



**Susceptibilidade à Erodibilidade de Solos Residuais com Base em
Correlações de Propriedades Geotécnicas Físico-Mecânicas**
Susceptibility to Erodibility of Residual Soils Based on
Correlations of Physical-Mechanical Geotechnical Properties

Taciano Oliveira da Silva; Sérgio Leandro Scher Dias Neto;
Roberto Lopes Ferraz; Heraldo Nunes Pitanga & Brahmani Sidhartha Tibúrcio Paes

*Universidade Federal de Viçosa (UFV), Departamento de Engenharia Civil,
Av. Peter Henry Rolfs, s/n - Campus Universitário, Viçosa - MG, 36570-000.*

E-mails: taciano.silva@ufv.br; sergio.scher.7@gmail.com; rlferraz@ufv.br; heraldo.pitanga@ufv.br; brahmani@live.com

Recebido em: 13/09/2018 Aprovado em: 20/02/2019

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_188_195

Resumo

Esse artigo aborda a avaliação do potencial de erodibilidade de amostras de solos residuais representativas dos horizontes de um perfil de corte rodoviário no município de Viçosa-MG. A avaliação da erodibilidade foi realizada com base nos resultados de ensaios de caracterização física, de caracterização geotécnica pela metodologia MCT (Miniatura, Compactado, Tropical) e de resistência ao cisalhamento direto. A abordagem para a avaliação da erodibilidade por meio de critérios baseados na caracterização física das amostras e nos parâmetros de resistência ao cisalhamento, quando considerados isoladamente, não se mostrou eficiente para a determinação da susceptibilidade à erodibilidade das amostras analisadas. Entretanto, verificou-se que os limites numéricos propostos na literatura, quanto aos valores de índice de plasticidade e quanto à porcentagem passante na peneira #200, são aplicáveis para a determinação do potencial de erodibilidade das amostras analisadas. A avaliação da erodibilidade, tomando como base a classificação segundo a metodologia MCT, foi adequada para as amostras de solos analisadas, visto que os resultados dessa classificação confirmaram as condições pedológicas observadas em campo, em que os solos lateríticos mostram-se mais resistentes à erodibilidade, comparativamente aos solos não lateríticos. Desta forma, confirma-se a importância da classificação geotécnica segundo a metodologia MCT para a determinação da susceptibilidade à erodibilidade de solos residuais em regiões tropicais.

Palavras-Chave: Erodibilidade; Solos residuais; Sistemas de classificações de solos; Metodologia MCT; Índices físicos, Cisalhamento direto

Abstract

This study evaluated the erodibility potential of samples of residual soils representing the horizons of a road cutting profile in the municipality of Viçosa, State of Minas Gerais. The erodibility was evaluated considering the results of tests of physical characterization, geotechnical characterization by MCT methodology and direct shear strength. The approach for evaluation of erodibility by means of criteria based on the physical characterization of the samples and the parameters of shear strength, when considered separately, was not enough to determine the susceptibility to erodibility of the analyzed samples. However, the numerical limits proposed in the literature regarding the values of plasticity index and percentage passing the #200 sieve are applicable for the determination of the erodibility potential of the samples analyzed. The evaluation of erodibility, based on the classification according to the MCT methodology, was suitable for the soil samples analyzed, since the results of this classification confirmed the pedological conditions observed in the field, in which lateritic soils are more resistant to erodibility, compared to non-lateritic soils. Thus, the present study confirms the importance of the geotechnical classification according to the MCT methodology for determination of the susceptibility to erodibility of residual soils in tropical regions.

Keywords: Erodibility; Residual soils; System of soil classification; MCT methodology; Physical indexes; Direct shear

1 Contextualização do Problema

Dentre as condicionantes do processo de erosão, a natureza do solo é o fator que determina a susceptibilidade à erosão dos terrenos, em função da capacidade de infiltração da água e da resistência à desagregação e ao subsequente transporte de partículas. Esse efeito integrado é denominado de erodibilidade do solo (Silva *et al.*, 2009).

Segundo Silva *et al.* (2015), uma forma de avaliar a erodibilidade de solos tropicais é utilizando parâmetros físicos e propriedades geotécnicas desses solos, facilmente determinadas em laboratório. Adotando esse tipo de abordagem, a partir de ensaios de caracterização física e da metodologia MCT, é possível enquadrar os solos tropicais em grupos distintos com características e peculiaridades semelhantes e classificá-los em diferentes sistemas de classificação.

