

Análise da Utilização do Vetiver no Reforço de Solos e Estabilização de Taludes

Michele Cristina Rufino Barbosa

Universidade Vila Velha, Vila Velha, Brasil, michele.barbosa@uvv.br

Hernani Mota de Lima

Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil, hernani.lima@ufop.br

RESUMO: Taludes vegetados são mais resistentes contra movimentos de massa. Uma espécie vegetal, vetiver (*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty), tem se revelado eficaz e de baixo custo na estabilização de taludes. O presente estudo teve por objetivo avaliar a resistência ao cisalhamento de solos pela aplicação do vetiver, com ênfase nos parâmetros de resistência. Foram realizados ensaios de laboratório de caracterização física de solos e ensaios de cisalhamento direto com amostras do mesmo solo sem cobertura vegetal e coberto com vetiver na idade de um, dois e três anos de plantio para verificar a resistência do solo com o tempo. Em adição, os mesmos ensaios também foram realizados com um talude do mesmo solo sem vegetação e com aproximadamente sete anos de plantio de vetiver. Para verificação do teor de matéria orgânica do solo foram realizados ensaios de análises termogravimétricas. A investigação da estabilidade dos taludes por determinação do fator de segurança foi realizada pelo método de equilíbrio limite do talude infinito por meio de simulações considerando dois taludes hipotéticos homogêneos (mesmo tipo de solo), um com inclinação de 30° e outro com inclinação de 45° . Foram adotadas duas zonas potenciais de ruptura, uma de 0,9 m e outra de 1,5 m. Os resultados mostram a eficiência do vetiver na melhoria dos parâmetros de resistência ao cisalhamento de solos, principalmente em relação ao incremento de intercepto de coesão aparente oferecido ao solo. Foi observado que a aplicação do vetiver como técnica de estabilização rasa de taludes é eficiente, porém é um processo em longo prazo, a planta necessita de certos cuidados até seu completo estabelecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Vetiver, Reforço de Solo, Parâmetros de Resistência, Estabilização de Taludes.

1 INTRODUÇÃO

A vegetação é uma das técnicas de bioengenharia para controle de erosão e estabilização de taludes, pois suas raízes atuam como fibras melhorando as condições de resistência dos solos.

A popularidade do uso da vegetação no reforço de solos tem aumentado significativamente nas últimas décadas. Isto é parcialmente devido a apresentar um custo reduzido em comparação com outros métodos de estabilização e respeito ao meio ambiente.

Experiências mostram que o vetiver ("*Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty"), é

uma planta eficiente no controle de erosão, reforço de solos e estabilização de taludes.

O vetiver é uma planta herbácea, perene, cespitosa que chega a atingir cerca de 2 metros de altura e com raízes que podem penetrar até 3 metros de profundidade (Truong et al., 2008).

Devido as suas características morfológicas e ecológicas e por não ser uma espécie invasora, o vetiver tem sido recomendado pelo Banco Mundial e órgãos ambientais em todo o mundo.

Em um ensaio de cisalhamento direto em uma amostra indeformada de solo, Hengchaovanich e Nilaweera (1996) constataram que a resistência ao cisalhamento do solo cultivado com vetiver com dois anos de

plantio aumentou em 90%, em relação ao solo sem cultivo, porém os mesmos autores não forneceram informações sobre o intercepto de coesão e ângulo de atrito e nem em quais condições é percebido este aumento.

Segundo o estudo de Orozco (2009) em que foram realizados ensaios de cisalhamento direto de solos sem raízes e permeados com raízes de vetiver não foi verificado aumento na resistência ao cisalhamento do solo oferecida pelas raízes do vetiver.

Machado et al. (2015) verificou que o vetiver aumenta a resistência ao cisalhamento do solo por meio de ensaios de avaliação de densidade radicular por meio do método do monólito pela quantificação de massa de raízes secas.

Islam e Shahin (2013) por meio de ensaios de campo de cisalhamento de solos *in situ* verificaram a eficiência do vetiver na estabilização de taludes.

