

# Riscos Geotécnicos em Obras de Contenção com Taludes de Corte Temporários

João Renato R. Prandina

Engenheiro Sênior, PCA ENG, Vitória, Brasil, renatoprandina@gmail.com

**RESUMO:** Obras de arte especiais (OAEs) de contenção necessárias para implantação de empreendimentos imobiliários, dependendo da metodologia de execução adotada, requerem escavações que geram cortes temporários, em especial quando a solução são os muros de gravidade. O uso de geogrelhas para muros de solo reforçado, configuraram soluções de alta produtividade e custo competitivo frente as demais soluções geotécnicas, em especial pela redução de momentos de transporte. Este trabalho apresenta a descrição dos riscos geotécnicos desde a fase de investigação geotécnica do projeto de contenção, escavação para formação dos cortes temporários, passando pela análise de estabilidade de taludes que identifica fatores de segurança no limite do aceito pela NBR 11682 (ABNT, 2009), tomando como exemplo uma obra de contenção em muro de solo reforçado de 290 metros de comprimento, altura de face de 11 metros, onde o talude de corte estabilizado atinge 22 metros de altura entre pé e crista. Por fim, apresenta-se os ganhos com a metodologia combinada de escavação e reaterro do muro de solo reforçado frente às demais obras de contenção e métodos, tais como o *top-down* para cortinas atirantadas, concluindo-se pela vantajosidade da solução de muro de solo reforçado com geogrelhas para o caso tipificado.

**PALAVRAS-CHAVE:** muro de solo reforçado, riscos geotécnicos, escavação, análise de estabilidade de taludes, geogrelhas, medidas de mitigação de risco.

**ABSTRACT:** Works of structural arts (SACs) required for the projects of real estate ventures, depending on the adopted execution methodology, require excavations that generate temporary cuts, especially when the gravity walls are the main solution of earth-retaining structure (ERS). The use of geogrids for ERS has configured solutions with high productivity and competitive costs compared to other geotechnical solutions, especially due to the reduction in transportation moments. This paper presents the description of geotechnical risks from the geotechnical investigation phase of the containment project, excavation for the formation of temporary cuts, passing through the stability analysis of slopes that identifies safety factors at the limit accepted by NBR 11682 (ABNT, 2009), taking as an example a containment work in a reinforced soil wall of 290 meters in length, with a face height of 11 meters, where the stabilized cut slope reaches 22 meters in height between toe and crest. Finally, the gains with the combined methodology of excavation and backfilling of the reinforced soil wall are presented compared to other containment works and methods, such as top-down for anchored curtains, concluding the advantage of the reinforced soil wall solution with geogrids for the typified case.

**KEYWORDS:** Reinforced soil wall, Geotechnical risks, Excavation, slope stability analysis, geogrids, risk mitigation measures.

## 1 INTRODUÇÃO

As obras de contenções realizadas no Brasil têm se mostrado adequadas sob o aspecto da vida útil. Porém, tais obras são dependentes da eficiência dos sistemas de drenagem, em geral, sujeitos a colmatção física, química (Palmeira, 2018) e biológica (Remígio, 2006). Em 2199 obras de contenção no Rio de Janeiro (Machado & Mendes, 2014), em 50 anos, mais de 90% apresentavam fissuras, acompanhadas de manchas de umidade, um indício de sobrecarga, em especial devido ao aumento de umidade por infiltrações, tendo na

água infiltrada e/ou percolada do maciço de solo ou rocha estabilizados por estas OAEs como uma das causas dessas patologias.

As obras de arte especiais (OAEs) de contenções que utilizam a técnica de muro de solo reforçado têm se mostrado de custo de construção competitivo frente a outras soluções de muro de gravidade, como demonstrado por Andrade (2018), sendo que há fatores econômicos e técnicos que muitas vezes entregam a solução de solo reforçado como sendo a de melhor custo benefício e até a de melhor custo do ciclo de vida.