Couto *et al.* (2015) avaliaram o potencial de erodibilidade de amostras de solos residuais de taludes rodoviários, em processo de erosão avançado, a partir de ensaios de caracterização física (análise granulométrica e limites de Atterberg) e aqueles relacionados à metodologia MCT (compactação dinâmica mini-MCV e perda de massa por imersão em água). A classificação geotécnica via metodologia MCT se mostrou mais adequada, uma vez que as amostras de solos foram enquadradas basicamente como pertencentes aos grupos NG' (solo argiloso não laterítico) e NS' (solo siltoso não laterítico), demonstrando que ambos são solos saprolíticos, ou seja, apresentam características da rocha em elevado grau de deterioração.

Silva *et al.* (2015) e Oliveira & Araújo (2018) apontam que análises de erodibilidade com base na granulometria ou nos índices de consistência são insatisfatórias para solos tropicais. Isso se deve à influência de características estruturais e mineralógicas como, por exemplo, cimentação natural devido a óxidos e hidróxidos de ferro, que confere maior estabilidade e resistência ao solo.

Segundo Bastos *et al.* (2001), a perda de coesão com a inundação é um importante indicativo da susceptibilidade à erosão por fluxo superficial nos

solos residuais não saturados. Os autores relacionaram os valores de coesão, obtidos de ensaios de cisalhamento direto, à erodibilidade de solos residuais da Região Metropolitana de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul (RS), Brasil. Os resultados indicaram que os solos mais erodíveis foram aqueles que apresentaram maior perda de coesão com o umedecimento e inundação. Esse comportamento também foi verificado por Fonseca *et al.* (2016) para amostras de solos residuais de Juiz de Fora - MG, Brasil.

Dentro dessa perspectiva, o objetivo desse estudo é avaliar o potencial de erodibilidade de amostras de solos residuais, presentes em um perfil de corte rodoviário, utilizando-se de ensaios da metodologia MCT e de parâmetros geotécnicos físico-mecânicos. Com isso, espera-se poder avaliar as capacidades desses ensaios de retratar a suscetibilidade à erosão de solos tropicais, identificando quão confiáveis estes podem ser para estimar o potencial erosivo dos solos investigados. A contribuição técnico-científica da pesquisa é a tentativa de indicar consistências e inconsistências nesses métodos de classificação que possam indicar um eventual cenário de maior confiabilidade dentre eles e, eventualmente, de formulação de um sistema de classificação que se apoie na aglutinação de seus atributos mais consistentes para as particularidades da pesquisa.

2 Metodologia

2.1 Área de Estudo

A área adotada para o estudo consiste em um corte rodoviário, com perfil de solos residuais originados de rocha gnáissica, localizado às margens da BR 120, nas proximidades do aeroporto do município de Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de Latitude (20°45'19,80"S), Longitude (42°50'26,30"W) e Altitude média de, aproximadamente, 669 m (Figura 1).

Neste corte rodoviário, o perfil de solo se apresenta composto por três horizontes pedológicos em níveis distintos de processo erosivo, os quais foram referenciados por BR120-A, BR120-B, e BR120-C, conforme apresentado na Figura 2

