

ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDE POR SISTEMA DE MONITORAMENTO COM OBTENÇÃO DE DADOS POR ESTACAS E CIRCUITO ELETRÔNICO- COMPARATIVO COM SISTEMA COMPUTACIONAL.

Antonio Ferreira de Freitas Martins Neto ¹

Resumo – O modelo desta análise de estabilidade em taludes baseia-se em um monitoramento prévio de movimentações da massa, anteriormente a perda considerável da integridade ou segurança. A leitura contínua, para obtenção de informações indicativas de equilíbrio pode fornecer resultados de forma prévia e possibilita agir como um sistema de alerta para possíveis catástrofes geradas por perda de estabilidade. A avaliação da estabilidade por meio de estacas eletrônicas - em fase de testes produzidos em laboratório - visualmente pode fornecer resultados internos e superficiais de uma estrutura de solo em referência a sua forma inicial e final, em consequência de sucessivos carregamentos na crista do talude para ruptura proposital a fim de fazer desta aplicação uma forma viável de obtenção de dados em escalas e situações reais. Taludes em modelos computacionais podem indicar possíveis planos de ruptura bem como prever fatores de segurança para cada forma geométrica e material de composição. Cálculos geotécnicos em sistemas virtuais são complementares em relação a situações reais, como por exemplo, métodos de equilíbrio limite adotado pelo software Geoslope. Estacas de circuitos eletrônicos inseridas no interior do maciço também podem ser utilizadas ao gerar dados interpretativos em relação a movimentação de massa em solos. Neste trabalho foram consideradas duas situações, um modelo prático, executado em laboratório com testes do sistema eletrônico para adquirir dados do talude durante o carregamento sobre sua estrutura, e outro modelo teórico, criado virtualmente com as mesmas dimensões do modelo prático para uma avaliação comparativa deste sistema em fase de testes que geraram resultados similares.

Abstract – The model of this slope stability analysis is based on prior monitoring of mass movements, previously considerable loss of integrity or safety. Continuous reading to obtain information indicative of equilibrium can provide results in advance and can act as a warning system for possible catastrophes generated by loss of stability. The evaluation of the stability by means of electronic stakes - in phase of tests produced in laboratory - visually can provide internal and superficial results of a ground structure in reference to its initial and final form, as a consequence of successive loads in the crest of the slope for rupture purpose in order to make this application a viable way of obtaining data in real scales and situations. Slopes in computational models may indicate possible rupture planes as well as provide safety factors for each geometric shape and compositional material. Geotechnical calculations in virtual systems are complementary in relation to real situations, as for example, limit equilibrium methods adopted by Geoslope software. Stakes of electronic circuits inserted inside the massif can also be used to generate interpretative data in relation to mass movement in soils. In this work two situations were considered: a practical model, executed in the laboratory with tests of the electronic system to acquire data of the slope during loading on its structure, and another theoretical model, created with virtually the same dimensions of the practical model for an evaluation comparison of this system in the test phase that generated similar results.

Palavras-Chave – Estabilidade em taludes; Estacas eletrônicas; Carregamentos; Crista.

¹ Estudante de Engenharia Civil, Universidade Católica de Brasília, (61) 98549-494973, afneto2014@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Construções em encostas podem ser perigosas por não ser possível prever quando e onde terá rompimento da estrutura do solo por conta do efeito de carregamento somado ao efeito das intempéries. Ações antrópicas são responsáveis por grande parte dessas deformações no maciço, por intermédio da remoção da cobertura vegetal e sobrecarga no terreno.

Os problemas de instabilidades em solo podem ser classificados segundo Varnes(1978) em relação ao movimento de massa como queda, tombamento, escorregamento e escoamento. O objeto em análise deste estudo é o escorregamento em ruptura circular sob forma cilíndrica provocado por carregamento na parte superior do talude para teste de um sistema de monitoramento eletrônico para controle de estabilidade.

Segundo GERSCOVICH (2012), a instabilidade é gerada quando as tensões cisalhantes se igualam as forças resistentes, tornando a estrutura insegura dependendo dos requisitos indicado pela NBR 11682 (1991), que trata sobre estabilidade de taludes e propõe valores de até 1,5 como fator de segurança mínimo para algumas obras.

