

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL EROSIVO DO SOLO RESIDUAL DE GRANULITO E DA FORMAÇÃO BARREIRAS DA CIDADE DO SALVADOR

Luiz Henrique Santos Cardoso¹
Paula Andréa Marin Moyano²
Tainam dos Santos Veloso³
Miriam de Fátima Carvalho⁴
Kleber Azevedo Dourado⁵
Jorge Luiz Zegarra Tarqui⁶

RESUMO: Este trabalho estuda as características geotécnicas e de erodibilidade de dois solos (Residual de granulito e Residual da formação Barreiras) encontrados em encostas com riscos de deslizamentos em Salvador. Para estudo da erodibilidade foi utilizado um simulador de chuva modelo FEL3. Os testes foram realizados em amostras indeformadas, submetidas a duas intensidades de chuva (70mm/h e 119mm/h) e quatro declividades (10%, 30%, 50% e 80%). Os resultados obtidos demonstram que a intensidade da chuva tem papel mais significativo no processo erosivo que a declividade do terreno. Os valores de perda por “splash” são maiores que os de perda por lavagem, independente da declividade. É possível perceber que o solo residual do Barreiras (areia argilo-siltosa) é mais susceptível à erosão do que o residual de granulito (areia argilo-siltosa com muito pedregulho).

Palavras-chave: Perda de solos; Erodibilidade; Simulador de Chuva.

1. INTRODUÇÃO

O termo erosão tem origem na palavra latina erodere, que significa corroer. Segundo Elisson (1947), a erosão do solo é definida como um desgaste natural do terreno pela ação de água corrente, vento, gelo ou outro agente geológico, onde estão incluídos os movimentos gravitacionais de massa como o rastejo.

A erosão hídrica, aquela causada pela ação das águas de chuva, é a principal responsável pelos processos erosivos em países de clima tropical, como o Brasil. A erosão hídrica começa quando as gotas de chuva incidem sobre a superfície do solo (Figura 1), desagregando as partículas através do impacto (splash) (Figura. 1a). Este impacto destaca e coloca em suspensão as partículas mais finas (Figura 1b) que, ao sedimentarem, reduzem a porosidade do solo e conseqüentemente o seu poder de infiltração, aumentando o escoamento superficial e provocando a erosão por lavagem (Figura. 1c e 1d) (Filho et al. 1992).

As perdas de solo por erosão hídrica dependem principalmente da topografia do terreno, do clima, da vegetação e das características geotécnicas do solo.

¹ Estudante / Escola de Engenharia / UCSal; cardoso.luiz@bol.com.br: autor.

² Estudante, / Escola de Engenharia / UCSal; paulamoyano@uol.com.br: Co-autor.

³ Estudante, / Escola de Engenharia / UCSal; tainam.veloso@bol.com.br: Co-autor.

⁴ Professora Doutor do Departamento III / Escola de Engenharia / UCSal; miriam@ucsal.br: orientadora

⁵ Professor Mestre do Departamento III / Escola de Engenharia / UCSal; kleber_dourado@yahoo.com.br: co-orientador

⁶ Professor Doutor do Departamento III / Escola de Engenharia / UCSal; jlztarqui@yahoo.com.br: co-orientador

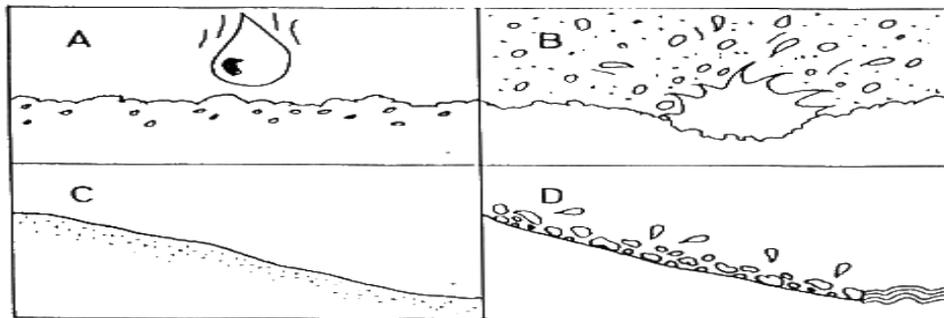


Figura 1. Fases do processo erosivo, segundo Guerra e Botelho (1999).

