

Potencial de Corrosão dos Solos em Cortinas Atirantadas

Larissa Roedel

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, larissa.roedel.8@gmail.com

Manuela Cabral Caetano

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, manuela.c.caetano@gmail.com

Ana Paula Mikos

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, anapaulamikos@hotmail.com

Vítor Pereira Faro

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, vpfaro@ufpr.br

Liamara Paglia Sestrem

Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil, liamara.ufpr@gmail.com

RESUMO: Estruturas de contenção são comumente utilizadas ao longo de rodovias e ferrovias a fim de garantir a estabilidade dos taludes, porém, como em qualquer tipo de construção, estão propensas a falhas. Registros históricos mostram que os principais acidentes em cortinas atirantadas no Brasil ocorreram, em boa parte, devido à ruptura dos tirantes por processos avançados de corrosão, refletindo a deficiência na proteção anticorrosiva da barra durante o processo executivo e a falta de proteção na cabeça dos tirantes. Em geral, a taxa de corrosão do aço enterrado depende das características físicas e químicas do solo e presença de água no maciço. Sendo assim, o desempenho e vida útil dos tirantes são determinados pela sua capacidade de resistir à corrosão. O presente trabalho objetiva revisar algumas propriedades dos solos utilizadas na avaliação do potencial corrosivo de solos em contenções com cortina atirantada.

PALAVRAS-CHAVE: Corrosão, Cortina Atirantada, Proteção Anticorrosiva, Ensaios de Laboratório.

1 INTRODUÇÃO

As principais cortinas atirantadas existentes no Brasil foram construídas na década de 1970 para estabilização de taludes próximos a rodovias e ferrovias. A partir da década seguinte, vários acidentes foram registrados, enfatizando a necessidade de um acompanhamento periódico do estado de conservação atual desses sistemas de estabilização, de modo a garantir a segurança dos usuários.

A ruptura de tirantes em cortinas atirantadas pode ser uma consequência da corrosão das barras, normalmente pela deficiência na proteção e falta de proteção na cabeça dos

tirantes. Instalações antigas não seguiam os procedimentos atuais de execução e, muitas vezes, os tirantes eram instalados sem nenhuma proteção anticorrosiva, além da passivação pela calda de cimento na porção tensionada. Contudo, o desempenho e a vida útil dos tirantes estão fortemente associados à sua capacidade de resistir à corrosão.

Em geral, a taxa de corrosão do aço enterrado depende das características físicas e químicas do solo. A caracterização geotécnica é pertinente na verificação do potencial corrosivo do solo, como resistividade elétrica, granulometria, capacidade de retenção e absorção de água, pH, presença de sais dissolvidos e matéria orgânica. A resistividade

elétrica do solo é um parâmetro importante para determinação da agressividade do solo e está associada à sua estrutura e quantidade de substâncias iônicas e matéria orgânica em sua composição.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cortina atirantada

O primeiro registro de obra de contenção executada com cortina atirantada no Brasil data de 1957, porém a disseminação da técnica ocorreu no início da década de 1970, muitas vezes substituindo os tradicionais muros de arrimos de gravidade e flexão (Ortigão *et al.*, 1995). A construção de cortinas atirantadas é feita de maneira progressiva e descendente de acordo com o avanço das escavações, podendo ser dividida nas seguintes etapas: escavação de corte para a primeira linha de tirantes, perfuração do solo e instalação do tirante e preenchimento do furo com nata de cimento, para formar o bulbo de ancoragem (trecho ancorado). Após o endurecimento dessa nata, os cabos do tirante são protendidos e ancorados junto às placas de concreto (Massad, 2010). O elemento resistente à tração dos tirantes pode ser constituído de fios, cordoalhas ou barras de aço.

A primeira norma brasileira foi a NB-565/75 – Estruturas Ancoradas no Terreno – Ancoragens Injetadas no Terreno – Procedimento, publicada em 1975. A norma em vigor é a NBR 5629 – Execução de Tirantes Ancorados no Terreno, de 2006.

2.2 Corrosão

A corrosão é a deterioração das propriedades de um metal pela reação química ou eletroquímica com o meio que o envolve (Serra, 2014). Para que esse processo ocorra, o metal deve estar em contato com outros elementos não metálicos, podendo acontecer ou não quando o material encontra-se sob esforços mecânicos.