Vários estudos (Truong et al., 2002; Truong, 2005; Truong et al., 2008, Madruga et al., 2007) abordam o uso do vetiver no processo de reforço de solos e estabilização de talude, porém o processo de estabilização sempre é abordado de forma qualitativa.

Devido a divergências de resultados e escassez de referências em relação a dados quantitativos, é importante uma avaliação da contribuição das raízes do vetiver no aumento da resistência ao cisalhamento do solo.

Este artigo tem o intuito de avaliar a resistência ao cisalhamento de solos pela aplicação do vetiver, com ênfase nos parâmetros de resistência. Neste sentido foram analisadas amostras do mesmo solo sem vegetação e com cobertura vegetal de vetiver em escala cronológica (1, 2 e 3 anos de plantio). Também foram analisadas amostras em talude do mesmo solo e com cultivo de vetiver na idade de 7 anos com o objetivo de investigar a eficiência desta espécie vegetal no processo de estabilização de taludes.

2 METODOLOGIA

O local de estudo, onde foram coletadas amostras para os ensaios, está situado na área rural do Município de Santana dos Montes,

Estado de Minas Gerais. Esse local corresponde a uma das unidades da DEFLO Bioengenharia, onde são cultivadas anualmente 1 milhão de mudas de vetiver, que são utilizadas principalmente nos trabalhos da empresa de obras de contenção de taludes.

Todas as amostras para a realização dos ensaios foram coletadas no mesmo dia. Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas de solos em profundidades de 60 a 100 cm de acordo com a NBR 9.604/86. A profundidade de coleta de amostra se deu em função do final da profundidade de raízes do vetiver. As amostras coletadas foram de solo sem vegetação, solos cobertos com vetiver na idade de 1, 2 e 3 anos de plantio, talude de solo sem vegetação e talude de solo com aproximadamente 7 anos de cultivo de vetiver.

2.1 Ensaios de Caracterização

Para cada grupo de amostras executaram-se os seguintes ensaios de caracterização física:

- Granulometria Conjunta (NBR 7.181/84);
- Massa Específica dos Sólidos (NBR 6.508/84);
- Limite de Liquidez (NBR 6.459/84);
- Limite de Plasticidade (NBR 7.180/84);
- Massa Específica (EMBRAPA, 1999);
- Teor de umidade (EMBRAPA, 1999);
- Índice de vazios (MB-3336/1990).

Para verificação do teor de matéria orgânica do solo foram realizados ensaios de análises termogravimétricas (TG) para cada grupo de amostras. Os ensaios foram executados com razão de aquecimento de $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$ seguindo a norma ASTM E1131, em atmosfera de ar. As curvas termogravimétricas foram registradas no intervalo de temperatura entre 20°C e 600°C . O limite máximo de 600°C foi adotado devido a existência de diversos trabalhos na literatura mencionarem a determinação de matéria orgânica em várias matrizes através de decomposição térmica em temperatura até 600°C (Soares, 2004; Marengo, 2006; Lira, 2008).

2.2 Ensaios de Cisalhamento Direto

Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados de acordo com a norma ASTM

D3080-04 e em triplicatas para cada um dos grupos de amostras coletadas, totalizando 18 amostras. Para cada amostra os valores de tensão normal adotados foram de 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa e 200 kPa. A velocidade do ensaio de cisalhamento direto (v) foi determinada de acordo com Head (1994) pela Equação 1.

$$v = \varepsilon_f \cdot H_0 \cdot \frac{1}{100 \cdot t_f} \quad (1)$$

Onde ε_f a deformação especificada na resistência de pico, H_0 a altura inicial do corpo de prova e t_f o tempo para atingir a resistência de pico.

Para os ensaios de cisalhamento direto convencional em condições drenadas e sob dupla fronteira drenante, o tempo necessário para se atingir a condição de ruptura (t_f), é estabelecido pela Equação 2.

$$t_f = 14 \cdot t_{100} \quad (2)$$

Onde t_{100} é o valor do tempo correspondente a 100% dos recalques por adensamento primário.