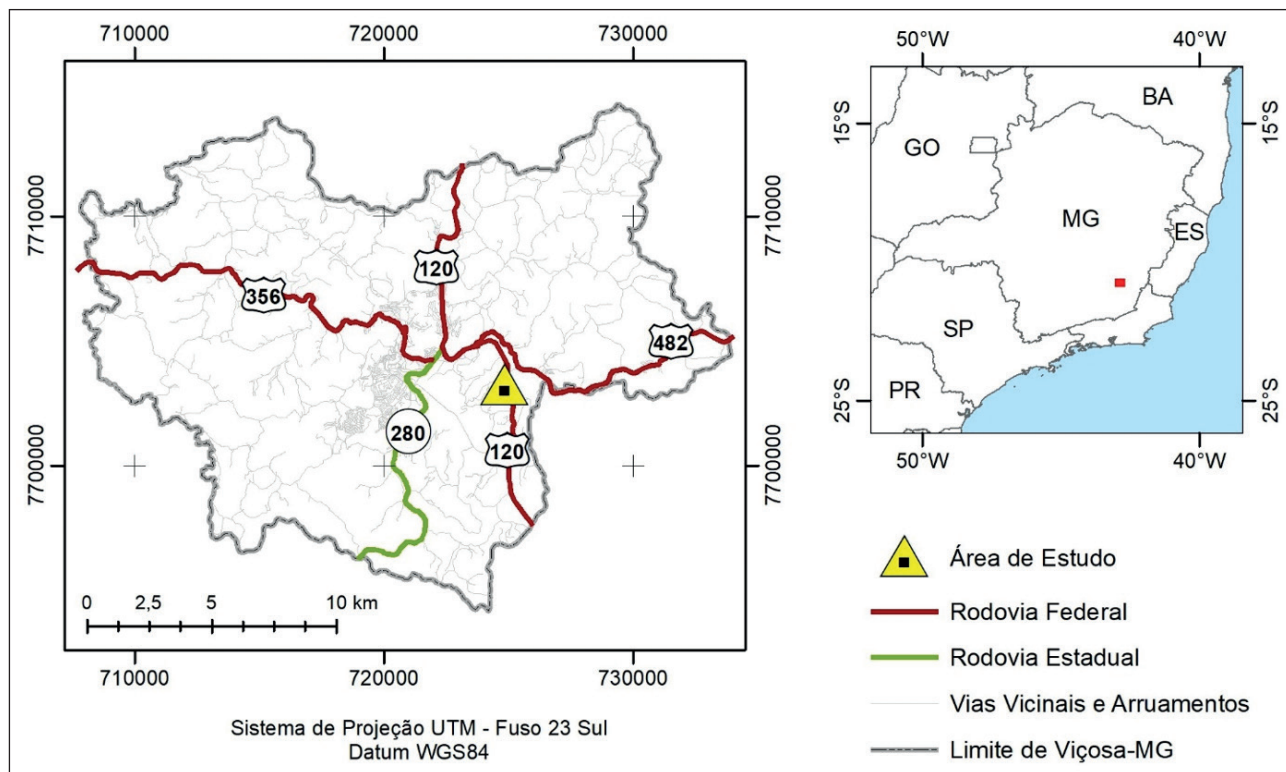


Figura 1 Mapa de localização da área de estudo

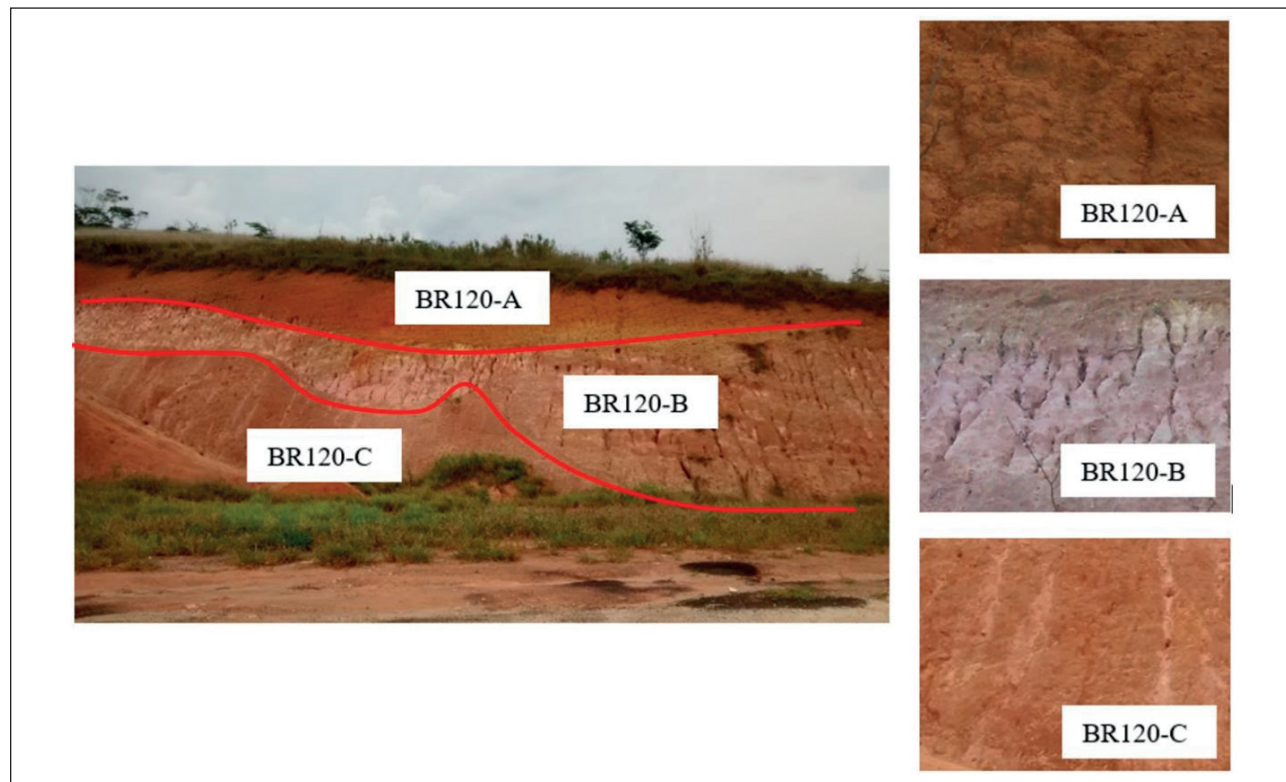


Figura 2 Corte rodoviário em solo residual com os horizontes pedológicos estudados

2.2 Métodos de Ensaio

Para realização dos ensaios geotécnicos da metodologia MCT, de caracterização física e de resistência ao cisalhamento direto, procedeu-se à coleta de amostras indeformadas e deformadas de solos em cada horizonte pedológico, conforme os procedimentos PRO 002 (DNER, 1994a) e PRO 003 (DNER, 1994b), respectivamente.

Para a caracterização física dos solos analisados, foram realizados os seguintes ensaios de laboratório: (a) análise granulométrica conjunta (ABNT, 2016a); (b) limites de Atterberg: limite de liquidez (ABNT, 2016b) e limite de plasticidade (ABNT, 2016c); e (c) massa específica real dos grãos (ABNT, 2016d). As preparações das amostras deformadas dos solos para estes ensaios foram realizadas conforme a norma técnica NBR 6457 (ABNT, 2016e).

Com base nos resultados obtidos, os solos foram classificados de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (USCS - Unified Soil Classification System), descrito pela norma D2488 (ASTM, 2009), e com o sistema de classificação TRB (Transportation Research Board), descrito pela norma D3282 (ASTM, 2015).

A classificação geotécnica de solos tropicais com base na metodologia MCT, descrita na norma DNER-CLA 259 (DNER, 1996), é feita a partir dos resultados dos ensaios de compactação dinâmica mini-MCV - Método de ensaio ME 258 (DNER, 1994c) e de perda de massa por imersão em água - Método de ensaio ME 256 (DNER, 1994d).

