

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



Análise da Estabilidade de Escavação Grampeada com Critérios ASD e LRFD: Estudo de Caso

André Luiz Delmondes Pereira Filho

Discente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, a.delmondes@outlook.com.br

Erinaldo Hilário Cavalcante

Docente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, erinaldo@ufs.com

Demóstenes de Araújo Cavalcanti Júnior

Docente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, demostenes-jr@uol.com.br

Carlos Rezende Cardoso Júnior

Docente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Brasil, eng.carlos.rezende@gmail.com

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar a estabilidade de escavação em solo grampeado, para um caso de obra executada na cidade de Salvador/BA. Foram realizadas análises de estabilidade com métodos de equilíbrio-limite por meio de um *software* específico para tal aplicação. As análises foram desenvolvidas com duas diferentes abordagens: fator de segurança global, internacionalmente conhecida como *Allowable Stress Design* (ASD); e fatores de segurança parciais, internacionalmente conhecida como *Load and Resistance Factor Design* (LRFD). Para a metodologia LRFD, foram aplicados os valores recomendados pelas normas BS 8006-2 e Eurocode 7. Os resultados indicaram que os fatores de segurança parciais da BS 8006-2 conduzem a projetos mais conservadores, comparados às recomendações do Eurocode 7.

PALAVRAS-CHAVE: Solo grampeado, Análises de estabilidade, ASD, LRFD.

ABSTRACT: The objective of this work is to analyse the stability of a nailed excavation, for a case of work performed in Salvador / BA. Stability analyses were developed with limit-equilibrium methods using a specific software for this application, with two different approaches: Allowable Stress Design (ASD) e Load and Resistance Factor Design (LRFD). Values recommended by BS 8006-2 and Eurocode 7 were applied for LRFD methodology. The results indicated that partial safety factors recommended by BS 8006-2 lead to more conservative projects, when compared to the recommendations of Eurocode 7.

KEYWORDS: Soil nailing, Stability analyses, ASD, LRFD.

1 Introdução

Na prática brasileira de dimensionamento do solo grampeado, até o momento ainda não existe uma metodologia definida como padrão para nortear os projetistas desse tipo de estrutura, visto que ainda não foi publicada uma norma nacional específica para essas contenções. No que diz respeito às análises de estabilidade, os métodos de equilíbrio-limite ainda são os mais aplicados. Nessas análises, é comum adotar a abordagem de um fator de segurança global (FS) mínimo de projeto, que representa a razão entre os esforços resistentes e solicitantes com seus valores característicos, método internacionalmente conhecido como *Allowable Stress Design* (ASD). Entretanto, na prática internacional, é bastante difundida a abordagem de análises com aplicação dos fatores de segurança parciais, na qual as ações solicitantes são majoradas e as resistências são minoradas, obtendo-se os respectivos valores de cálculo, método conhecido como *Load and Resistance Factor Design* (LRFD).

É importante destacar também que a solução de contenção em solo grampeado tem se mostrado significativamente crescente no Brasil, exigindo mais estudos no âmbito de análise e dimensionamento.

O objetivo deste trabalho é analisar a estabilidade de escavação em solo grampeado, aplicando os critérios de fator de segurança global e fatores de segurança parciais, para um caso de obra executada na cidade de Salvador/BA.

2 Estudo de Caso

A contenção grampeada em estudo integra a obra de um empreendimento residencial na cidade de Salvador, Bahia. Os dados necessários para a realização deste trabalho foram obtidos junto à empresa responsável pelo projeto das contenções do empreendimento. Foram disponibilizados projetos executivos das contenções, perfis de sondagens, levantamento topográfico (planialtimétrico e seções transversais), boletins de execução e os resultados dos ensaios e da instrumentação. A Figura 1 apresenta dois registros fotográficos do solo grampeado em estudo durante a fase de execução.



Figura 1. Execução da contenção em solo grampeado estudada.

A contenção apresenta desníveis variáveis entre 7,7 e 14,8 metros, aproximadamente. No projeto, foram adotados grampos com 6,0, 9,0 e 12,0 metros de comprimento, compostos por barras de aço de 20 mm de diâmetro, tipo CA-50, e diâmetro de perfuração igual a 75 mm. O terreno escavado é composto, basicamente, por camadas intercaladas de silte arenoso e de silte argiloso com areia.