O clima é um dos fatores de maior importância no processo erosivo e este contribui com a intensidade da precipitação, o tamanho e a velocidade das gotas e o ângulo de impacto no solo (Rego, 1978; Fernandes, 2003). A habilidade da chuva em provocar erosão é denominada de erosividade. A vegetação reduz a energia do impacto da gota, aumentando assim a infiltração e a capacidade de retenção de água do solo. Já a topografia influencia na declividade e no comprimento da rampa. No que se refere às características geotécnicas do solo pode-se dizer que a textura, a estrutura, a mineralogia, a sucção e o teor de matéria orgânica influem na erodibilidade dos solos. A erodibilidade (k) é uma propriedade intrínseca do solo que reflete a susceptibilidade ao destacamento e transporte das partículas desse solo, sendo definida como a taxa de perda de solo por unidade de energia. Segundo Vilar e Prandi (1993), a granulometria é a propriedade mais estudada na tentativa de avaliar a erodibilidade. Segundo Wischmeier e Mannering 1969, Lima 1999, Pedro e Lorandi 2004, os solos mais erodíveis referem-se aos de comportamento granular, com partículas da ordem dos siltes às areias finas e com pouca argila. Rêgo (1978), estudando solos de taludes da BR116, conclui que quanto maior o teor de argila e o índice de plasticidade, menor será a erodibilidade.

Nas áreas urbanas, a ação antrópica associada à ocupação desordenada e sem planejamento das áreas de risco tem sido as principais causas de ocorrências de erosão. Nessas áreas, observa-se a prática da retirada da cobertura vegetal para instalação de moradias, que associada à falta de sistema de esgotamento sanitário e coleta de resíduos, contribuem para o aparecimento de problemas de erosão e deslizamentos das encostas, colocando em risco a vida das pessoas.

No caso específico da cidade de Salvador, além da falta de planejamento na ocupação das áreas de encosta, o relevo com acentuada inclinação e a grande ocorrência de chuvas na região causam sérios problemas de instabilização nas encostas da cidade.

O clima da cidade é do tipo tropical úmido, (classe A e Af segundo Köppen), sem estação seca, com precipitação total anual média de 2.000 mm e chuvas concentradas nos meses de abril, maio e junho. A intensidade da chuva para a cidade de Salvador pode ser obtida pela equação 1, apresentada no Plano Diretor de Encosta - PDE (2004).

$$i = \frac{2960,16 \times Tr^{0,163}}{(Tc + 24)^{0,743}} \quad (\text{l/s.ha}) \quad (1)$$

onde: Tc = tempo de concentração em minutos; Tr = tempo de recorrência em anos e i = intensidade da chuva em l/s.ha.

A cidade é composta por diferentes formações geológicas (Embasamento Cristalino, Quaternários, Formação Barreiras e Formação Pojuca), que apresentam características particulares quanto ao comportamento mecânico. Segundo PDE (2004), os solos provenientes da Formação Barreiras apresentam encostas com declividades entre 7 a 87%, são formados por mistura de sedimentos arenosos, areno-argilosos e seixos. Os solos provenientes do Embasamento Cristalino, como o granulito, por exemplo, apresentam encostas com declividade entre 8 a 119% e, normalmente, apresentam texturas silto-arenosas, areno-siltosas ou argilo-siltosas. O quaternário está representado por depósitos aluviais, coluviais, pelas dunas de origem eólica e por depósitos de praia. A Formação Pojuca é constituída por sedimentos e por solos expansivos (Massapê) originado do folhelho.

