



# Dimensionamento geotécnico de cortina em estacas na cidade de Uberlândia - MG

Paula Tannús Resende

Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Brasil, paulatresende@hotmail.com

Jean Rodrigo Garcia

Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Uberlândia, Brasil, jean.garcia@ufu.br

**RESUMO:** Apresenta-se neste trabalho um estudo de caso de uma contenção executada em solo composto por argila arenosa e silte argiloso em Uberlândia/MG visando buscar a melhor solução nos aspectos técnico, financeiro, de segurança e que cause menos transtorno à vizinhança. A contenção foi executada em cortina de estacas raiz para conter o solo do terreno vizinho e permitir a construção de dois subsolos de um edifício. Primeiramente foi dimensionada uma contenção como uma cortina em balanço e, em seguida, considerou-se o emprego de uma berma. As análises de estabilidade e tensão deformação foram realizadas por meio das ferramentas da Rocscience e comparados com os limites estabelecidos por norma, obtendo resultados satisfatórios. O emprego da berma provisória possibilitou reduzir o comprimento da ficha em 55% em relação à cortina em balanço, evitando a perfuração mais onerosa devido à redução do comprimento da estaca e limitando os deslocamentos a níveis aceitáveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escavações urbanas, contenção, Estaca raíz, estacas justapostas, berma.

## 1 INTRODUÇÃO

A construção civil tem crescido em ritmo acelerado nas últimas décadas, fato este que causa um aumento na demanda de espaços para construção e, dentro deste cenário, uma das soluções é a execução de edifícios com vários níveis de subsolo. A esta demanda, soma-se a necessidade de aproveitar terrenos com declive acentuado, que demandam elevados volumes de corte e resultam em desníveis consideráveis em relação ao nível do piso do terreno vizinho. Estes processos exigem projetos e técnicas de contenção para viabilizar a execução destes empreendimentos com segurança, economia e sem danos à vizinhança. As estruturas de contenção são construídas com a finalidade de impedir rupturas e escorregamentos de maciços ao suportar os esforços que, de acordo com Hachichi et al. (2009), são o empuxo do solo devido às tensões laterais, a pressão neutra da água, a pressão efetiva dos grãos e, ainda, as

cargas provenientes das edificações vizinhas. A exemplo destes tipos de estrutura tem-se os muros de arrimo, as cortinas de estacas, as paredes diafragma, entre outros. Este trabalho contempla o dimensionamento e análise de um caso real de contenção em estacas justapostas para construção de um edifício em Uberlândia - MG em um terreno com aproximadamente 4 m de desnível em relação ao nível do terreno vizinho. A concepção arquitetônica optou por construir o pavimento térreo próximo ao nível da rua, de forma que foi necessário prever uma contenção para posteriormente efetuar a escavação do subsolo.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE OBRA

### 2.1 Características arquitetônicas e planta



topográfica do edifício e do terreno

O caso consiste em um edifício residencial multifamiliar composto por um pavimento térreo, dois pavimentos de garagem, treze pavimentos tipo e uma cobertura como mostra a Figura 1. O desnível máximo é 6,25 m como mostra a Figura 2.

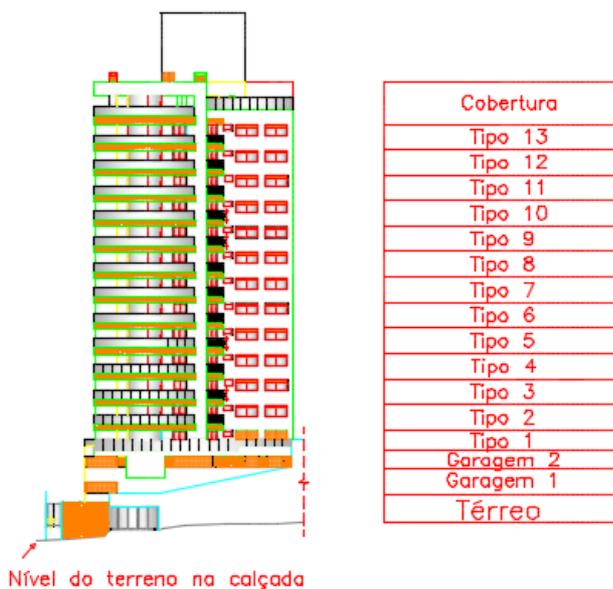


Figura 1. Fachada do edifício. Fonte: Adaptado de Schmidt (2017).