Os ensaios de resistência ao cisalhamento direto foram realizados conforme a norma técnica D3080 (ASTM, 2011), empregando-se duas condições distintas de teores de umidade: (a) na umidade natural; e (b) inundadas (por, no mínimo, 30 minutos).

Nos ensaios de cisalhamento direto os corpos de prova foram adensados com tensões normais de 25, 50 e 100 kPa e empregou-se uma velocidade constante de cisalhamento igual a 0,142 mm/min.

A definição do tempo de inundação e da velocidade de cisalhamento foi baseada em Pitanga et al. (2006), cujos resultados com solos residuais comuns à região adotada para estudo mostram que velocidades de carregamento e tempos de inundação com valores próximos dos utilizados nessa pesquisa não influenciam significativamente a resistência ao cisalhamento dos solos.

2.3 Avaliação da Taxa de Erodibilidade

Foi utilizada a proposição de Bastos *et al.* (2001) para verificar o potencial de erodibilidade dos solos residuais com a variação da coesão (Δc), calculada a partir de resultados de ensaios de cisalhamento direto, com e sem inundação, conforme a Equação 1.

Segundo os autores, com base na magnitude de Δc , expressa em porcentagem, solos com valor igual ou superior a 85% podem ser considerados como sendo de média a alta erodibilidade.

$$\Delta c = \left(\frac{c_{nat} - c_{inu}}{c_{nat}} \right) \cdot 100\% \quad (1)$$

Em que: Δc – variação de coesão; c_{nat} – coesão na condição natural; c_{inu} – coesão na condição inundada.