Neste artigo, o objeto central de apresentação e análise riscos geotécnicos em obras de contenção, em que há necessidade de taludes de corte temporários, é trazido como forma de materializar as técnicas e procedimentos necessários combinados de algumas normas técnicas específicas e boa prática de engenharia para permitir a consolidação de um roteiro que garanta a qualidade de projeto desse tipo de obra.

Este trabalho apresenta a descrição dos riscos geotécnicos desde a fase de investigação geotécnica do projeto de contenção, escavação para formação dos cortes temporários, passando pela análise de estabilidade de taludes que identifica fatores de segurança no limite do aceito pela NBR 11682 (ABNT, 2009) e os perigos e riscos identificados neste tipo de obra, bem como as medidas mitigadoras para garantia da estabilidade.

## 2 A NECESSIDADE DA OBRA DE CONTENÇÃO E OS RISCOS INERENTES

Abordamos o caso de um empreendimento comercial hospitalar, definido em plataforma construída em cota obtida por escavação de pelo menos 70.000 m<sup>3</sup>, para implantação de 3 edifícios em uma plataforma de 10.000 m<sup>2</sup> a partir da cota relativa 1 metro, em terreno com desnível total de 22 metros até a crista, sendo a cota zero aquela verificada pela lâmina d'água da ocorrência superficial verificada da Figura 1.

A descrição dos riscos geotécnicos inclui o desempenho do necessário rebaixamento de lençol freático deste caso, por 2 sistemas diferentes, poços profundos e drenos sub-horizontais. Os cenários que permitem o prosseguimento das escavações para que a plataforma da fundação do muro de solo reforçado seja conseguida foram estudadas e a obra poderia ser realizada apenas na condição de lençol freático rebaixado ao nível da cota 1 metro da plataforma, uma vez que toda resistência ao cisalhamento do material é dependente da umidade, conforme explanado por Martins Reis et al. (2011).



Figura 1. Localização do alinhamento básico das contenções em vermelho demandadas para empreendimento

Durante a execução do alteamento do muro de solo reforçado e os sistemas de drenagem, os riscos inerentes e as atividades de manutenção temporária quanto à erosão passam pelo monitoramento das deformações, identificação de trincas na crista e na face do talude, soluções de mitigação de risco de ruptura em função de contingências da obra, como novas ocorrências de materiais menos competentes, matacões e outros elementos que poderiam vir a ocorrer, interação com as estruturas vizinhas, e eventuais obras de recuperação de ruptura locais, alterando o projeto de contenção, seu cronograma e custos, pois há disponibilidade de medidas mitigadoras de custo conhecido de perigos presentes neste tipo de solução.

O projeto arquitetônico exigia uma contenção verticalizada (Figura 2) de 12 metros de altura no segmento dos fundos a partir da cota 4 metros, restando de 6 a 8 metros de altura em um talude resultante para a cota final mais alta do desnível, que foi elaborado.

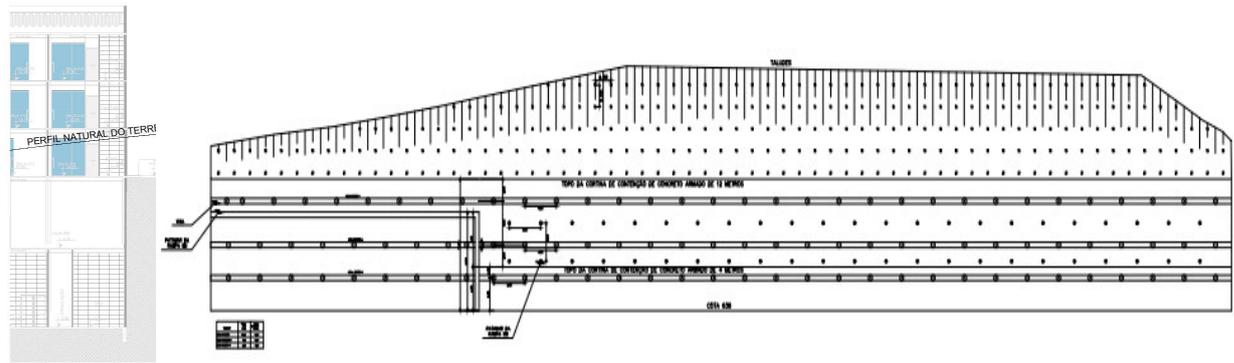


Figura 2. Seção e vista da cortina atirantada e solo grampeado projetado de 130 metros de comprimento