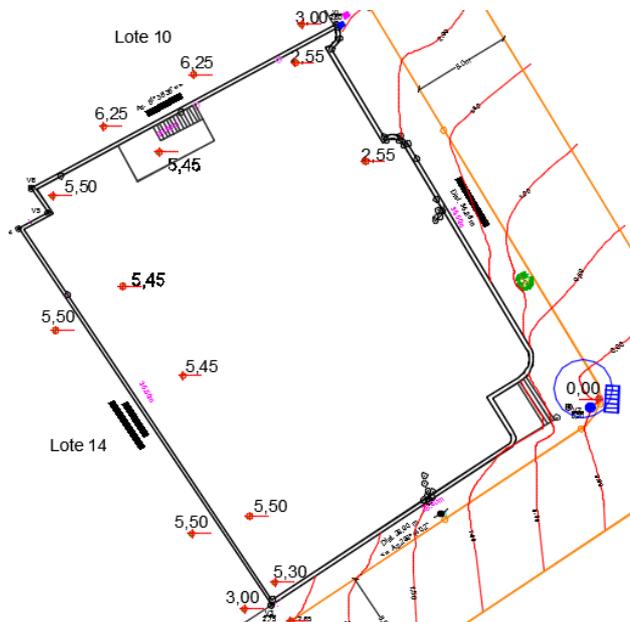


Figura 2. Topografia do local. Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2017)

## 2.2 Características geológico-geotécnicas

De acordo com os resultados das sondagens realizadas no local em conformidade com a ABNT NBR 6484:2001 indicados na Figura 3, o terreno é composto por uma camada de aterro sobre uma camada de argila arenosa e uma camada de argila arenosa com alteração de rocha.

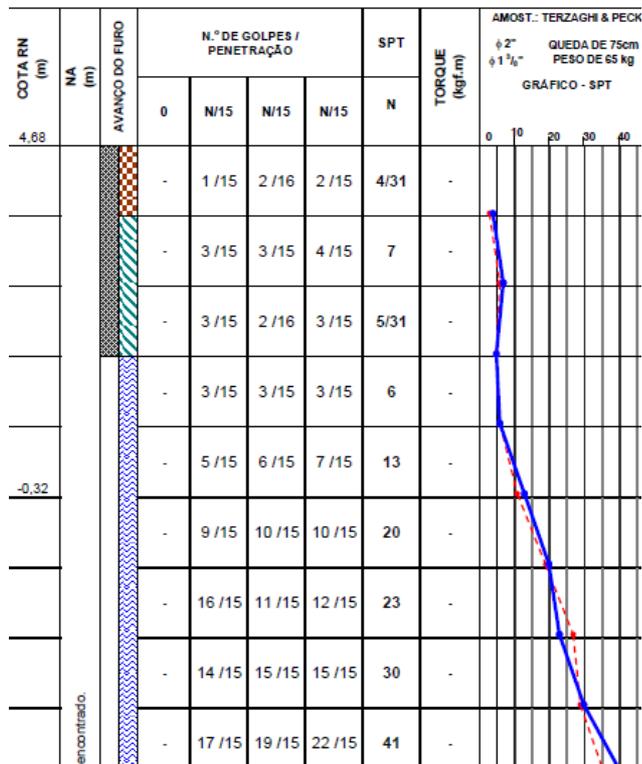


Figura 3. Sondagem SPT. Fonte: Novalumi (2017).

### 2.3 Interferências e vizinhança

O edifício foi construído no local de uma antiga casa com muro de arrimo da mesma pré-existente. A zona é residencial e o terreno tem divisa com duas casas.

## 3 ESCOLHA E SEQUÊNCIA EXECUTIVA DA SOLUÇÃO ADOTADA

De acordo com as características apresentadas acima e com base nos critérios estabelecidos pela ABNT NBR 11682: 2009, optou-se pela execução de uma cortina com estacas raiz justapostas com possibilidade de considerar a utilização de bermas. O motivo desta escolha foi o fato de que a estaca raiz possibilita a perfuração através do concreto do antigo muro de arrimo e também através do solo com alterações de rocha, além de apresentar vibração e barulho reduzidos quando comparados a outros tipos de estaca de maneira a causar menos incomodos na região e nos vizinhos.

A Figura 4 e a Figura 5 ilustram o processo executivo de uma contenção em estacas.



Figura 4. Execução de cortina em estacas. Fonte: Franki Foundations (2017).

