

# USO DE PARÂMETROS GEOTÉCNICOS COMO INDICADORES DA ERODIBILIDADE DE SOLOS

Use of geotechnical parameters as indicators of soil's erodibility

Felipe Ferreira Oliveira \*  
Rodrigo da Cruz de Araujo \*\*

**RESUMO** – Processos erosivos têm-se mostrado eficazes modificadores da paisagem e, dessa forma, têm sido objeto de estudo de diversas áreas do conhecimento, tais como a geografia e a geotecnia. Assim, a literatura apresenta diversas propostas de correlações entre características intrínsecas dos solos e a susceptibilidade dos mesmos à erosão, as quais poderiam auxiliar na identificação e previsão de áreas mais propensas à ocorrência de tais processos. O estudo tem como objetivo analisar as adequabilidades e representatividades de algumas dessas correlações. Amostras de dois solos selecionadas com base nas feições erosivas que apresentavam em campo foram submetidas a ensaios de laboratório, a fim de determinar alguns dos parâmetros geotécnicos apontados na literatura como indicadores da erodibilidade. Dessa forma, podem-se verificar quais correlações são satisfatoriamente representativas dos comportamentos que os solos apresentam em campo. Os resultados encontrados apontam que os diferentes critérios sugeridos na literatura apresentam, muitas vezes, divergências entre si e em relação ao observado in loco, o que deixa evidente que os mesmos ainda apresentam limitações e requerem muito cuidado quanto às suas utilizações.

**SYNOPSIS** – Erosive processes have proven to be effective modifiers of the landscape and thus have been studied from different areas of knowledge such as geography and geotechnics. Thus, literature contains various proposals for correlations between intrinsic characteristics of the soil and the susceptibility thereof to erosion, which could assist in the identification and forecasting of the areas most prone to the occurrence of such processes. The study aims to analyse the suitability and representativeness of some of these correlations. Samples of two soils were collected, based on erosional features noticed in the field. Then, those samples were submitted to laboratory tests in order to determine some of the geotechnical parameters pointed in literature as erodibility indicators of soils. Thus, one can see which parameters are satisfactorily representative of the field behaviour of those soils. The results show that the different criteria suggested in the literature have often differences between themselves and in relation to that observed in loco, which makes clear that they still have limitations and should be used carefully.

**Palavras Chave** – Erosão, erodibilidade, parâmetros geotécnicos.

**Keywords** – Erosion, erodibility, geotechnical parameters.

## 1 – INTRODUÇÃO

Processos erosivos têm-se mostrado, ao longo do tempo e em diferentes localidades, como eficazes modificadores da paisagem e, dessa forma, têm sido objeto de estudo de diversas áreas do conhecimento, tais como a geografia e a geotecnia.

---

\* Bacharel em Ciência e Tecnologia, Discente de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão.  
E-mail: felirreira@gmail.com

\*\* Doutor, Professor da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, São Luis, MA, Brasil. E-mail: araujo.rodrigo@ufma.br

A erosão é um fenômeno bastante complexo, uma vez que envolve a ação direta ou indireta de diversos fatores, tais como as características geológicas e geomorfológicas, os tipos de solos, clima, vegetação, além da interferência humana que modifica as condições naturais de cada um deles.

Devido à complexidade do processo, o qual envolve diversos mecanismos e condicionantes, a erosão tem sido tema de pesquisas em diversas áreas, principalmente agronomia, geologia, geografia e geotecnia. Entretanto, apesar de todos os estudos já desenvolvidos, o entendimento do processo ainda não é completo.

Conforme explica Mortari (1994) a erosão é a realização de um trabalho e seu produto é o sulco, a voçoroca, etc. Bertoni e Lombardi Neto (2008) expõem que o processo erosivo é influenciado pela chuva, infiltração, topografia do terreno, cobertura vegetal e natureza do solo. Na mesma linha, Silva (2007) afirma que de modo geral são considerados fatores controladores dos processos erosivos a erosividade da chuva, as propriedades dos solos, a cobertura vegetal e as características das encostas.

Assim, o estudo de características intrínsecas dos solos que possam indicar a susceptibilidade dos mesmos à erosão auxilia na identificação e previsão de áreas mais propensas à ocorrência de tais processos, colaborando para o planejamento territorial e/ou para a adoção de medidas preventivas.

O estudo pretende, então, analisar as adequabilidades e representatividades de algumas dessas correlações como indicadores da erodibilidade. Tal avaliação é feita por meio da análise conjunta de observações feitas em campo e resultados de ensaios de laboratório.

## 2 – AVALIAÇÕES INDIRETAS DE ERODIBILIDADE DE SOLOS

Muitas vezes, a avaliação do potencial de erosão de um solo não é feita de forma direta, mas por meio de medidas indiretas que possam representá-lo. Assim, ao longo dos anos, diversas propostas para avaliação do potencial erosivo dos solos foram apresentadas, muitas vezes por meio de correlação com características do solo como, por exemplo, sua granulometria, limites de consistência, sucção, gênese, capacidade de sorção, etc.

