



**EngeGround**  
Consultoria e Engenharia

Construindo sobre  
bases sólidas



(21) 98808-4823 | 97226-7970  
contato@engeground.com.br  
www.engeground.com.br

RECUPERAÇÃO  
ESTRUTURAL

# SOLUÇÕES PARA PATOLOGIAS DA CONSTRUÇÃO



Soluções técnicas com a utilização de produtos e equipamentos de ponta, para uma ampla variedade de aplicações na engenharia civil.

A grande variedade de produtos, equipamentos e a experiência adquirida em diversos de projetos executados, permite-nos fornecer soluções de longo prazo, com estrita observância às vantagens de custo/benefício.



**EngeGround**  
Consultoria e Engenharia

(21) 98808-4823 | 97226-7970  
contato@engeground.com.br  
www.engeground.com.br



Danos causados por corrosão nas armaduras, podendo levar a estrutura ao colapso.



Sistema para monitoramento de trinca não demonstrando nenhuma movimentação.

## Sintomatologia

Tudo tem início com a identificação dos problemas que comprometem a estrutura. Equívocos na construção e planejamento, elementos de projeto inadequados, falta de compatibilidade entre os projetos, erros de dimensionamento e detalhamentos insuficientes são algumas das falhas que podem levar a patologias e, por consequência, à necessidade de recuperação.

Intervenções podem decorrer, ainda, de falhas na etapa executiva, devido à pouca experiência dos profissionais envolvidos, baixa qualidade dos materiais e componentes utilizados, deficiência na confecção de fôrmas e escoramentos e no posicionamento e quantidade de armaduras.

Entre as falhas que levam à necessidade de recuperação, a corrosão das armaduras é a mais comum e quase sempre está associada a insuficiência de cobertura, à excessiva permeabilidade do concreto ou à deficiência do sistema de impermeabilização da estrutura, que permitem a percolação de água e a lixiviação do hidróxido de cálcio. Juntas de dilatação, quando não-executadas com o devido cuidado, também permitem a ação de agentes agressivos. Assim como deformações excessivas em lajes e varandas, que causam desconforto visual, justificam o emprego de reforço estrutural.

Grande parte das patologias é resultado de utilização inadequada e de falta de manutenção apropriada. Vibrações geradas por cravação de estacas ou por máquinas instaladas no local, e até mesmo o tráfego de caminhões e trens, podem gerar sérios danos a elementos de concreto. Alterações de uso com o decorrente aumento das cargas podem exigir a realização de reforços. Esse é o caso dos viadutos e pontes, diante do aumento do fluxo e do peso dos veículos, ou de edificações industriais em ampliação e com novas máquinas. Há ainda os casos de estruturas danificadas por acidentes e incendiadas.



## Recuperação de Estruturas

Após rigorosas análises para identificação das causas da patologia deve ser definido o tipo de tratamento que será executado. Dependendo principalmente da patologia encontrada. A metodologia para recuperação de uma estrutura com corrosão, não é a mesma utilizada para tratamento de fissuras provocadas por deficiências de armadura. Da mesma forma, elementos de concreto armado com problema de reação álcalis-agregado (RAA) não podem receber o mesmo tratamento de um concreto que apenas possui deficiência de vibração ou adensamento.

É importante definir se a estrutura passará por processos de recuperação, reforço, ou por ambos. Nem sempre apenas a recuperação é recomendada para elementos estruturais em estágio avançado de degradação, onde também o reforço estrutural se faz necessário.

Em casos de recuperação, a solução é a recomposição da seção original das peças de concreto deteriorado e das armaduras. Como geralmente o problema é de corrosão das armaduras, é necessário a incorporação de anodos de sacrifício, para proteção de todo o sistema.



Após a limpeza das armaduras é feita a pintura com zinco líquido, quase 100% de sólidos, e a incorporação de anodos de sacrifício.



Recomposição das armaduras corroídas.



## Aumento da Capacidade de Carga

Quando se trata de reforço, algumas especificidades da obra - cronograma, disponibilidade de canteiro e orçamento - são consideradas no momento de definição da metodologia. Em situações em que a velocidade de execução é o item mais importante, podem ser utilizados materiais de cura rápida.

A metodologia tradicional para reforço de estruturas é o aumento das seções resistentes de vigas, pilares, lajes, tabuleiros de pontes e vigas-parede para elevar a capacidade de carga da estrutura. Nesse caso, uma nova camada de concreto é aplicada à superfície de concreto existente com o objetivo de produzir um elemento monolítico. Argamassas também são empregadas, assim como polímeros, particularmente em ambientes suscetíveis a ataques químicos. Outra técnica utilizada para reforço de elementos de concreto armado é a aplicação de protensão externa, que contribui para a redução das deformações e o aumento da capacidade portante.