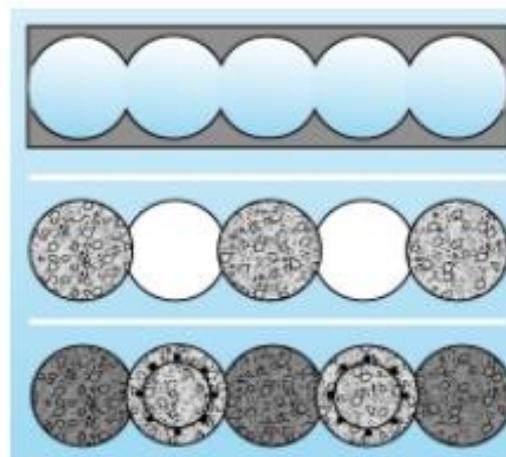


Figura 5. Sequência executiva de cortina em estacas. Fonte: Franki Foundations (2017).

Uma das opções para este tipo de contenção são as estacas raiz, com execução de acordo com a ABNT NBR 6122:2010, indicada na Figura 6 e na Figura 7.

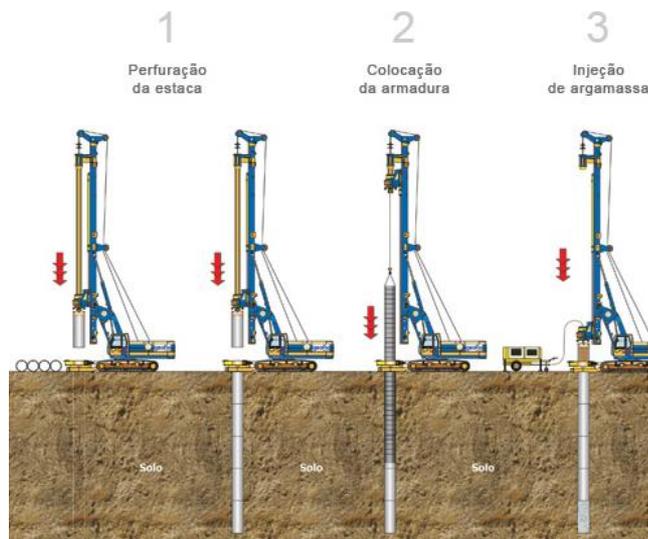


Figura 6. Execução de cortina em estacas raiz – etapas 1 a 3. Fonte: Total Foundations Solutions (2017).

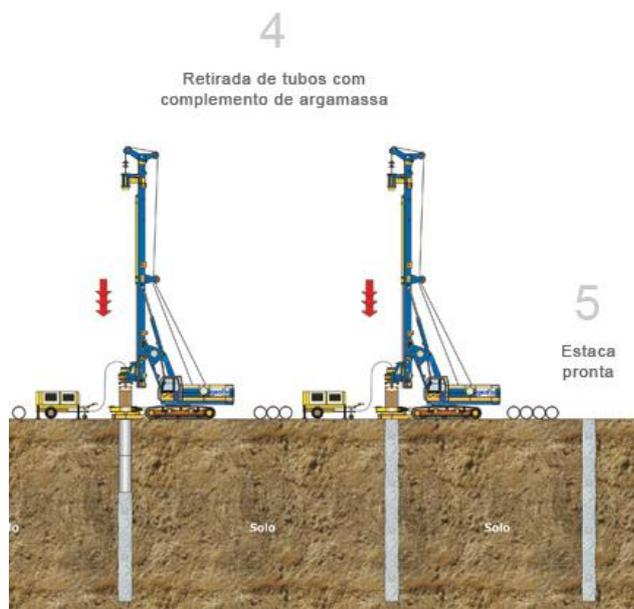


Figura 7. Execução de cortina em estacas raiz – etapa 4. Fonte: Total Foundations Solutions (2017).

Após a execução da cortina, têm-se duas opções de seqüências executivas:

- Sem berma: escavar o terreno e prosseguir com a construção do edifício;
- Com berma: escavar parte do terreno de maneira a deixar a berma provisória, concretar a laje que servirá como travamento da cortina, e, em seguida, escavar o restante do talude.

#### 4 DIMENSIONAMENTO DO COMPRIMENTO DA ESTACA

De acordo com as características geotécnicas e topográficas apresentadas na seção 2 e com acréscimo de uma carga sobre o terreno de 20 kN/m<sup>2</sup> como recomenda a ABNT NBR 11682:2009, temos o perfil do terreno para situação de cálculo simplificada indicado na Figura 8.