Conforme explica Meira (2008) “a avaliação da suscetibilidade de um solo à erosão através de ensaios de caracterização geotécnica é uma forma indireta de realizar tal estudo e pode servir para uma primeira abordagem do problema”. Nesse sentido, ao longo dos anos diversas pesquisas têm abordado tais correlações como, por exemplo, Meira (2008), Menezes (2010), Stephan (2010), Molinero Junior (2010).

Afora as correlações expressas e verificadas por meio de faixas de valores máximos e mínimos admissíveis, ábacos ou índices, outros autores têm ainda desenvolvido pesquisas em que analisam a correlação entre características (como os limites de Atterberg) e a susceptibilidade à erosão dos solos por meio de análise de significância estatística. A partir de estudos nessa linha, Stanchi et al. (2012), por exemplo, concluem que os limites de Atterberg estão relacionados com a estrutura e erodibilidade dos solos. Curtaz et al (2014) corroboram, ao afirmar que a consistência é reconhecida como indicador da qualidade física do solo.

Stanchi et al (2015) expõem que diversas propriedades dos solos têm sido propostas como indicadores da vulnerabilidade dos solos a processos de degradação, destacando ainda que os limites de Atterberg fornecem informação da consistência do solo, sendo usados tipicamente na engenharia e geotecnia, mas seu uso tem sido estendido para a agronomia e plantio direto.

Desta forma, faz-se a seguir uma breve descrição de alguns desses métodos.

Bouyoucos (1935) relaciona a erodibilidade do solo com a porcentagem de areia, silte e argila, conforme a equação:

$$E = \frac{\%areia + \%silte}{\%argila} \quad (1)$$

Essa equação parte do pressuposto de que a argila age como ligante, dificultando o destacamento das partículas do solo, e que as partículas mais grossas que a areia não seriam destacáveis.

Mannigel et al (2002) propõem que o fator erodibilidade do solo (K) (o qual usualmente é expresso em t.ha.h/ha.MJ.mm) pode ser calculado de maneira indireta, por meio da utilização da expressão de Bouyoucos (1935). Os mesmos autores classificaram, então, os valores do fator erodibilidade do solo (K) obtidos por meio daquela expressão nas seguintes classes: a) baixo: com valores entre 0,01 e 0,03; b) médio: com valores entre 0,03 e 0,06, e c) alto: com valores acima de 0,06. Tais valores são obtidos da seguinte equação:

$$K = \left( \frac{\% \text{areia} + \% \text{silte}}{\% \text{argila}} \right) / 100 \quad (2)$$

Outra proposta que também se baseia na granulometria é apresentada por Santos (1953) que estabelece os seguintes critérios de avaliação:

Solos de comportamento regular ou bom:

$$49\% \leq \% \text{ que passa } \# 40 \leq 96\%;$$

ou ainda:

$$0,52 < a < 0,92; \text{ na qual } a = \frac{\sum Y}{100n}$$

sendo:

Y = porcentagem de grãos que passam nas peneiras 7, 14, 25, 50, 100, 200 (ou correspondentes);  
n = número de peneiras (seis).

O Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS/ASTM) é um sistema que classifica o solo considerando a granulometria, o limite de liquidez (LL) e o limite de plasticidade (LP). Segundo Gray e Leiser (1989), levando em consideração a classificação do SUCS, a susceptibilidade a erosão segundo cada tipo de solo, em ordem decrescente da esquerda para a direita, seria:

$$ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > SW > GP > GW$$

Santos e Castro (1966) também estudaram possíveis correlações entre a erodibilidade e diversas propriedades dos solos. Dentre as propriedades avaliadas, algumas das que os autores consideraram mais significativas foram o limite de liquidez (LL), limite de plasticidade (LP) e o índice de plasticidade (IP). Para estes, os autores indicam:

Solos de comportamento bom ou regular:

$$LP \leq 32\%$$

$$IP \leq 17\%$$

Solos altamente erodíveis (Santos e Castro, 1967):

$$LL < 50\%$$

$$IP \text{ próximo de } 20\%$$

Meireles (1967) também sugere classificação da erodibilidade com base nos limites de liquidez, de plasticidade e na granulometria do solo, afirmando que solos fortemente erodíveis apresentam os seguintes comportamentos:

Fortemente erodíveis:  $LL \leq 21\%$  e  $IP \leq 8\%$  e  $\% \text{ passa } \# 200 \leq 20\%$

Passíveis de forte erosão:  $20\% < \% \text{ passa } \# 200 < 40\%$

Pouco erodíveis:  $\% \text{ passa } \# 200 > 40\%$

Outra proposta para avaliar a erodibilidade dos solos, relacionando índice de plasticidade (IP) e Coeficiente de Uniformidade (Cu), é apresentada por Santos (2001), conforme Tabela 1.

**Tabela 1** – Critérios adotados por Santos (2001) quanto à relação erodibilidade, IP (índice de plasticidade) e Coeficiente de Uniformidade (Cu).