3 Resultados

Os resultados dos ensaios de caracterização física das amostras de solos analisadas são apresentados na Tabela 1.

| Amostra | Limites de Consistência (%) | | | Análise Granulométrica (%) | | | | | |
|---------|-----------------------------|----|----|----------------------------|-------|------|-------|--------|--------------------------|
| | LL | LP | IP | Areia | | | Silte | Argila | Passante na peneira #200 |
| | | | | Grossa | Média | Fina | | | |
| BR120-A | 81 | 47 | 34 | 5 | 10 | 11 | 7 | 67 | 75 |
| BR120-B | 44 | 24 | 20 | 12 | 18 | 15 | 35 | 20 | 55 |
| BR120-C | 70 | 35 | 35 | 1 | 2 | 11 | 57 | 29 | 88 |

Tabela 1 Caracterização física das amostras de solos analisadas. LL – Limite de liquidez; LP – Limite de Plasticidade; IP – Índice de Plasticidade

Na Tabela 2, são apresentadas as classificações das amostras de solos estudadas segundo diversos sistemas de classificação.

| Amostra | Classificação USCS | Classificação TRB | Classificação MCT |
|---------|--------------------|-------------------|-------------------|
| BR120-A | MH | A-7-5 (20) | LG' |
| BR120-B | CL | A-7-6 (9) | NS' |
| BR120-C | MH | A-7-5 (20) | NG' |

Tabela 2 Classificações geotécnicas das amostras de solos analisadas. MH - Silte de alta compressibilidade; CL - Argila de baixa compressibilidade; LG' - Solo argiloso laterítico; NS' - Solo siltoso não laterítico; NG' - Solo argiloso não laterítico

Na Tabela 3, são apresentados os parâmetros de resistência ao cisalhamento (coesão e ângulo de atrito) e os valores do parâmetro Δc , calculados conforme proposto por Bastos *et al.* (2001).

4 Discussão

4.1 Avaliação do Potencial de Erodibilidade Segundo as Correlações entre os Sistemas de Classificação Geotécnica USCS, TRB e MCT

Para avaliar as correlações entre os sistemas de classificação USCS, TRB e MCT referentes às

amostras estudadas, foram utilizadas as conclusões de Nogami & Villibor (1995), sintetizadas na Tabela 4.

Com relação à classificação unificada (USCS) dos solos estudados, observa-se que os resultados são condizentes com as correlações propostas por Nogami & Villibor (1995), sendo que as amostras BR120-A e BR120-C, classificadas como MH (silte de alta compressibilidade), se enquadraram em dois grupos diferentes da classificação MCT (LG' e NG'), de características completamente distintas. Este fato evidencia que a composição mineralógica dos solos é fator determinante no seu comportamento.

No caso da classificação TRB, a designação encontrada para a amostra BR120-B foi a única que diferiu da correlação apresentada por Nogami & Villibor (1995). Esta amostra, conforme apresentado na Tabela 2, se enquadrou no subgrupo A-7-6 do sistema TRB e foi classificada como NS' segundo a metodologia MCT. Porém, as correlações propostas por Nogami & Villibor (1995) enquadram solos do subgrupo A-7-6 apenas no grupo LG' do sistema de classificação MCT. Quanto a este fato, Silva *et al.* (2012) afirmam que solos classificados segundo os sistemas tradicionais de classificação podem ser enquadrados em diferentes subgrupos da metodologia

| Amostra | Condição Natural | | Condição Inundada | | Δc (%) |
|---------|------------------|---------|-------------------|---------|----------------|
| | ϕ (graus) | c (kPa) | ϕ (graus) | c (kPa) | |
| BR120-A | 55 | 50 | 31 | 5 | 90 |
| BR120-B | 49 | 15 | 39 | 0 | 100 |
| BR120-C | 29 | 71 | 31 | 9 | 87 |