Neste artigo são apresentados e discutidos os resultados dos ensaios geotécnicos e de erodibilidade executados para o solo residual da Formação Barreiras e Residual de Granulito, presentes em áreas de risco da cidade de Salvador.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Solos Estudados

Com as informações contidas no PDE, levantaram-se áreas que associavam problemas de instabilização de encostas a processos erosivos, para serem visitadas e selecionadas para coleta do material. Procurou-se junto à Conder e aos Correios, mapas que facilitaram a identificação dos pontos levantados. A área do Horto Florestal – Mata dos Oitis, coordenadas UTM 24L 561 388 m e 8 570 710 m, e a área do ginásio de esportes da Universidade Católica do Salvador (UCSal) – Patamares, coordenadas UTM 24L 563 253 m e 8 568 856 m, foram as escolhidas para coleta dos blocos pela facilidade de acesso, ausência de moradias e pertencerem à formação Barreiras e Granulito, respectivamente.

O perfil geotécnico do talude pertencente ao solo da formação Barreiras é formado por duas camadas distintas. A parte superior do talude, composta pelo solo residual maduro ou dito Alteração do Barreiras, é constituído por areia argilosa de cor amarela e com espessura máxima de 2,0 m. A parte inferior do perfil, constituída pelo solo residual jovem ou Barreiras propriamente dito, é constituída por areia siltosa de cor rosa. As duas camadas são separadas por uma fina lente de cascalho laterítico.

O perfil geotécnico do talude pertencente ao Granulito é também formado por duas camadas separadas por uma concreção laterítica, sendo a parte inferior do perfil denominada por solo residual jovem do granulito ou Granulito Inferior, constituída por areia siltosa. A parte situada acima da concreção laterítica, solo residual jovem de granulito, tem coloração mais avermelhada e maior resistência e será chamado aqui de Granulito Superior.

2.2 Ensaios Geotécnicos

Para se ter maior conhecimento dos solos estudados foram realizados ensaios de caracterização (análise granulométrica com e sem defloculante, limites de consistência, umidade natural, peso específico natural e peso específico dos grãos), segundo as especificações da ABNT.

2.3 Ensaios de Erodibilidade

Para a execução dos ensaios de erodibilidade foi utilizado um simulador de chuva de disco giratório modelo FEL 3, fabricado pela Armfield (Figura 2), o qual permite simular diferentes intensidades de chuva variando a abertura do disco e pressão.