Existem dois processos corrosivos, que diferem pela necessidade ou pela falta da presença da água. A corrosão química é um

processo que ocorre sem a presença da água, e precisa de temperaturas elevadas. Nela, ocorre uma interação direta entre o metal e o meio corrosivo, sendo normal em equipamentos que operam aquecidos.

A corrosão eletroquímica é a mais comum e seus processos demandam a presença de água, que atua como solução condutora de eletricidade, e uma diferença de potencial (ddp). Segundo Shiu e Cheung (2003), no caso de barras instaladas no solo, a água presente nos poros do solo é a solução condutora (eletrólito), que contém oxigênio e sais dissolvidos. A corrosão ocorre na superfície do aço, em regiões com diferença de potencial, normalmente na zona livre e próximo à cabeça, onde há maior presença de oxigênio, com formação de um composto pouco resistente e muito expansivo. Em cortinas atirantadas, que são executadas com aço protendido, existem fatores mais agravantes, uma vez que em cordoalhas ou fios, a corrosão é mais acentuada devido ao pequeno diâmetro do aço (Veríssimo e César Júnior, 1998).

Segundo Correia *et al.* (2014), a corrosão sob tensão é resultado da utilização de um material suscetível sob esforços de tração num ambiente agressivo, e também deve ser levada em consideração.

2.3 Falhas em cortinas atirantadas

Ortigão *et al.* (1995) afirmam que a experiência brasileira com cortinas atirantadas demonstra que a corrosão é o grande responsável por falhas quando a proteção anticorrosiva é inadequada, principalmente na cabeça do tirante. Segundo Irvin e Mothersille (2007), cortinas atirantadas são as estruturas de contenção com maior chance de colapso por corrosão. Tal característica reflete o fato de serem estruturas de aço protendido inseridas no maciço onde somente uma parte é protegida com calda de cimento, enquanto boa parte fica sob ação dos agentes externos existentes no solo. Os autores ainda afirmam que as consequências da corrosão em tirantes são preocupantes, já que a falha de um elemento pode causar sobrecarga nos tirantes adjacentes, podendo resultar no colapso da estrutura. Como

não existe acesso às partes enterradas da contenção, é de extrema importância atentar-se aos indícios externos de manifestações patológicas.

Pitta *et al.* (2006) e Peccin (2014) avaliaram obras com mais de 30 anos de execução em São Paulo e no Rio Grande do Sul e constataram que grande parte dos tirantes estavam soltos ou rompidos devido à processos avançados de corrosão. Os autores concluíram ainda que este tipo de patologia ocorre por deficiência na proteção anticorrosiva durante o processo executivo e falta de proteção na cabeça dos tirantes, e é recorrente normalmente em obras com mais de 30 anos. A primeira norma brasileira é de 1975, contudo, mesmo em vigor, Pitta *et al.* (2006) afirmam que algumas obras seguiam os procedimentos internos da empresa, não tomando os devidos cuidados na execução das contenções.

Machado e Mendes (2014) e Peccin (2014) também identificaram outras manifestações patológicas em cortinas atirantadas antigas, entre elas fissuras e trincas, lascas, eflorescências, líquens, exposição das cabeças e das placas dos tirantes e surgência de água em diversas regiões, salientando a importância da manutenção e integridade do paramento devido à sua função estrutural. A presença de água no maciço pode gerar um ambiente propício à corrosão, indicando grande importância de um sistema de drenagem eficiente na contenção.

Pitta *et al.* (2006) avaliaram um rompimento da cortina atirantada da estrada de ferro Santos-Jundiaí, no município de Santo André (SP). Após um dos painéis da cortina se movimentar, foi possível observar falhas graves nos tirantes devido à corrosão do aço junto à cabeça e insuficiência de drenagem interna. Após vistoria, constatou-se que a cortina não possuía nenhuma proteção anticorrosiva, apenas uma fina camada de plástico, como pode ser visto na Figura 1. Além disso, detectaram-se falhas na injeção da calda de cimento, e o sistema de drenagem estava obstruído.