3 Metodologia

Para análise de estabilidade da contenção em estudo, foi utilizado o módulo SLOPE/W do *software* GeoStudio 2012, que tem base nos métodos de equilíbrio-limite. Na ferramenta computacional, foi empregado o método Morgenstern-Price. As análises foram desenvolvidas para a região de maiores desníveis do projeto, particularmente, na seção denominada E 2+10,00, que possui escavação de 13,4 m e inclinação de 74°. A Figura 2 apresenta geometria inserida para análise da seção E 2+10,00.

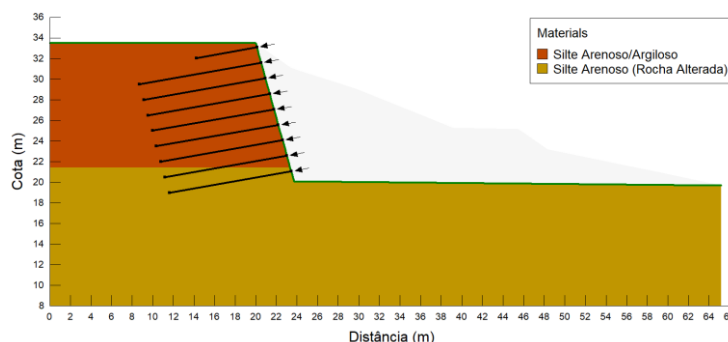


Figura 2. Modelo da seção E 2+10,00 analisada. Fonte: Elaborado pelo autor.

O solo foi representado no modelo com critério de ruptura de Mohr-Coulomb, para o qual são necessários, além do peso específico, o ângulo de atrito interno (ϕ) e a coesão (c). Os parâmetros de resistência

ao cisalhamento foram obtidos dos ensaios de cisalhamento direto. A Tabela 1 apresenta uma síntese dos parâmetros do solo aplicados nas análises.

Tabela 1. Parâmetros das camadas de solo adotados nas análises. Fonte: Elaborado pelo autor.

Parâmetro	Silte arenoso/argiloso	Silte arenoso (rocha alterada)
γ (kN/m ³)	16,4	17,0
ϕ (°)	28,7	24,5
c (kPa)	16,5	25,0

As análises de estabilidade foram desenvolvidas com duas diferentes abordagens: fator de segurança global, conhecida como *Allowable Stress Design* (ASD); e fatores de segurança parciais, conhecida como *Load and Resistance Factor Design* (LRFD). Para as análises, foi adotado um valor de atrito solo-grampo (q_s) igual a 100 kPa, assim como no projeto. A carga de escoamento das barras dos grampos foi inserida igual a 157 kN, calculada para uma tensão de escoamento igual a 500 MPa. No caso da abordagem ASD, adotou-se um fator de redução para q_s igual a 2 e para a carga de escoamento das barras igual a 1,61 (produto de 1,15 por 1,4), assim como sugerido nos trabalhos de Franco (2010) e Pereira (2016).

Para a abordagem LRFD foram realizadas análises seguindo as recomendações das normas BS 8006-2 (BSI, 2011) e Eurocode 7 (CEN, 2004). No caso da BS 8006-2, são apresentadas duas combinações possíveis de fatores de segurança parciais denominados *Set 1* e *Set 2*. Já o Eurocode 7 apresenta três abordagens distintas de fatores parciais denominados *Design Approach* (DA1 ao DA3), de modo que o DA1 apresenta duas combinações possíveis (C1 e C2), totalizando quatro alternativas de análise. Considerando o que foi exposto, para o caso em estudo, entre as abordagens ASD e LRFD, foram realizadas sete análises de estabilidade para a seção de estudo desse trabalho.

4 Resultados e Discussão

A Figura 3 apresenta o resultado da análise de estabilidade com o método ASD, que apresentou fator de segurança global (FS_{global}) igual a 1,599. Cabe lembrar que a condição de segurança no método ASD é atendida caso o FS_{global} seja igual ou superior a um determinado valor de projeto (adotado no caso em estudo igual a 1,5). No método LRFD, a condição de segurança é que, para o modelo de ruptura, os esforços solicitantes majorados não excedam os esforços resistentes minorados (o que seria equivalente a um $FS \geq 1,0$).

