

ANÁLISE COMPARATIVA DO REFINAMENTO DA MALHA DE ELEMENTOS FINITOS NO DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO COM SOLO REFORÇADO UTILIZANDO O SOFTWARE CRISP92-SC

Comparative analysis of the refining of a finite elements mesh on design of a mechanically stabilized earth using CRISP92-SC software

Morgana Moreschi (1); Gabriela Alves Moreira Dutra Radinz (2); Bruno Teixeira Dantas (3)

(1) Engenheira Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, Brasil. (P)

(2) Msc., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória - ES, Brasil.

(3) Dr. Prof., Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória -ES, Brasil

Email para Correspondência: m.moreschi2@gmail.com; (P) Apresentador

Resumo: Diversos fatores contribuem para o comportamento de uma estrutura de contenção com solo reforçado (ECSR): dos parâmetros do solo de aterro e da compactação ao tipo de reforço e características do solo de fundação. Em relação às análises numéricas, são importantes para os resultados as considerações quanto às condições de contorno e deslocamentos permitidos na malha modelada. O objetivo deste estudo foi comparar os resultados obtidos nas análises de deslocamentos e esforço axial nos reforços metálicos de um aterro hipotético construído com a tecnologia de solo reforçado, utilizando o Método de Elementos Finitos – MEF, para dois níveis de discretização da malha: uma menos refinada e uma malha mais refinada. Dois materiais para revestimento do muro do aterro foram modelados: um revestimento rígido e um sensivelmente mais flexível. As modelagens numéricas foram feitas no *software* CRISP92-SC. A análise dos deslocamentos foi feita para o aterro lançado e não englobou a análise de deslocamentos do elemento de fundação. Os resultados mostraram que: a discretização maior nos primeiros quatro metros do reforço não foi suficiente para provocar mudanças significativas nos resultados dos deslocamentos e dos esforços axiais nos reforços; a distribuição de tensões ao longo da altura indicou que o esforço axial foi maior na primeira camada de reforço, próxima à base do aterro, nas malhas com face rígida, e maior na segunda camada de reforço, na malha com face flexível; a distribuição das tensões ao longo da última camada de reforço, tanto para face flexível quanto para face rígida, é maior próxima ao centro do reforço; já a distribuição das tensões ao longo da primeira camada de reforço, tanto para face flexível quanto para face rígida, é maior próxima à conexão do reforço com a face do aterro; por fim, as tensões ao longo dos reforços são maiores quando a face é flexível, independentemente do nível de refinamento da malha de elementos finitos. Os resultados observados permitiram concluir que o maior refinamento da malha de elementos finitos, com o consequente aumento no número de nós, elementos e tempo de processamento, não foi justificada, pois as alterações foram insignificantes nos valores de tensões axiais e deformações da ECSR modelada. Além disso, a utilização da análise com o MEF permitiu evidenciar que os esforços axiais foram menores na ECSR com face rígida, ou seja, a rigidez do material de revestimento dessas estruturas de contenção influencia na distribuição dos esforços nos elementos de reforço.

Palavras chaves: contenção; solo; CRISP92-SC; modelagem.



Abstract: Several factors contribute to the behavior of a reinforced soil structure (RSS), ranging from embankment soil parameters and compaction even the type of reinforcement and foundation soil characteristics. Regarding numerical studies, considerations about the boundary conditions and allowed displacements in the modeled mesh can also substantially influence the results. The objective of this study was to compare the results obtained in the analyzes of displacements and axial stress in the metallic reinforcement of an embankment with reinforced soil technology using the Finite Element Method - FEM, for two levels of discretization of the mesh: one less refined and a more refined mesh. Two different materials were modeled for the facing: a flexible and a rigid facing. Numerical modeling was done in CRISP92-SC software. The displacement analysis was done only for the embankment and did not include the displacement analysis of the foundation element. The results showed that: the greatest discretization in the first four meters of the reinforcement was not enough to cause significant changes in the results of the displacements and the axial stresses in the reinforcements; the stress distribution along the height indicated that the axial stress was higher in the first reinforcement layer, close to the base of the embankment, in the meshes with rigid face, and greater in the second reinforcement layer, in the mesh with flexible face; the stress distribution along the last reinforcement layer, both for flexible face and rigid face, is greater near the center of the reinforcement; the stress distribution along the first reinforcement layer, both for flexible face and rigid face, is greater next to the connection of the reinforcement in the face of the embankment; finally, the tensions along the reinforcements are greater when the face is flexible, regardless of the refinement level of the finite element mesh. The results showed that the more discretized finite element mesh, with a consequent increase in the number of nodes, elements and processing time, did not cause significant changes in the axial stresses and strain values of the modeled RSS. In addition, the use of the analysis with the FEM showed that the axial stresses were smaller in the RSS with rigid facing, than, the rigidity of the facing material of these structures influences the distribution of the stresses in the reinforcement elements.

Keywords: *containment; soil; CRISP92-SC; modeling.*

1 INTRODUÇÃO

O solo, como material de construção, é conhecido por seu razoável desempenho quando submetido à esforços de compressão e, quando corretamente compactado, apresenta boa resistência ao cisalhamento. No entanto, apresenta quase nenhuma resistência à tração. Portanto, faz-se necessário aplicar técnicas que visem a melhoria de suas características mecânicas e de resistência (Erlich, Becker 2009).

Dessa necessidade, surgiu o conceito de solo reforçado, que é uma técnica que objetiva o melhoramento das propriedades mecânicas e de resistência de uma massa de solo a partir da inserção de elementos resistentes, como aço, materiais poliméricos ou fibras naturais. Trata-se de um conceito análogo ao do concreto armado, no qual o concreto simples é associado ao aço para permitir um aumento na resistência à tração e melhorar o desempenho mecânico.