Figura 1. Detalhe do tirante com corrosão acentuada (Pitta *et al.*, 2006)

Além da redução do fator de segurança dos taludes decorrente de danos estruturais, a ruptura de cortinas atirantadas também pode ocasionar danos nas rodovias, comprometendo a segurança e conforto dos usuários. No Rio Grande do Sul, um trecho da rodovia ERS-115 apresentou rachaduras e afundamento no pavimento, conforme mostra a Figura 2 devido à ruptura da cortina atirantada, ocasionando a interdição da estrada por aproximadamente um mês, o que gerou elevados danos sociais, ambientais e econômicos.



Figura 2. Danos na rodovia ERS-115 devido a ruptura de cortina atirantada. (MPRS, 2013)

2.3 Proteção Anticorrosiva

O principal objetivo de se proteger o tirante contra a corrosão é garantir que, durante a vida útil para a qual esse tirante foi projetado, não haja comprometimento da segurança da obra. Segundo a norma brasileira para tirantes ancorados no terreno (ABNT NBR 5629, 2006), essa proteção deve ser executada considerando a vida útil do tirante e o nível de agressividade do terreno.

O grau de agressividade do solo em que será instalado o tirante orienta a escolha do tipo de cimento mais adequado para a injeção. Os outros elementos de proteção devem atender alguns requisitos (ABNT NBR 5629, 2006):

- Vida útil maior ou igual à do tirante;
- Não reagir quimicamente com o meio;
- Não restringir o movimento do trecho livre;
- Apresentar materiais com deformações compatíveis às do tirante;
- Não trincar ou envelhecer sob tensão;
- Ser resistente ao transporte, montagem, instalação e protensão do tirante.

A proteção deverá ser composta por um ou mais dos seguintes itens: tintas e resinas, como Epoxy; fluidos a base de betume; tubos; graxa; nata ou argamassa à base de cimento e tratamento superficial de galvanização ou zincagem, como descrito na ABNT NBR 5629 (2006).

Testes realizados por Correia *et al.* (2014) mostraram que a deficiência na proteção anticorrosiva do tirante torna a corrosão sob tensão especialmente crítica, pois permite o acesso da água e de elementos agressivos ao local. O rompimento das ancoragens ocorre normalmente no comprimento livre, o que sugere uma maior agressividade local.

2.3.1 Proteção Simples

A proteção consiste de uma barreira física, cuja integridade deve ser garantida durante a instalação. O trecho livre é protegido por injeção de calda de cimento, que passiva a barra de aço, juntamente com um tubo de polietileno, e no trecho ancorado há os espaçadores, que garantem o cobrimento adequado do bulbo. De acordo com a ABNT NBR 5629 (2006) uma proteção simples deve ser utilizada somente em tirantes provisórios em meio não agressivo.

2.3.2 Proteção Dupla

De acordo com Irvin e Mothersille (2007), a proteção dupla consiste em duas barreiras impermeáveis entre o tirante e o solo; a proteção externa garante a integridade da proteção interna caso houver qualquer problema durante a instalação ou transporte dos mesmos.

O trecho livre é protegido por uma injeção de

calda de cimento e tubo de polietileno, e o trecho ancorado é protegido por injeção de calda de cimento e bainha de metal, além dos espaçadores para o cobrimento adequado do bulbo, como pode ser visto na Figura 3. A calda de cimento atua como passivadora da barra.

Esse tipo de proteção deve ser utilizado em tirantes permanentes instalados em qualquer tipo de agressividade do solo, e em tirantes provisórios instalados em meios muito e medianamente agressivos (ABNT NBR 5629, 2006).

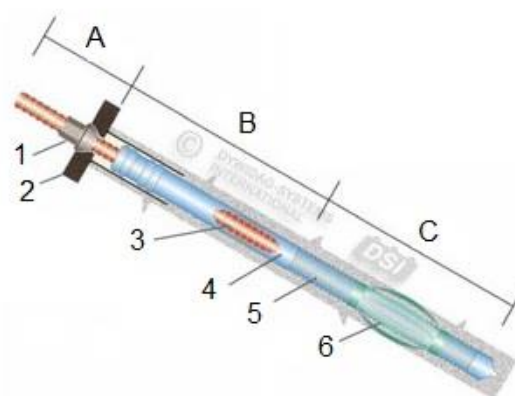


Figura 3. Proteção Dupla: A) Cabeça do tirante; B) Trecho livre; C) Trecho ancorado; 1) Porca; 2) Placa de ancoragem; 3) Barra de aço; 4) Tubo de polietileno; 5) Bainha metálica; 6) Espaçador. (Dywidag, 2016)