Figura 8. Situação de cálculo. Fonte: Resende (2017).

A estrutura será calculada como uma cortina em estacas raiz justapostas em duas situações. Na primeira situação, sem berma, o método utilizado será o método da base engastada conforme explicado por Hachich et al., (2009) e indicado na Figura 9 e na Figura 10. Posteriormente, será considerada uma berma será acrescida uma sobrecarga equivalente, conforme sugerido por Milititsky (2016).

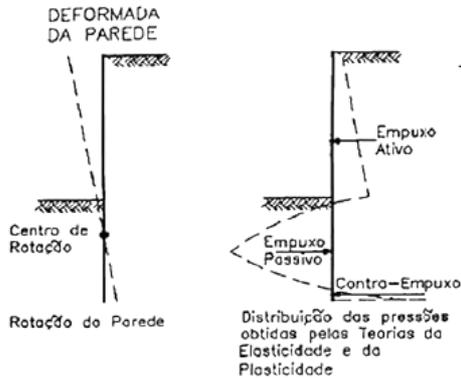


Figura 9. Método da base engastada. Fonte: Hachich et al. (2009).

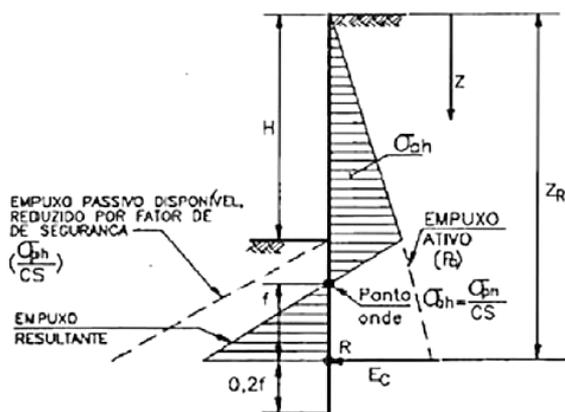


Figura 10. Método da base engastada – diagrama líquido. Fonte: Hachich et al. (2009).

#### 4.1 Dimensionamento do comprimento da estaca sem berma

Os esforços que agem sobre a estrutura são os empuxos ativo e passivo e a tensão gerada pela sobrecarga representados na Figura 11. Foi arbitrado um ponto O onde os momentos se igualam a 0.

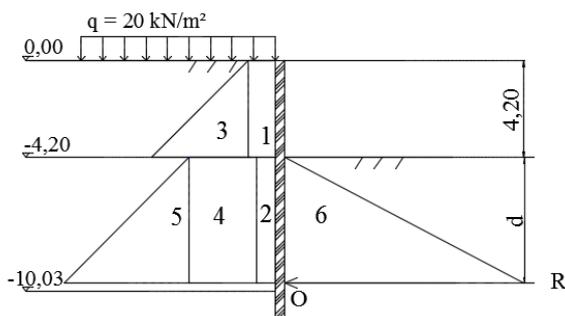


Figura 11. Esforços na estrutura de contenção. Fonte: Resende (2017).

O diagrama líquido, indicado na Figura 12, foi calculado conforme mostra a Tabela 1 e a Tabela 2, através da Equação 1, onde  $k_a$  e  $k_p$  são os coeficientes de empuxo ativo e passivo respectivamente ( $k_a$  aterro = 0,59,  $k_a$  argila = 0,41,  $k_p$  argila = 2,46 e  $k_p$  aterro = 1,70),  $\gamma$  é o peso específico do solo e  $z$  é a profundidade do ponto analisado.

$$\sigma_h = k \cdot \gamma \cdot z \quad (1)$$

Tabela 1. Cálculo do diagrama líquido no trecho 1 até 4,20 m de profundidade [kN/m]. Fonte: Resende (2017).

1	Sobrecarga no aterro	$20 \cdot 0,59 = 11,76$
2	Sobrecarga na argila	-
3	Empuxo ativo aterro	$19 \cdot 0,59 \cdot X_1 = 10,01 \cdot X_1$
4	Sobrecarga do aterro na argila	-
5	Empuxo ativo argila	-
6	Empuxo passivo	-
Total:		$F(X_1) = 11,76 + 10,01 \cdot X_1$

Tabela 2. Cálculo do diagrama líquido entre 4,20 e 10,03 m de profundidade [kN/m]. Fonte: Resende (2017).