As sondagens iniciais de simples reconhecimento, já planejadas para locais próximos aos alinhamentos da contenção, mostraram 4 camadas de solo de espessuras típicas em cada furo, induzindo uma pequena camada sedimentar superficial decorrente dos depósitos aluviais e, quando próximo ao embasamento, uma camada saprolítica competente geotécnicamente na transição entre solo e rocha. Além das características únicas da geologia local, formada por depósitos superficiais de terraço aluvial, exibindo camadas arenosas com estratificação cruzada recoberta por depósito argiloso de planície aluvial (CPRM, 2007) complexa e heterogeneamente peculiar. O terreno se encontra na bacia do Rio São Luiz, apresentando a geologia uma maior quantidade de solos rasos como o cambissolo húmico distrófico e neossolo litólico, acarretando em menor capacidade de armazenamento de água da chuva no subsolo, aumentando a incidência de deslizamentos com chuvas de grande intensidade (Barbosa et al., 2020).

A solução sugerida em projeto de arquitetura apresentou a vista frontal de fundos conforme solução projetada, primeiramente em cortina atirantada e um talude estabilizado com solo grampeado. O perfil de solo da região (Figura 2), obtido de pelo menos 8 furos de sondagens SPT, se mostrou relativamente homogêneo para a estratigrafia, com alterações geológico geotécnicas devidamente identificadas em distâncias horizontais entre furos maiores que 80 metros.

A presença do lençol freático viria a condicionar cronologicamente a escavação da plataforma, porque sua ocorrência inicial medida para os taludes formados pela escavação chegava a ser pelo menos 5 metros acima da plataforma na cota 4 metros onde serão implantados 2 edifícios hospitalares.

## 2.1 Riscos e Normatização Técnica dos Projetos de Contenção

Dependendo da metodologia executiva, a sequência das normas técnicas irá variar. Por exemplo, no caso de uma cortina atirantada executada pelo método *top-down*, a avaliação de taludes temporários não será necessária ser realizada. No caso de muros de gravidade, competindo com as cortinas do exemplo anterior, para um mesmo desnível, haverá que se proceder um corte do desnível projetado até permitir-se a execução da fundação do muro de gravidade, o que gerará uma escavação resultando em um talude de corte temporário.

A primeira norma técnica que se aplica à obra de contenção em tela proposta é a NBR 8044 (ABNT, 2018), denominada Projetos Geotécnicos que categoriza os projetos geotécnicos pelas dimensões básicas das obras resultantes que descreve e seus níveis de riscos associados, entre elas e somente estas: fundações de edificações e outras estruturas, tais como encontros de pontes, escoramentos, arrimos, estruturas de contenção, escavações, aterros, taludes, barragens e outras obras de terraplenagem, conforme citadas no item 3.2 da referida norma técnica em 4 categorias, reservando à sismicidade e à escala do carregamento como critérios para classificar a obra na categoria 3, induzida de maior risco de todas as listadas. Ponto relevante é que a citação dos tipos de obras nas categorias 1 e 2 é estendido na nota da categoria 3, onde todas as obras não citadas em 1 e 2 são consideradas como categoria 3, como por exemplo, os túneis. Para a cortina atirantada da Figura 2, que permite a contenção de uma altura total de 22 metros, sua classificação normativa recai na categoria 3.

De forma direta e indireta, dependendo do método executivo, aplica-se também, às obras de estruturas de contenção, a norma NBR 11682 (ABNT, 2009), uma vez que a solução global, que envolve o desnível

contido pela obra deverá ser verificado à estabilidade global. Tipos de soluções geotécnicas específicas, tais como cortinas atirantadas e muros de gravidade em solo reforçado, terão suas normas principais também claramente definidas, sendo a NBR 5629 (ABNT, 2018) e NBR 16920-1 (ABNT, 2021) respectivamente.