Os valores das velocidades dos ensaios de cisalhamento direto variaram entre 0,04 e 0,06 mm/min.

Os parâmetros de resistência do solo (intercepto de coesão e ângulo de atrito interno) foram determinados conforme Lambe e Whitman (1951) e obtidos por meio do critério de ruptura de Mohr-Coulomb, de acordo com a Equação 3.

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (3)$$

Onde τ é a resistência ao cisalhamento (kPa), c o intercepto de coesão do solo (kPa), σ a tensão normal (kPa) e $\tan \phi$ é o coeficiente de atrito, cujo arco tangente é o ângulo de atrito interno do solo.

2.3 Análise de Estabilidade do Talude

A análise determinística de estabilidade de talude foi baseada no Método de Equilíbrio

Limite do Talude Infinito, pois é o método de análise que se mostrou mais apropriado para avaliar solos com presença de vegetação, nos quais as raízes atuam em planos superficiais de ruptura. Também segundo Fiori e Carmignani (2009) do ponto de vista prático, qualquer talude de grande extensão, e com perfis de solo essencialmente do mesmo tipo, pode ser considerado como um talude infinito. Até a profundidade de coleta de amostras não houve variação do tipo de solo.

Os parâmetros de resistência utilizados nas análises de estabilidade do talude cultivado com vetiver e do mesmo talude sem vegetação foram obtidos nos ensaios de cisalhamento direto. O peso específico do solo foi obtido pelos ensaios de caracterização do solo.

Para a determinação dos coeficientes de segurança foram realizadas simulações considerando dois taludes hipotéticos homogêneos, um com inclinação de 30° e outro com inclinação de 45° . Sendo que para cada um dos taludes foram analisadas três situações: talude sem presença de água, talude com nível d'água coincidindo com o nível do terreno e talude com nível d'água acima da zona potencial de ruptura.

Foram consideradas duas zonas potenciais de ruptura, uma com altura de 1,5 m e outra com uma altura de 0,9 m. As alturas das zonas potenciais de ruptura foram escolhidas de forma aleatória, visto que de acordo com Lemes (2001), devido ao fato da quantidade de raízes diminuir com a profundidade do solo, a resistência ao cisalhamento também diminui. A influência das raízes no talude é mais significativa até uma profundidade de aproximadamente 1,50 m da superfície. Observações de campo durante as coletas das amostras não evidenciaram raízes tão profundas conforme descreve a literatura, chegando a uma profundidade de aproximadamente 1 m.

Nas análises de estabilidade com nível d'água acima da zona potencial de ruptura, o mesmo foi estimado em aproximadamente metade da altura da zona potencial de ruptura e considerando um fluxo paralelo a superfície do terreno.

Na análise do talude com cobertura de vetiver foi desconsiderada a ação do vento e o

peso da planta, pois para efeito de cálculo os parâmetros peso da planta e a ação dos ventos só são considerados em árvores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos Solos

Todas as amostras de solo apresentaram as mesmas características correspondendo ao mesmo tipo de solo. Segundo o Ensaio de Granulometria e de acordo com a classificação ABNT, norma 6.502/95 e o Sistema Unificado o solo foi classificado como uma areia siltosa, conforme mostra a Figura 1.

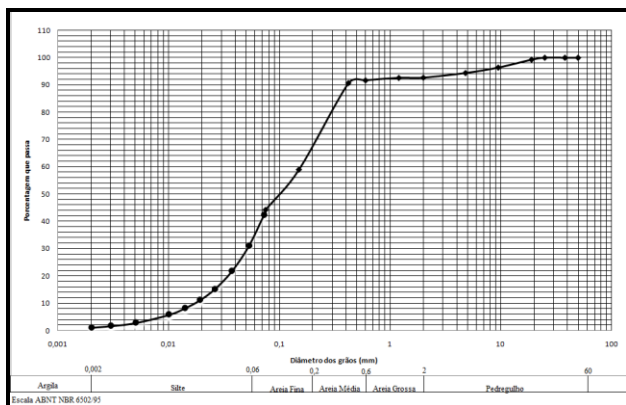


Figura 1. Resultado da Granulometria Conjunta

A Tabela 1 mostra os resultados dos ensaios de caracterização física do solo.

