XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.5/63

Estudo de Caso: Estabilização de Fundação de Muro de Solo Reforçado com Colunas de CCP e Dique de Enrocamento - BR-163/364/MT

Alexandre Gil Batista Medeiros
Analista de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Brasília, Brasil, alexandre.medeiros@dnit.gov.br

Alexandre Menezes Resque De Oliveira
Engenheiro Civil Sênior, DNIT, Brasília, Brasil, alexandre.menezes@dnit.gov.br

Gabriella Melo de Deus Vieira
Engenheira Civil Plena, DNIT, Brasília, Brasil, gabriella.vieira@dnit.gov.br

Francesca Emmanuelle Leite Viana Abreu
Analista de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Brasília, Brasil, francesca.abreu@dnit.gov.br

José Bruno Primo Do Nascimento
Engenheiro Civil Pleno, DNIT, Brasília, Brasil, jose.primo@dnit.gov.br

Maria Biancra Silva De Sousa
Analista de Infraestrutura de Transportes, DNIT, Cuiabá, Brasil, maria.biancra@dnit.gov.br

RESUMO: O estudo de caso trata de um ponto crítico localizado no km 277+300 da rodovia BR-163/364, no estado de Mato Grosso, que apresentou instabilidade devido à sobrecarga dos aterros executados para a duplicação da rodovia, em conjunto com as condições hidrogeológicas locais. O movimento de massa resultou na interdição da pista Norte e na decretação de situação emergencial. A solução inicial adotada consistiu na execução de um muro de solo reforçado com faceamento em gabiões (técnica Terramesh conectada a geogrelhas de poliéster de alta tenacidade), com extensão de 217 m. Contudo, após quatro meses da conclusão da obra, verificaram-se trincas e depressões significativas no pavimento, agravadas durante o período chuvoso. Com base em novas investigações geotécnicas - sondagens SPT e rotativas (executadas para a instalação de cinco inclinômetros) e perfilagens geoelétricas - constatou-se a presença de uma sequência estratigráfica composta por aterro superficial, camada siltosa-argilosa com resistência crescente e marga alterada sobre rocha, indicando movimentação na fundação do muro sobre um plano de fraqueza da rocha, até então não identificado nas etapas anteriores de investigação e projeto. As anomalias de condutividade sugeriram a presença de falhas normais possivelmente influenciadas por processos hidrotermais. Diante dessas evidências, a nova solução geotécnica consistiu no tratamento da fundação a jusante da contenção por meio de colunas de Cement Churning Pile (CCP), dispostas em duas zonas: uma cortina descontínua de colunas subverticais e contrafortes de colunas verticais, complementadas por um dique de enrocamento com 3 m de crista e taludes de declividade 1V:1,2H. As colunas, com 14 a 16 m de comprimento, ultrapassaram a superfície da marga, assegurando a interceptação das descontinuidades. A instrumentação pós-obra, composta por cinco inclinômetros com 20 m de profundidade, foi monitorada em três campanhas de leituras sucessivas após sete meses da finalização da obra. As leituras indicaram deslocamentos máximos de 1,1 cm, valores compatíveis com a acomodação natural do aterro e inferiores aos limites de alerta para obras dessa natureza. Os fatores de segurança obtidos confirmaram estabilidade global satisfatória e ausência de movimentações críticas. Conclui-se, portanto, que o tratamento com colunas de CCP, associado ao dique de enrocamento, apresentou desempenho adequado para estabilização da fundação e controle de deslocamentos, configurando-se como uma alternativa eficaz para a estabilização de fundações rochosas com planos de fraqueza.

PALAVRAS-CHAVE: Estabilização de Taludes, Recuperação Estrutural, Solo Reforçado, Contenções, Pavimentação.