A pesquisa tem como objetivo indicar a possível superfície de ruptura de um talude de um modelo reduzido construído em laboratório e monitorado por protótipo de sistema eletrônico de aquisição de dados, e também comparar estes resultados obtidos com os gerados em um sistema computacional de estabilidade de taludes.

2. MODELOS

2.1. Modelo idealizado

As superfícies de inclinação de talude natural em sua grande parte possui geometria irregular, mas é possível criar uma simplificação ao aproximar a superfície real da encosta por sucessões de planos inclinados simples que serão tangentes ou secantes a superfície real do terreno com o intuito de se encontrar os pontos onde se estarão as inclinações mais elevadas e que necessitam de prioridade na atenção. A figura 1 mostra uma superfície com aproximação de sucessões secantes de planos inclinados.

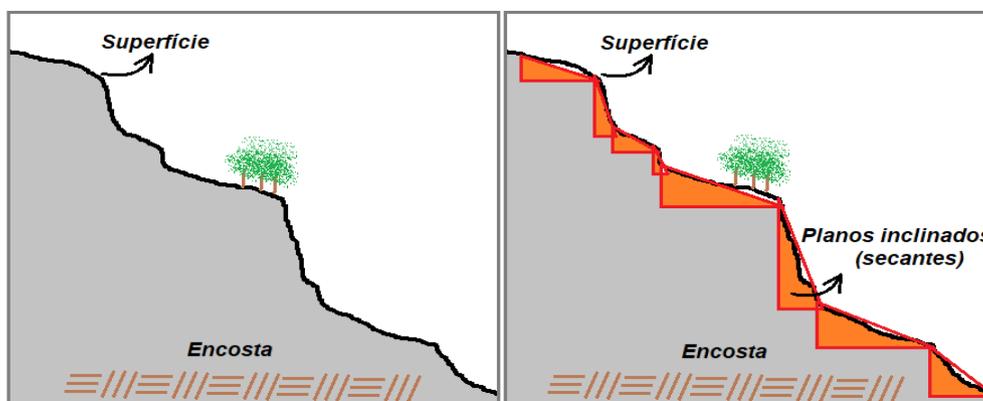


Figura 1. Superfície com aproximação de sucessões secantes de planos inclinados.

Dessa forma, foi elaborado um modelo simplificado e reduzido de talude com superfície planar composto por material arenoso para simular um pequeno trecho de encosta para ser submetido a um carregamento afim de provocar a perda da estabilidade e avaliar o sistema proposto para monitoramento.