Tabela 1. Resultados de Ensaios de Caracterização Física

Solo	LL (%)	LP (%)	γ_s (kN/m ³)	γ (kN/m ³)	w (%)
Sem vegetação	49	39	25,94	20,0	32
1 ano com vetiver	47	32	26,13	20,4	27
2 anos com vetiver	48	33	26,40	20,6	25
3 anos com vetiver	48	31	26,85	20,7	19
Talude sem vegetação	51	40	25,82	20,2	28
Talude com 7 anos de vetiver	47	32	27,21	20,8	23

LL = Limite de Liquidez γ_s = Peso específico natural
 LP = Limite de Plasticidade w = Teor de umidade
 γ_s = Peso Específico dos Sólidos

O valor médio de peso específico aparente

natural foi de 20,5 kN/m³, considerado valor comum para solos predominantemente arenosos.

De acordo com Carvalho et al. (2006) quanto maior o índice de plasticidade (LL – LP) menor a erodibilidade e, conseqüentemente, o solo é mais estável. Apesar da pequena diferença entre os valores de índice de plasticidade dos grupos analisados, as amostras cultivadas com vetiver apresentaram um índice de plasticidade maior.

Em relação aos valores de teores de umidade nota-se uma diminuição da umidade de solo de acordo com o tempo de plantio do vetiver.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos índices de vazios do solo de cada amostra analisada.

Tabela 2. Índice de vazios do solo

Solo	Índice de Vazios
Sem vegetação	0,71
1 ano com vetiver	0,62
2 anos com vetiver	0,60
3 anos com vetiver	0,55
Talude sem vegetação	0,64
Talude com 7 anos de vetiver	0,61

O índice de vazios expressa a relação existente entre o volume de vazios e o volume de sólidos de um solo, quanto menor for esta relação mais resistente é o solo, considerando o mesmo solo. É observado que o índice de vazios diminui com o tempo de plantio de vetiver.

A Tabela 3 apresenta os resultados de teor de matéria orgânica (MO) de cada grupo de amostra ensaiada por meio dos ensaios de Análise Termogravimétrica.

Tabela 3. Resultados das análises termogravimétricas

Amostras de solo	Peso (mg)	Teor de MO (%)
Solo sem vegetação	6,2650	13,35
1 ano de plantio	6,3893	14,54
2 anos de plantio	7,4057	17,95
3 anos de plantio	8,5562	28,51
Talude sem getação	7,2773	11,58
Talude com 7 anos de plantio	7,3962	33,37

O teor de matéria orgânica é maior nos solos vegetados com vetiver do que nos solos sem vegetação, destacando o solo com três anos de plantio de vetiver e o talude com cerca de sete anos de cultivo de vetiver que apresentaram valores de teores de matéria orgânica bem maior que os demais solos analisados.

Na literatura há uma divergência de resultados em relação aos teores de MO e análise da resistência ao cisalhamento do solo, mostrando situações em que maiores teores de MO são acompanhados de diminuição da resistência ao cisalhamento do solo (Ohu et al., 1985; Ohu et al., 1986) e outros nos quais a resistência aumenta (Davies, 1985; Ekwue, 1990; Braida, 2004). Provavelmente, essas diferenças são devido à origem da MO (Ekwue, 1990), ao tempo decorrido após a incorporação da MO e ao teor de água no solo (Davies, 1985; Zhang e Hartge, 1990).

De acordo com Braida et al., (2010) a matéria orgânica aumenta a resistência do solo à compressão, quando predominam os efeitos de: aumento dos parâmetros de cisalhamento; aumento da tensão capilar com aumento do intercepto de coesão aparente; redução do efeito da água na redução da fricção entre partículas; redução da densidade por efeito de diluição; e aumento da elasticidade do solo.