Tabela 3 Parâmetros de resistência ao cisalhamento das amostras de solo analisadas. ϕ - ângulo de atrito interno; c - coesão; Δc - variação de coesão

| Classificações Geotécnicas Tradicionais | Classes e Grupos da Classificação MCT | | | | | | |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| | NA | NA' | NS' | NG' | LA | LA' | LG' |
| | Areia não laterítica | Solo arenoso não laterítico | Solo siltoso não laterítico | Solo argiloso não laterítico | Areia laterítica | Solo arenoso laterítico | Solo argiloso laterítico |
| USCS | SP SM | SM SC ML | SM CL ML MH | MH CH | SP SC | SC | MH ML CH |
| TRB | A-2 | A-2 A-4 A-7 | A-4 A-5 A-7-5 | A-6 A-7-5 | A-2 | A-2 A-4 | A-7-6 A-7-5 |

Tabela 4 Correlação entre os sistemas de classificação tradicionais e da metodologia MCT. Fonte: Nogami & Villibor (1995)

MCT, lateríticos ou não lateríticos, devido à natureza de seus argilominerais. Resultados similares foram observados por Machado *et al.* (2016) que incluíram o grupo A-7-6 da classificação TRB aos subgrupos NG', LA e LG' da classificação MCT.

Com base em propriedades mecânicas e hídras de amostras compactadas de solos tropicais, Pejon (1992) apresenta, para a classificação MCT, a seguinte hierarquia quanto ao potencial de erodibilidade: $NA > NA' > NS' > NG' > LA > LA' > LG$. Nesta série, o potencial de erodibilidade é decrescente da esquerda para direita, de modo que os solos lateríticos são mais resistentes à erodibilidade do que os solos não lateríticos.

Portanto, considerando-se a classificação geotécnica dos solos com base na metodologia MCT e sua correlação com o potencial de erodibilidade, conclui-se que o tipo de solo da amostra BR120-A, pertencente ao grupo LG' (solo argiloso laterítico), será o menos erodível dentre os solos estudados. Por outro lado, a amostra BR120-B, com solo de comportamento areno-siltoso não laterítico (NS'), apresenta elevado grau de erodibilidade, enquanto que o solo da amostra BR120-C, de comportamento silto-argiloso não laterítico (NG'), também deve apresentar um elevado grau de erodibilidade, segundo Menezes & Pejon (2010).

A avaliação em campo do perfil de solo estudado permitiu observar que o horizonte do qual foi retirada a amostra BR120-B (não laterítica) é mais erodível do que o horizonte da amostra BR120-C (não laterítica), enquanto que o horizonte da amostra BR120-A (laterítica) é o mais resistente aos mesmos processos erosivos. Com isso, confirma-se que os solos lateríticos são mais resistentes à erodibilidade do que os solos não lateríticos, reforçando a importância da classificação geotécnica, baseada na metodologia MCT, em relação aos sistemas tradicionais de classificação.

4.2 Critérios Baseados na Caracterização Física de Amostras de Solos

Quando analisados os critérios baseados nos limites de consistência, é possível verificar que, se-

gundo Bastos (1999), as três amostras de solos analisadas seriam classificadas como de boa resistência quanto à erodibilidade, pois apresentam $IP > 10\%$. No entanto, se for considerado que, conforme Santos e Castro (1967), solos de baixa plasticidade apresentam alto potencial erodível, a amostra BR120-B seria classificada como de baixa plasticidade, sendo, portanto, altamente erodível ($LL < 50\%$ e $IP \approx 20\%$).

Meireles (1967) afirma que os solos fortemente erodíveis possuem baixa plasticidade, tendo limites numéricos de 21% e 8% para LL e IP, respectivamente. Portanto, segundo este critério, espera-se um baixo comportamento erodível para todas as amostras de solos analisadas na pesquisa.

Segundo os critérios de Mendes *et al.* (2011), todas as amostras de solos analisadas têm comportamento de ruim a regular quanto à resistência à erosão ($LP > 32\%$ e $LL > 17\%$). Porém, conforme os critérios de Silva (2009), as amostras de solos BR120-A e BR120-C têm baixa erodibilidade ($LL > 50\%$ e $IP > 30\%$), enquanto que a amostra BR120-B possui erodibilidade média ($30\% < LL < 50\%$ e $15\% < IP < 30\%$).