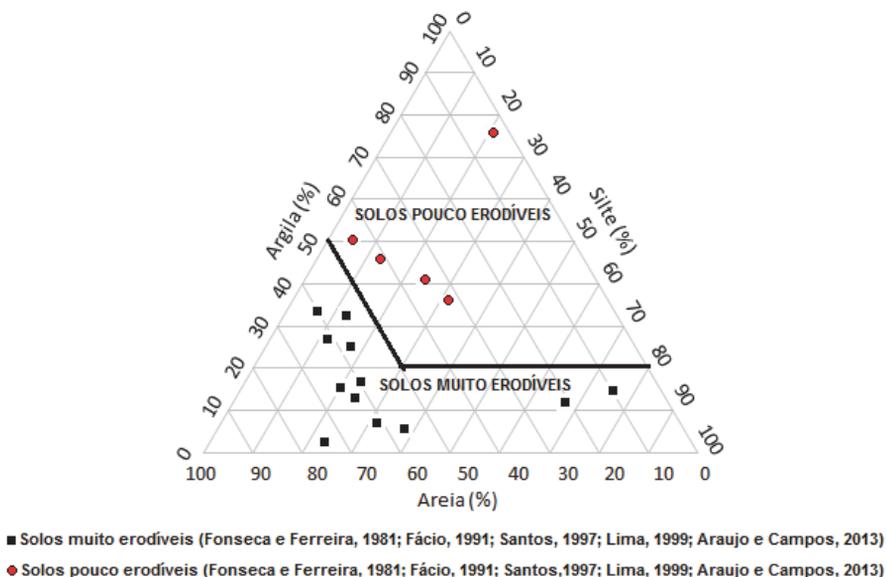
IP	Erodibilidade	Cu	Erodibilidade
IP>15	boa resistência a erosão	Cu<5	solos erodíveis
15>IP>6	média resistência a erosão	5<Cu<15	solos de média erodibilidade
IP<6	baixa resistência a erosão	Cu>15	solos de baixa erodibilidade

Araujo e Campos (2013), a partir da comparação dos resultados de seu estudo junto a outros solos relatados na literatura (Fonseca e Ferreira, 1981; Fácio, 1991; Santos, 1997; Lima, 1999) apresenta uma proposta de separação de duas zonas, indicando a provável tendência de comportamento dos solos, conforme a Figura 1.

Nogami e Villibor (1981) afirmam que os índices classificatórios do grau de erodibilidade baseados no limite de liquidez, índice de plasticidade e granulometria e as classificações neles baseadas podem ser insatisfatórias para solos brasileiros, uma vez que solos de índices iguais ou integrantes do mesmo grupo classificatório podem ter comportamentos bastante diferentes quando se trata de solos tropicais.

A fim de suprir tal carência, os referidos autores desenvolveram uma nova metodologia de classificação, a ser utilizada para finalidades geotécnicas viárias. Destaca-se, porém, que a metodologia MCT foi inicialmente desenvolvida para ser aplicada apenas a solos compactados, com finalidades rodoviárias (utilizados como base de pavimentos)

Villibor e Nogami (2009) exemplificam que em um mesmo talude com ocorrência de parte de solo laterítico e outra parte não laterítica poderia-se observar a diferença de comportamento entre ambos, com a parte laterítica sendo mais resistente à erosão. Isso se deve à concreção de óxidos hidratados de ferro e/ou alumínio, que agregam os grãos de solo, proporcionando ao solo, na



**Fig. 1** – Proposta de separação de zonas de erodibilidade utilizando o triângulo textura. (Adaptado de Araujo e Campos, 2013)

realidade de campo, uma resistência maior do que seria estimada por meio de sua granulometria e índices de Atterberg.

### 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender o objetivo específico previsto no trabalho foram realizados trabalhos de campo e ensaios de laboratório, os quais serão detalhados a seguir.

#### 3.1 – Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo se iniciaram com visitas à área de ocorrência de uma voçoroca, indicada na Figura 2. Tal feição erosiva localiza-se nas coordenadas geográficas S 02°31'05,1" W 44°14'25,9", na praia do Araçagi, no município de São José de Ribamar – MA.

A partir das observações de campo, foram selecionados solos de duas localizações, de acordo com a feição erosiva que apresentavam. Assim, foram coletadas amostras de material do interior da voçoroca (o qual se subentende como de alta susceptibilidade à erosão) e de um outro local na região, que não apresentava sinal de processo erosivo (o qual se subentende, então, como de baixa erodibilidade).

De acordo com o Atlas do Maranhão (2002) a formação geológica nesse local é a Formação Itapecuru (Cretáceo), a qual estende-se bastante no estado, ocupando uma área de aproximadamente 50% do território estadual. É constituída por arenitos finos avermelhados e róseos cinza argilosos, geralmente com estratificação horizontal. Silva et al. (2014) realizam um trabalho na mesma área e identificaram a Formação Itapecuru e a Formação Barreiras (Terciário). A Formação Barreiras é constituída por conglomerados, arenitos, siltitos e argilitos, com sedimentos mal-selecionados e mal-consolidados (Maranhão, 1998).

A voçoroca é de difícil acesso, tem cerca de 15m de altura, muito íngreme e solo facilmente desagregável. Na base observou-se a predominância da coloração amarelada. Por sua vez, o solo da localização não erodida apresenta uma coloração uniforme, acinzentado, e também facilmente escavável.