Foi-se o tempo que a aplicação de reforço de estruturas com fibra de carbono era considerada cara. Hoje os tecidos (apenas o fio é importado) e as resinas empregadas já são fabricados no Brasil. Projetistas e calculistas têm dimensionado esta solução em vários projetos, sendo uma solução limpa e rápida, podendo ser aplicada sem interferir com a rotina local.



Reforço com fibra de carbono nas vigas de uma garagem subsolo.



Reforço em encontro de vigas e pilar.

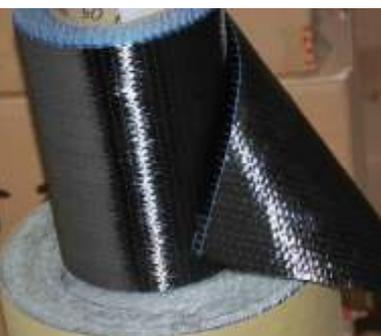
## Reforço com Fibra de Carbono

Estruturas de concreto armado/protendido frequentemente necessitam reforço. Muitas das vezes a necessidade de reforço é decorrente de vícios construtivos na fase da execução, devido alteração da destinação da estrutura ou da necessidade de adequação a novas condições de carregamento.

Os reforços aderidos externamente aos elementos estruturais representam uma alternativa moderna e de grande eficiência, com utilização cada vez mais difundida pelas grandes vantagens que oferecem.

A fibra de carbono é colada nas faces dos elementos estruturais com resinas especialmente desenvolvidas que permitem a transferência dos esforços da massa de concreto para o sistema composto, mobilizando-se as tensões tangenciais desenvolvidas quando da atuação dos esforços solicitantes.

Os sistemas compostos com fibras de carbono são constituídos por dois materiais principais: a fibra de carbono, elemento resistente do sistema, e a resina saturante, que conforma a matriz epoxídica do sistema. As resinas de saturação são utilizadas para a impregnação das fibras que constituem o elemento estrutural dos compostos, fixando-as no local e garantindo um meio efetivo para a transferência das tensões de cisalhamento entre as mesmas.



Manta de fibra de carbono





Reforço a flexão e cisalhamento.



Reforço em estruturas de ponte.

## Processo Construtivo do Sistema

Para a instalação do sistema de reforço com fibra de carbono é utilizada a seguinte sequência de procedimentos:

### Recuperação da estrutura

Para que seja garantida a instalação do sistema é fundamental que o substrato ao qual ele será aderido esteja íntegro e são, ou seja, que disponha de suficiente resistência mecânica para que sejam procedidas as transferências de esforços que acontecem na interface entre o concreto e o sistema composto.

Torna-se necessária a recuperação e a proteção catódica das barras de aço afetadas pelo processo corrosivo e a remoção e posterior recuperação das superfícies de concreto degradadas pela manifestação. Para tratamento da corrosão deverão ser instalados anodos de sacrifício.

Todas as trincas e fissuras existentes na estrutura a ser reforçada deverão ser recuperadas. Para tratamento das trincas e fissuras serão feitas injeções de resinas de baixa viscosidade para monolitização e selagem do concreto, reforçando-o e selando-o para prevenir futuros processos de corrosão das armaduras.

Todas as trincas e fissuras existentes na estrutura a ser reforçada deverão ser recuperadas. Para tratamento das trincas e fissuras serão feitas injeções de resinas de baixa viscosidade para monolitização e selagem do concreto, reforçando-o e selando-o para prevenir futuros processos de corrosão das armaduras.



Limpeza das armaduras para instalação da proteção catódica.





A aplicação de fibra de carbono no reforço do fundo de laje aumenta tanto a capacidade de carga sobre a laje como a resistência à flexão permitindo absorver maiores momentos positivos.

## Vantagens

- O sistema (fibra de carbono e resinas) é até 4 vezes mais leve que o aço.
- Após 20.000 horas de testes em ambientes com pH de 2 a 13, muito pouca ou nenhuma degradação foram observadas nas fibras de carbono. É necessária a aplicação de TopCoat para proteção. Dispomos de várias cores inclusive cor concreto.
- Pode ser aplicada em ambientes de trabalho com muito pouca interferência no local.
- A maioria das intervenções podem ser realizadas rapidamente.
- Embora os materiais empregados sejam caros, o custo global da intervenção é geralmente muito mais barato que os métodos tradicionais.