1	Sobrecarga no aterro	-
2	Sobrecarga na argila	$20 \cdot 0,41 = 8,12$
3	Empuxo ativo aterro	-
4	Sobrecarga do aterro na argila	$17 \cdot 4,2 \cdot 0,41 = 28,98$
5	Empuxo ativo argila	$20 \cdot 0,41X = 8,12 \cdot X_2$
6	Empuxo passivo	$20 \cdot 2,46X = 49,2 \cdot X_2$
Total:		$F(X_2) = 37,1 - 41,08 \cdot X_2$

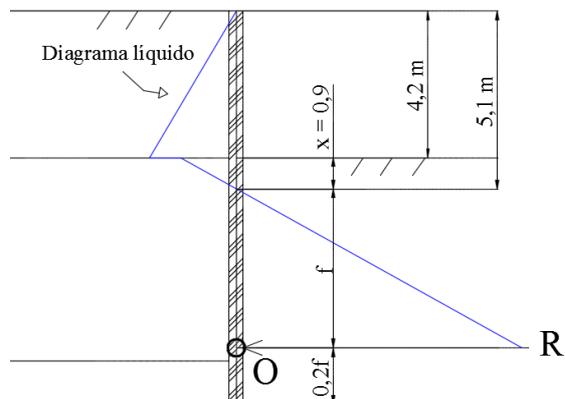


Figura 12. Diagrama líquido. Fonte: Resende (2017).

Desta forma, foi possível calcular a ficha “f” na estrutura a partir do cálculo de momentos resistentes e de instabilidade, indicados na Tabela 3 e na Tabela 4 e nos cálculos abaixo, onde foi considerado que  $x + f = d$ .

Tabela 3. Cálculo das forças exercidas na contenção. Fonte: Resende (2017).

Esforço	Força (kN/m)
1 Sobrecarga no aterro	$0,59 \cdot 20 \cdot 4,20 = 49,46$
2 Sobrecarga na argila	$0,41 \cdot 20 \cdot d = 8,2d$
3 Empuxo ativo aterro	$0,59 \cdot 17 \cdot 4,20^2 \cdot 1/2 = 88,47$
4 Sobrecarga do aterro na argila	$0,41 \cdot 17 \cdot 4,2 \cdot d = 29,27d$
5 Empuxo ativo argila	$0,41 \cdot 20 \cdot d^2 \cdot 1/2 = 4,1d^2$
6 Empuxo passivo	$2,46 \cdot 20 \cdot d^2 \cdot 1/2 = 24,6d^2$

Tabela 4. Cálculo do momento fletor exercido na contenção. Fonte: Resende (2017).

Esforço	Momento (kN·m/m)
1 Sobrecarga no aterro	$103,87 + 49,46d$
2 Sobrecarga na argila	$4,1d^2$
3 Empuxo ativo aterro	$123,85 + 88,47d$
4 Sobrecarga do aterro na argila	$14,64d^2$
5 Empuxo ativo argila	$1,37d^3$
6 Empuxo passivo	$8,2d^3$

Ao estabelecer que a razão entre o empuxo passivo e os empuxos ativos indicados na Tabela 4 deve ser igual a dois, obteve-se  $d = 11,64$ . A ficha total foi encontrada ao aumentar a ficha inicial em 20% e o comprimento da estaca

correspondente à soma da altura da contenção com a ficha é de 18,00 m.

$$f = d - x = 11,64 - 0,9 = 10,74 \text{ m}$$

$$f_d = 1,2 \cdot f = 12,89 \text{ m}$$

Com este comprimento, a cortina estaria embutida na camada de solo idicada como impenetrável. Uma alternativa para diminuir este comprimento é a execução de uma berma na contenção.

#### 4.2 Dimensionamento do comprimento da estaca com berma

Desta vez, será fixado um “d” no nível do impenetrável do SPT majorado em 20% e verificada qual deve ser a sobrecarga para que os momentos em torno de R sejam nulos como indicado na Figura 13.

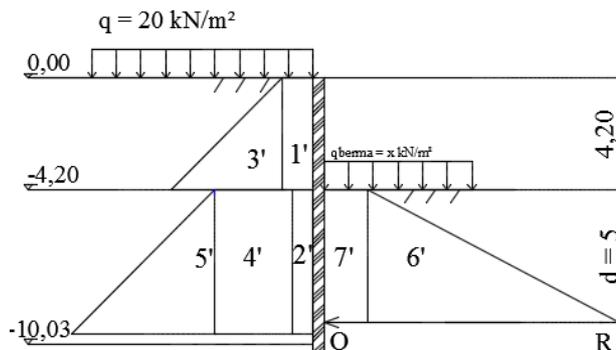


Figura 13. Esforços na estrutura de contenção considerando a berma. Fonte: Resende (2017).