**Fig. 2** – Vista da feição erosiva localizada na praia do Araçagi.  
(Fonte: Imagens ©2016 CNES / Astrium Dados do mapa ©2016 Google)

Destaca-se que, apesar do clima da região ser propício ao processo de laterização dos solos, as amostras ora estudadas não apresentavam feições características de grau de laterização avançado, não se constatando, por exemplo, concreções típicas das lateritas, as quais conferem àqueles solos aumento de resistência.

### 3.2 – Trabalhos de Laboratório

A fim de atingir os objetivos estabelecidos para este trabalho, definiu-se então um programa experimental, visando obter os parâmetros geotécnicos utilizados em diversos critérios propostos na literatura como indicadores de erodibilidade e, assim, verificar se os resultados obtidos em laboratório seriam de fato representativos do comportamento observados em campo.

Foram realizados ensaios de caracterização dos solos, determinando-se para cada um deles a umidade natural ( $\omega_{nat}$ ) segundo a ABNT (1986), limites de liquidez (LL) de acordo com ABNT (1984a), limite de plasticidade (LP) pela ABNT (1984b), a granulometria (com uso de defloculante) de acordo com ABNT (1984c), a partir dos quais serão determinados os indicadores de erodibilidade mencionados anteriormente.

## 4 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Os resultados dos ensaios de umidade, granulometria, LL e LP realizados para os dois solos estudados são apresentados nas tabelas e gráficos desta seção.

### 4.1 – Granulometria e limites do solo da voçoroca

A realização de ensaios de granulometria para a amostra retirada do corpo da voçoroca gerou os resultados apresentados na Tabela 2 e na Figura 3.

Como é possível observar a amostra apresenta apenas cerca de 5% de partículas menores que 0,075mm. Por esse motivo optou-se por não fazer a sedimentação, visto que esse baixo teor de fração passando na peneira #200 implica que o solo seja considerado “limpo” (sem finos) e, portanto, tal fração não afetará no comportamento do material.

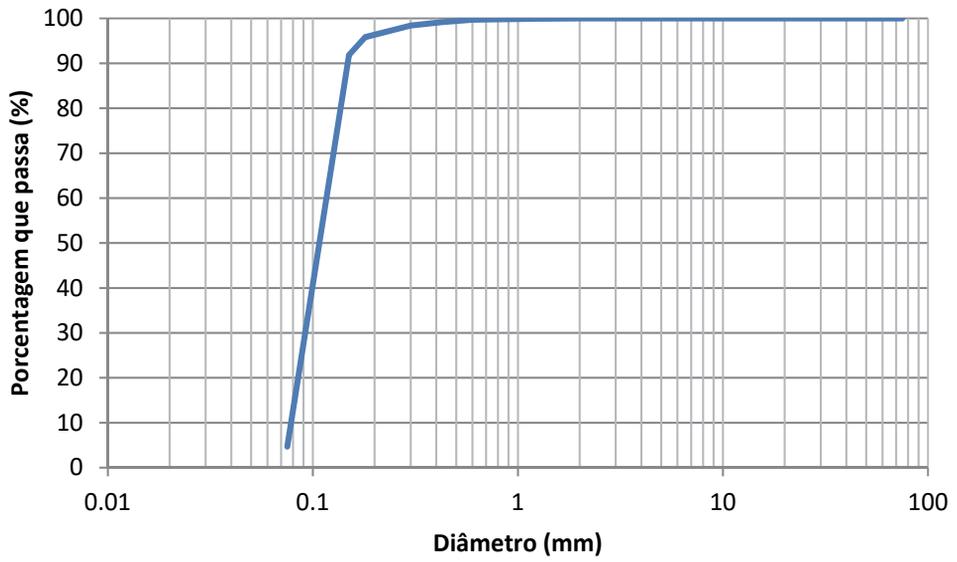
**Tabela 2** – Resumo da granulometria por peneiramento da amostra do corpo da voçoroca.

Pedregulho acima de 2,0 mm	0 %
Areia grossa 2,0 a 0,42mm	0,8 %
Areia fina 0,42 a 0,075	94,5 %
Menor que 0,075mm	4,7 %
Silte 0,075 a 0,050mm	-
Argila 0,005 a 0,001mm	-
Argila coloidal 0,001mm	-