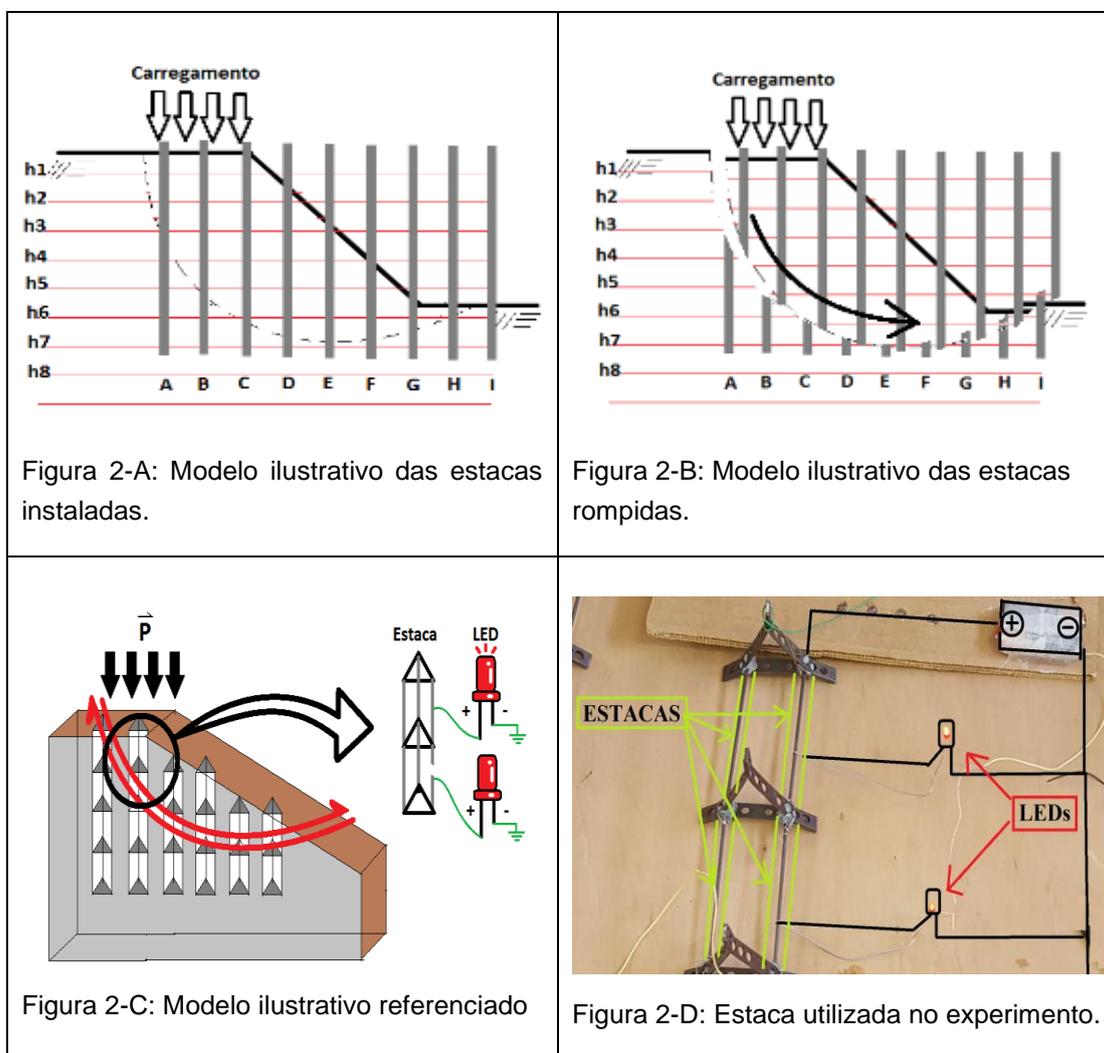
2.2. Modelo proposto

O modelo proposto consiste em um indicativo de alerta, na qual o sistema composto por estacas inseridas no talude estará ligado em um painel com lâmpadas de LED, que informará se houve movimentação da massa ao romper a estaca e tendo como consequência o apagar da lâmpada de referência.

Para prevenir ou monitorar catástrofes envolvendo deslocamentos de massa devido a falhas de estabilidade, pensou-se no desenvolvimento de um mecanismo de controle e monitoramento com o uso de estacas condutoras de corrente elétrica com resistência inferior à de cisalhamento do

solo, para informar em quais pontos do talude houve movimentação significativa ou falhas de cisalhamento da estrutura ao romper as estacas em pontos específicos, funcionando como alerta quando houver ruptura, bem como pode fornecer informações dos dados do local onde ocorreu a falha devido seu sistema de referência. A instalação de um sistema eletrônico em cada segmento do talude viabiliza o controle instantâneo de situações de possíveis riscos e colapsos e pode indicar uma possível superfície de ruptura. As Figuras 2-A, 2-B e 2-C ilustram o referenciamento e o funcionamento do sistema.

Para adequação devido a redução da escala no modelo proposto e a necessidade de as estacas serem composta por material condutor e possuir baixa resistência a esforços cisalhantes, foi adotado grafite de 1,6 mm para transmitir os sinais elétricos para o painel de LED ao invés de um conjunto composto por argamassa e barras de aço com alto teor de carbono, com resistência limite padronizada em função da área de seção nominal, que obrigatoriamente deverá ser menor em relação aos esforços resistentes pelo solo em uma avaliação em campo. As estacas foram confeccionadas de acordo com o modelo ilustrado na Figura 2-D. Cada uma delas possuem três segmentos que permitem a continuidade de passagem de sinal elétrico durante a avaliação.



3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foi confeccionada uma caixa com formato retangular e dimensões de 1,5m x 0,70 m x 0,50m. O material utilizado foi madeira e vidro na parte frontal, para que possibilitasse visualizar o comportamento do talude durante a execução dos testes e registrar cada resultado ao longo do processo de sobrecarga.