Os cálculos foram refeitos para esta nova situação e apresentados na Tabela 5.



Tabela 5. Cálculo do momento na estrutura considerando a berm. Fonte: Resende (2017).

Carga	Momento (kN.m)
1' Sobrecarga no aterro	338,79
2' Sobrecarga na argila	91,57
3' Empuxo ativo aterro	542,94
4' Sobrecarga do aterro na argila	326,91
5' Empuxo ativo argila	144,98
6' Empuxo passivo	880,21
7' Sobrecarga da berm	27,81 q <sub>berma</sub>

A sobrecarga necessária para garantir a estabilidade da estrutura foi calculada abaixo:

$$\sum MR / \sum MI = (27,81q_{berma} + 880,21) / 1445,20 \geq 2$$

$$\therefore q_{berma} \geq 73,32 \text{ kN/m}$$

Portanto, a berm será dimensionada com 73,32 kN/m. Como o peso específico do aterro é 17 kN/m<sup>3</sup>, tem-se um volume de 4,25 m<sup>3</sup> por faixa de 1m de largura. Com esta especificação, foi adotada uma berm com geometria conforme indicada na Figura 14.

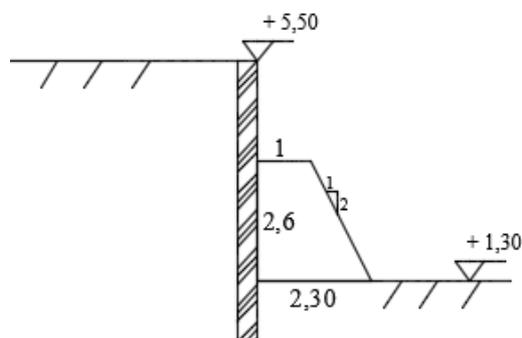


Figura 14. Geometria da berm (em metros). Fonte: Resende (2017).

O diagrama líquido foi calculado como mostra a Figura 15 e a Tabela 6.

Tabela 6. Cálculo do diagrama líquido na estrutura com berm. Fonte: Resende (2017).

Carga	Equação trecho 1	Equação trecho 2
1' Sobrecarga no aterro	$20 \cdot 0,59 = 11,76$	
2' Sobrecarga na argila		$20 \cdot 0,41 = 8,12$
3' Empuxo ativo aterro	$19 \cdot 0,59 \cdot X_1 = 10,01X_1$	
4' Sobrecarga do aterro na argila		$17 \cdot 4,2 \cdot 0,41 = 28,98$
5' Empuxo ativo argila		$20 \cdot 0,41X_2 = 8,12X_2$
6' Empuxo passivo		$20 \cdot 2,46X_2 = 49,2X_2$
7' Sobrecarga da berm		$73,32 \cdot 2,46 = 180,37$
<b>Total:</b>	$F(X_1) = 11,78 + 10,01X_1$	$F(X_2) = -53,09 - 16,52X_2$

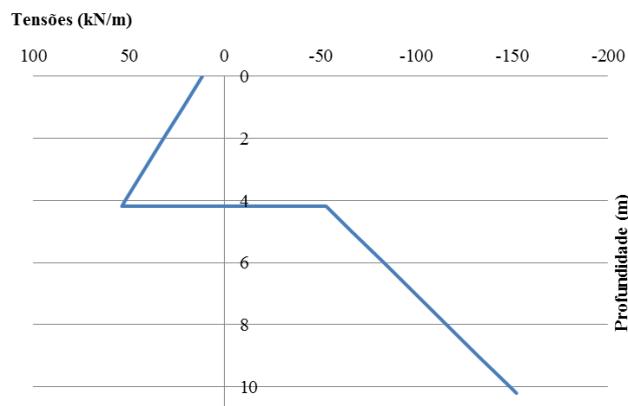


Figura 15. Diagrama simplificado. Fonte: Resende (2017).

## 5 VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL

A verificação da estabilidade global foi feita por meio do software Slide para a análise da estabilidade e do RS<sup>2</sup> para a análise tensão-deformação da escavação por elementos finitos, ambos da plataforma Rocscience e disponibilizados pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia.