Há registros da utilização da técnica de estruturação do solo por meio da inserção de materiais diversos, ainda que de forma rudimentar, desde os primórdios da história da civilização humana (Becker, 2006).

Todavia, o atual conceito de estrutura de contenção com solo reforçado (ECSR) foi proposto pelo engenheiro e arquiteto francês Henri Vidal, a quem se deve o desenvolvimento da técnica chamada *terre armée* (ou terra armada) (Dantas, 2004). Em 1963, Vidal propôs associar tiras metálicas galvanizadas ao solo e acoplá-las em painéis cruciformes de concreto, permitindo a construção de aterros verticais unicamente pela interação por atrito entre os reforços (tiras metálicas) e o solo de aterro.

Uma estrutura de contenção com solo reforçado consiste basicamente de elementos chamados de reforços, que podem ser de material metálico, polimérico ou natural, dispostos conforme uma malha previamente definida no interior de uma massa de solo. Este compósito é revestido pelo elemento de face, que pode ser: concreto moldado *in loco* ou pré-fabricado; chapas de aço; blocos de alvenaria; o próprio reforço, no caso dos geossintéticos; dentre outros.

A sequência executiva típica de uma ECSR consiste da: instalação do elemento de face, lançamento da camada de solo; compactação da camada de solo lançada; e instalação do reforço. Dado esse processo executivo, é indicada a utilização deste tipo de contenção principalmente na construção de aterros.

Desde seu desenvolvimento, as estruturas de contenção com solo reforçado tem se mostrado uma alternativa técnica e economicamente interessante em relação aos sistemas convencionais de contenção, principalmente devido às seguintes vantagens: (1) custo efetivo relativamente menor que outras soluções de contenção; (2) rápida execução, pois, em geral, o tempo é limitado apenas pelo processo de lançamento e compactação do solo; (3) não necessita de mão de obra qualificada devido à simplicidade da montagem das camadas de reforço e elementos de face; (4) possibilidade de um melhor acabamento estético e harmonização com o entorno da construção; (5) não necessitam serem apoiadas sobre solo de fundação suficientemente rígido, pois são estruturas mais tolerantes à recalques e deformações que estruturas de contenção como muros de arrimo; (6) e por fim, viabilizam a construção de muros de contenção com alturas superiores a 25m, para os quais as estruturas em concreto armado demandariam alto consumo de concreto e aço e mais robustez.

1.1 Elementos constituintes de uma ECSR

As ECSR são compostas basicamente por solo de aterro, reforço e elemento de face. A Figura 1 abaixo ilustra um diagrama esquemático de uma ECSR.

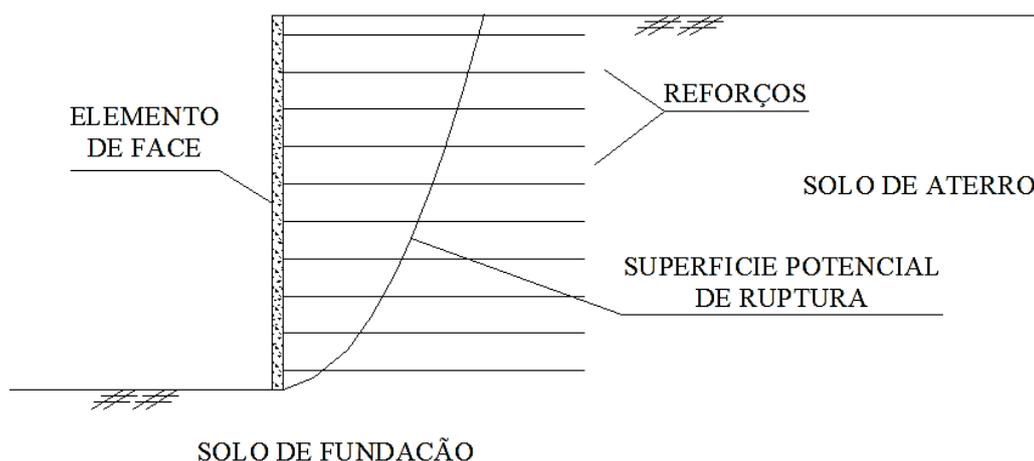


Figura 1. Diagrama esquemático de uma ECSR

A ECSR pode ser dividida em duas regiões: região reforçada e região não reforçada. A região reforçada, por sua vez, se divide em região ativa, representada pela massa de solo potencialmente instável, e região resistente, que engloba a massa de solo que não tende ao deslizamento. A fronteira entre essas duas regiões é a chamada superfície potencial de ruptura, que é gerada pela linha que intercepta os pontos de tração máxima nos reforços.

O princípio básico de funcionamento de uma ECSR é a interação por atrito entre o solo de aterro e o reforço. O comprimento do reforço para assegurar o sucesso dessa interação deve ser tal que ultrapasse o limite definido pela superfície potencial de ruptura, a fim de funcionar como uma espécie de ancoragem do solo da zona ativa na massa de solo pertencente à zona resistente.

Quanto aos reforços utilizados em ECSR, estes podem ser metálicos ou não-metálicos. Os reforços metálicos, classificados também como inextensíveis, são geralmente constituídos de aço com baixo teor de carbono e, portanto, dúctil. Já os reforços não-metálicos são geralmente confeccionados de material polimérico, sendo os mais usuais o poliéster (PET), o polipropileno (PP), o polietileno (PE) e o álcool de polivinila (PVA) (Erlich, Becker 2009). Materiais poliméricos com uso na Geotecnia recebem o nome de geossintéticos. Os geossintéticos mais utilizados como reforços em ECSR são os geotêxteis tecidos e não-tecidos e as geogrelhas, classificados como extensíveis e de rigidez intermediária, respectivamente.