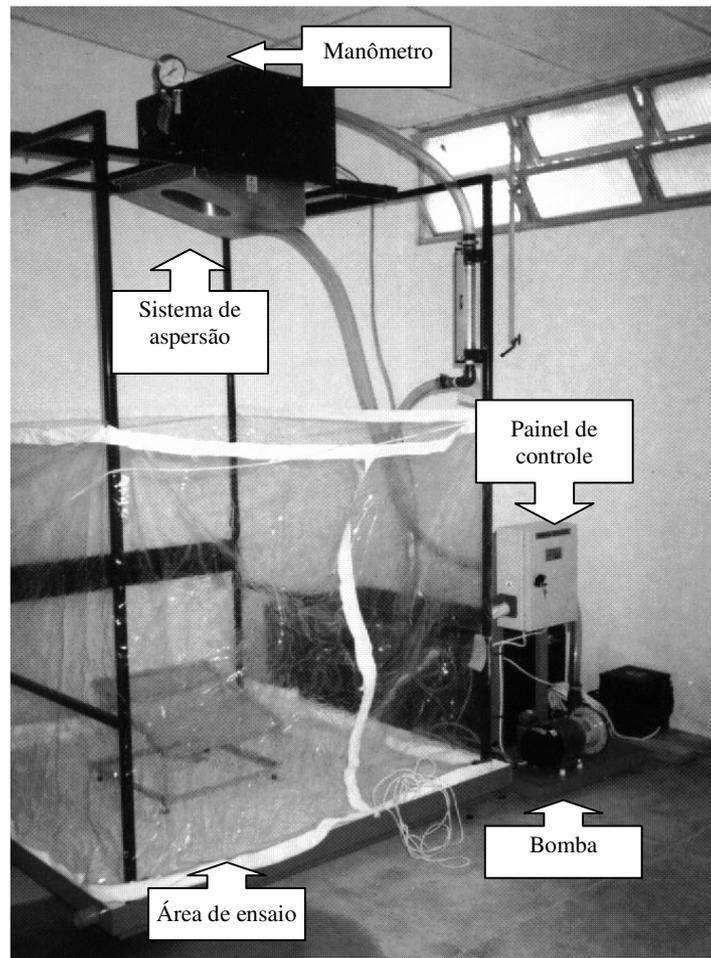


Figura 2. Simulador de chuvas.

Os ensaios de erodibilidade foram realizados com precipitação média de 70mm/h e 119mm/h e 4 declividades (10, 30, 50 e 80%). Essas intensidades foram obtidas utilizando-se a Equação 1 considerando $T_c = 30$ minutos, pois este é o tempo de duração médio de chuva que permite considerar o período da saturação do solo, $Tr = 5$ anos, pois é o valor comumente usado nos cálculos de obras de drenagem (Tucci e Genz 1995), e para poder simular uma situação extrema, considerou-se também $Tr = 35$ anos. Os ensaios foram feitos para os solos residuais da Formação Barreiras e para o solo residual jovem do Granulito, com 3 repetições para cada inclinação.

Os corpos de prova foram moldados cravando uma caixa biselada no solo (Figura 3), a qual possui um lado rebaixado de 0,5 cm para facilitar a saída dos sedimentos pelo funil vertedor.

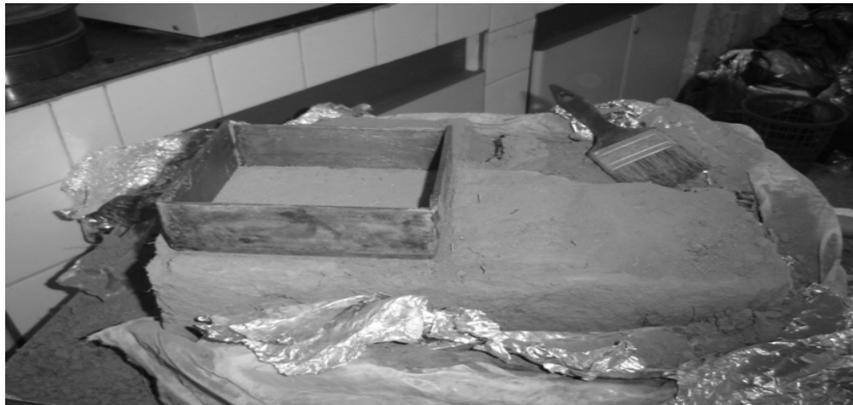


Figura 3. Moldagem dos corpos de prova.

Depois de moldado, o corpo de prova é colocado dentro da caixa de ensaio e o conjunto é pesado e levado para um tanque com uma lâmina d'água de 5cm para que, por capilaridade, a amostra atinja uma condição inundada (Figura 4a).

Após uma hora, o conjunto é retirado do tanque e levado para o simulador de chuva junto com a rampa e os copos coletores de chuva por um período de 20 min. Construíram-se rampas de madeira com inclinações de 10, 30, 50 e 80% para posicionamento da caixa de lavagem com amostra indeformada. À ponta do funil, é conectada uma mangueira por onde será conduzido o sedimento até um recipiente localizado fora da área de ensaio (Figura 4b).

Os sedimentos coletados através do funil são provenientes da erosão por lavagem. Ao final do ensaio, o conjunto (caixa de ensaio e amostra) e o material coletado da lavagem são levados à estufa (105°C). Com o peso da amostra em estado natural e sua umidade natural, **define-se** o peso seco antes do ensaio (Pso) e após a estabilização do peso da amostra em estufa, tem-se o peso seco após o ensaio (Psf). Por diferença, determina-se a perda total de solo. Os sedimentos coletados no recipiente localizado fora da área de ensaio constituem a perda por lavagem e a perda por "splash" é obtida pela diferença entre a perda total e a perda por lavagem.