ABSTRACT: The case study concerns a critical point located at km 277+300 of highway BR-163/364, in the state of Mato Grosso, Brazil, which exhibited instability due to the overload imposed by the embankments constructed for the highway duplication, combined with the local hydrogeological conditions. The mass movement resulted in the closure of the northbound lane and the declaration of an emergency situation.
The initial solution adopted consisted of the construction of a reinforced soil wall with gabion facing (Terramesh technique connected to high-tenacity polyester geogrids), extending for 217 m. However, four months after completion of the work, significant cracks and depressions were observed in the pavement, which worsened during the rainy season. Based on new geotechnical investigations—SPT and rotary boreholes (performed for the installation of five inclinometers) and geoelectrical profiling—the presence of a stratigraphic sequence composed of superficial embankment material, a silty-clayey layer with increasing strength, and weathered marl overlying rock was identified. These conditions indicated movement occurring in the foundation of the wall along a weakness plane within the rock, which had not been identified in the previous stages of investigation and design. Conductivity anomalies suggested the presence of normal faults possibly influenced by hydrothermal processes. In light of these findings, the new geotechnical solution consisted of treating the foundation downstream of the retaining structure through Cement Churning Pile (CCP) columns arranged in two zones: a discontinuous curtain of subvertical columns and buttresses formed by vertical columns, complemented by a rockfill dike with a 3 m crest and side slopes of 1V:1.2H. The columns, with lengths ranging from 14 to 16 m, extended beyond the marl surface, ensuring interception of the discontinuities. Post-construction instrumentation, consisting of five inclinometers with a depth of 20 m, was monitored through three successive reading campaigns conducted seven months after the completion of the works. The readings indicated maximum displacements of 1.1 cm, values compatible with the natural settlement of the embankment and below the alert limits typically adopted for structures of this nature.
The calculated safety factors confirmed satisfactory global stability and the absence of critical movements. It is therefore concluded that the foundation treatment with CCP columns, combined with the rockfill dike, presented adequate performance for foundation stabilization and displacement control, representing an effective alternative for stabilizing rock foundations containing weakness planes.

KEYWORDS: Slope Stabilization, Structural Rehabilitation, Reinforced Soil, Retaining Structures, Pavement.

1 INTRODUÇÃO

Deslizamentos de encostas e instabilidades em taludes constituem um dos principais problemas geotécnicos associados à infraestrutura de transportes no Brasil. Todos os anos são registrados episódios de movimentos de massa em diferentes regiões do país, frequentemente relacionados a períodos de chuvas intensas, condições geológicas desfavoráveis e intervenções antrópicas em encostas naturais. Esses eventos podem provocar danos significativos à infraestrutura rodoviária, interrupções no tráfego e elevados custos de recuperação, além de representar riscos à segurança dos usuários. Estudos indicam que grande parte dessas ocorrências está associada à presença de solos tropicais altamente intemperizados, elevada pluviometria e ocupação ou modificação de encostas sem adequada investigação geotécnica (Vargas & Pichler, 1957; Abramson et al., 2002; Wyllie & Mah, 2004).

No contexto da malha rodoviária federal, diversos episódios de instabilidade têm sido registrados ao longo dos últimos anos, afetando taludes de corte, aterros rodoviários e estruturas de contenção associadas às rodovias. Esses movimentos podem resultar em rupturas de taludes, recalques em aterros ou deformações no pavimento, podendo levar à interdição parcial ou total das vias. Tais ocorrências são mais frequentes em trechos implantados em regiões com geologia complexa ou relevo acidentado, onde eventos pluviométricos intensos e alterações no estado de tensões do maciço decorrentes das obras rodoviárias podem favorecer a mobilização de superfícies de ruptura.

Diante da recorrência desses problemas, o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) tem ampliado os programas de gestão e manutenção das estruturas associadas às rodovias federais. Nesse contexto, destaca-se o Programa de Manutenção e Reabilitação de Estruturas - PROARTE, originalmente voltado às Obras de Arte Especiais (OAEs), como pontes e viadutos, cujo escopo passou a incluir também estruturas de contenção por meio da Instrução Normativa nº 9/2022, reconhecendo a importância dessas estruturas para a estabilidade da plataforma rodoviária e segurança operacional da via.

Apesar desses avanços, a execução de obras de estabilização em rodovias em operação apresenta desafios operacionais relevantes. Grande parte da malha rodoviária brasileira é composta por rodovias de pista simples, nas quais intervenções em taludes e contenções frequentemente exigem interferências na própria plataforma da via, demandando desvios provisórios, operações em sistema de pare-e-siga ou até mesmo interdições temporárias.