O talude foi construído com inclinação de 45° a fim de facilitar a execução, tendo em vista possuir dimensões iguais nos eixos X e Y de inclinação da rampa, conforme ilustra a Figura 3. Foi utilizado aproximadamente 170 kg de areia média lavada, de massa específica de 1,65g/cm³ para amostra indeformada e curva granulométrica representada pelo gráfico da Figura 4, conforme orientações da NBR NM 248 para determinação da composição granulométrica.

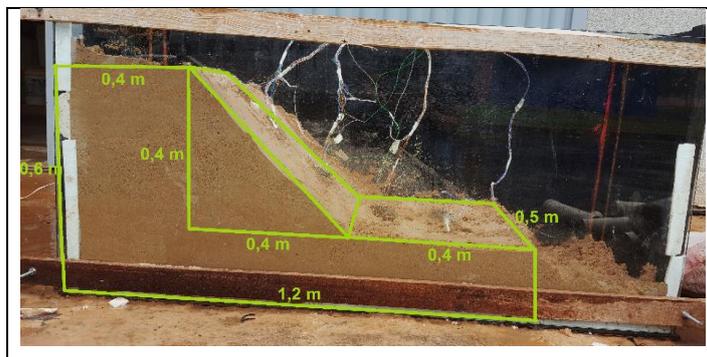


Figura 3: Caixa utilizada no experimento já com o talude em material arenoso.

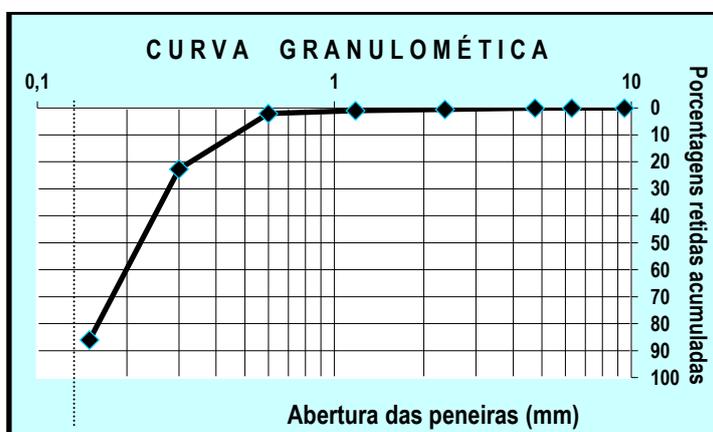


Figura 4: Curva granulométrica do solo utilizado para a execução do talude.

Após a construção da caixa e do talude(Figura 3) se deu início a instalação do sistema eletrônico desenvolvido para monitoramento, que será descrito com detalhes no item a seguir.

3.1. Instalação do sistema eletrônico.

No modelo prático foram moldados espaços vazios com auxílio de tubos PVC com diâmetros de 75 mm para possibilitar a inserção das estacas no interior do maciço, conforme está ilustrado pela Figura 5.

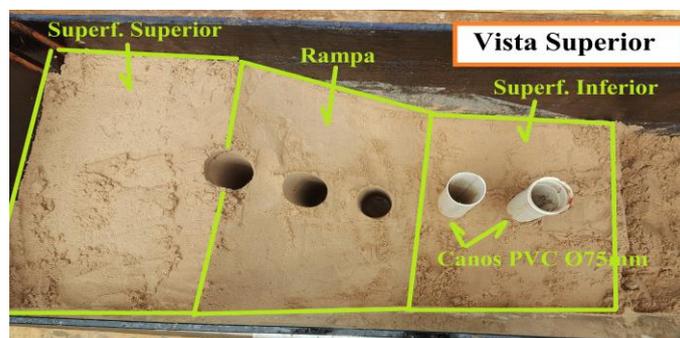


Figura 5: Vista superior do talude executado com a inserção dos tubos de PVC.

Após a execução do talude e a instalação dos tubos de PVC, iniciou-se a inserção do sistema eletrônico, que ocorreu no interior dos espaços moldados. A Figura 6 mostra o talude com o sistema já inserido.