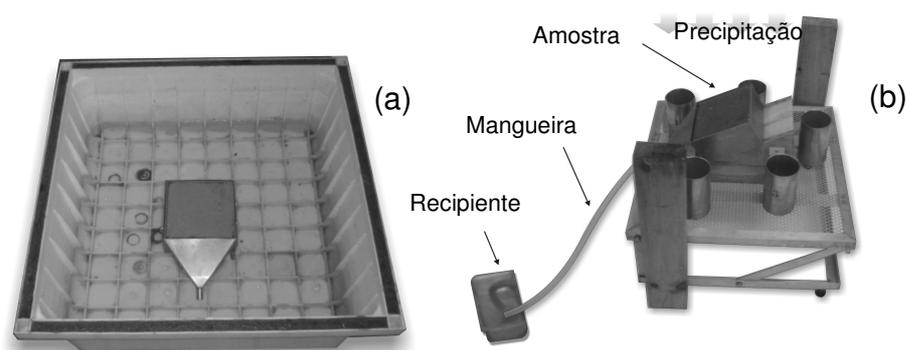


Figura 4. (a) Saturação e (b) ensaio de erodibilidade.

3. RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Ensaios Geotécnicos

A Tabela 1 apresenta os resultados dos ensaios geotécnicos realizados. Observa-se que na análise granulométrica, obtida com o uso do defloculante hexametáfosfato de sódio, a percentagem

de argila aumenta significativamente quando comparada com os dados obtidos sem o uso do defloculante. Verifica-se que o solo dito Barreiras alterado tem um maior percentual de argila (35%) do que o residual jovem do Barreiras (23%) e que, quando realizados ensaios sem defloculante, dos 35% de argila que compõem o Barreiras alterado, 28% permanecem agregados nas dimensões de silte e areia, enquanto no Barreiras os agregados totais são de 20%, sugerindo um maior poder de agregação do solo de alteração do Barreiras. O granulito apresentou uma maior porcentagem de silte e de material que passa na peneira 200 e também maior índice de vazios que os solos da Formação Barreiras.

Comparando os resultados geotécnicos com os de erodibilidade, observa-se que os solos que apresentaram maiores perdas foram aqueles que apresentaram maior teor de areia e menor índice de plasticidade. É importante salientar que o estabelecimento de correlações da erodibilidade com a caracterização física do solo é bastante difícil, pois existe uma grande quantidade de parâmetros que interferem no processo erosivo.

Tabela 1. Resultados dos ensaios geotécnicos.

	Alt. do Barreiras			Barreiras			Granulito inferior			Granulito superior		
w_{nat} (%)	11,66			6,34			13,22			19,07		
ρ_{nat} (g/cm ³)	1,75			1,737			1,704			1,872		
ρ_s (g/cm ³)	2,769			2,701			2,820			2,982		
e	0,767			0,654			0,874			0,897		
n	0,434			0,395			0,466			0,473		
Sr (%)	42,1			26,2			42,67			63,41		
Análise Granulométrica		c/def.	s/def.	c/def.	s/def.	c/def.	s/def.	c/def.	s/def.	c/def.	s/def.	
	P	1	2	0	0	9	13	7	0			
	AG	12	9	22	23	8	6	7	4			
	AM	27	24	38	34	14	14	11	13			
	AF	16	45	12	19	17	23	12	35			
	S	9	15	5	22	23	34	25	43			
	A	35	7	23	3	28	10	38	5			
Limites	WL	WP	IP	WL	WP	IP	WL	WP	IP	WL	WP	IP
	37	21	16	31	18	13	38	22	16	59	33	26
Classificação	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem	com	sem		
	areia argilo-siltosa SC	areia silto-argilosa SC	areia argilo-siltosa SC	areia silto-argilosa SC	areia argilo-siltosa com pedregulho	areia silto-argilosa com muito pedregulho	areia argilo-siltosa	areia argilo-siltosa				
AT (%)	28		20		18		33,1					
TA	0,8		0,87		0,64		0,88					

Obs.: AT = agregados totais = (% argila c/ defloc.) - (%argila s/ defloc.), TA = teor de agregação = (% agregados totais) / (% argila c/ defloc.).