Para o revestimento de face, o material a ser utilizado depende do uso da estrutura de contenção, da tolerância aos movimentos durante e após a construção, da durabilidade e nível de segurança requeridos, manutenção durante o ciclo de vida da obra e aspecto estético. Podem ser classificados como flexíveis ou rígidos (Dantas, 2004).

Segundo Dantas (2004), as principais funções atribuídas aos elementos de face são: proteção contra vandalismo, erosão do solo superficial e conferir acabamento estético à



contenção, por exemplo, alguns sistemas de blocos pré-fabricados que permitem o crescimento de vegetação na face da estrutura e oferecem menor impacto visual ao ambiente.

A função estrutural da face no equilíbrio da ECSR, em geral, é secundária e desconsiderada nos métodos de análise (Ismeik; Guler 1998, Helwany et al, 1996, Huang et al, 2008). Vários pesquisadores, no entanto, tem evidenciado que o papel tanto da rigidez quanto de outros parâmetros da face no desenvolvimento de tensões no interior da massa de solo e nos reforços pode não ser desprezível no dimensionamento destas estruturas (Almeida, 2014, Barthurst et al, 2006, Dantas, 2004, Ismeik, Guler 1998, Helwany et al, 1996; Huang et al, 2008, Vieira et al, 2008).

Logo, é possível notar que vários são os fatores que contribuem para o comportamento de uma ECSR, desde parâmetros do solo de aterro, solo de fundação, o tipo de reforço utilizado, os elementos de face, a compactação, como também a geometria da estrutura.

No que diz respeito aos estudos numéricos, as considerações quanto às condições de contorno e deslocamentos permitidos na malha modelada podem também influenciar substancialmente os resultados.

Vários estudos tem sido conduzidos para esclarecer e identificar a interação entre esses diversos fatores. Diante disso, o objetivo deste estudo foi realizar uma análise numérica para identificar se o nível de refinamento pode influenciar significativamente nos resultados do comportamento de uma ECSR no que tange aos esforços desenvolvidos nas diferentes camadas de reforço, e ao longo destes, bem como as deformações observadas em uma ECSR hipotética.

2 METODOLOGIA

Para modelagem numérica das ECSR, foi utilizado o programa CRISP92-SC. Trata-se de um *software* de cálculo com interface MS-DOS (*Microsoft Disk Operating System*), que utiliza o método dos elementos finitos e cuja primeira versão foi desenvolvida por pesquisadores da Universidade de Cambridge, em 1975. O desenvolvedor da primeira versão do código do programa foi Mark Zytynski (Britto, Gunn, 1990).

O código original do programa foi implementado, em 1996, por Edwin A. Z. Iturri, para permitir a formulação do comportamento do solo segundo o modelo hiperbólico de Duncan et al (1980). Além dessa alteração, foi possível também a simulação do processo de compactação a partir da implementação do modelo histerético de Duncan e Seed (1986) na nova versão do programa, agora chamado CRISP92 *with Soil Compaction*, ou CRISP92-SC (Dantas, 1998).

Neste estudo, foram coletados os seguintes dados fornecidos pelo *software*: a tensão axial desenvolvida ao longo dos reforços; os deslocamentos verticais e horizontais da estrutura; e o esforço axial máximo atuante em cada nível de reforço. Não foram considerados o processo de compactação e a atuação de sobrecargas no terrapleno da ECSR. O solo de fundação foi considerado suficientemente rígido para não influenciar no desenvolvimento dos esforços nos reforços nem nos deslocamentos do aterro reforçado.

Considerações sobre drenagem, durabilidade ou efeitos de fluência dos reforços também não foram tratadas nesta pesquisa, assim como, a existência do elemento de interface no contato solo-reforço. Becker (2006) salienta que considerar o elemento de interface significa admitir o

deslocamento relativo entre o solo e reforço. No entanto, o mesmo pesquisador ressalta que este deslocamento relativo solo-reforço é mínimo, nas condições de trabalho, podendo ser considerado praticamente inexistente.

Para análise da influência do nível de refinamento da malha de elementos finitos, foram modeladas duas malhas para uma mesma ECSR, porém com diferente nível de refinamento: uma mais refinada e uma menos refinada. Em comum, ambas malhas apresentam face vertical de 5 metros de altura, reforçadas com 10 camadas de reforço do tipo metálico, cada reforço com 4 metros de comprimento em cada nível, espaçados na vertical por 0,50m e, na horizontal, por 1m.

Para cada uma delas, ainda foram testados um revestimento de face rígido e um revestimento de face flexível para verificar a influência da rigidez da face no desenvolvimento dos esforços nos reforços. Ao todo, a malha menos refinada foi composta de 709 nós e 762 elementos, enquanto a malha mais refinada, 854 nós e 952 elementos. As Figuras 2 e 3 a seguir ilustram a discretização da malha menos refinada e da malha mais refinada, respectivamente.