Diante do exposto, verifica-se que existem certas contradições quanto ao comportamento dos solos residuais estudados nessa pesquisa, quando se procura analisar seu potencial de erodibilidade com base na caracterização física, a partir dos valores de seus limites de consistência. O critério que melhor representou as observações em campo dos horizontes analisados foi o apresentado por Santos e Castro (1967).

Quando o critério analisado é a granulometria dos solos, tanto para Meireles (1967) quanto para Bastos (1999), as amostras BR120-A e BR120-C têm pouco potencial erodível, pois o percentual que passa na peneira #200 é maior que o proposto por estes autores, ou seja, 40% e 55%, respectivamente. Quanto à amostra BR120-B, com 55% passante na peneira 200, ela seria caracterizada como de média a baixa erodibilidade, de acordo com Bastos (1999). Já segundo Meireles (1967), por apresentar porcentagem passante na peneira #200 superior a 40%, ela teria pouco potencial de forte erosão.

Portanto, o critério proposto por Bastos (1999) conseguiu representar, com certa fidelidade, os comportamentos encontrados em campo, entretanto sem distinguir o grau de erodibilidade entre as amostras BR120-A e BR120-C.

4.3 Critérios Baseados na Resistência ao Cisalhamento

A análise considerando-se a coesão dos solos permite inferir a tendência de crescimento de sua erodibilidade na condição de umidade natural, com o aumento da variação de coesão (Δc) (Bastos *et al.*, 2001). Tomando como base este parâmetro e os valores da Tabela 3, identificados como 90%, 100% e 87% para as amostras BR120-A, BR120-B e BR120-C, respectivamente, todas elas seriam enquadradas como de média a alta erodibilidade, por apresentarem $\Delta c \geq 85\%$.

Fonseca *et al.* (2016), ao estudarem amostras de solos semelhantes, também observaram consideráveis reduções nos valores da coesão, com o aumento do teor de umidade. Esse comportamento foi atribuído à expressiva redução da sucção matricial com a saturação do solo.

O maior valor de Δc foi obtido para a amostra BR120-B, resultante de uma coesão nula para a condição inundada. Este fato é um indicativo da menor resistência à erosão dessa amostra de solo em relação às demais analisadas. Apesar do parâmetro Δc se relacionar com a taxa de erodibilidade dos solos, ele não permitiu distinguir as diferenças de comportamento, em relação aos processos erosivos, entre as amostras BR120-A e BR120-C.

A partir de observações em campo, foi atribuída, ao solo da amostra BR120-A, característica de boa resistência à erodibilidade o que contradiz o critério de Bastos *et al.* (2001).

5 Conclusão

A hierarquização quanto à susceptibilidade em relação à erodibilidade de solos tropicais proposta por Pejon (1992), com base na metodologia MCT, foi adequada para os solos analisados, visto que confirmou que os solos lateríticos são mais resistentes à erodibilidade do que os solos não lateríticos.

Quanto aos critérios relacionados com a caracterização física dos solos, verificou-se que resultados condizentes com a erodibilidade observada em campo foram obtidos quando se adotou o critério de Santos e Castro (1967), baseado em valores do índice de plasticidade, e com o critério de Bastos (1999), baseado na porcentagem passante na peneira #200.

A análise da erodibilidade em função dos parâmetros de resistência ao cisalhamento enquadrou todas as amostras como de média a alta erodibilidade, com base no critério de Bastos *et al.* (2001). No entanto, observações de campo, por meio das quais se atribui características de boa resistência à erodibilidade ao solo da amostra BR120-A, contradizem esse critério.

A abordagem utilizada nessa pesquisa para a determinação da susceptibilidade à erodibilidade dos solos residuais estudados, considerando critérios baseados em correlações de propriedades geotécnicas físico-mecânicas, mostrou que, em geral, os índices físicos e os parâmetros de resistência, considerados isoladamente, podem não ser bons indicadores para esta finalidade. Portanto, devem ser inseridos outros fatores desses solos como, por exemplo, características estruturais e mineralógicas, para que possam ser obtidas conclusões mais coerentes com as observações realizadas em campo.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes pelo apoio financeiro concedido à pesquisa.

7 Referências

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016a. NBR 7181: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro. 12 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016b. NBR 6459: Solo - Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro. 5 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016c. NBR 7180: Solo - Determinação do Limite de Plasticidade. Rio de Janeiro. 3 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016d. NBR 6458: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água.