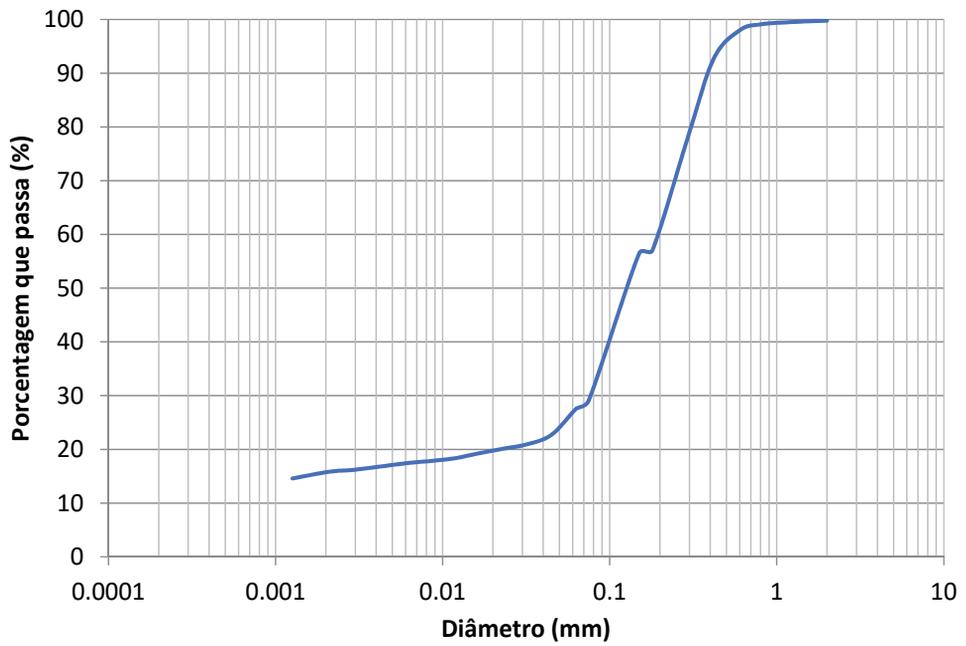
Os resultados dos Limites de Consistência para essa amostra são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3** – Resultado do LL e LP da amostra do corpo da voçoroca.

Limite de Liquidez (LL)	22 %
Limite de Plasticidade (LP)	S/
Índice de Plasticidade (IP)	-



**Fig. 3** – Curva Granulométrica da amostra do corpo da voçoroca.



**Fig. 4** - Curva granulométrica da amostra a 20m da cabeceira da voçoroca.

## 4.2 – Granulometria e Limites do solo de área não erodida

Os resultados dos ensaios de granulometria para a amostra retirada da área que não apresenta erosão são apresentados na Tabela 4 e na Figura 4. Os resultados dos Limites de Consistência para essa amostra são apresentados na Tabela 5.

**Tabela 4** - Resumo da granulometria e sedimentação.

Pedregulho acima de 2,0mm	0,2 %
Areia grossa 2,0 a 0,42mm	7,0 %
Areia fina 0,42 a 0,075mm	63,6 %
Silte 0,075 a 0,050mm	6,4 %
Silte 0,050 a 0,005mm	5,3 %
Argila 0,005 a 0,001mm	2,8 %
Argila coloidal 0,001mm	14,6 %

**Tabela 5** - Resultado do LL e LP da amostra da amostra a 20m da cabeceira da voçoroca.

Limite de Liquidez (LL)	16 %
Limite de Plasticidade (LP)	13 %
Índice de Plasticidade (IP)	3 %
Índice de Contração (IC)	4 %

## 4.3 – Classificação SUCS

Uma vez conhecidas a granulometria, o limite de liquidez, o limite e o índice de plasticidade, é possível proceder a classificação de um solo no Sistema Unificado de Classificação dos Solos. A Tabela 6 apresenta os parâmetros utilizados e a Classificação Unificada das amostras utilizadas no estudo.

Doravante o solo retirado do corpo da voçoroca será referido simplesmente por SP e aquele retirado de terreno não erodido por SM.

**Tabela 6** – Parâmetros para elaboração da Classificação Unificada dos Solos (USC/ASTM)

	% Passa #4	% Passa #200	"Parâmetro" para Classificação	Classificação
<b>Solo da Voçoroca</b>	100	4,70	Cu= 1,50 e Cc= 0,84	SP
<b>Solo sem erosão</b>	100	29,14	LL= 16	SM

## 4.4 – Classificação no Triângulo Textural

A classificação trilinear é feita observando as porcentagens de areia, silte e argila. De acordo com os resultados obtidos em laboratório o solo SP possui 95% de areia e 5% de finos (silte + argila); enquanto o SM é composto por 76% de areia, 8% de silte e 16% de argila. Dessa forma o solo SP recebe a classificação trilinear como AREIA e o SM como FRANCO-ARENOSO, conforme Figura 5.

## 5 – ANÁLISE DOS RESULTADOS: POTENCIAL DE EROSIÃO DOS SOLOS

Procura-se verificar neste item a confiabilidade de correlações entre as propriedades analisadas e o potencial de erosão dos solos propostos por diversos autores. Para isso, faz-se uma análise dos resultados obtidos, comparando-os com outros resultados da literatura e com as condições de campo.

Conforme já mencionado, as comparações feitas neste item considerarão que em situações de campo o solo SM será menos erodível que o SP, visto que o SP foi retirado de dentro de uma feição erosiva bastante avançada, enquanto que o SM, no campo, corresponde a um material coletado de área que não se apresenta erodida.

Em relação às faixas de erodibilidade sugeridas por Mannigel et al. (2002) temos que para o solo SP o resultado do fator K seria no mínimo de 0,19, visto que se conhece apenas a soma de silte e argila, que vale 5% (considerou-se para esse cálculo a porcentagem de silte igual a 0 e a de argila 5%). A partir, daí aumentando a porcentagem de silte e diminuindo a de argila o fator K aumenta indefinidamente. De toda forma, portanto, sua classificação seria de erodibilidade alta, enquanto para o SM temos 0,0525, que corresponde a erodibilidade média.