Com respeito à erodibilidade do solo, quanto maior o teor de matéria orgânica, menor a erodibilidade deste e, consequentemente, maior a estabilidade do solo.

3.2 Análise dos parâmetros de resistência

A tabela 4 apresenta resultados de ensaios de cisalhamento direto em função dos parâmetros de resistência, intercepto de coesão (c) e ângulo de atrito interno (ϕ) considerando a envoltória de ruptura linear.

Tabela 4. Resultados dos Ensaios de Cisalhamento Direto

Solo	c (kPa)	ϕ
Sem vegetação	22,0	15,1 ⁰
1ano de plantio de vetiver	24,6	14,3 ⁰
2 anos de plantio de vetiver	24,1	15,3 ⁰
3 anos de plantio de vetiver	68,9	34,3 ⁰
Talude sem vegetação	22,3	19,3 ⁰
Talude com plantio de vetiver na idade de 7 anos	78,4	36,7 ⁰

Os resultados dos ensaios de cisalhamento direto mostram uma variação pequena em relação ao ângulo de atrito para o solo sem vegetação e com um e dois anos de idade do vetiver, o mesmo ocorre com os valores de intercepto de coesão. Já para o solo com vetiver na idade de três anos o valor do ângulo de atrito é aproximadamente o dobro em comparação com as outras amostras.

Em relação ao intercepto de coesão para o solo com três anos de plantio de vetiver o valor é aproximadamente 280% maior em relação ao solo com dois anos de plantio de vetiver.

Comparando o talude sem vegetação com o talude com vetiver na idade de sete anos também nota-se um grande aumento, tanto em relação ao ângulo de atrito interno quanto em relação ao intercepto de coesão. Pode-se afirmar que os parâmetros de resistência aumentam com o tempo de plantio do vetiver, sendo evidenciados a partir do terceiro ano.

3.3 Avaliação da estabilidade do solo

Para a análise de estabilidade do talude sem vegetação e com sete anos de plantio de vetiver considerou-se o método do Talude Infinito com base nas equações de Fiori e Carmignani (2009). Para o cálculo foram adotados os resultados dos ensaios de caracterização do solo e dos ensaios de cisalhamento direto.

O fator de segurança do talude sem a presença de água foi obtido por meio da Equação 3.

$$FS = \frac{2.c}{\gamma.z.\cos i.\sen i} + \frac{tg \phi}{tg i} \quad (3)$$

Onde c é o intercepto de coesão, γ é o peso específico natural, z a profundidade, i é o ângulo de inclinação do talude e ϕ o ângulo de atrito do solo.

Para o cálculo do FS do talude considerando o nível d'água coincidindo com a superfície do terreno foi utilizada a Equação 4.

$$FS = \frac{2.c}{\gamma_{sat}.z.\sen 2i} + \frac{\gamma_{sub}.tg \phi}{\gamma_{sat}.tg i} \quad (4)$$

Onde γ_{sat} é o peso específico saturado do solo e γ_{sub} o peso específico submerso do solo.

Já no cálculo do FS considerando o nível d'água a uma altura h_2 acima da superfície potencial de ruptura utilizou-se a Equação 5.

$$FS = \frac{c + \left(\gamma_{\text{sat}} - \frac{h_2}{z} \cdot \gamma_w \right) \cdot z \cdot \cos^2 i \cdot \tan \phi}{z \cdot \gamma_{\text{sat}} \cdot \text{seni} \cdot \cos i} \quad (5)$$

A Tabela 5 apresenta os valores dos fatores de segurança (FS) considerando dois taludes hipotéticos, um com inclinação de 30° e outro com inclinação de 45° .

Tabela 5. Fatores de Segurança considerando uma zona pontncial de ruptura de 1,5 m

Análise	FS do talude sem vegetação		FS do talude com 7 anos de plantio de vetiver	
	30°	45°	30°	45°
Sem água	2,30	1,82	4,70	2,95
NA = NT	2,06	1,69	2,86	1,89
NA a uma altura $h_2 = 0,75$ m	2,21	1,78	3,79	2,42

Os valores dos fatores de segurança no talude sem vegetação são menores do que os valores dos fatores de segurança do talude com plantio de vetiver na idade de sete anos, sendo observado o menor valor de fator de segurança para a condição saturada do solo.