Calafetamento das trincas e fissuras e aplicação de resina.



Impermeabilização em Estação de Tratamento de Água

## O sistema de Injeção de Poliuretano tem como principais finalidades:

- Proteger estruturas de concreto, selando as trincas fissuras, de modo a impedir agressões externas;
- Estancar infiltrações, inclusive com fluxo de água intenso, garantindo a integridade da estrutura;
- Solidificar a estrutura, obtendo a monoliticidade original, no caso da injeção de poliuretano rígido.

As resinas de poliuretano apresentam baixa viscosidade, possuem excelente aderência, grande durabilidade, são isentas de solvente, se polimerizam com água e também são impermeáveis. Não poluem água potável.





Impermeabilização de parede diafragma em estacas prancha.

## Impermeabilização com Injeção de Poliuretano Solução para vedação de infiltrações

Estruturas enterradas de concreto armado como fundações, paredes de subsolos (diafragmas), assim como diversas outras estruturas civis, podem ter sua vida útil consideravelmente reduzida devido a problemas de corrosão e a várias patologias no concreto, que deterioram o uso da estrutura.

Sistemas de injeção para vedar e impermeabilizar com segurança este tipo de infiltração contribuem enormemente para promover economia nos elevados custos de recuperação de estruturas e acabamentos interiores danificados pelo acesso da água.

Nossos sistemas de injeção restauram a integridade estrutural e a capacidade de carga, proporcionando assim soluções de manutenção completas e duradouras. Reparando e selando fissuras, vazios e juntas.



Impermeabilização de parede diafragma em garagem de sub-solo





Remoção do concreto solto e deteriorado limpeza das armaduras

## Tratamento da Corrosão em Estruturas de Concreto Armado e Protendido

Resistividades baixas no concreto significam, invariavelmente, corrosão em suas armaduras. Esta patologia pode ser causada por diversos fatores. No caso de garagens de subsolos há, sempre, a predisposição para processos de carbonatação no concreto causados pelo acúmulo do monóxido de carbono além, claro, das infiltrações de águas contaminadas ou não por agentes clorados da limpeza, piscina, etc., que efetivamente, diminuem também a resistividade. Como parâmetro comparador, utiliza-se a tabela do Comitê Euro-Internacional Du Beton – CEB, que relaciona resistividade com probabilidade de corrosão.



Resistividade do Concreto k ohm.cm	Indicação de Probabilidade de Corrosão no Concreto Armado e Protendido
> 20	Desprezível
10 a 20	Baixa
5 a 10	Alta
< 5	Muito Alta

Após a limpeza das barras e a remoção das impurezas, é feita inserção do anodo de sacrifício.



**EngeGround**  
Consultoria e Engenharia

(21) 98808-4823 | 97226-7970  
contato@engeground.com.br  
www.engeground.com.br



## Ensaio de pH no Concreto

O ensaio do pH do concreto, que tem valor padrão aproximado de 12,5, evidencia o aspecto de sua alcalinidade característico, basicamente às custas da abundância do  $\text{Ca(OH)}_2$ , liberado da hidratação do concreto, e que é responsável pela manutenção do estado de passividade da superfície do aço das armaduras. Ou seja, este valor padrão garante valores quase que insignificantes para a velocidade da corrosão na superfície das armaduras.

Na medida em que esta alcalinidade é perdida, da superfície para o interior do concreto, o estado de passividade das armaduras é desestabilizado, abrindo caminho para a formação de pilhas de corrosão ao longo da superfície das armaduras. Esta perda de alcalinidade ocorre essencialmente pela ação do gás dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e em menor grau ao sulfeto de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), presentes intensamente na indústria petroquímica produtora de gases. Este fenômeno de diminuição do pH do concreto é denominada de carbonatação e deve-se particularmente à formação do ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) nos capilares do concreto, quando da presença de água, mesmo em estado de vapor.



Viga com sérios problemas de corrosão em suas armaduras.

## Ensaio de Sais Solúveis

Nenhum outro contaminante foi amplamente documentado na literatura como causador de corrosão nas armaduras do concreto armado como os sais cloretos. Estes íons podem ter contaminado o concreto de duas maneiras: através da água de amassamento, utilizada na fabricação do concreto (ou se a água do subsolo local tiver característica salgada), e através da névoa salina formada pela proximidade do mar.