3.2 Ensaios de erodibilidade

A Figura 5 apresenta os resultados de perda de solo em função da declividade para o solo Residual do Granulito Inferior, obtidos de ensaios de erodibilidade executados com intensidade de

chuva de 70mm/h. Os resultados para os outros solos e intensidades serão apresentados na Tabela 2, a qual mostra os resultados médios para três repetições, das perdas por lavagem, Splash e total, obtidos dos ensaios de erodibilidade para a Formação Barreiras e Solo Residual de Granulito. Para cada intensidade as perdas são correlacionadas com as declividades estudadas. Da comparação dos quatro tipos de solos observa-se que a intensidade de chuva simulada tem uma importância preponderante nos valores de perdas, ou seja, para um mesmo solo, quanto maior a intensidade maior os valores de perda.

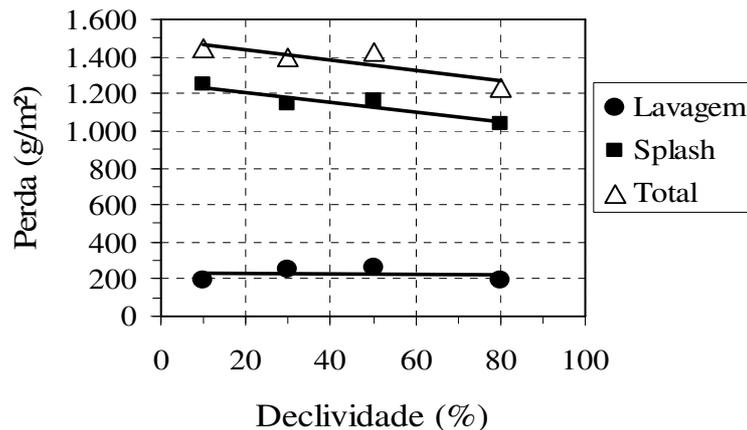


Figura 5. Perdas de solo obtidas para o solo residual do Granulito inferior - Ensaio realizado com $i = 70\text{mm/h}$.

Desses dados, observa-se que os valores de perda por “splash” são maiores que os de perda por lavagem, independente da declividade. Isso demonstra que a desagregação do solo indeformado se dá pelo impacto da gota e não pela tensão cisalhante originada pela lâmina d’água do escoamento superficial.

Para os solos estudados, observou-se que a intensidade da chuva tem papel mais significativo no processo erosivo do que a declividade do terreno. Mas é possível perceber que o Barreiras propriamente dito é mais susceptível à erosão do que o Barreiras alterado. Isso é justificado por sua granulometria mais arenosa e seu menor índice de plasticidade e maior teor de agregação (Tabela 1). Comportamento semelhante é observado no Granulito Inferior, quando comparado ao Granulito Superior.

Tabela 2. Perdas de solo obtidas para os solos estudados.