## 2.2 Competição de Custos de Construção entre Soluções de Contenção

Com o projeto elaborado conforme solicitado, para a solução de engenharia replicar o projeto de arquitetura, foi realizada uma estimativa de custos da obra, levando apenas os custos diretos da obra de contenção para o nível de R\$ 4 milhões, considerando a escavação de toda área de 10.000 m<sup>2</sup> como uma imposição independente do tipo de obra.

De maneira direta, o custo de escavação adicional e reaterro na modalidade solo reforçado demonstrava-se os custos, aqueles diretamente envolvidos com a solução, pelo menos 40% inferiores que a obra de cortina atirantada. Partiu-se, então, para o investimento em um projeto de contenção em solo reforçado, com face de blocos segmentados de concreto pré-fabricados.

Após uma nova campanha de ensaios geotécnicos de laboratório, incluindo ensaios triaxiais tipo CID e CIU, ensaios de cisalhamento direto em amostras indeformadas e deformadas (do aterro compactado), verificou-se um fator geotécnico muito importante e governante dos FSs: a escavação iria gerar taludes de corte de maior inclinação onde o lençol freático influenciava diretamente na sua estabilidade, apresentando fatores de segurança entre 1,1 e 1,2, dependendo do método de cálculo.

Diante desse fato, foi determinado que seria necessário o rebaixamento do lençol freático do talude para que as escavações resultantes gerassem FSs compatíveis com os níveis de riscos geotécnicos de ruptura de taludes temporários.

## 3 FATORES DE SEGURANÇA DE TALUDES DE CORTES TEMPORÁRIOS

O escopo da NBR 11682 (ABNT, 2009) apresenta os requisitos exigíveis para o estudo e controle da estabilidade de encostas e de taludes resultantes de cortes e aterros realizados em encostas, além das condições para os estudos, projetos, execução, controle e observação de obras de estabilização, que inclui as obras de contenções.

Essa norma ainda vigente, com mais de 15 anos, já utiliza a palavra “risco” sistematicamente, sugerindo medidas mitigadoras para diversas situações presentes no item 5.4 que é intitulado por “Avaliação da necessidade de implantação de medidas emergenciais”.

O terreno desta obra com propriedades lindeiras ainda rurais estão totalmente desocupadas ou têm um tipo de ocupação unirresidencial distante, relativamente distantes da obra de contenção, exceção para um curral de madeira usado para o manejo do gado da propriedade lindeira. Portanto, a aplicação das tabelas 1 e 2 da NBR 11682 (ABNT, 2009) resultava em um FS para os taludes de cortes temporários de 1,2.

Ainda, em caso de grande variabilidade de resultados de ensaios geotécnicos nas camadas geológico-geotécnicas do maciço de solo, este FS dos taludes de cortes poderia ser majorado para 1,32 (10% acima de 1,2). Ou seja, fatores de segurança acima de 1,32 estariam, na pior das hipóteses normativas, frente as condições geológico-geotécnicas de muita variabilidade, suficientes.

Para outros tipos de nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas e contra danos materiais e ambientais, o FS poderá ter os valores de 1,3 a 1,65, considerando também a condição geológico-geotécnicas de muita variabilidade. A tabela 4 da norma entra na discussão das obras de contenção do tipo muro de gravidade e aponta os fatores de segurança mínimos para as verificações de tombamento, deslizamento (horizontal) na base e capacidade de carga da fundação, sendo esses 2,0, 1,5 e 3,0 respectivamente.

## 4 DISCUSSÃO DOS RISCOS ENVOLVIDOS PARA UM TALUDE TEMPORÁRIO

No empreendimento em questão, a solução vencedora de custos de construção foi o muro de solo reforçado com geogrelha e foi aquela adotada pelo dono da propriedade.

Durante a execução da obra, podem-se identificar riscos inerentes às diversas fases do empreendimento, neste caso, a obra de contenção conclusa. Identificar e gerir os riscos é a melhor maneira

de atender ao princípio da eficiência porque eles existem independentemente da vontade em conhecê-los do empreendedor, do construtor ou do projetista.