A ação deste sal no concreto armado, potencializa processos de corrosão irreversíveis em suas armaduras. Geralmente promove processos de expansão na superfície do concreto, devido a formação, numa primeira etapa, do sulfato de cálcio (gesso), produto da reação dos íons sulfatos sobre o hidróxido de cálcio,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Numa segunda etapa, o íon sulfatado do gesso ataca os também abundantes aluminatos de cálcio, provocando a formação dos sulfoaluminatos de cálcio, genericamente chamado de etringita.



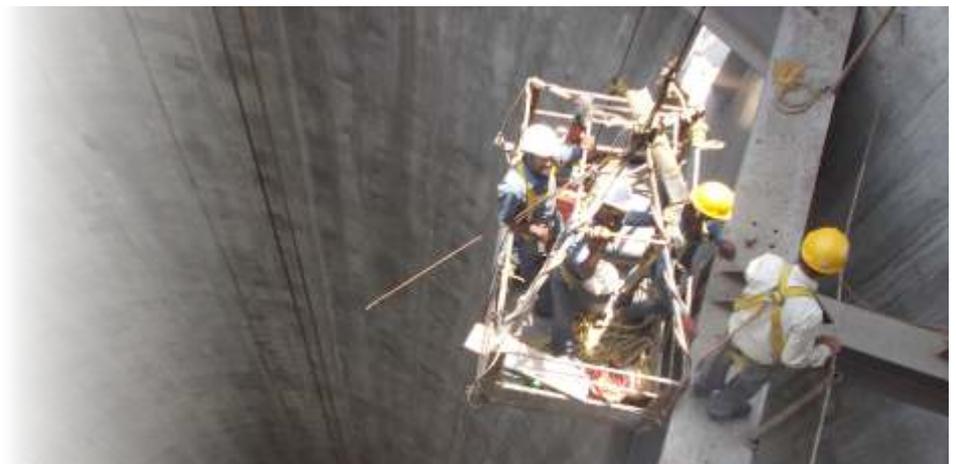


## Ensaio dos Potenciais de Corrosão com a Utilização de Semi-Pilha

A análise é realizada em todas as áreas da estrutura onde não se constatam sintomas visíveis de armaduras corroidas ou de deslocamentos da camada de recobrimento do concreto armado, ou seja, em regiões “aparentemente boas”, com o intuito da prevenção de futuros processos de corrosão.

A corrosão no concreto armado é um fenômeno eletroquímico, caracterizado por pilhas de corrosão formadas por regiões anódicas, onde ocorre corrosão ao longo das armaduras, e regiões catódicas, que não corroem e que literalmente alimentam aquelas regiões. Em uma estrutura comprometida por agentes agressivos, como a água, umidade, produtos químicos como cloro, gases como o monóxido de carbono, etc, existirão milhares de pilhas de corrosão, caracterizadas por diferenças de potenciais eletroquímicos (em milivolts), facilmente detectados com a Semi-Pilha.

De acordo com os valores das voltagens (potenciais) encontrados nos testes com a Semi-Pilha, pode-se presumir problemas futuros. A norma ASTM C876 normatiza este ensaio e, basicamente, informa que para valores de potenciais mais negativos que  $-350\text{mV}$  haverá probabilidade maior do que 90% de haver corrosão na região analisada.





Injeção de resina para recomposição da estrutura.

## Injeção de Resina Epóxi

Os sistemas de injeção de resina epóxi tem como finalidade:

- Proteger as estruturas de concreto.
- Recomposição da estrutura, promovendo sua monoliticidade, através do tratamento das trincas e fissuras.

No tratamento de peças estruturais é necessário utilizar materiais com alta resistência mecânica à compressão, à tração e ao cisalhamento. Resina epóxi é um dos materiais recomendados para o tratamento das trincas e fissuras. Com o desenvolvimento dos epóxios semi-rígidos, hoje a utilização das resinas não mais se restringem apenas ao tratamento de fissuras e trincas passivas, podendo ser utilizadas inclusive em juntas de dilatação.

Principais características dos epóxios:

- Isentos de solventes;
- Grande durabilidade;
- Excelente aderência ao substrato;
- Vai dos de baixa viscosidade, podendo penetrar em fissuras maiores ou iguais a 0,1 mm, aos tixotrópicos que podem ser aplicados verticalmente com espátulas.



## Escoramentos Emergenciais

Incidentes ou acontecimentos que ameaçam a segurança, saúde e bem-estar como estruturas em colapso, rupturas em encostas e taludes e estruturas incendiadas que necessitem de um pronto atendimento visando uma análise estrutural ou um escoramento de emergência.



**EngeGround**  
Consultoria e Engenharia

(21) 98808-4823 | 97226-7970  
contato@engeground.com.br  
www.engeground.com.br