Os estudos realizados por Santos (1953) levaram à proposta de um critério de avaliação segundo o qual solos de comportamento bom ou regular teriam porcentagem de material passante na peneira #40 entre 49% e 96%. Tais porcentagens, para os solos em estudo, são de 99,17% para o SP e 92,95% para o SM, assim, nessa proposta o solo SP não apresenta comportamento bom, enquanto que o SM apresenta.

Para o parâmetro “a”, desenvolvido pelos mesmos autores, ambos os solos são caracterizados como de mau comportamento, pois para SP e SM temos respectivamente 0,77 e 0,82. Assim, nenhum deles se encontra dentro da faixa de  $0,52 < a < 0,92$  que indicaria bom comportamento.

Com os valores das granulometrias e dos limites, pôde-se obter a classificação dos solos pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos. Segundo Gray e Leiser (1989), a erodibilidade seria:

$$ML > SM > SC > MH > OL > CL > CH > GM > SW > GP > GW$$

Na série acima a susceptibilidade é decrescente da esquerda para a direita. Assim, ML é o mais suscetível e GW o menos suscetível. Os solos aqui estudados são classificados como SP e SM. A classificação SP não aparece na série, o que evidencia uma limitação no critério proposto pelos

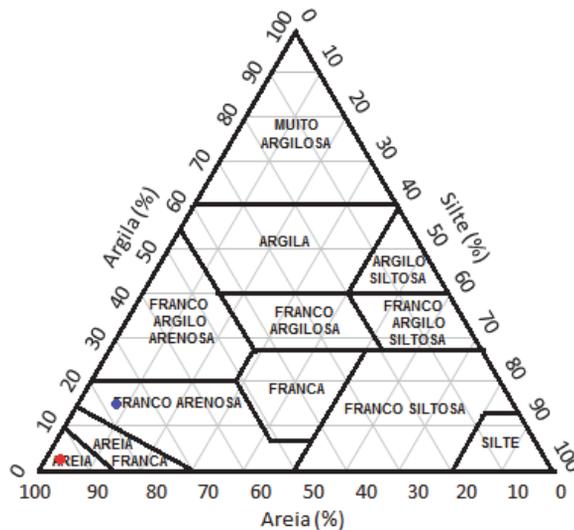


Fig. 5 - Identificação das amostras de solo no triângulo textural.

autores. Como o solo SM está à direita apenas de ML, ele pode ser considerado como altamente erodível.

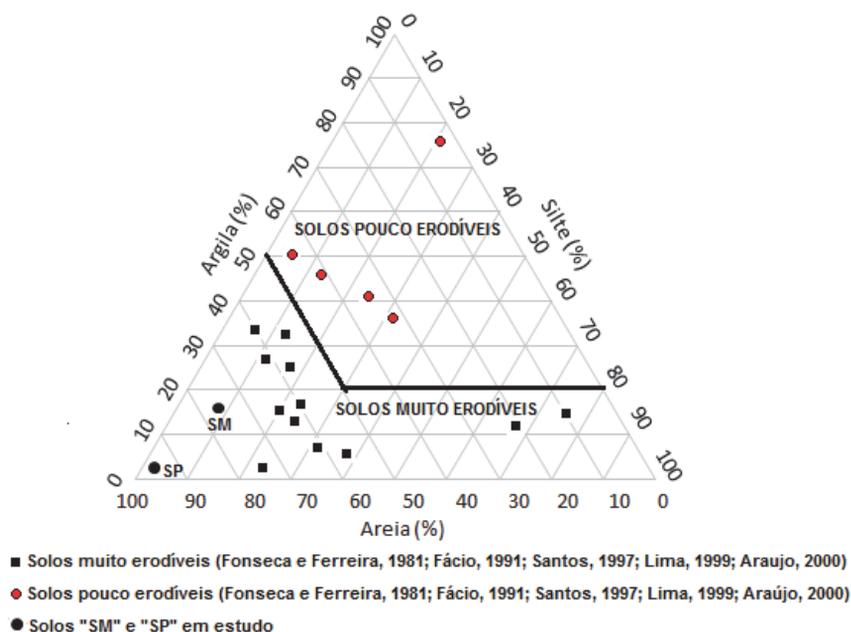
De acordo com os critérios propostos por Santos e Castro (1966), solos de comportamento bom ou regular apresentam  $LP \leq 32\%$  e  $IP \leq 17\%$ . De modo semelhante, solos altamente erodíveis de acordo com Santos e Castro (1967) apresentam  $LL < 50\%$  e  $IP$  próximo de  $20\%$ . O solo SP tem  $LL = 22\%$  e não apresentou plasticidade. Já o solo SM tem  $LL = 16\%$ ,  $LP = 13\%$  e  $IP = 3\%$ . Dessa forma o solo SP é classificado como altamente erodível e o SM como solo de comportamento regular ou bom.

Também utilizando os valores de  $LL$ ,  $LP$  e  $IP$  para os solos SP e SM anteriormente citados verifica-se que na proposta de Meireles (1967) tanto o solo SP quanto o solo SM recebem a classificação de passível de forte erosão.