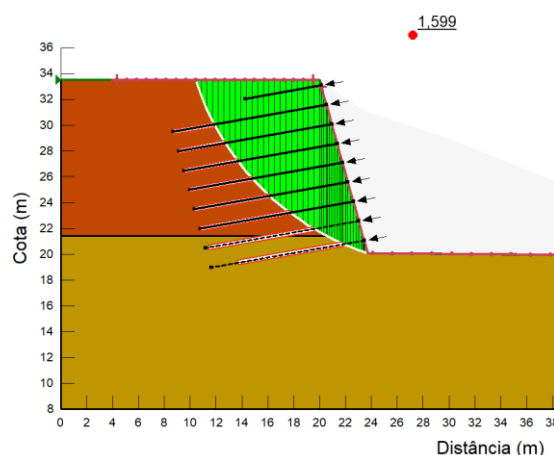


Figura 3. Resultado da análise ASD para a seção de estudo ($FS = 1,599$). Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos para as seis análises de estabilidade empregando-se o método LRFD estão ilustrados na Figura 4. Observa-se que a verificação de estabilidade é mais conservadora com a proposta do Set 2 da BS 8006-2, que resultou num coeficiente de segurança igual 1,074, condição que atende ao equilíbrio requerido na abordagem LRFD. Por outro lado, a análise com a proposta do DA3 do Eurocode 7 apresentou uma condição mais favorável à estabilidade (1,300), o que pode conduzir a um dimensionamento mais ousado

na fase de projeto. Resultados similares foram obtidos nas análises realizadas por Cunha *et al.* (2017), ainda que na referida pesquisa os autores tenham empregado os fatores de segurança parciais recomendados pela seção 7 de BS 8006-1 (BSI, 2010), que se destina a solos reforçados em geral.