Comparando as inclinações dos taludes, para a menor inclinação (30°), os valores dos coeficientes de segurança são maiores. Fazendo uma comparação entre os valores dos fatores de segurança do talude sem vegetação e com cultivo de vetiver na pior situação, NA = NT, observa-se um aumento de aproximadamente 38% para a inclinação de 30° e de cerca de 12% para a inclinação de 45° .

A Tabela 6 mostra os fatores de segurança considerando uma zona potencial de ruptura de 0,9 m. Foram considerados dois taludes hipotéticos, um com inclinação de 30° e outro com inclinação de 45° .

Tabela 6. Fatores de Segurança considerando uma zona pontncial de ruptura de 0,9 m

Análise	FS do talude sem vegetação		FS do talude com 7 anos de plantio de vetiver	
	30°	45°	30°	45°
Sem água	3,43	2,80	5,25	3,42
NA = NT	3,23	2,71	3,41	2,36
NA a uma altura $h_2 = 0,75$ m	3,40	2,81	4,44	2,96

Comparando os resultados dos fatores de segurança do talude sem vegetação e com cobertura de vetiver verificaram-se fatores de segurança menores no talude sem vegetação, apenas para a inclinação de 30° . Na condição saturada, o fator de segurança do talude com plantio de vetiver foi menor do que o fator de segurança do talude sem cobertura vegetal. É observado também, assim como na simulação anterior, que os menores valores de fatores de segurança representam a condição de saturação do solo do talude.

Os fatores de segurança com o plantio de vetiver são maiores considerando uma menor zona potencial de ruptura, conforme Tabela 7 que mostra o aumento de percentual do FS na zona potencial de ruptura de 0,9 m em comparação com os FS obtidos na zona potencial de ruptura de 1,5 m.

Tabela 7. Variação de percentual de FS para a zona potencial de ruptura de 0,9 m em relação a zona potencial de ruptura de 1,5 m

Análise	FS do talude com 7 anos de plantio de vetiver	
	30°	45°
Sem água	12%	16%
NA = NT	19%	25%
NA a uma altura $h_2 = 0,75$ m	17%	22%

É visto que em todas as simulações houve aumento do FS para a menor superfície potencial de ruptura considerada. Isso indica que o vetiver pode ser utilizado como uma técnica eficiente no processo de estabilização de taludes de rupturas rasas e quanto menor a zona potencial de ruptura maior será a estabilização oferecida pelas raízes do vetiver.

A Figura 2 mostra o efeito das raízes do

vetiver na melhoria da estabilidade do talude, quando comparada à mesma condição de um talude sem vegetação e com sete anos de plantio de vetiver, em função da inclinação do talude e do fator de segurança. Foi considerada uma zona potencial de ruptura de 1,5 m, sendo a profundidade considerada limite para atuação do efeito da vegetação. Foram analisadas duas situações: condição seca do solo e condição saturada do solo. É notado um aumento do fator de segurança do talude cultivado com vetiver o que proporciona uma estabilidade do talude.

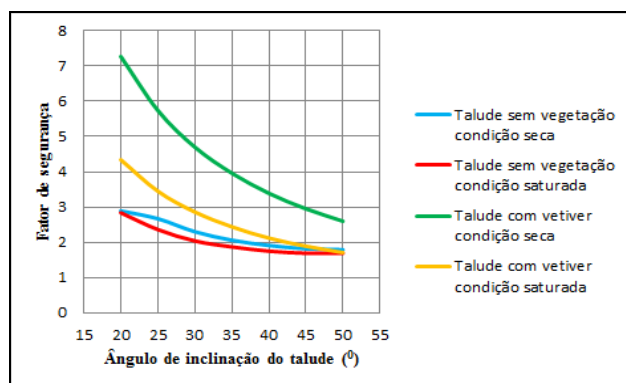


Figura 2. Comparação do Fator de Segurança com a inclinação do talude – Superfície potencial de ruptura de 1,5 m

A Figura 3 apresenta o efeito das raízes do vetiver na melhoria da estabilidade do talude, quando comparada à mesma condição de um talude sem vegetação e com sete anos de plantio de vetiver, em função da inclinação do talude e do fator de segurança, considerando agora uma zona potencial de ruptura de 0,9 m.