No contexto de obras rodoviárias, estruturas de solo reforçado com geossintéticos têm sido amplamente empregadas na estabilização de aterros e taludes devido à rapidez construtiva e ao bom desempenho estrutural. Entretanto, o desempenho dessas estruturas depende fortemente das condições de fundação, sendo que a presença de planos de fraqueza ou zonas de baixa resistência no substrato pode comprometer a estabilidade global do sistema (Koerner, 2012; FHWA, 2009; Palmeira, 2018). Nesses casos, técnicas de melhoramento do solo, como colunas de mistura profunda ou jet grouting, podem ser utilizadas para aumentar a resistência e a rigidez do maciço (Mitchell & Soga, 2005; FHWA, 2013).

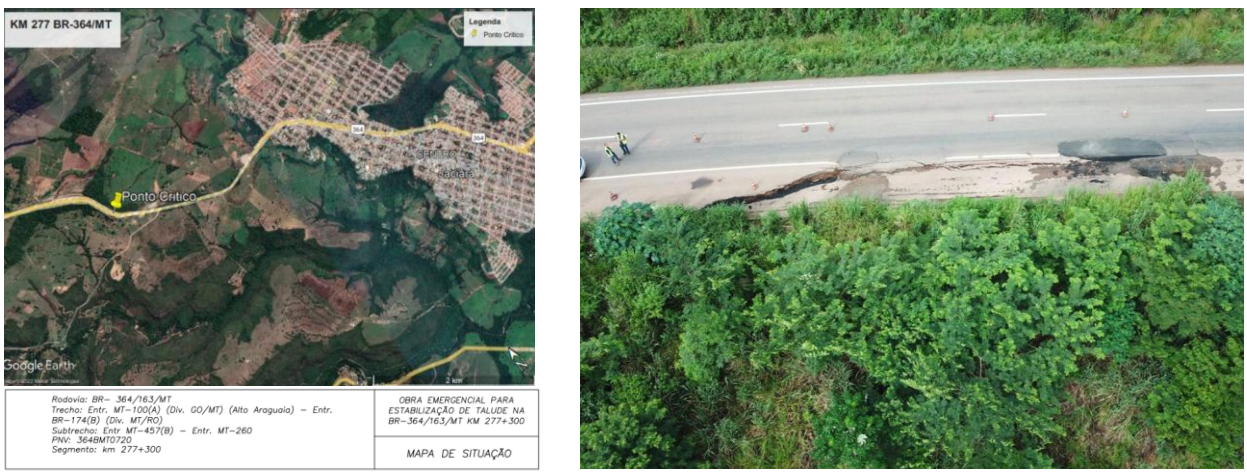
Nesse contexto, o presente trabalho apresenta um estudo de caso de instabilidade ocorrido em um trecho da rodovia BR-163/364, no estado de Mato Grosso, associado à movimentação da fundação de um muro de solo reforçado implantado durante as obras de duplicação da rodovia. O artigo descreve o diagnóstico geotécnico do problema, a solução de estabilização adotada por meio de colunas do tipo Cement Churning Pile (CCP) associadas a um dique de enrocamento e o desempenho da intervenção avaliado por meio de instrumentação geotécnica.

2 METODOLOGIA

Este trabalho apresenta um estudo de caso localizado nas rodovias federais BR-163/364, no estado de Mato Grosso. O movimento inicial de massa aparentemente ocorreu de forma progressiva, estando associado à sobrecarga dos aterros executados durante as obras de duplicação da rodovia, bem como às condições geológicas e hidrogeológicas locais. O talude da região apresenta predominância de rochas argilosas, como lamitos e folhelhos, parte das quais contém argilominerais potencialmente expansivos, característica que pode influenciar o comportamento geomecânico do maciço.

Em janeiro de 2022, os primeiros indícios de movimentação tornaram-se perceptíveis na pista. Com a evolução do processo de deformação, os deslocamentos passaram a se intensificar e, em 13 de fevereiro de 2022, as manifestações tornaram-se suficientemente expressivas para justificar a interdição da pista Norte da rodovia, em função dos riscos à segurança viária.