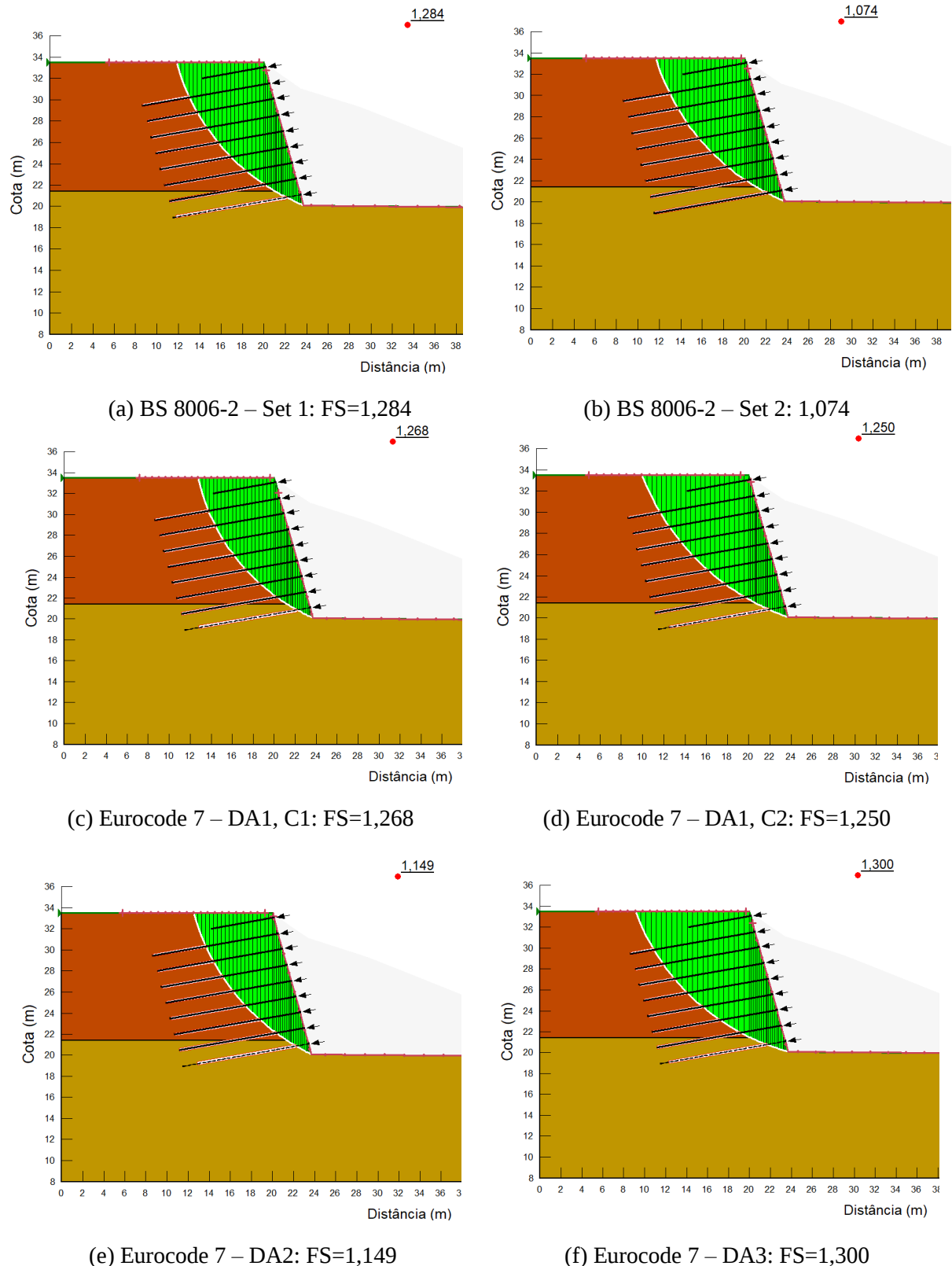


Figura 4. Resultados das análises LRFD para a seção de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.



No que diz respeito à posição das superfícies de ruptura obtidas nas análises LRFD, as curvas referentes ao DA1-C2 e ao DA3 do Eurocode 7 apresentaram-se mais afastadas da face da escavação que as demais. A mesma observação é válida para análise ASD. Nesse sentido, Cunha *et al.* (2017) ressaltam que as superfícies críticas obtidas nos modelos, podem não representar as reais superfícies potenciais de ruptura, que se dão geralmente pela ocorrência de uma das inúmeras combinações imagináveis de eventos desfavoráveis. No entanto, os autores reforçam também que as superfícies apresentadas nos modelos computacionais refletem uma combinação de eventos desfavoráveis, o que possivelmente foi levado em conta pela comunidade geotécnica que elaborou os critérios de verificação de segurança da norma que orientou aquela análise.

5 Conclusões

Foi analisada a estabilidade de escavação em solo grampeado, para um caso de obra executada na cidade de Salvador/BA. As análises de estabilidade foram desenvolvidas com abordagens ASD e LRFD. Para a metodologia LRFD, foram aplicados os valores recomendados pelas normas BS 8006-2 e Eurocode 7. Os coeficientes de segurança parciais propostos pelo Set 2 da BS 8006-2 obtidos para a seção E 2+10,00, à luz dos conceitos de fatores de segurança global (método ASD) e parciais (método LRFD), conduziram a um resultado mais conservador (fator de 1,074), mas que atende ao critério de equilíbrio da abordagem LRFD. Por outro lado, a análise com a proposta do DA3 do Eurocode 7 apresentou uma condição mais favorável à estabilidade (1,300), o que pode conduzir a um dimensionamento mais ousado na fase de projeto. Os resultados obtidos convergem com os obtidos e discutidos por Cunha *et al.* (2017), sob condições de contorno similares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BSI - British Standard Institution (2010). BS 8006-1. *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*.
- BSI - British Standard Institution (2011). BS 8006-2. *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills – Part 2: Soil nail design*.
- CEN - Comité Européen De Normalisation (2004). EN 1997-1, Eurocode 7. *Geotechnical design – Part 1: General rules*.
- Cunha, E. P. V.; Hachich, W. C.; França, D. C.; Plácido, R. R.; Schmidt, C. F. (2017) Solo grampeado – Uma análise comparativa entre fator de segurança global (ASD) e LRFD. In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, 12, Florianópolis. *Anais...* ABMS.
- Franco, B. O. M. (2010) *Uso de sistema computacional em projeto de solo grampeado*. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, UFOP.
- Pereira, A. B. (2016) *Estudos numéricos do comportamento tensão-deformação de estruturas em solo grampeado*. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, UFOP.