Figura 6: talude com o sistema já inserido.

Com a instalação do sistema no talude, procedeu-se à conexão do painel, composto por todas as lâmpadas de referência para aquisição de dados indicativos da provável superfície de deslizamento, conforme a movimentação do solo. A Figura 7 mostra o painel utilizado no monitoramento.

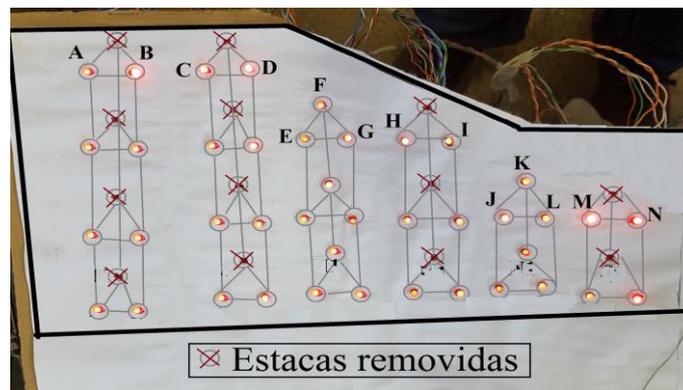


Figura 7: Painel composto por lâmpadas de LED para aquisição de dados.

3.2. Execução do experimento em laboratório

Para realizar o experimento em laboratório, foi necessário a calibração do sistema a fim de verificar a funcionalidade e aquisição de dados pelo painel eletrônico. Após diversas verificações, partiu-se para a execução do ensaio definitivo.

Os carregamentos na crista do talude deram início a execução do ensaio definitivo afim de se verificar a superfície de deslizamento através do vidro da caixa e pela informação indicada no painel do sistema eletrônico. Os carregamentos foram realizados por meio de anilhas metálicas disponíveis no laboratório. As Figuras 8 e 9 mostram o talude rompido com a sobrecarga de anilhas.



Figura 8: Vista frontal do talude rompido com a sobrecarga de anilhas



Figura 9: Vista superior do talude rompido com a sobrecarga de anilhas

Durante a execução do experimento foi possível a verificação direta da superfície de deslizamento formada ao longo do maciço de solo através do vidro da caixa. Ao mesmo tempo foi possível acompanhar a verificação das lâmpadas de LEDs indicadas no painel. A indicação no painel foi observada pelo desligamento das lâmpadas, que estavam acesas, informando a provável superfície de ruptura gerada no final do ensaio. As Figuras 10 e 11 mostram as superfícies informadas visualmente no talude e painel, para serem comparadas posteriormente ao modelo executado computacionalmente.



Figura 10: Modelo real da ruptura.

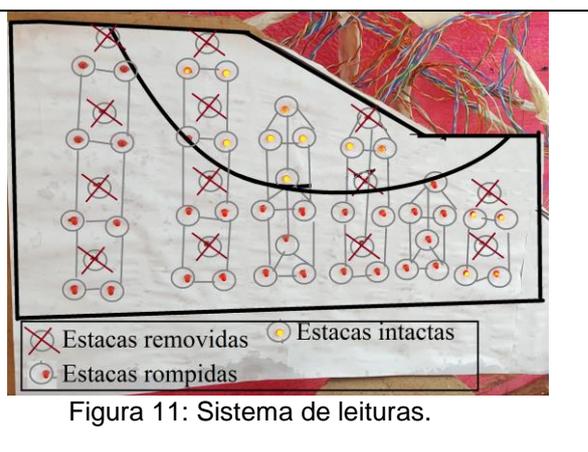


Figura 11: Sistema de leituras.

Tanto os resultados visuais dos efeitos gerados no talude bem como a leitura interpretativa obtida pelo painel indicativo devem ser entendidos sob duas formas de avaliação, nas quais a visual é perceptível em nível externo ou superficial, enquanto que a leitura do painel permite observar a movimentação de massa internamente. A compreensão dessas duas análises permite montar um modelo esquemático interpretativo da simulação conforme disposto nas Figuras 12 e 13.