A Figura 1a apresenta o mapa de localização do trecho em estudo, enquanto a Figura 1b ilustra os primeiros indícios do processo erosivo observado na área.



a) b)

Figura 1. Estudo de caso: a) Localização; b) Início do processo erosivo.

Após a interdição, inicou-se a remoção do material escorregado, onde puderam ser observados movimentos secundários de massa. Conforme as investigações geotécnicas locais, foam observadas duas possíveis superfícies de ruptura, com componentes de translação dentro da rocha e no contato do colúvio com

a rocha. Dessa forma, como primeira solução, foi implantando um sistema de contenção em muro de solo reforçado com faceamento em gabiões, com extensão aproximada de 217 m, utilizando a técnica Terramesh associada a geogrelhas de poliéster de alta tenacidade. A Figura 2 retrata a solução implementada.



Figura 2. Solução de contenção em muro de solo reforçado com face em gabião.

No entanto, após cerca de quatro meses da conclusão da obra, surgiram manifestações patológicas relevantes no pavimento da pista Norte, incluindo trincas longitudinais e depressões significativas, indicando movimentações na fundação da estrutura. A evolução das patologias durante o período chuvoso levou à realização de novas investigações geotécnicas e à necessidade de desenvolvimento de uma outra solução de estabilização emergencial.

Então começaram as investigações geotécnicas. Foram realizadas campanhas de sondagens do tipo SPT em diferentes etapas da investigação. As sondagens atingiram profundidades relativamente reduzidas, possivelmente devido ao encontro com estratos de rocha ou saprólito. De modo geral, os resultados indicaram a presença de uma camada superficial de aterro, seguida por um horizonte de solo de textura siltosa a argilosa, com resistência crescente com a profundidade, sobrejacente a uma camada de rocha alterada.

Complementarmente, foram incorporados ao modelo geotécnico os dados provenientes de cinco sondagens rotativas executadas para a instalação de inclinômetros. Os resultados dessas investigações indicaram a presença de uma camada superficial de aterro sobrejacente a uma unidade de marga com diferentes graus de alteração. Em função do elevado grau de intemperismo observado em parte desse material, as porções mais alteradas foram interpretadas como solo residual na elaboração do modelo geotécnico, enquanto os trechos menos alterados foram considerados como rocha alterada de baixa resistência. Essa transição entre solo residual e rocha alterada foi considerada um elemento relevante para a compreensão do comportamento mecânico do maciço e para a definição das superfícies potenciais de ruptura.

Além das investigações diretas, foram analisadas duas perfilagens geoelétricas executadas paralelamente ao eixo da rodovia. Os resultados dessas campanhas indicaram a presença de anomalias de condutividade elétrica ao longo do maciço, possivelmente associadas a zonas de fraturamento ou falhas normais. Tais descontinuidades estruturais podem ter sido intensificadas por processos hidrotermais, contribuindo para o enfraquecimento local da rocha e para a formação de superfícies preferenciais de cisalhamento. A integração das informações obtidas por meio das sondagens, das leituras inclinométricas e das perfilagens geoelétricas permitiu refinar o modelo geotécnico da área e compreender de forma mais consistente o mecanismo de instabilidade que afetava o trecho.

Com base na interpretação das investigações e na identificação de planos potenciais de ruptura associados à interface entre o solo coluvionar e a rocha alterada, foi proposta uma nova solução de estabilização emergencial para o trecho. A solução consistiu no tratamento da fundação a jusante da contenção por meio da execução de colunas do tipo *Cement Churning Pile* (CCP), associadas à construção de um dique de enrocamento sobre a área tratada. As colunas foram dispostas em duas zonas de tratamento distintas: uma

cortina descontínua de colunas subverticais, destinada a interceptar as superfícies potenciais de ruptura, e contrafortes formados por colunas verticais, responsáveis por aumentar a resistência global do maciço e limitar deslocamentos.

Considerando que a superfície de descontinuidade identificada se encontra associada à camada de marga, as colunas foram projetadas para atravessar as camadas de solo e atingir essa unidade geológica, garantindo a interceptação do plano potencial de cisalhamento. Para permitir a penetração na marga, foi necessária a execução de pré-perfuração com equipamento rotopercussivo. Em trechos onde ocorre rocha mais competente, não se esperava a formação de colunas propriamente ditas, ocorrendo apenas o preenchimento das perfurações e de eventuais descontinuidades presentes no maciço.