Na classificação de Santos (2001) que leva em consideração o índice de plasticidade e o coeficiente de uniformidade temos  $Cu = 1,5$  para o solo SP e para SM temos  $IP = 3\%$ . Ressalta-se que o critério de se utilizar  $IP$  ou  $Cu$  segue a mesma lógica da classificação SUCS/ASTM, na qual é levada em consideração a porcentagem de materiais finos e grossos. Dessa forma o solo SP é classificado como solo erodível e o solo SM com baixa resistência a erosão.

Por fim, para a separação de zonas de erodibilidade dentro do triângulo textural proposta por Araujo e Campos (2013), observa-se na Figura 6 que tanto o solo SP quanto o solo SM estão dentro da faixa de solos muito erodíveis. Assim entende-se que por esse critério ambos os solos são potencialmente erodíveis.

A fim de facilitar a visualização dos resultados obtidos, um quadro-resumo é apresentado na Tabela 7, no qual são indicados, para cada critério estudado, a conclusão que o mesmo forneceu acerca das susceptibilidades à erosão dos solos SP e SM ora analisados.



**Fig. 6** - Proposta de separação de faixas de erodibilidade (Araujo e Campos, 2013) com a inclusão dos solos SP e SM em estudo.

**Tabela 7** - Resumo das propostas de erodibilidade e resultados para os solos SP e SM.

AUTOR	PARÂMETRO	SOLO SP	SOLO SM
Araujo e Campos (2013)	Triângulo textural	solo muito erodível	solo muito erodível
Mannigel et al. (2002)	equação de Bouyoucos (1935)	erodibilidade alta	erodibilidade média
Santos (1953) e Santos e Castro (1966)	$49\% \leq \% \text{ que passa } \# 40 \leq 96\%$	não apresenta bom comportamento	bom comportamento
	a	não apresenta bom comportamento	não apresenta bom comportamento
Gray e Leiser (1989)	SUCS/ASTM	---	erodível
Santos e Castro (1966; 1967)	LL, LP e IP	altamente erodível	Comportamento regular ou bom
Meireles (1967)	LL, IP e % passa #200	passível de forte erosão	passível de forte erosão
Santos (2001)	IP e Cu	solo erodível	baixa resistência a erosão

## 6 – CONCLUSÕES

Em relação ao solo SP vê-se que a regra geral é a classificação desse solo como, “muito erodível”, “erodibilidade alta”, “não apresenta bom comportamento”, “altamente erodível”, “passível de forte erosão” e “solo erodível”, todos esses resultados parecem concordar que o solo SP é um solo erodível. Ressalta-se, porém que o critério proposto por Gray e Leiser (1989) não contempla o solo SP, demonstrando assim uma limitação de tal critério na avaliação de erodibilidade dos solos. De modo geral, pode-se apontar então que os parâmetros demonstraram-se adequados quanto à avaliação da erodibilidade do solo SP, identificando-o como de alta susceptibilidade, excetuando-se, evidentemente, o critério da hierarquia pela classificação SUCS.

Acerca do solo SM, porém, os resultados encontrados conduzem a conclusões variáveis acerca de seu comportamento, com algumas propostas indicando-o como altamente erodível, outras indicando bom comportamento e ainda outras indicando erodibilidade média.

As propostas que produzem uma classificação que convergem para o entendimento de que o solo SM é potencialmente erodível são as de Araujo e Campos (2013), Santos (1953) e Santos e Castro (1966) (parâmetro “a”), Gray e Leiser (1989), Meireles (1967) e Santos (2001).

Já as que colaboram no entendimento de que este solo não é um solo potencialmente erodível são as propostas de Santos (1953), Santos e Castro (1966) e Santos e Castro (1967). A proposta de Mannigel et al. (2002) por sua vez, coloca o solo SM em uma posição intermediária, atribuindo-lhe erodibilidade média.

Cabe agora fazer algumas observações: a classificação do solo SM na proposta de Santos (1953) e Santos e Castro (1966) indica bom comportamento quando se considera o critério da peneira n.40 enquanto para o parâmetro “a” o solo não apresenta bom comportamento, evidenciando uma contradição entre os próprios critérios de tais autores. Nas propostas referentes à #40 de Santos e Castro (1966) e no critério de Santos e Castro (1967) o solo é classificado como “regular ou bom”, esse resultado, porém, não distingue especificamente o que seria “regular” e o que seria “bom”.

Pela análise conjunta dos resultados de laboratório e das observações de campo, conclui-se que os indicadores de erodibilidade verificados proporcionam previsões satisfatórias do comportamento do solo SP, com exceção da proposta apresentada por Gray e Leiser (1989). Por sua vez, as inferências sobre o solo SM não são uniformes, quando se consideram as características de campo e os resultados dos critérios propostos pelos diversos autores.

Dessa forma, a simples constatação de que os diferentes critérios sugeridos na literatura apontam divergências entre si deixa evidente que os mesmos apresentam limitações e requerem muito cuidado quanto às suas utilizações. Portanto, com base nas metodologias adotadas neste trabalho, ressalta-se que as observações de campo e os ensaios de laboratório devem sempre estar associados, uma vez que as informações obtidas em ambos devem se complementar e se confirmar mutuamente.