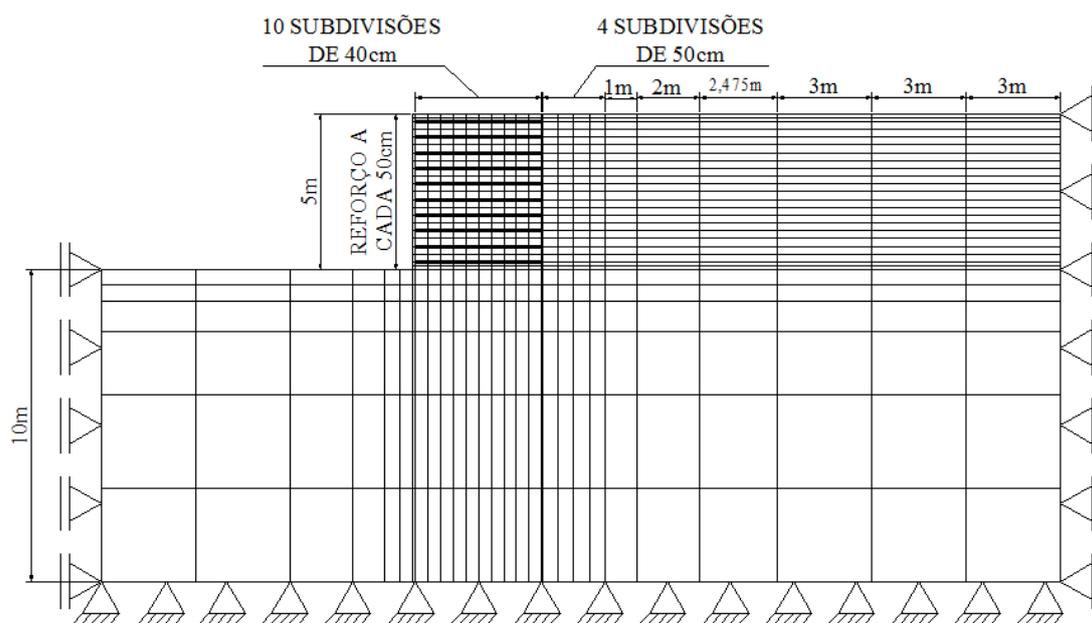


Figura 2. Discretização da malha menos refinada

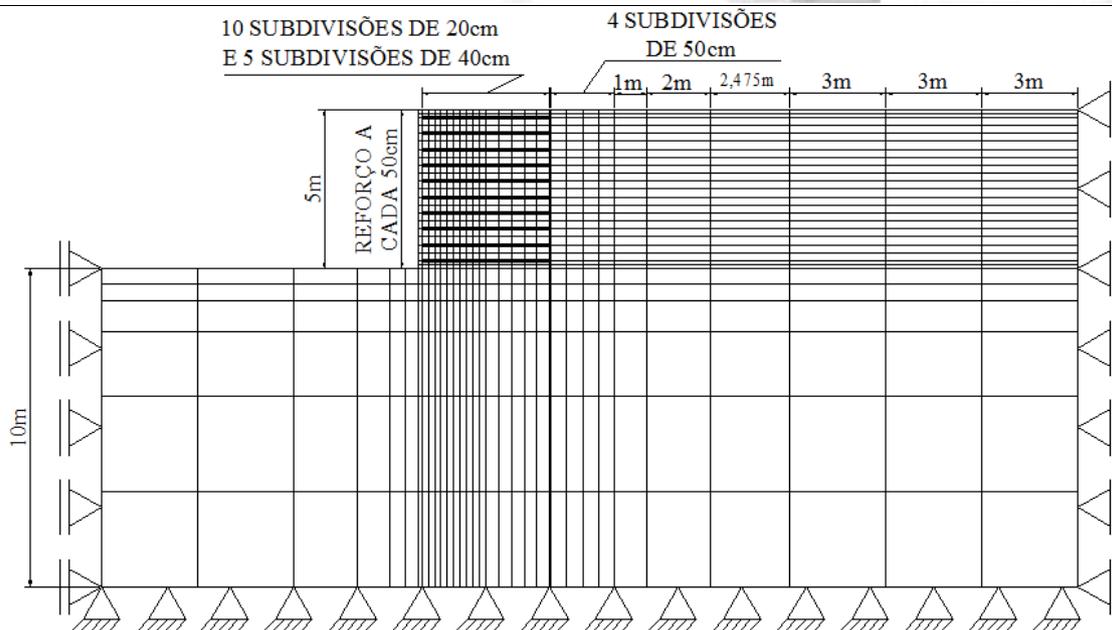


Figura 3. Discretização da malha mais refinada

O solo de aterro foi o mesmo na região reforçada e na região não reforçada. Os elementos utilizados para modelagem da malha foram os quadriláteros isoparamétricos de oito nós. O solo de aterro e de fundação foram modelados com comportamento elástico não linear, segundo o modelo hiperbólico de Duncan et al (1980) e os parâmetros de geotécnicos adotados foram baseados nos trabalhos de Dantas (1998, 2004) e Almeida (2014). A Tabela 1 a seguir resume os parâmetros do modelo hiperbólico adotados para o solo de aterro e para o solo de fundação.

Tabela 1. Parâmetros do solo de aterro e do solo de fundação da ECSR

Parâmetros do solo	Solo	
	Aterro	Fundação
Módulo tangente inicial da curva tensão x deformação, k	480	600
Módulo expoente da curva tensão x deformação, n	0,5	0,25
Constante do módulo volumétrico, K_b	100	450
Constante do módulo volumétrico, m	0,5	0
Razão de ruptura, R_f	0,8	0,7
Constante do módulo de descarregamento e carregamento, K_{ur}	720	900
Ângulo de atrito, ϕ (°)	35	36
Taxa de redução do ângulo de atrito com o confinamento, $\Delta\phi$ (°)	0	1
Intercepto coesivo, c (kPa)	0	0
Peso específico, γ (kN/m ³)	19,6	20,4

Fonte: Adaptado de Dantas (1998, 2004) e Almeida (2014)

Os reforços foram modelados baseados no trabalho de Almeida (2014) e utilizados os elementos de barra para representação de seu comportamento. Segundo Dantas (2004), os reforços são usualmente representados numericamente utilizando os elementos de barras, que são elementos capazes de transmitir apenas esforços axiais. Os reforços metálicos foram admitidos com comportamento elástico linear e com rigidez axial 24.318,00 kN/m.