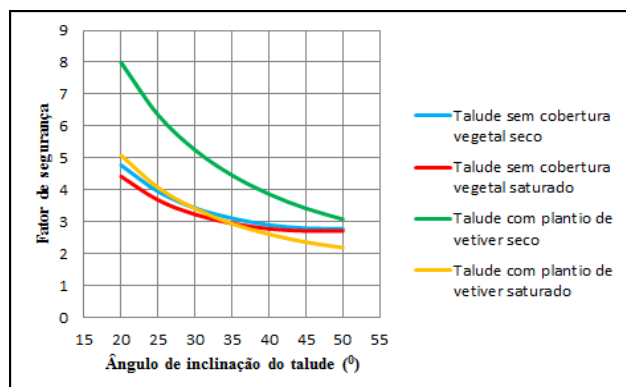


Figura 3. Comparação do Fator de Segurança de acordo com a inclinação do talude – Superfície potencial de ruptura de 0,9 m.

Observa-se pela Figura 3 que o talude cultivado com vetiver considerando uma

condição saturada apresenta o menor fator segurança. Já o talude cultivado com vetiver na condição seca apresentou os maior fator de segurança em todas as inclinações de talude analisadas, sendo observado que a medida que se aumenta a inclinação do taude o fator de segurança diminui.

4 CONCLUSÕES

O vetiver é uma planta eficiente no de reforço de solo e estabilização de taludes pois proporcionou um aumento dos parâmetros de resistência ao solo, principalmente em relação ao aumento de intercepto de coesão aparente do solo. Porém o uso do vetiver consiste em uma técnica de estabilização para superfícies de rupturas rasas, pois em campo foram observada raízes com no máximo 1 metro de profundidade. O vetiver também é uma planta adequada no processo de estabilização em longo prazo, pois o aumento dos parâmetros de resistência do solo só foi evidenciado após 3 anos de plantio.

É importante ressaltar que os resultados das análises realizadas estão limitados a região onde foram coletadas as amostras e a utilização destes dados só é possível por estimativas e cálculos aproximados.

AGRADECIMENTOS

À DEFLOR Bioengenharia por todo apoio prestado na realização do estudo.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1990). *MB 3336: Solo – Ensaio de Adensamento Unidimensional*. Rio de Janeiro
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). *NBR 6.508: Grãos de solo que passam na peneira de 4,8 mm: Determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). *NBR 6.459: Determinação do Limite de Liquidez*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). *NBR 7.180: Determinação do Limite de Plasticidade*. Rio de Janeiro.