Figura 4. Gerenciamento do risco do início ao fim de um empreendimento - Autor

A legislação brasileira evoluiu recentemente para considerar os riscos inerentes de uma obra, onde os riscos inerentes ao empreendimento alocados para as partes do contrato do empreendimento (TCU, 2012).

Então, uma obra de contenção pode ter uma matriz de risco típica e aquelas que envolvem taludes de corte temporários podem também incorporar os registros de riscos para que possam ser prevenidos, mitigados e controlados durante a execução da obra.

Uma matriz de risco, com os devidos e completos registros de riscos, insere-se no âmbito do anteprojeto de engenharia, em prestígio aos princípios da segurança jurídica, da isonomia, do julgamento objetivo, da eficiência e da busca da melhor proposta para uma obra, independente da natureza do contratante, seja esse ente público ou privado.

#### 4.2 Necessidade de gestão de riscos durante as fases das obras de contenção

A gestão de riscos passa pela identificação dos riscos do empreendimento na sequência preconizada pela NBR ISSO 31000 (ABNT, 2018). Para elaboração da matriz de risco, em função da necessidade de implementar-se um roteiro consolidado e aceito, a sequência desta norma pode ser adotada.

Segundo a NBR ISSO 31000 (ABNT, 2018), convém que os critérios de risco sejam alinhados à estrutura de gestão de riscos e sejam personalizados para o propósito específico e o escopo do projeto e obra em consideração.

O DNIT (2013) apresenta um material didático sobre riscos em obras de infraestruturas que separa os riscos qualitativamente pela família de serviços conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Exemplos de riscos associados às famílias de serviços.

Família de Serviço	Item de Serviço	Materialização	Alocação
Obras-de-Arte Especiais	Infraestrutura	Aumento de volume/comprimento das fundações, por ocasião das peculiaridades encontradas em campo, que divirjam do Anteprojeto.	Contratado Seguradora
	Outros elementos de OAE	Ajuste nos métodos construtivos, e/ou insumos e serviços.	Contratado Seguradora
Túneis	Geologia	Classificação geológico-geotécnica diferente daquela prevista em Anteprojeto.	Contratado Seguradora
	Hidrogeologia	Lençol freático em condições diversas daquelas apresentadas no Anteprojeto.	Contratado Seguradora

Uma sugestão de revisão de projetos de contenções com dois aspectos de tipos de riscos estudados, confiabilidade dos estudos geológicos e geologia, é apresentada na Tabela 2 onde P é a probabilidade, I é a consequência e R é o perigo residual se adotada a verificação.

#### 4.1 Situações de riscos nos dados de ensaios aumentados não previstos em normas técnicas

Sabidamente, o período do ano terá influência direta no aumento dos riscos, uma vez que no período chuvoso, um talude temporário pode ser afetado pela água de infiltração, elevação do nível d'água freático ou artiano e, ainda, por exemplo pela erosão de face.

Uma das consequências de períodos chuvosos é a queda da coesão, que na Figura 5 mostra os valores para o ensaio de cisalhamento direto inundado do solo do boletim de sondagem apresentado, uma vez que ensaios triaxiais CIU encontraram para o mesmo solo valor similar de ângulo de atrito mas coesão maior, explicado pelo fato que a amostra no ensaio CIU não se mostrou totalmente saturada.

O fundamento da parametrização se inicia pela leitura das sondagens SPT pelo engenheiro civil especializado em geotecnia. As sondagens SPT realizadas sob definição da NBR 6484 apresentam a solicitação de indicação do nome do sondador, demonstrando cabalmente pelo dado solicitado que estes resultados dependem do operador, por mais padronizado que sejam os estudos.