A face foi modelada por elementos quadriláteros isoparamétricos de oito nós. Os elementos tipo quadrilátero são elementos bidimensionais que possuem propriedades físicas e dimensões reais do material modelado. O modelo constitutivo admitido para o revestimento de face foi o elástico linear. A face foi adotada com espessura de 10cm e com duas rigidezes: um revestimento rígido e um revestimento mais flexível. A Tabela 2 apresenta os parâmetros atribuídos à face da ECSR.

Tabela 2. Parâmetros do revestimento de face

Parâmetros do revestimento de face					
Tipo de face	Espessura (cm)	Módulo de elasticidade, E (kN/m ²)	Módulo de elasticidade transversal, G (kN/m ²)	Coefficiente de Poisson, ν	Peso específico, γ (kN/m ³)
Rígida	0,1	$2,1 \times 10^7$	$8,0 \times 10^6$	0,3	24
Flexível	0,1	$2,1 \times 10^4$	$8,0 \times 10^3$	0,3	24

Fonte: Adaptado de Dantas (1998, 2004) e Almeida (2014)

A sequência executiva do aterro reforçado modelada no CRISP92-SC foi uma construção realizada em 10 etapas incrementais, cada qual com 50 incrementos de carga. Em cada etapa da construção do aterro, foram lançados simultaneamente os elementos de face, solo e reforço. Ao todo, o aterro de 5 metros de altura foi construído em 500 incrementos de carga, simulando uma construção real em camadas.

Os dados da modelagem são extraídos do CRISP92-SC em arquivos de texto. O software, apesar da interface em DOS é uma poderosa ferramenta de análise numérica e é capaz de fornecer informações sobre deslocamentos verticais e horizontais, tensões total e efetiva, verticais e horizontais, poropressão, empuxos desenvolvidos na face posterior do paramento, dentre outras.

Para o estudo realizado, foram coletados dados sobre os deslocamentos verticais e horizontais do solo da região reforçada e as tensões desenvolvidas ao longo do comprimento de cada reforço. Os dados foram tabulados em *software* de planilha eletrônica para análise e discussão dos resultados, que serão feitas a seguir.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para facilitar a compreensão e discussão dos resultados, a Figura 4 a seguir apresenta a convenção utilizada para a posição dos reforços na ECSR.

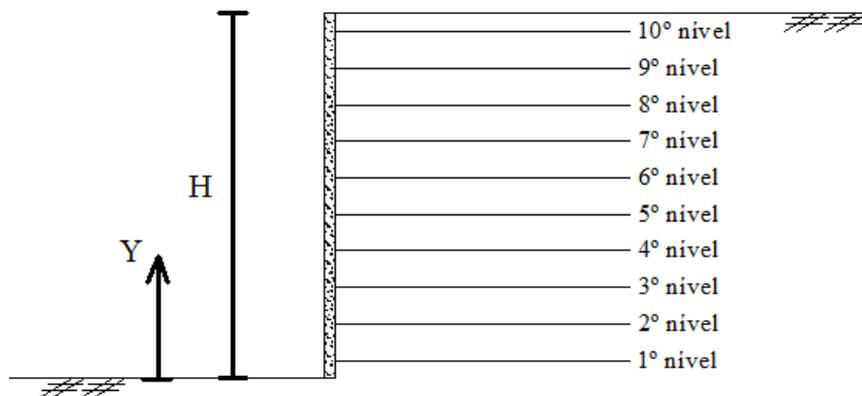


Figura 4. Identificação dos níveis de reforços da ECSR

Um dos resultados extraídos da análise numérica no CRISP92-SC foi o valor da força de tração máxima em cada um dos níveis de reforços. A Figura 5 apresenta os dados obtidos para a ECSR com face rígida, para uma malha menos refinada e uma malha mais refinada. A Figura 6 resume os resultados obtidos para uma ECSR, com as mesmas condições de discretização, porém com um revestimento de face com uma rigidez cerca de 1000 vezes menor.