2.3.3 Pintura em Epóxi

As barras de tirantes podem ser cobertas com uma camada de resina Epóxi, que é um plástico termofixo de alta resistência. O benefício dessa camada, segundo Irvin e Mothersille (2007), é que sua aplicação e sua composição química não interfere na aplicação da tensão. Sua desvantagem é a ocorrência de falhas na resina durante o transporte das barras, uma vez que a cobertura de Epóxi é rígida e suscetível à perda de lascas. Reparos no local de instalação podem ser demorados, visto que cada barra poderá apresentar várias falhas, como pode ser visto na Figura 4.



Figura 4. Perda de lascas da camada de Epoxy. (Irvin e Mothersille, 2007)

2.3.4 Metal de Sacrifício

O metal de sacrifício é qualquer metal utilizado com o objetivo de ser oxidado no lugar de outro. Os mais utilizados são o zinco e o magnésio, pois apresentam menor poder de redução do que o metal da estrutura. Tal processo ocorre por meio da eletrólise, em que o metal a ser revestido funciona como cátodo, e o metal que irá revestir como ânodo.

Esse método é largamente conhecido como método de proteção de barras de aço expostas. Seu uso é popular em instalações de baixo risco, como em solo grampeado, porém, em obras de risco mais elevado, como em cortinas atirantadas, não apresenta alta confiabilidade (Irvin e Mothersille, 2007).

2.3.5 Observações

Correia *et al.* (2014) indicam que o aço sujeito a protensão, utilizado em tirantes, pode apresentar ruptura frágil devido às falhas no sistema de proteção em zonas de acoplamento entre dois componentes diferentes. Desse modo, os autores recomendam cuidados especiais em relação à selagem do sistema de proteção. Para garantir a segurança, também se deve dar atenção especial ao ambiente que envolve o tirante e seu grau de agressividade, para escolha de materiais adequados à obra em questão.

Nos testes realizados pelos autores, observou-se ainda que se a bainha estiver emendada com outra bainha, essa zona de acoplamento fica mais sujeita a corrosão sob tensão, enquanto que se a bainha estiver contínua, não houve corrosão. Na Figura 5, pode-se perceber a diferença dos estágios da corrosão sob tensão, relacionado à presença ou não da proteção anticorrosiva.



Figura 5. Detalhes de um trecho do aço na zona de acoplamento entre bainhas. (Correia *et al.*, 2014)

À direita a proteção encontra-se intacta, enquanto as outras encontram-se em fase sucessiva de remoção do sistema de proteção

2.4 Caracterização geotécnica

Segundo Serra (2014), nos estudos de corrosão, a análise química dos solos está limitada à determinação dos componentes que são solúveis em água. A natureza, quantidade de sais e teor de umidade do solo determinam sua capacidade de conduzir corrente elétrica. Já as características físicas dos solos que têm influência no processo de corrosão são as que determinam a permeabilidade do mesmo, como a granulometria e proveniência e constituição mineralógicas.

2.4.1 Capacidade de retenção e absorção de água

De acordo Serra (2014), a capacidade de retenção de água do solo expressa o equilíbrio entre as forças de gravidade e capilaridade, que pode ser traduzida na quantidade de água que poderá ser absorvida até a saturação. O procedimento segundo normas internacionais, consiste em fazer uma pasta homogeneizada com o solo, colocar tal pasta sobre um papel de filtro e determinar o tempo de esgotamento da água presente no solo; após isso, deve se calcular o teor de umidade. O teor de umidade também é importante para conhecer o grau de agressividade do solo. O procedimento consiste em pesar uma mesma amostra do solo úmido e seco. O teor de água da amostra será uma porcentagem em peso.

2.4.2 Resistividade elétrica

A resistividade elétrica indica a capacidade de o solo permitir a passagem de uma corrente elétrica. Segundo Boszczowski e Silva (2014), a resistividade de um solo está diretamente relacionada à quantidade de compostos iônicos solúveis presentes, quanto maior essa quantidade, menor a resistividade. É a água que dissolve esses compostos; portanto, se não houver água, não há dissolução de compostos iônicos e não há passagem de corrente. Para determinação da resistividade elétrica, pode-se utilizar geofísica em campo, e em laboratório existe um dispositivo denominado caixa de solo. Para maior representatividade dos dados, é preferível que o ensaio seja realizado em campo, a fim de manter as propriedades originais do solo.