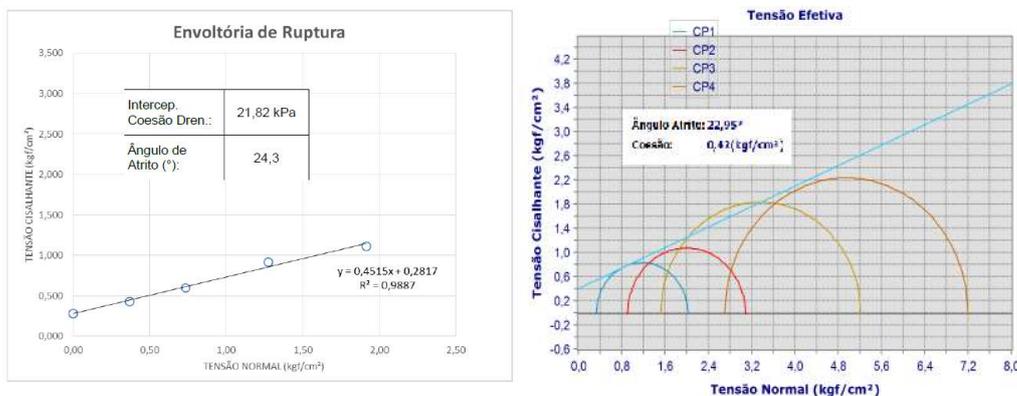


Figura 5. Gráficos do ensaio de cisalhamento direto inundado e do triaxial CIU para um mesmo solo - Autor

A Figura 6 apresenta o perfil básico de 4 camadas geológico-geotécnicas identificadas em 4 furos de sondagens, onde foram realizadas análises de estabilidade de taludes para a obra de talude de corte e ao lado apresenta-se a variação do FS para diferentes coesões, sendo as superfícies de ruptura desenhadas para a coesão de 8 kPa.

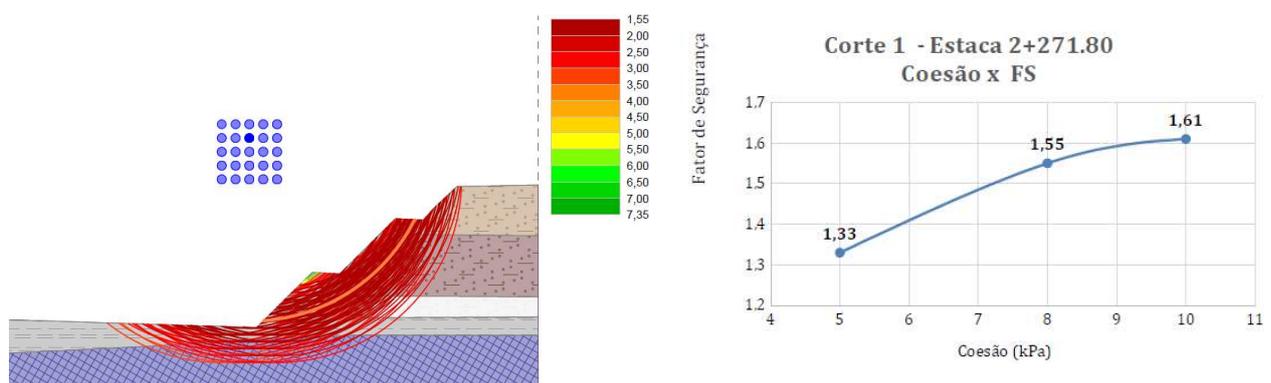


Figura 6. Estratigrafia e seção transversal de 4 camadas resultantes de 4 sondagens SPT para talude de corte.

As sondagens são dependentes do conhecimento, experiência e prática do operador/sondador do equipamento e não são ensaios com repetibilidade garantida, sendo na campanha de investigações únicas informações no seu ponto de aquisição, contando apenas com os ensaios do entorno para controle de qualidade. A norma técnica NBR 11682 (ABNT, 2009), item 7.3.2 traz a fundamentação baseada nos parâmetros de resistência e de caracterização dos terrenos envolvidos e foram executados os 48 ensaios

triaxiais, divididos em 9 envoltórias de triaxial e 3 envoltórias obtidas no ensaio de cisalhamento direto. Durante a obra, foi repetido um ensaio triaxial para fins de verificação.