- Rio de Janeiro. 10 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2016e. NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro. 8 p.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2009. D2488: Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure). ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2011. D3080/D3080M: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions. ASTM International. West Conshohocken, PA.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. 2015. D3282: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. ASTM International. West Conshohocken, PA.
- Bastos, C.A.B. 1999. *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 251 p.
- Bastos, C.A.B.; Milititsky, J. & Gehling, W.Y.Y. 2001. Estudo sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados a partir de propriedades geomecânicas. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, 2: 9-18.
- Couto, B.O.C.; Gomes, R.C. Ferreira, L.D. & Corteletti, R.C. 2015. Análise da erodibilidade de solos em taludes da estrada de ferro Vitória-Minas. *Revista Fundações e Obras Geotécnicas*, 1: 48-53.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994a. PRO 002: Coleta de amostras indeformadas de solos. Rio de Janeiro. 12 p.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994b. PRO 003: Coleta amostras deformadas de solos. Rio de Janeiro. 4 p.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994c. ME 258: Solos Compactados com Equipamentos Miniatura – Mini-MCV. Rio de Janeiro. 14 p.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1994d. ME 256: Solos Compactados com Equipamentos Miniatura – Determinação da Perda de Massa por Imersão. Rio de Janeiro. 6 p.
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 1996. CLA 259: Classificação de Solos Tropicais para Finalidades Rodoviárias Utilizando Corpos-de-prova Compactados em Equipamentos Miniatura. Rio de Janeiro. 6 p.
- Fonseca, L.D.M.; Lani, J.L.; Fernandes Filho, E.I.; Marques, E.A.G. & Ferreira, W.P.M. 2016. Avaliação da erodibilidade de um cambissolo de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Geotecnica*, 136: 143-156.
- Meireles, J.M.F. 1967. Erosão de taludes de estradas. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2, Rio de Janeiro – São Paulo, 1967. *Anais*, Rio de Janeiro – São Paulo, p. 204-211.
- Mendes, C.A.R.; Mahler, C.F. & Andrade, A.G. 2011. Erosão superficial em argissolo amarelo sob cultivo perene e com pouso florestal em área de relevo montanhoso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(4): 1387-1396.
- Menezes, M.B.M. & Pejon, O.J. 2010. Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudos de erodibilidade. *Geociência*, São Paulo, UNESP, 29 (2): 211-228.
- Nogami, J.S. & Villibor, D.F. 1995. *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo, Villibor. 204 p.
- Oliveira, F. & Araújo, R.C. 2018. Use of geotechnical parameters as indicators of soil's erodibility. *Geotecnica*, 142: 63-75.
- Pejon, O.L. 1992. *Mapeamento Geotécnico de Piracicaba (escala 1:100.000): estudo de aspectos metodológicos de caracterização e de apresentação dos atributos*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Paulo, Tese de Doutorado, 224p.
- Pitanga, H.N.; Lima, D.C.; Silva, C.H.C.; Carvalho, C.A.B. & Barbosa, P.S.A. 2006. Influência da velocidade de carregamento sobre a resistência ao cisalhamento de solos residuais tropicais. *Geotecnica*, 106: 13-27.
- Santos, M.P. & Castro, E. 1967. Estudo sobre erosão em taludes de estradas. In: JORNADAS LUSO-BRASILEIRAS DE ENGENHARIA CIVIL, 2, Rio de Janeiro – São Paulo, 1967. *Anais*, Rio de Janeiro – São Paulo, p. 220-241.
- Silva, A.M.; Silva, M.L.N.; Avanzi, J.C. & Ferreira, M.M. 2009. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33: 1811-1820.
- Silva, S.F.; Silva T.O.; Pitanga H.N. & Dias, L.S. 2012. Estudo Comparativo entre os sistemas tradicionais de classificações geotécnicas de solos e a classificação MCT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 16, Ipojuca, 2012. *Anais*, Ipojuca.
- Silva, T.O.; Nascimento, R.C.; Faria, J.W.S.; Pitanga, H.N.; Lima, D.C. & Sant'anna, G.L. 2015. Soil susceptibility to accelerated hydric erosion: geotechnical evaluation of cut slopes in residual soil profiles. *Acta Scientiarum. Technology*, 37: 331-337.