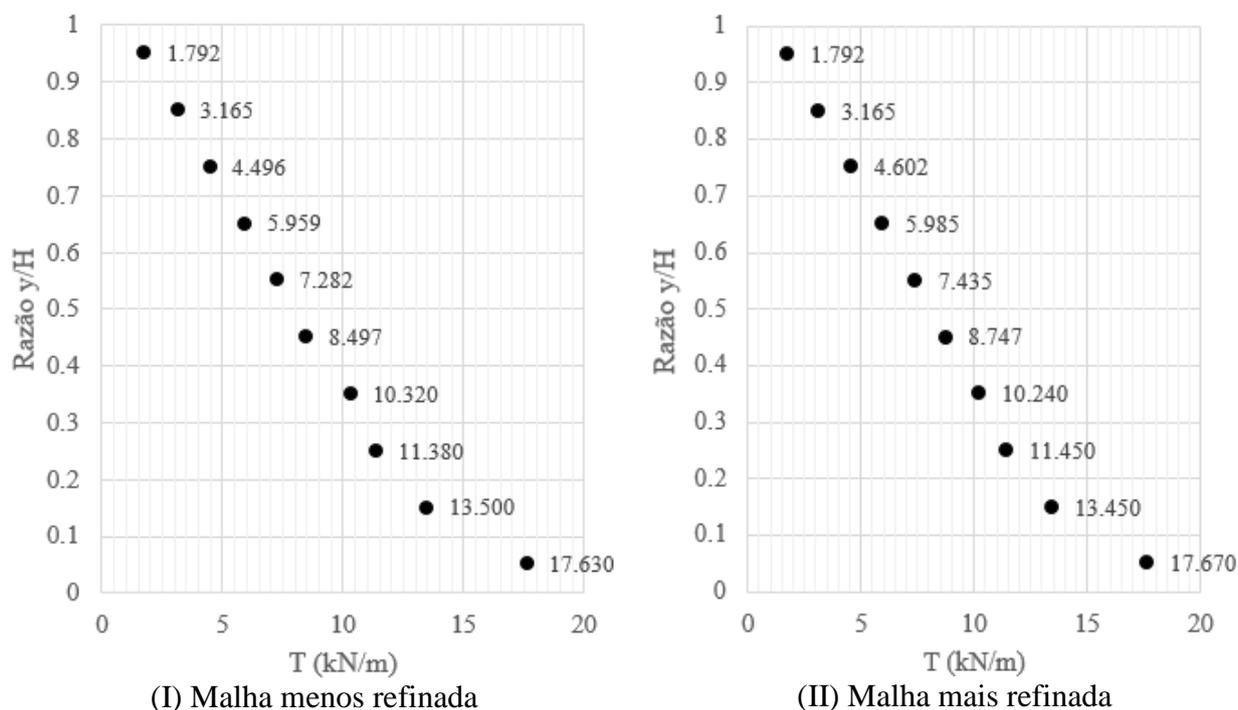


Figura 5. Tração máxima em cada nível de reforço, nas ECSR com face rígida

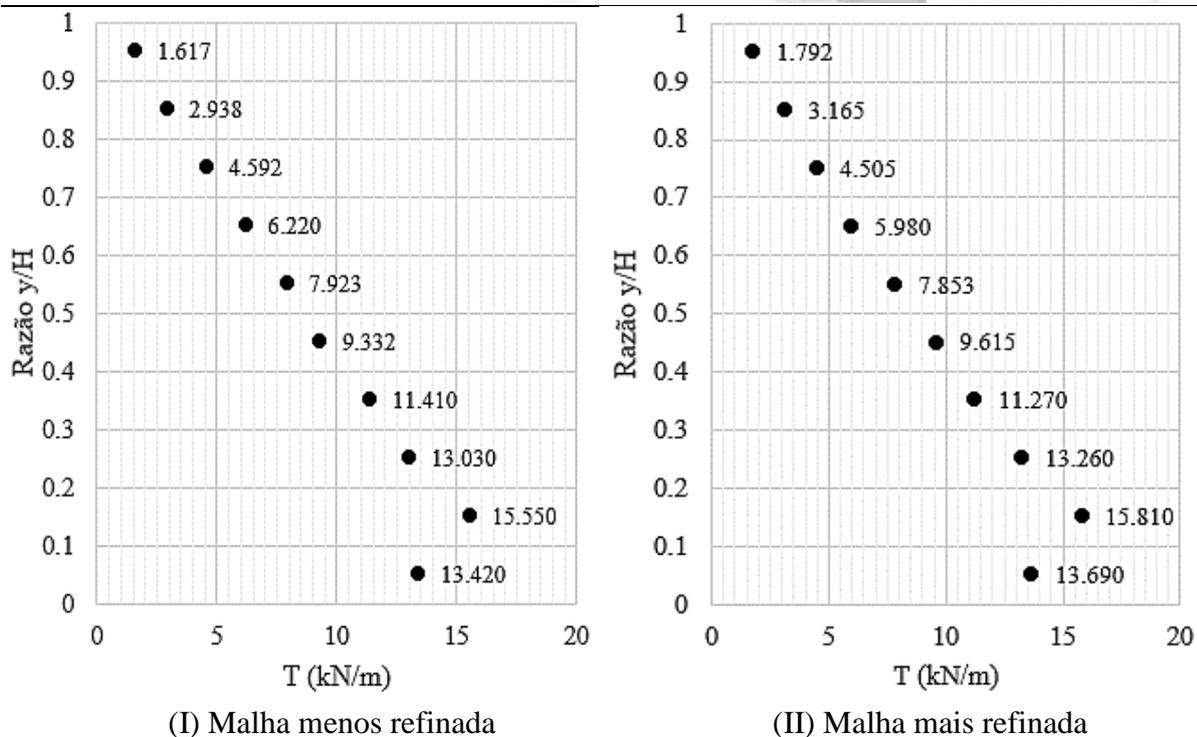


Figura 6. Tração máxima em cada nível de reforço, nas ECSR com face flexível

Observou-se que a tração máxima nos reforços em estruturas com revestimento de face rígido obedeceu a uma distribuição quase linear em função da profundidade. O resultado está de acordo com o obtido por Vieira et al (2008) em pesquisa realizada para verificar a influência da rigidez da face na estabilidade das estruturas de contenção com solo reforçado. Também foi possível verificar com os resultados das Figuras 5 e 6 que, quanto maior a rigidez do elemento de face, mais os esforços dos níveis próximos à fundação do aterro são solicitados. Enquanto que, nas estruturas com revestimento de face de menor rigidez, a tração máxima foi observada no 2º nível do reforço.

Além disso, os esforços de tração são menores nas ECSR com face mais enrijecida, principalmente na região compreendida entre as razões $y/H = 0,15$ e $y/H = 0,75$, onde y é a distância do reforço à base da ECSR. Isso evidencia que a rigidez da face não somente influencia a distribuição dos esforços como também reduz a tração desenvolvida no reforço. Ou seja, ainda que não completamente compreendida, o revestimento de face possui também uma função estrutural.

Quanto à influência do nível de discretização da malha de elementos finitos, na zona reforçada do aterro, notou-se que o aumento do número de nós e elementos não provocou alterações significativas no refinamento dos resultados dos valores de tração, seja qual for a rigidez da face.

Além dos resultados de tração máxima, analisou-se como a tração se distribuiu ao longo dos reforços situados nos 1º e 10º níveis. O resumo dos dados obtidos está apresentado nas

Figuras 7 e 8 a seguir. Os resultados são apresentados na forma parametrizada $T_{m\acute{a}x}/(S_V \cdot S_H \cdot \gamma \cdot H)$, onde $T_{m\acute{a}x}$ é a tração máxima desenvolvida no reforço, S_V e S_H são os espaçamentos vertical e horizontal entre reforços, respectivamente, γ é o peso específico do solo de aterro e H a altura do aterro.