Tipo de solo	i (mm/h)	inc. (%)	Valores de perda (g/m ²)			Tipo de solo	i (mm/h)	inc. (%)	Valores de perda (g/m ²)		
			Lavagem	Splash	Total				Lavagem	Splash	Total
Alteração do Barreiras	70	10	132,68	1389,95	1522,63	Granulito Inferior	70	10	197,17	1247,24	1444,41
		30	264,80	1271,71	1536,51			30	251,79	1140,83	1392,62
		50	193,47	1461,37	1654,83			50	259,65	1168,05	1427,70
		80	242,43	493,49	735,91			80	194,01	1033,02	1227,02
	119	10	591,47	1635,01	2226,48		119	10	304,99	1521,81	1826,80
		30	649,12	1600,03	2249,15			30	483,11	1187,30	1670,41
		50	673,98	1633,86	2307,84			50	408,11	1301,52	1709,62
		80	641,37	2181,30	2822,67			80	496,05	1289,96	1786,01
Barreiras	70	10	626,28	1750,59	2376,87	Granulito Superior	70	10	142,67	715,42	858,09
		30	308,04	953,44	1261,48			30	177,16	465,52	642,67
		50	632,93	1634,84	2267,77			50	190,09	1070,97	1261,06
		80	510,48	1724,41	2234,89			80	385,09	2291,18	2676,27
	119	10	1161,95	2578,38	3740,33		119	10	189,77	1989,62	2179,39
		30	1174,98	2464,33	3639,32			30	184,35	1179,51	1363,86
		50	1356,63	2419,86	3776,49			50	409,91	861,13	1271,04
		80	1658,13	2042,71	3700,84			80	296,75	582,55	879,30

4. CONCLUSÕES

Este artigo apresenta os resultados de ensaios geotécnicos e resultados definitivos dos testes de erodibilidade realizados em amostras indeformadas coletadas em solo residual da formação Barreiras e Residual de Granulito, na cidade do Salvador. A intensidade da chuva tem papel significativo no processo erosivo. No entanto, os resultados obtidos não permitem fazer considerações conclusivas a respeito da influência da declividade nas perdas de solo.

Os valores de perda por “splash” são maiores que os de perda por lavagem, independente da declividade. Isso demonstra que a desagregação do solo indeformado se dá pelo impacto da gota e não pela tensão cisalhante originada pela lâmina d’água do escoamento superficial. É possível perceber que o Barreiras propriamente dito é mais susceptível à erosão do que o Barreiras alterado, e que Granulito Inferior tem o mesmo comportamento quando comparado ao Granulito Superior. Isso é justificado por sua granulometria arenosa e seu menor índice de plasticidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fapesb e à UCSal pelo suporte financeiro, à Prefeitura Municipal de Salvador pela disponibilização de dados das áreas de riscos da cidade, à CONDER e aos Correios pela ajuda na localização das áreas de risco.

REFERÊNCIAS

- Fernandes, D. de O. (2003). *Erodibilidade de materiais inconsolidados da bacia do Ribeirão Samambaia* (Região de São Pedro-SP). 2003. Dissertação de Mestrado em Geotecnia, EESC- USP.
- Filho, O. R. C.; Silva, I. F.; Andrade, A.P.; Leprun, J. C. (1992). *Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco*, Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília.
- Guerra, A. J. T; Botelho R. G. M, (1999) Erosão e conservação dos solos – Conceito, Temas e Aplicações. Ed. Bertrand Brasil, 340p. ISBN: 8528607380.
- Lima, M. C. (1999). *Contribuição ao estudo do processo evolutivo de Boçorocas na área urbana de Manaus*, Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília.
- Pedro, F. G., Lorandi, R. (2004). Potencial natural de erosão na área periurbana de São Carlos – SP. Revista de Cartografia, N0. 56/01, 2004, p: 28-33.
- PDE – Plano *Diretor de Encostas*, (2004). Prefeitura Municipal de Salvador, Salvador, Bahia, Brasil.
- Rego, J.J.V. Erosão superficial em taludes de corte em solo residual de gnaisse. Dissertação de Mestrado: UFRJ, Fev. 1978.
- Tucci, C. E. M. e Genz, F. (1995). *Drenagem Urbana*, Porto Alegre, Ed. da Universidade.
- Vilar, O M.; Prandi, E. C. (1993). Erosão dos solos. Solos do Interior de São Paulo. ABMS/USP, p.177-206.
- Wischmeier, W. H., Mannering, J. W. (1969). Relation of Soil Properties to is Erodibility. Porc. Soil. Soc. Am., 33, p: 131- 137.