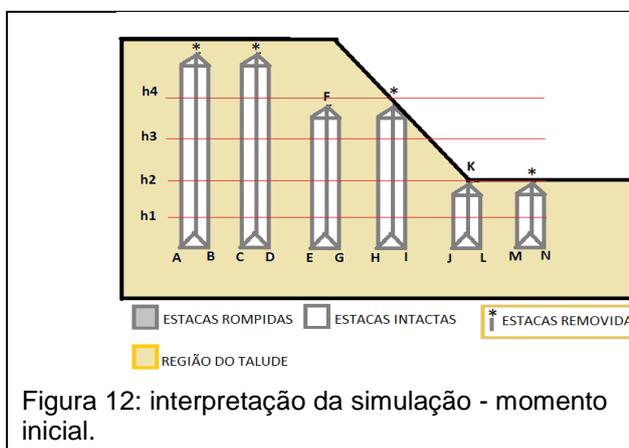


Figura 12: interpretação da simulação - momento inicial.

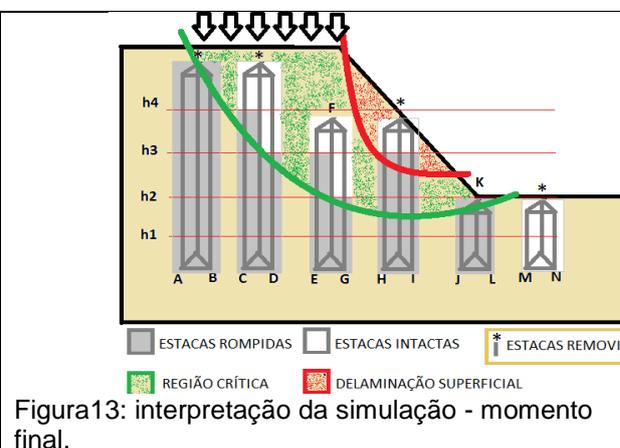
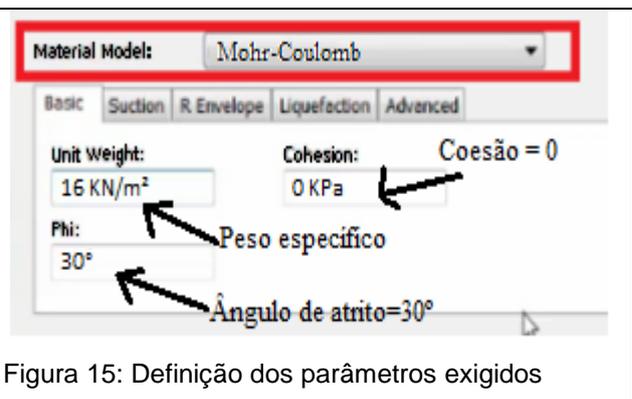
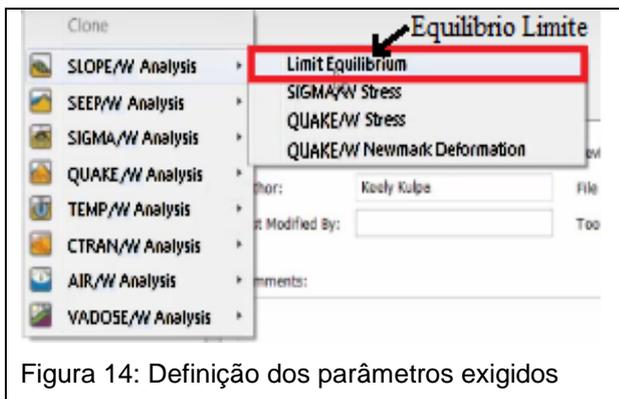


Figura 13: interpretação da simulação - momento final.

4. ANÁLISE COMPUTACIONAL E RELAÇÃO A EXECUÇÃO EM LABORATÓRIO

Para execução do talude no programa GeoSlope, versão V5 da Universidade Católica de Brasília, foi indicado preliminarmente alguns dados para definição dos parâmetros exigidos, haja vista a necessidade do software para avaliação de algumas características. O método adotado foi o de equilíbrio limite devido sua simplicidade em relação aos outros métodos. As Figuras 14 e 15 ilustram a entrada de valores para o modelo computacional referente algumas outras propriedades que acarretam efeitos diretos a resistência ao cisalhamento e conseqüentemente ao fator de segurança, tais como peso específico, ângulo de atrito e coesão do material utilizado, determinado por fatores geológicos e ambientais segundo MARANGON (2009).