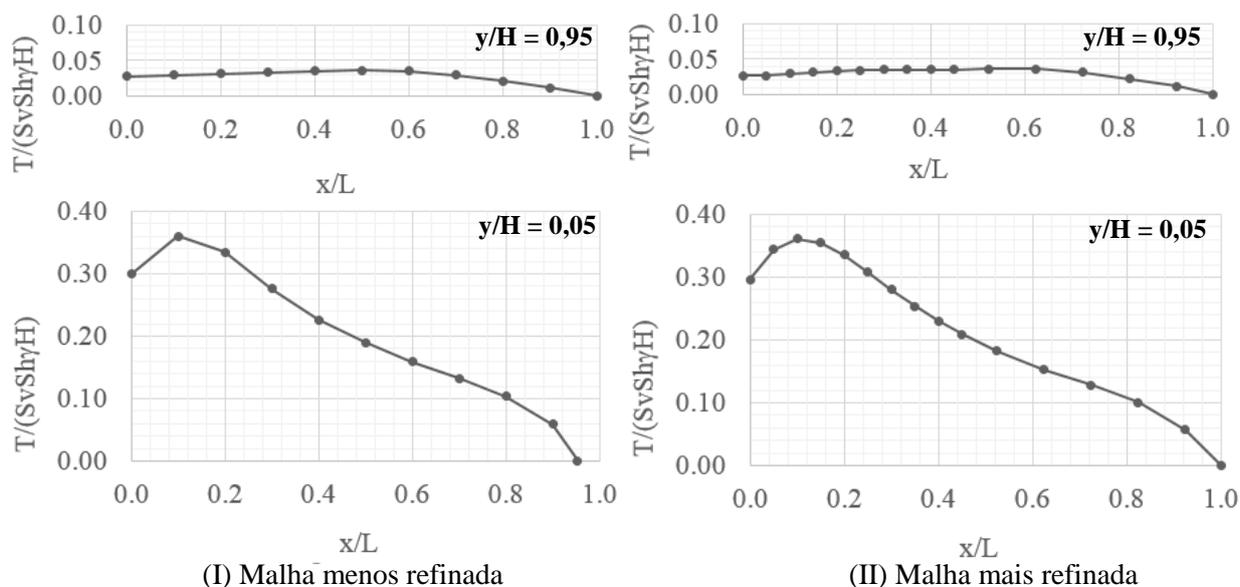


Figura 7. Distribuição dos esforços ao longo dos reforços do 1º nível ($y/H = 0,05$) e do 10º nível ($y/H = 0,95$) para as ECSR com face rígida

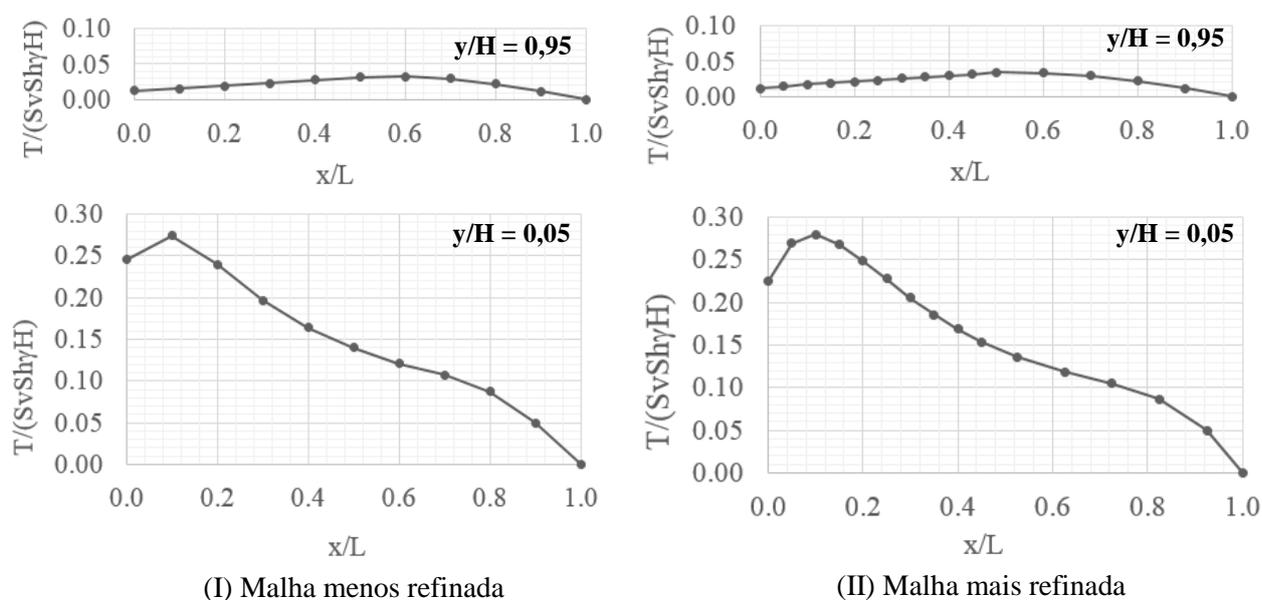


Figura 8. Distribuição dos esforços ao longo dos reforços do 1º nível ($y/H = 0,05$) e do 10º nível ($y/H = 0,95$) para as ECSR com face flexível

Com base nos resultados apresentados acima, é possível observar que o ponto de esforço máximo se aproxima da conexão do reforço com a face no nível $y/H = 0,05$, isto é, no 1º nível



de reforço, o mais próximo da base da ECSR. No entanto, ao analisar a última camada reforçada, $y/H = 0,95$, a distribuição das tensões no esforço revela que o ponto de tensão máxima se dá a partir da metade do comprimento do reforço.