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1984). *NBR 7.181: Análise Granulométrica*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986). *NBR 9.604: Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). *NBR 6.502: Solos e Rochas*. Rio de Janeiro.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. (2004). *D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions*, USA.
- ASTM – American Society for Testing and Materials. (2008). *E1131: Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry*, USA.
- Braida, J. A. (2004). Matéria orgânica e resíduos vegetais na superfície do solo e suas relações com o comportamento mecânico do solo sob plantio direto, Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, 126p.
- Braida, J. A.; Reichert, J. M.; Dalvan, J.; Reinert, D. J. e Veiga, M. (2010). Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um nitossolo e um argissolo, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 14, p. 131-139.
- Carvalho, J.; Sales, M.M.; Souza, N.M. e Melo, M.T.S. (2006). *Processos erosivos no centro-oeste brasileiro*. 1 ed. FINATEC, Brasília, 464 p.
- Davies, P. (1985) Influence of organic matter content, moisture status and time after reworking on soil shear strength. *Journal of Soil Science*, Vol. 36, p. 299-306.
- Ekwe, E. I. (1990). Organic matter effects on soil strength properties. *Soil & Tillage Research*, Vol. 16, p. 289-297.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. (1999). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília, 412p.
- Fiori, A. P. e Carmignani, L. (2009). *Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas, aplicações na estabilidade de taludes*. 2nd ed., Editora UFPR, Curitiba, 602 p.
- Head, K. H. (1994). *Manual of soil laboratory testing*. 2nd ed. John Wiley, New York, NY, USA, 440p.
- Hengchaovanich, D. e Nillaweera, N. (1996). An assessment of strength properties of vetiver grass roots in relation to slope stabilization. In: *The First International Conference on Vetiver*, Anais.. The Vetiver Network, Bangkok, p. 87-94.
- Islam, M. S. e Shahin, H. M. (2013). Reinforcing effect of vetiver (*Vetiveria zizanioides*) root in geotechnical structures - experiments and analyses. *Geomechanics and Engineering*, Vol. 5, No.4, p.313-329.
- Lambe, T. W. e Whitman, R. V. (1951) *Soil testings for engineers*. 2nd ed. John Wiley, New York, NY, USA. 165p.
- Lemes, M. R. T. (2001). *Revisão dos efeitos da vegetação em taludes*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Porto Alegre, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 140p.
- Lira, D. C. (2008). *Desenvolvimento de uma Metodologia para Caracterização de Amostras de Sedimentos (Rio Jundiá/RN)*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 152 p.
- Machado, L.; Holanda, F. S. R.; Silva, V. S.; Maranduba, A. I. A. e Lino, J. B. (2015). Contribuição do sistema radicular do capim-vetiver para estabilização do talude do Rio São Francisco. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, Vol. 36, n. 4, p. 2453-2464.
- Madruça, E. L.; Schele, E. L. e Salomão, F. X. T. (2007). Uso do capim vetiver (sistema vetiver) na estabilização de taludes de rodovias, proteção de drenagens e de áreas marginais. Disponível em: [http://www.iwfplanet.com/arquivos/Pesquisa_Vetiver\(1\).pdf](http://www.iwfplanet.com/arquivos/Pesquisa_Vetiver(1).pdf). Acesso em outubro de 2009. 25p.
- Marengo, E. (2006). Investigation of Anthropic Effects Connected With Metal Ions Concentration, Organic Matter and Grain Size in Bormida River Sediments. *Analytica Chimica Acta*, Vol. 560, p. 172-183.
- Ohu, O. J.; Raghavan, G. S. V. e McKyes, E. (1985). Peat moss effect on the physical and hydraulic characteristics of compacted soils. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, Vol. 28, p. 420-424.
- Ohu, O. J.; Raghavan, G. S. V.; McKyes, E. e Mehuys, G. (1986). Shear strength prediction of soils with varying added organic matter contents. *Trans. Am. Sci. Agric. Eng.*, Vol. 29, p. 351-355.
- Orozco, M. M. D. (2009). *Caracterização da Gramínea Vetiveria Zizanioides para Aplicação na Recuperação de Áreas Degradadas por Erosão*, Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 96p.
- Soares, M. C. C. (2004). Análise Geoquímica dos Sedimentos do Fundo do Arroio do Salso. *Pesquisas em Geociências*, Vol .3. p. 139-150.
- Truong, P.; Mason, F.; Waters, D.; e Moody. P. (2002). Application of VGT in offsite pollution control. In: *Trapping Agrochemical and Nutrients in Agricultural Proceedings*. Anais , ORDPB, Bangkok, p. 296-302.
- Truong, P. (2005). *Vetiver System for Mine and Quarry Rehabilitation*. *Veticon Consulting*, Australia. 21p.
- Truong, P.; Van, T. T. e Pinners, E. (2008). *Vetiver system applications: technical reference manual*, 2 nd ed. The Vetiver Network International, Vietnam, 127p.
- Zhang, H. Q. e Hartge, K. H. (1990). Cohesion in unsaturated sandy soils and the influence of organic matter. *Soil Technology*, Vol. 3, p. 311-326.