Estabilidade de taludes: o coeficiente de segurança de Bishop calculado a partir de superfícies não circulares foi de 1,62 para a



situação sem berma e 2,02 para a situação com berma, ambos acima de 1,5, que é o fator de segurança estabelecido na ABNT - NBR 11682:2009, portanto, podemos considerar ambas as situações como estáveis. Nota-se ainda, que a execução da berma aumentou consideravelmente a estabilidade ao deslizamento do talude como indicado na Figura 16 e na Figura 17.

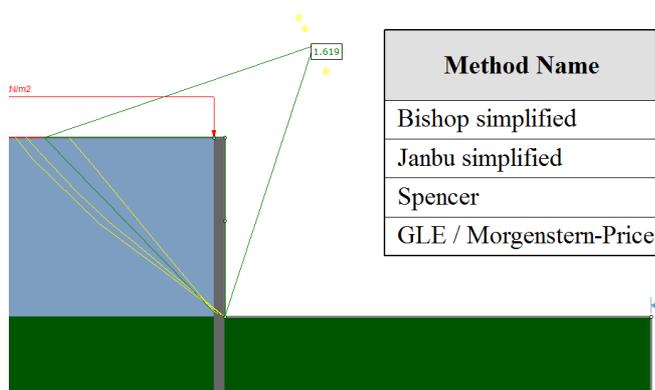


Figura 16. Análise da estabilidade com superfície não circular sem berma. Fonte: Resende (2017).

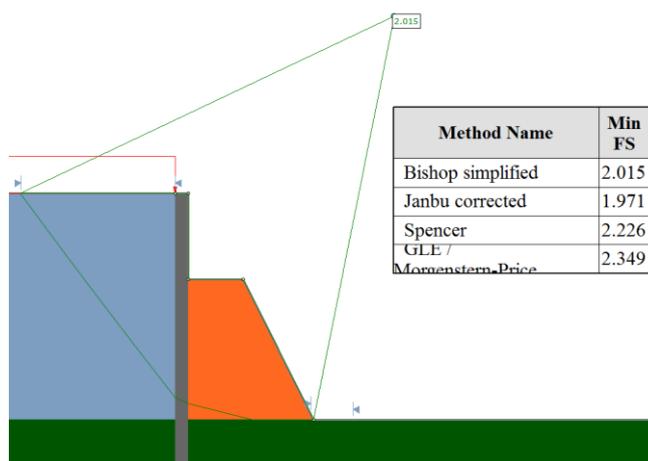


Figura 17. Análise da estabilidade em superfície não circular com berma. Fonte: Resende (2017).

Análise do deslocamento horizontal: por elementos finitos: A Figura 18 e a Figura 19 mostram os deslocamentos máximos para as situações sem e com berma, respectivamente. Nota-se que foram verificados deslocamentos de 7,1 e 5,2 mm no topo da estaca, que é o ponto mais crítico. O Eurocode 7 (2014) define que o deslocamento horizontal deve ser limitado de

maneira a não causar danos relevantes às edificações a montante, já a norma francesa NF P 94 - 282 (2009), recomenda mais especificamente que este valor não ultrapasse alguns milímetros para obras de contenção em geral. Portanto, para a estrutura em questão, os deslocamentos simulados estão dentro do admissível.

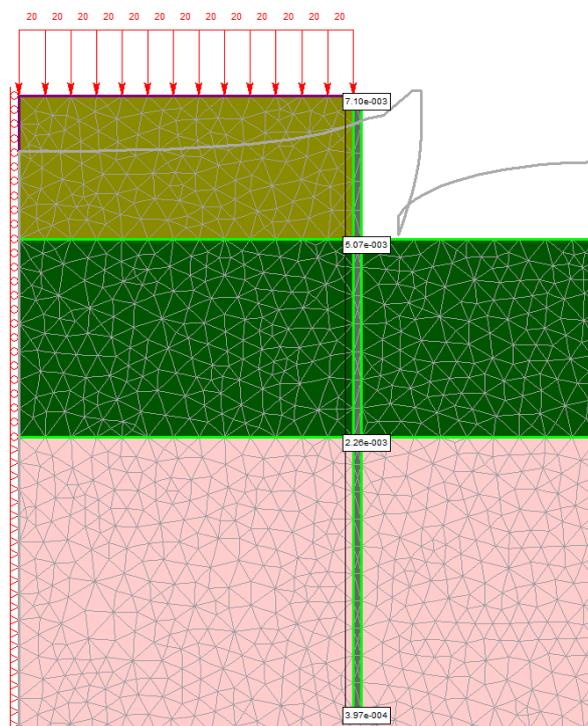


Figura 18. Deformação da contenção sem berma. Fonte: Resende (2017).