## 7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (1986). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6457. *Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rios de Janeiro.
- ABNT (1984a). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6459. *Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- ABNT (1984b). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7180. *Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- ABNT (1984c). Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7181. *Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Araujo, R. C.; Campos, T. M. P. (2013). *Uso dos Ensaio de Penetração de Cone, Desagregação, Sucção e Resistência à Tração para Avaliar a Erodibilidade*. Geotecnia (Lisboa), v. 128, p. 67-85.
- Atlas do Maranhão. (2002). *Gerência de Planejamento e Desenvolvimento Econômico*. Laboratório de Geoprocessamento – UEMA, São Luís: GEPLAN. 44p.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. (2008). *Conservação do solo*. Icone, 6ª ed. São Paulo, 355p.
- Bouyoucos, G. W. (1935). *The clay ratio as a criterion as susceptibility of soils to erosion*. J. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc., 27:738-741.
- Curtaz, F.; Stanchi, S.; D'Amico, M. E.; Filippa, G.; Zanini, E.; Freppaz, M. (2014). *Soil evolution after land-reshaping in mountains areas (Aosta Valley, NW Italy)*. Agr. Ecosyst. Environ., 199, 238–248.
- Fácio, J.A. (1991). *Proposição de uma metodologia de estudo da erodibilidade dos solos do Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UnB, Brasília, DF.
- Fonseca, A.M.M.C.C.; Ferreira, C.S.M. (1981). *Metodologia para Determinação de um Índice de Erodibilidade de Solos*. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- Gray, D.H.; Leiser, A.T. (1989). *Biotechnical Slope Protection and Erosion Control*. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida.
- Lima, M.C. (1999). *Contribuição ao Estudo do Processo Evolutivo de Boçorocas na Área Urbana de Manaus*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UnB, Brasília, DF.
- Manningel, A.R.; Carvalho, M.P.; Moreti, D.; Medeiros, L.R. (2002). *Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo*. Acta Scientiarum. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340.
- Maranhão, Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa Estadual de Gerenciamento Costeiro. (1998). *Macrozoneamento diagnóstico ambiental da microregião de aglomeração urbana de São Luís e dos municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. Estudo de Pedologia e cobertura vegetal*. São Luís, SEMA/GERCO, 186 p.

- Meira, F.F.D.A. (2008). *Estudo do Processo Erosivo em Encostas Ocupadas*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE.
- Meireles, J.M.F. (1967). *Erosão de taludes de estradas*. In: Jornadas Luso-Brasileiras de Engenharia Civil, 2. Rio de Janeiro/RJ - São Paulo/SP. Anais, p. 204-211.
- Menezes, M.B.M. (2010). *Análise da influência do teor de umidade na absorção d'água e sucção dos solos em estudos de erodibilidade*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- Molinero Junior, J. A. (2010). *Estudo Geotécnico dos Solos de Erosões Resultantes de Intervenções em Rodovias*. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.
- Mortari, D. (1994). *Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no Distrito Federal*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UnB, Brasília, DF.
- Nogami, J.S.; Villibor, D.F. (1981). *Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias*. Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.
- Santos, C.A. (2001). *Comportamento hidrológico superficial, subsuperficial e a erodibilidade dos solos da região de Santo Antônio do Leite, distrito de Ouro Preto – Minas Gerais*. 107 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG.
- Santos, M.P.P. (1953). *A new soil constant and its applications*. Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, v.1, Zurique, Suíça.
- Santos, M.P.P.; Castro, E. (1966). *Soil Erosion in Roads*. Memória N°282, LNEC, Lisboa.
- Santos, M.P.P.; Castro, E. (1967). *Estudo sobre erosão em taludes de estradas*. 2º Jornal Luso Brasileiro Engenharia Civil. Rio de Janeiro, São Paulo.
- Santos, R.M.M. (1997). *Caracterização Geotécnica e Análise do Processo Evolutivo das Erosões no Município de Goiânia*. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, UnB, Brasília, DF.
- Silva, A. S. (2007). *Análise morfológica dos solos e erosão*. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. 3aed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Silva, T.P.; Viana, J.D.; Abreu Junior, F.C.; Morais, M.S.; Lisboa, G.S.; Bezerra, J.F.R. (2014). *Análise Morfológica dos Solos nas Voçorocas Araçagi I e II no Município de São José de Ribamar*. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.21– 27.
- Stanchi, S., Freppaz, M., and Zanini, E. (2012). *The influence of Alpine soil properties on shallow movement hazards, investigated through factor analysis*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 1845–1854. doi:10.5194/nhess-12-1845-2012.
- Stanchi, S.; D'Amico, M.; Zanini, E.; Freppaz, M. (2015). *Liquid and plastic limits of mountain soils as a function of the soil and horizon type*. Catena, 135, 114–121.
- Stephan, A.M. (2010). *Análise de processos erosivos superficiais por meio de ensaios de Interbitzen*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- Villibor, D. F.; Nogami, J.S. (2009). *Pavimentos econômicos - tecnologia do uso dos solos finos lateríticos*. São Paulo: Arte e Ciência