Por intermédio de ensaio de caracterização da areia utilizado no experimento em laboratório, foi possível definir as propriedades exigidas no modelo computacional e, ainda, estabelecer o valor numericamente correspondente para cada elemento, tal como 16 KN/m³ para peso específico, coesão nula e ângulo de atrito igual a 30° para executar o modelo computacional ilustrado pela Figura 16.

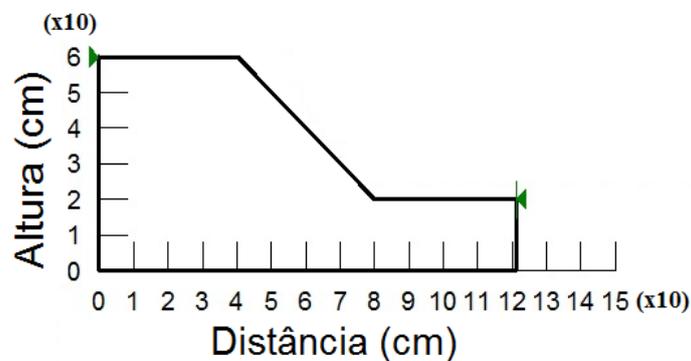
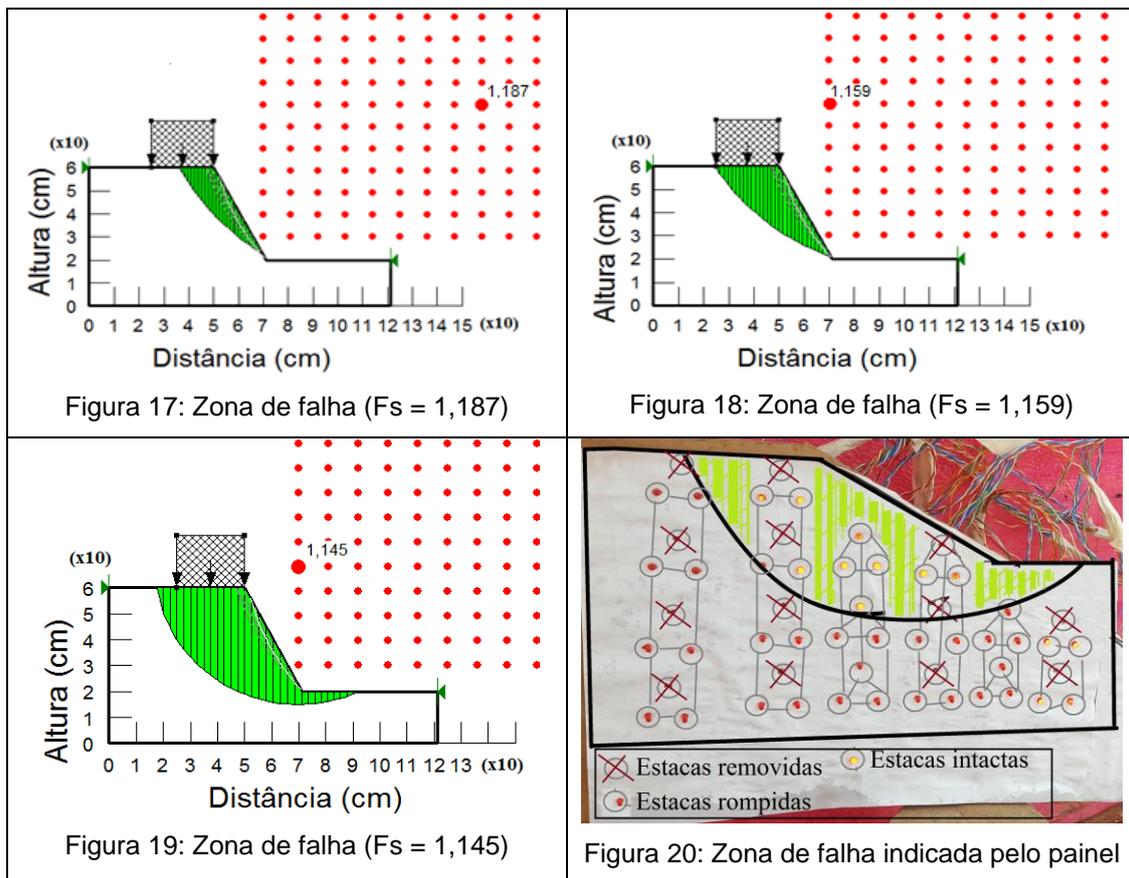


Figura 16: Construção da estrutura computacional.