Como medida adicional de estabilização, foi executado um dique de enrocamento sobre a área tratada, com crista de aproximadamente 3 m de largura e taludes com inclinação de 1V:1,2H. A presença desse maciço de enrocamento contribui para o aumento da tensão normal no plano potencial de cisalhamento, promovendo incremento da resistência ao deslizamento e auxiliando no controle das deformações do sistema. O dimensionamento da solução foi realizado de forma escalonada ao longo da extensão da contenção, tornando-se gradualmente menos robusto em direção às ombreiras, em função da redução da altura do talude e da menor magnitude dos deslocamentos observados nessas regiões. É possível observar uma seção esquemática da solução esquemática na Figura 3.

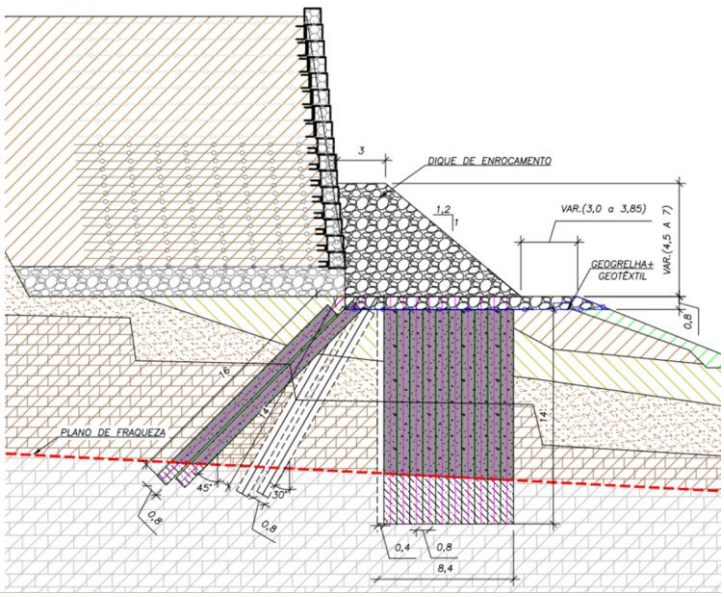


Figura 3. Seção esquemática da solução geotécnica adotada com colunas de CCP e dique de enrocamento.

Após a execução das colunas e do dique de enrocamento, foi implantado um sistema de monitoramento geotécnico composto por cinco inclinômetros verticais. A execução da obra seguiu recomendações técnicas compatíveis com os manuais de obras rodoviárias e de sinalização de obras do DNIT, incluindo o Manual de Sinalização de Obras e Emergências em Rodovias - IPR-738 (DNIT, 2010).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4a a seguir mostra a injeção da calda de cimento na fundação e na Figura 4b, a localização dos inclinômetros, parte da solução com colunas de CCP e dique de enrocamento em finalização e o posicionamento dos inclinômetros colocados para monitoramento.



a)



b)

Figura 4. Solução com colunas de CCP e dique de enrocamento: a) Injeção da calda de cimento; b) posicionamento dos inclinômetros.

As leituras foram realizadas em três campanhas principais entre agosto de 2024 e janeiro de 2025. Os resultados indicaram deslocamentos máximos da ordem de 1,1 cm, concentrados nas camadas superficiais do aterro (ver Tabela 1). Esses valores são compatíveis com processos de acomodação do aterro executado e encontram-se significativamente abaixo dos valores normalmente associados a situações de instabilidade progressiva em taludes rodoviários (Duncan & Wright, 2005).

Tabela 1. Medições de deslocamentos por inclinômetros.

Inclinômetro	Nível d'água (m)	Profundidade Rocha Encontrada (m)	Máximo Deslocamento Medido (mm)
Inclinômetro 1	8,2	4,4	98,5
Inclinômetro 2	1,8	1,4	2,4
Inclinômetro 3	5,2	2,2	4,6
Inclinômetro 4	1,1	1,1	4,4
Inclinômetro 5	Não encontrado	13	54,7

Os fatores de segurança obtidos nas análises indicaram estabilidade global satisfatória do sistema. A utilização das colunas de CCP promoveu aumento da resistência ao cisalhamento do maciço tratado, enquanto o dique de enrocamento contribuiu para o aumento da tensão normal no plano potencial de ruptura.