A maior discretização dos primeiros 4 metros de reforço possibilitou resultados mais apurados e uma curva de distribuição de esforços mais suavizada, o que permite visualizar melhor como se dá o desenvolvimento das tensões nesta parte inicial do elemento de reforço das ECSR. No entanto, em termos quantitativos, não se evidenciaram alterações significativas nos resultados que justificassem o maior trabalho computacional empenhado.

A última análise realizada no CRISP92-SC foi a verificação da deformada das estruturas modeladas com face rígida e com face flexível. Mais uma vez, a maior discretização da região reforçada da ECSR provocou alterações consideradas desprezíveis nos resultados. Todavia, a redução da rigidez do elemento de face influenciou na deformada do aterro. Quanto menor a rigidez da face, maiores foram os deslocamentos sofridos pelo aterro e, conseqüentemente, maiores os esforços transferidos para os reforços. Na ECSR com face rígida, a deformação do aterro foi menor, resultando nos menores valores de tração nas camadas de reforço, como já observado anteriormente. Almeida (2014), em uma análise numérica de ECSR, também utilizando o *software* CRISP92-SC, observou os mesmos resultados, para os quais atribuiu como efeito dos esforços cortantes atuantes no revestimento, os quais atuavam ativamente no equilíbrio interno desse tipo de estrutura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As estruturas de contenção com solo reforçado são utilizadas desde os primórdios da humanidade, ainda que não com o mesmo caráter técnico das obras atuais. Foi o desenvolvimento do conceito de terra armada por Henri Vidal, em meados da década de 1960, que possibilitou a expansão da utilização dessas estruturas, bem como o aprimoramento das técnicas construtivas.

O presente estudo possibilitou concluir que a discretização maior nos primeiros quatro metros do reforço não foi suficiente para provocar mudanças significativas nos resultados dos deslocamentos e dos esforços nos reforços. Também foi possível concluir que a distribuição de tensões ao longo da altura indicou que o esforço axial foi maior no reforço inferior, nas ECSR com face rígida. Já nas estruturas com face flexível, a camada de reforço mais solicitada axialmente foi a segunda camada após a base do aterro.

A distribuição das tensões ao longo do reforço inferior (1º nível) e superior (10º nível) é semelhante tanto para face flexível quanto para face rígida, embora as tensões nesses reforços sejam maiores na conexão com a face quando esta apresenta um maior enrijecimento. Por último, foi possível observar a redução da solicitação nos reforços quando, para a face, aplicou-se um revestimento mais rígido.

Ainda que este estudo tenha se limitado a verificar a influência do nível de refinamento da malha de elementos finitos e da rigidez do elemento de face, pode-se afirmar que as várias partes constituintes das ECSR atuais influenciam no comportamento final da estrutura. A utilização de um *software* para análise em elementos finitos desse tipo de obra geotécnica possibilita uma melhor visualização efeitos provocados pelas propriedades do revestimento de



face, dos reforços, bem como os parâmetros dos solos de fundação e de aterro, além do próprio processo executivo, no desenvolvimento das tensões internas no maciço reforçado. Consequentemente, a melhor compreensão do comportamento dessas estruturas, facilitado pelas ferramentas computacionais disponíveis, possibilita a otimização dos projetos geotécnicos, um melhor aproveitamento dos materiais empregados e, possivelmente, uma redução dos custos finais da obra.



REFERÊNCIAS

- Almeida, R de C. M. B. de., 2014. *Estudo do efeito da face sobre o equilíbrio de estruturas de contenção de solo reforçado sob condições de trabalho*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo/Vitória.
- Bathurst, R. J. et al, 2006. The influence of facing stiffness on the performance of two geosynthetic reinforced soil retaining walls. *Canadian Geotechnical Journal*, vol. 43, n. 12, pp. 1225-1237.
- Becker, L. de B., 2006. *Comportamento de geogrelhas em muro de solo reforçado e em ensaios de arrancamento*. Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro/Rio de Janeiro.
- Britto, A. M., Gunn, M. J., 1990. *CRISP 90: user's and programmer's guide*. Cambridge University.
- Dantas, B. T., 1998. *Método de análise de taludes reforçados sob condições de trabalho*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Rio de Janeiro.
- Dantas, B. T., 2004. *Análise do comportamento de estruturas de solo reforçado sob condições de trabalho*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro/Rio de Janeiro.
- Duncan, J. M., Seed, R. B., 1986. Compaction-induced Earth pressures under K0-conditions. *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 112, n. 1, pp. 1-22.
- Erlich, M., Becker, L., 2009. *Muros e taludes de solo reforçado: projeto e execução*. Oficina de Textos.
- Helwany, M. B. et al., 1996. Effects of facing rigidity on the performance of geosynthetic-reinforced soil retaining walls. *Soils and Foundations*, vol. 36, n.1, pp. 27-38.
- Huang, C. -C., Horng, J. -C., Charng, J. -J., 2008. Seismic stability of reinforced slopes: effects of reinforcement properties and facing rigidity. *Geosynthetics International*, vol.15, n.2, pp. 107-118.
- Ismeik, M., Guler, E., 1998. Effect of wall facing on the seismic stability of geosynthetic-reinforced retaining walls. *Geosynthetics International*, vol. 5, n.1-2, pp. 41-51.
- Vieira, C. S., Lopes, M. L., Caldeira, L. M.M.S., 2008. Influence of facing panel rigidity on performance of reinforced soil retaining walls: a numerical study. In *EUROGEO 4*, paper number 244.