A norma técnica não apresenta e nem determina qual redução nos parâmetros geotécnicos deve ser implementada para este tipo de situação, prática e real. Fredlund et al. (1978) já demonstrava a importância dessa variação da resistência ao cisalhamento dos solos. Na falta da quantidade correta de ensaios, qual a consequência que a norma técnica determina para a obra ou impede a sua continuidade?

Todos os solos em taludes estão sujeitos ao acréscimo de umidade e não há na norma técnica obrigação de estudo com as diferentes condições de campo, explicitadas. A Figura 7 mostra o que ocorre com um solo que tem umidade natural e, na outra situação, com a umidade aumentada para o grau de saturação desse solo.

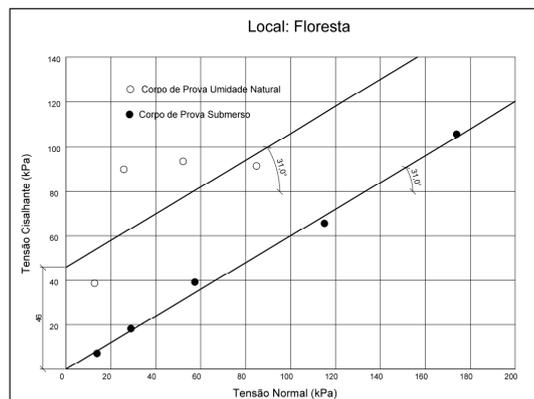


Figura 7. Envoltórias de resistência condição de umidade submersa e natural (Guerra, 2015)

#### 4.2 Cenários de riscos diferenciados não explicitados em normas técnicas

Nas obras de cortes temporários e definitivos, a análise de estabilidade de taludes de cortes deve considerar os taludes em Condições Permanente e Seca, sem chuva, em Condições Temporária e Chuvosa, considerando cargas ambientais excepcionais, tais como sismos, e ainda, a eventualidade aventada de cargas ambientais explosivas, tais como raios e explosões devido a acidentes.

Para as análises de estabilidade de taludes em condições permanente, os coeficientes de segurança em situação permanente, seja na condição de solos com menor umidade, que pode ser definida como “condição seca”, ou na condição de solos com maior umidade devem ser maiores que 1,5 conforme sugere NBR 11682 e de forma indireta a NBR 8044 (ABNT, 2018), considerando-se parâmetros reais do subsolo nos seus limites mínimos, adotados segundo cada teoria, para a condição de cada camada.

Para as análises de estabilidade de taludes em condições **temporária e chuvosa**, os coeficientes de segurança em situação temporária não podem ser admitidos, por exemplo em 1,3, se a condição de aplicação das Tabelas 1 e 2 da NBR 11682 (ABNT, 2009) levem a exigir FS de 1,4, por exemplo. Mesmo que a obra, conforme sugere NBR 8044 (ABNT, 2018), não seja a de maior risco e recaia, por exemplo, na categoria 1 ou 2. Durante as obras, a condição chuvosa intensa por ser mitigada por diversos tipos de proteção temporária, e esta poderia ser uma forma de permitir menores FS, condicionando a adoção de um sistema de gestão de riscos conforma a NBR ISO 31000 mencionada, uma vez que caso haja elevada pluviometria no local, a operação pode avaliar o nível de redução do coeficiente de segurança dos taludes, pela infiltração temporária a ser monitorada, por exemplo, com ensaios de resistência para diferentes umidades.

## 5 CONCLUSÃO

A obra de contenção para o empreendimento comercial hospitalar, com plataforma construída em cota obtida por escavação de pelo menos 70.000 m<sup>3</sup>, exigia a análise cuidadosa dos riscos geotécnicos envolvidos, principalmente em relação à estabilidade dos taludes de corte temporários. A escolha da solução em solo reforçado, com face de blocos segmentados de concreto pré-fabricados, se mostrou mais vantajosa em termos de custos diretos da obra de contenção, em comparação com a cortina atirantada inicialmente

proposta. Essa viabilidade foi confirmada pela estimativa de custos, que indicou uma economia de pelo menos 40% na modalidade solo reforçado.