2.4.3 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) representa a concentração de íons de hidrogênio no solo, para determinar seu grau de acidez ou de alcalinidade. É uma característica importante que influencia as propriedades químicas e físicas do solo. A resposta à corrosão dos metais varia conforme a variação do pH do eletrólito no qual estão inseridos.

De acordo com Brady e Weil (2009), dois dos principais processos que promovem a acidificação dos solos são a geração de íons de hidrogênio e a lixiviação de cátions básicos pela percolação; logo, a precipitação pluvial anual está relacionada a esse efeito, pois em ambientes com muita chuva, dificilmente ocorre acúmulo de sais.

A determinação dessa propriedade pode ser realizada em campo com eletrodos, quando não se deseja alterar as condições naturais do solo, ou em laboratório, utilizando-se amostras do solo. A acidez do solo é determinada pela quantidade de hidróxido de sódio que deve ser adicionado a 1 kg de solo, para que o pH chegue a 7. De forma semelhante, a alcalinidade do solo é determinada pela quantidade de ácido clorídrico que deve ser adicionado a 1 kg de solo, para que o pH chegue a 7 (Serra, 2014).

2.4.4 Sais solúveis

A natureza e quantidade de sais, juntamente com o teor de umidade do solo, determinam a capacidade de condução de corrente elétrica. A concentração de sulfatos, sulfetos e cloretos é diretamente proporcional à capacidade de condução de corrente elétrica do solo, e consequente aumento da ocorrência de corrosão. No entanto, carbonatos pode reduzir a taxa de corrosão (Shiu e Cheung, 2003). Os sais presentes no solo geram grande influência nos valores de resistividade elétrica e pH.

2.4.5 Granulometria

Ensaio de granulometria e sedimentação são importantes para determinar a distribuição granulométrica do solo, a fim de avaliar a permeabilidade ao ar e à água. Segundo Shiu e Cheung (2003), solos finos são potencialmente mais corrosivos que solos granulares, pois apresentam uma circulação de ar menor nos poros (aeração) e maior capacidade de retenção de água, resultando em baixa capacidade de drenagem.

3. DISCUSSÃO

As propriedades do solo de uma determinada contenção podem variar em épocas secas e chuvosas. Atividades humanas também podem elevar o potencial corrosivo, principalmente quando rejeitos são lançados ao solo (resíduos industriais, esgotos, fertilizantes). Por isso, na caracterização do solo, o ideal é a realização de ensaios químicos e de resistividade elétrica *in-situ*, a fim de obter melhor representatividade.

Existem diversos métodos na literatura internacional para avaliar o potencial corrosivo dos solos. Tais métodos levam em consideração um sistema de pontos: se o solo possui uma característica favorável à resistividade, os pontos pré-determinados são positivos, e se o solo possui uma característica desfavorável, os pontos são negativos. As influências das características do solo em seu potencial corrosivo são demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1. Influência das características do solo no seu potencial corrosivo

Propriedade do solo	Padrão de Potencial Corrosivo
Granulometria	Quanto menor o diâmetro das partículas (mais finos), maior é o potencial corrosivo;
Resistividade do Solo	Quanto menor a resistividade, maior é o potencial corrosivo;
pH	Quanto mais ácido, maior o potencial corrosivo; pH < 6 (ABNT NBR 5629, 2006)
Sais Solúveis	Quanto maior a concentração de cloretos, sulfatos e sulfetos maior o potencial corrosivo do solo. No entanto, carbonatos são considerados retardadores de corrosão.

4 CONCLUSÃO

As patologias relacionadas à processos corrosivos são uma das principais responsáveis por falhas em cortinas atirantadas. Para que estas obras apresentem o desempenho desejado, as barras devem ter a capacidade de resistir à corrosão. Os principais fatores que devem ser levados em consideração no projeto são: proteção anticorrosiva das barras, proteção da cabeça do tirante e inserção de dispositivos de drenagem eficientes.

Análises que avaliem o potencial corrosivo do solo, permitem determinar qual a melhor proteção anticorrosiva a ser aplicada nas barras em estruturas de cortinas atirantadas. Propriedades como a presença de água ou altos índices de umidade, baixa resistividade elétrica, valores de pH inferiores à 6 (solo ácido), presença de sais dissolvidos e grande quantidade de finos, podem gerar um aumento do potencial de corrosão do solo.