Para a fase de carregamento no modelo computacional foi considerado a distribuição incremental até a sobrecarga final de 140 kg sobre uma área de 0,075 m², equivalente a área da base que recebeu as anilhas no topo do talude real. Os efeitos gerados no talude virtual têm como resultado a progressão, que se inicia com laminações superficiais e aumento da região de zona de falha em relação ao aumento do carregamento, e tendo como consequência a redução do fator de segurança conforme ilustrado pelas Figuras 17, 18 e 19. E ainda foi possível observar algumas zonas de falhas determinadas também em relação aos seus respectivos fatores de segurança.



As apresentações das zonas de falhas computacionais foram comparadas com a obtida durante o processo em laboratório, e as Figuras 18 e 19 representam as zonas de falhas geradas que mais se aproximaram do indicado no painel, ilustrado pela Figura 20.

O programa gera inúmeras possibilidades de superfície de ruptura, relacionando-as aos seus respectivos fatores de segurança, sejam estes exequíveis ou não. Por uma questão lógica, foram escolhidos fatores de segurança regressivos devido ao aumento da carga no top do talude, pois este influencia diretamente na diminuição da estabilidade em uma situação real. E também durante as simulações foi percebido um aumento da região da zona de falha a medida em que se incrementava o carregamento, conforme ilustrado em sequência pelas Figuras 18, 19 e 20.

5. CONCLUSÕES

Ante o exposto, conclui-se que os mecanismos de proteção em taludes, principalmente em barragens, são necessários devido ao grande impacto gerado quando ocorrem acidentes, que podem ser ocasionados devido a ação natural ou humana. Desastres em taludes podem atingir grandes áreas, afetando a fauna e a flora local.

A ideia do sistema eletrônico pode ser implementada no controle de estabilidade de taludes, mas ainda precisa ser testada mais vezes para aprimorar a funcionalidade e eficiência nos testes em diferentes tipos de composição de solo, podendo ocorrer tanto em laboratório como em campo.

Os dispositivos eletrônicos são cada vez mais presentes em obras de construção civil, tanto para execução, quanto para prevenção. Portanto, as aplicações de estacas eletrônicas podem atuar na prevenção de acidentes, alertando sempre quando houver excessos de tensões sobre o barramento, para manter a integridade e proteção da obra.

Ressalta-se que, embora as análises se detenham em comparativo do modelo real com o obtido pela simulação computacional, diversos fatores podem ter influenciado nos resultados, principalmente a sensibilidade do sistema eletrônico de aquisição de dados.

Nesse sentido, é importante que seja desenvolvido um sistema com sensibilidade adequada e que esse sistema possa ser capaz de fornecer fidedignamente a possível superfície de deslocamento para que sirva de alerta em situações de iminente desastre.

Os resultados do modelo prático foram aproximados aos dos modelos teóricos gerados pelo software, atendendo à expectativa da funcionalidade do protótipo para estudos posteriores.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9776- **Agregados- Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**. Março 1987.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR NM 248- **Agregados- Determinação da composição granulométrica**. Julho 2003.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 11682- **Estabilidade de taludes**. Setembro 1991.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de taludes**. São Paulo: ed. Oficina de textos, 2012.

MARANGON, M. **Tópicos em geotecnia e obras de terra**. Unidade 04- Estabilidade de taludes. 2009.
Disponível
em: <http://www.ufjf.br/nugeo/files/2009/11/togot_Unid04EstabilidadeTaludes01.pdf>
Acesso em : 05 out 2017

VARNES, D.J. **Landslides types and processes**. In: EKEL, E.B.(Org) Landslides and engineering practice. Washington: National Academy of Sciences, 1958.