4 CONCLUSÃO

O estudo de caso evidenciou a importância de investigações geotécnicas detalhadas para a adequada compreensão dos mecanismos de instabilidade associados a planos de fraqueza em maciços rochosos, especialmente em obras rodoviárias implantadas em contextos geológicos complexos. As investigações realizadas permitiram identificar superfícies potenciais de ruptura associadas à interface entre o material coluvionar e a rocha alterada, bem como zonas de descontinuidade no maciço, fatores que contribuíram para o desenvolvimento das movimentações observadas na fundação do muro de solo reforçado.

A solução de estabilização adotada, baseada no tratamento da fundação por meio da execução de colunas do tipo CCP associadas à construção de um dique de enrocamento, mostrou-se adequada para o aumento da resistência ao cisalhamento do maciço e para o incremento das tensões normais atuantes no plano potencial de ruptura.

Os resultados do monitoramento geotécnico indicaram deslocamentos reduzidos, com valores máximos da ordem de 1,1 cm, concentrados nas camadas superficiais do aterro, não sendo observada evolução

significativa das deformações ao longo do período de monitoramento. Esses resultados confirmam o desempenho satisfatório da solução implementada e indicam que os deslocamentos registrados são compatíveis com processos de acomodação do maciço após a intervenção.

Dessa forma, o caso apresentado reforça a aplicabilidade de técnicas de melhoramento de solo, como as colunas de CCP, associadas a estruturas de enrocamento, como alternativa eficaz para a estabilização de fundações em obras rodoviárias afetadas por instabilidades geotécnicas, especialmente em situações emergenciais e em ambientes geológicos complexos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), por meio da Superintendência Regional no estado de Mato Grosso e da Unidade Local de Rondonópolis, pelo apoio institucional e pela disponibilização das informações técnicas e relatórios utilizados no desenvolvimento deste estudo de caso. Agradece-se também às equipes técnicas envolvidas nas etapas de investigação geotécnica, elaboração do projeto e execução das obras emergenciais de estabilização, cuja atuação foi fundamental para o diagnóstico do problema e para a implementação da solução adotada. Os autores agradecem ainda ao Consórcio Infragestão pela contribuição técnica ao longo das atividades desenvolvidas.

Registra-se também o reconhecimento às equipes de campo responsáveis pela execução das sondagens, instalação da instrumentação geotécnica e realização do monitoramento por inclinômetros, bem como aos profissionais envolvidos no acompanhamento técnico da obra. O trabalho integrado entre projetistas, executores, supervisão e fiscalização foi essencial para a adequada compreensão do comportamento do maciço e para a adoção de uma solução eficaz de estabilização da encosta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). *NBR 11682: Estabilidade de encostas.* Rio de Janeiro.

Abramson, L.W.; Lee, T.S.; Sharma, S.; Boyce, G.M. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods.* 2nd ed., John Wiley & Sons, New York, 712 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2022). *Instrução Normativa nº 9/2022 – Procedimentos para gestão, manutenção e reabilitação de estruturas de contenção no âmbito do DNIT.* Brasília.

Federal Highway Administration – FHWA (2009). *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines.* Publication No. FHWA-NHI-10-024, Washington, DC.

Federal Highway Administration – FHWA (2013). *Ground Improvement Methods Reference Manual.* Publication No. FHWA-NHI-13-099, Washington, DC.

Koerner, R.M. (2012). *Designing with Geosynthetics.* 6th ed., Xlibris Publishing, Bloomington, 914 p.

Mitchell, J.K.; Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior.* 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 577 p.

Palmeira, E.M. (2018). *Geossintéticos em Geotecnia e Meio Ambiente.* Oficina de Textos, São Paulo, 496 p.

Vargas, M.; Pichler, E. (1957). *Residual soils and rock weathering in tropical regions.* Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London.

Wyllie, D.C.; Mah, C.W. (2004). *Rock Slope Engineering: Civil and Mining.* 4th ed., Spon Press, London, 431 p.