tem que ser aplicado antes que o agente inicie pega, ou seja, no máximo até o momento em que a película epóxica permita o toque livre (impressão digital). Após, teremos uma superfície vítrea totalmente isenta de propriedades colantes. A



norma ASTM C881, "Sistemas para colagem de concretos à base de resinas epóxicas" oferece excelentes diretrizes para a execução do trabalho, assim como informa as propriedades de preparação necessárias para que o produto seja utilizado com segurança, como resistência de colagem, viscosidade, compatibilidade térmica e a temida retração. Como a maioria dos epóxis possuem insuficientes propriedades de fluência (creep) não devem ser utilizados como agentes de colagem em recuperações/reforços sujeitos a carregamento constante. Mais uma vez alertamos para o fato de que agentes de colagem não foram projetados para compensar a ausência de uma boa preparação da superfície. Na edição nº 75, da RECUPERAR, foram apresentados os passos necessários a uma boa preparação das superfícies.

fax consulta nº 26



**RECUPERAR**

Para ter mais informações sobre Fundamentos.

www.recuperar.com.br

### REFERÊNCIAS

- Mariana Tati é engenheira civil e trabalha no repairbusiness.
- Ohama, Y., and Shirohishida, K., Abrasion resistance of polymers - modified mortars.
- Ohama, Y., Comparison of properties with various polymer-modified mortars, in synthetic resins in building construction.
- Ohama, Y., Adhesion durability of polymer - modified mortars through ten year outdoor exposure, in polymer in concrete.
- Kobayashi, T. and Ohama, Y., Several physical properties of resin concrete, in polymers in concrete.
- Ohama, Y., Durability of polymer concrete.
- ASTM C1059 - Standard Specification for Latex Agents for Bonding Fresh To Hardened Concrete.



## Acabe com a rotina da manutenção.

**DENSOFLEX** é uma fita isolante da corrosão para fins industriais cujas características principais são elasticidade permanente e dupla camada. É prática e versátil. Atende às rigorosas normas alemãs DIN 30672 e DIN EN 12068 de aplicação em equipamentos e peças metálicas, enterradas ou não, assim como imersas em diversos fluidos. **DENSOFLEX** é composta de fibra de lã sintética impregnada com elastômero à base de hidrocarbonetos de última geração. O lado não aderente da fita **DENSOFLEX** é composto de filme de polipropileno de alta resistência, de modo a proteger seu elemento elastomérico aderente. **DENSOFLEX**, uma vez aplicada sobre superfícies metálicas é virtualmente impermeável à ação dos temidos vapor d'água e oxigênio, desencadeadores da corrosão. Duas camadas da Fita **DENSOFLEX** atende e excede as exigências da classe A-30 da norma DIN 36072 e DIN 12068 com relação a tensionamentos. **DENSOFLEX** é importada da Alemanha e caracterizada pela DIN-DVGW-Reg. N° NG-5180BM00.



USE  
**DENSOFLEX**  
Fita auto-aderente isolante da corrosão

**DENSOFLEX**  
Tele-atendimento  
produtos@recuperar.com.br  
Fax consulta nº 27