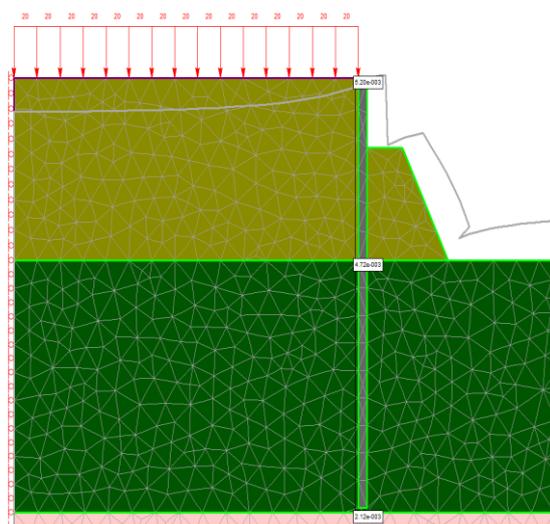




Figura 19. Deformação da contenção com berma. Fonte: Resende (2017).

## 2 CONCLUSÃO

Pôde-se perceber que a solução mais viável entre as estudadas é a execução de uma cortina em estacas raiz com utilização de berma. A berma foi escolhida por diminuir em 55% o comprimento da ficha de maneira a evitar que a estaca fosse escavada em solo com características de rocha opção que reduz custos e otimiza prazos.

Deve-se observar, porém, que a escolha por esta forma de execução leva a uma limitação do espaço do canteiro enquanto a primeira laje não for concretada e ainda causa um esforço adicional à estrutura de travamento (geralmente junto à 1ª laje).

A partir das análises numéricas realizadas, notou-se que as estruturas calculadas de acordo com métodos tradicionais de cálculo apresentaram estabilidade satisfatória e atingem o fator de segurança estabelecido pela ABNT NBR 1682:2009. Notou-se ainda que, a substituição de uma ficha mais profunda por uma berma não altera significativamente os deslocamentos horizontais, já para a estabilidade de taludes, a contenção com berma é uma estrutura mais estável do que sem. Ainda a partir da análise realizada por meio do software RS2, nota-se que o deslocamento crítico da estrutura ocorre no topo das estacas, como esperado, e não ultrapassa os limites sugeridos pela literatura internacional para que a estrutura seja considerada estável e não cause danos significativos à vizinhança.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Conel Construtora Ltda. pelo fornecimento de projetos e informações e à Universidade Federal de Uberlândia pela aquisição da licença dos softwares utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2001). NBR 6484:2001. Solo - Sondagens de Simples Reconhecimento Com Spt - Método De Ensaio. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682:2009. Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 6122:2009. Projeto de Execução de Fundações. Rio de Janeiro.
- NF - Norme Française (2009). NF P 94 - 282 Ouvrages de soutènement.
- NF - Norme Française (2014). Eurocode 7: Calcul Géotechnique Franki Foundations. Procédé D'exécution Paroi De Pieux Sécants.
- Hachich, W. Et Al. (2009) *Fundações - Teoria E Prática*. 2. Ed. São Paulo. Editora Pini.
- Milititsky, J. (2016) *Grandes Escavações Em Perímetro Urbano*. 1. Ed. São Paulo. Editora Oficina de Textos.
- Novalumi (2017) Sondagem Spt. Ensaio de sondagem a SPT realizado no terreno. CD-ROM.
- Resende, P. A; Garcia, J. R. (2017) *Dimensionamento Geotécnico de Cortina em Estaca*. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia UFU, 87 p. CD-ROM.
- Schmidt, J. A. (2017) Detalhamento de Fachadas. Projeto arquitetônico do empreendimento. CD-ROM.
- Total Foundations Solutions (2017). Processes & Equipment Rotary Bored Piles. <http://totalfoundations.com/process-equipment/rotary-bored-piles/>. Acesso em dezembro de 2017.
- Vasconcelos, M. F (2017). Levantamento Topográfico. Levantamento topográfico realizado no terreno. CD-ROM.