Quando se trata de estruturas de contenção, a proteção anticorrosiva é muito importante, visto que muitos acidentes ocorrem devido à corrosão. O tipo de proteção é definido conforme a vida útil do tirante e o nível de agressividade do terreno

(ABNT NBR 5629, 2006). Em obras permanentes deve ser utilizada proteção dupla, o que consiste em no mínimo duas barreiras físicas contra a corrosão em toda extensão do tirante. Deve ser dada importância nas emendas para garantir a continuidade da proteção.

Em obras existentes, não é possível aplicar proteção anticorrosiva, contudo deve-se garantir que o tirante não esteja com a cabeça exposta e que não exista acúmulo de água no maciço. Para isso, devem ser realizadas inspeções visuais e manutenções preventivas periodicamente, a fim de detectar manifestações patológicas e indícios de falhas de drenagem pois, um sistema de drenagem eficiente e bem executado é essencial para evitar a corrosão dos tirantes. Todas as medidas contra a corrosão devem ser tomadas a fim de evitar maiores acidentes e impactos ambientais, sociais e econômicos.

REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2006) *Execução de Tirantes Ancorados no Terreno (NBR 5629)*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Boszczowski, R.B. e Silva J.M. (2014) *Avaliação da Resistividade Elétrica de um Perfil de Solo Residual em Função do Intemperismo e Teor de Umidade*. Curitiba, PR, Brasil. 6p.
- Brady, N. C. e Weil, R. R. (2009). *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. Bookman. Brasil, Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 716p.
- Correia, M.J., Salta, M.M. e Baptista, A.M. (2014) *Corrosão Sob Tensão em Ancoragens*. Lisboa, Portugal. 7p.
- Dywidag (2016) *Sistemas DYWIDAG- Ancoragens em Solos e Rochas*. Protendidos DYWIDAG Ltda. Disponível em <<http://www.dywidag.com.br/produtos/sistemas-geotecnicos/sistemas-dywidag-ancoragens-em-solos-e-rochas/tirantes.html>>. Acesso em 15/03/2016.
- Irvin, C. e Mothersille, D.K.V. (2007) Corrosion protection options for permanent ground anchorages, *Proceeding of the International Conference on Ground Anchorages and Anchored Structures in Service*, Londres, Reino Unido. 11p.
- Machado, A. X.; Mendes, L. C. Durabilidade e vida útil de estruturas de contenção de encosta situadas na cidade do Rio de Janeiro. VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas. 2014. 10p.
- Massad, F. Obras de Terra. Editora Oficina de Textos, São Paulo, 2010. 216p.
- MPRS. MP ajuíza ação para evitar deslizamentos no Polo

Rodoviário de Gramado. Ministério Público do Rio Grande do Sul, 28 de maio de 2013. Disponível em: <<http://www.mprs.mp.br/civel/noticias/id32034.html>>. Acesso em: 24/09/2015.

- Peccin, A. S. Cortinas atirantadas: verificação da segurança estrutural após o rompimento de tirantes. Trabalho de Graduação. Bacharel em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. 112 p.
- Pitta, C.A., Souza, G.J.T., Zirlis, A.C., Ferreira, J.F.C (2006). Quanto tempo durarão as cortinas atirantadas executadas a partir da década de 70? 30 anos? *XIII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*. Curitiba, PR, Brasil. 7p.
- Serra, E.T. (2014) *Corrosão e Proteção Anticorrosiva dos Metais no Solo*. 1ª ed, Rio de Janeiro, RJ. 180 p.
- Shiu, Y. K.; Cheung, W. M. Long-term durability of steel soil nails. Geo Report 135. Geotechnical engineering office. Civil engineering and development department. Junho: 2003. 66p.
- Veríssimo, G. S.; César Junior, K. M. L. (1998) Concreto Protendido: Fundamentos Básicos. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. 78 p.
- Ortigão, J. A. R., E. M. Palmeira, and A. C. Zirlis. "Experience with soil nailing in Brazil: 1970-1994." *Proceedings of the institution of civil engineers: geotechnical engineering*. Londres, Vol. 113. No. 2. Abril; 1995. p 93-106.