No entanto, a escavação dos taludes de corte temporários gerou FSs entre 1,1 e 1,2, abaixo dos valores mínimos recomendados pela NBR 11682 (ABNT, 2009). Essa situação exigiu a implementação de medidas mitigadoras para garantir a estabilidade dos taludes e minimizar os riscos de ruptura.

O rebaixamento do lençol freático do talude foi a medida de mitigação adotada para elevar os FSs a níveis compatíveis com os requisitos normativos. Essa medida, além de garantir a segurança da obra, também contribuiu para a otimização do cronograma e custos do projeto.

A análise detalhada dos riscos geotécnicos e a implementação de medidas mitigadoras adequadas foram essenciais para o sucesso da obra de contenção. A escolha da solução em solo reforçado, combinada com o rebaixamento do lençol freático, resultou em uma solução segura, econômica e viável para o empreendimento.

Não existe nenhuma separação na definição dos fatores de segurança de uma obra na NBR 11682 (ABNT, 2009) para taludes temporários de corte, que virão a ser contidos no futuro por uma estrutura de contenção. Os taludes temporários poderiam ter os fatores de segurança reduzidos em um percentual porque serão logo em seguida sustentados por uma obra de contenção, então o uso de fatores de segurança sem redução em taludes temporários traz custos adicionais às obras, pois os riscos inerentes a sua existência temporária são reduzidos, podem ser conhecidos e geridos aplicando-se a NBR ISO 31.000 (ABNT, 2018) como ferramenta norteadora.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) :

ABNT (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.

ABNT (2018a). NBR 8044. *Projeto geotécnico*. Rio de Janeiro.

ABNT (2018b). NBR 5629. *Tirantes ancorados no terreno — Projeto e execução*. Rio de Janeiro.

ABNT (2018c) NBR ISO 31000. *Gestão de riscos - Diretrizes*. Rio de Janeiro.

ANDRADE, Mariana Oliveira. ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO. / Mariana Oliveira Andrade São Cristóvão, 2018.

Barbosa, R. A., Ribeiro, F. R., Ribeiro, F. C. S., & Dias, H. C. T. (2020). Análise ambiental e hidrológica na bacia hidrográfica do Ribeirão São Luís, MG. *Revista Interdisciplinar de Cultura*, 6(3), 183-194. DOI: 10.36524/ric.v6i3.869.

Fredlund, D. G., Morgenstern, N. R., & Widger, R. A. (1978). The shear strength of unsaturated soils. *Canadian geotechnical journal*, 15(3), 313-321.

Machado, A. X., & Mendes, L. C. (s.d.). Durabilidade e vida útil de estruturas de contenção de encosta situadas na cidade do Rio de Janeiro.

Martins Reis, R., Nogueira Sterck, W., Bastos Ribeiro, A., Dell'Avanzi, E., Saboya, F., Tibana, S., Marciano, C. R., & Ramires Sobrinho, R. (2011). Determination of the SWR and the Hydraulic Conductivity Function Using a Small Centrifuge. *ASTM geotechnical testing journal*, 34(5), 457-466.

Palmeira, E.M. (2018). *Geossintéticos: em geotecnia e meio ambiente*. São Paulo: oficina de textos.

Paschoalin Filho, J. A., Versolatto, B. A. M., & Cury Filho, D. (2016). Avaliação das causas geotécnicas da ruptura de uma contenção. Em *COBRAMSEG 2016: 19-22 outubro*, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil (pp. XX-XX). Belo Horizonte, Brasil: ABMS.

Remígio, A. F. N. (2006). Estudo da colmatação biológica de sistemas filtro-drenantes sintéticos de obras de disposição de resíduos domésticos urbanos sob condições anaeróbicas (Tese de doutorado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília.

TCU - Tribuna de Contas da União (2015). Acórdão nº 2.980/2015 –Plenário, Rel. Min. Ministra Ana Arraes, Processo nº 034.015/2012-4.