



Modelos Reduzidos em Base Física Aplicados aos Processos Geomorfológicos

André de Souza Avelar

*Prof. Adjunto – Departamento de Geografia – Instituto de Geociências – UFRJ
Laboratório de Geo-Hidroecologia – GEOHECO/UFRJ – andreavelar@acd.ufrj.br*

Willy Alvarenga Lacerda

*Prof. Titular – Programa de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ
Laboratório de Geotecnia – willy@geotec.coppe.ufrj.br*

Ana Luiza Coelho Netto

*Profa. Titular – Departamento de Geografia – Instituto de Geociências – UFRJ
Laboratório de Geo-Hidroecologia – GEOHECO/UFRJ – ananetto@acd.ufrj.br*

Abstract: Physical models were carried out to understand debris flows initiation and relationships between rainfall-infiltration-runoff on forested slopes. The results pointed out very good similarity with field condition observed by instrumentation and allowed evaluated the parameters involving this kind of geomorphological processes. It is a recent approach in Geomorphology that can be applied to improve the knowledge in processes or the landform development studies.

Resumo: Modelos físicos em escala reduzida foram executados para estudar a geração de fluxos detriticos em encostas e a relação entre chuva-infiltração-escoamento em encostas florestadas. Os resultados mostraram grande similaridade com as condições observadas a partir de instrumentação de campo e permitiram avaliar as correlações entre as variáveis-controle destes processos. Trata-se de uma abordagem experimental nova em geomorfologia, que vem se mostrando promissora no entendimento de processos e estudos de evolução do relevo.

Palavras-chave: modelos reduzidos, geomorfologia experimental, hidrologia de encostas

I. INTRODUÇÃO

A elaboração de modelos físicos reduzidos visando à representação de fenômenos naturais ou o comportamento mecânico de objetos construídos pelo homem foi introduzida na ciência moderna por Galileu, a partir de trabalhos desenvolvidos entre 1630 e 1640 (GUIMARÃES, 1999). Já naquela época comentava-se a necessidade de que os modelos físicos reduzidos tivessem como objetivo a representação do fenômeno, utilizando-se de relação dimensionais compatíveis com a realidade, e que não apenas fossem uma mera maquete, que apresentassem apenas as relações geométricas tridimensionais de determinado corpo, conforme ressalta LOBO CARNEIRO (1996). Atualmente os modelos reduzidos tem sido aplicados em diversos campos, principalmente na física e nas engenharias, tal como tem sido visto nos campo de hidráulica fluvial, estruturas *off-shore*, transmissão de calor, túneis de vento, etc. Diversos fenômenos de interesse da Engenharia Geotécnica são comuns à Geomorfologia, especialmente no que diz respeito aos movimentos de massa em encostas e neste caso há muitas vantagens para o entendimento de determinados fenômenos através da utilização de modelos físicos reduzidos em caixas



experimentais. O principal aspecto de interesse é a reprodução das grandes deformações da massa de solo (superior a 10 %) envolvidas nestes movimentos, que são impossíveis de modelar em outros tipos de ensaios geotécnicos convencionais.

De um modo geral, o estudo de processos em modelos reduzidos iniciou-se na Geomorfologia com os trabalhos em caixas experimentais (*flumes*) para o entendimento da expansão da rede de canais, processos fluviais e erosão superficial em encostas, principalmente devido aos trabalhos desenvolvidos por Stanley Schumm nos EUA, Rorke Brian no Canadá e Jan De Ploey na Bélgica, através de seus colaboradores (SCHUMM *et al.*, 1987; DE PLOEY & SAVAT, 1968). Uma vez que em geomorfologia as mudanças das formas de relevo geralmente se dão em tempo muito superior à escala de vida humana, o uso de experimentos permite verificar se determinada teoria de evolução é consistente ou não. Tais técnicas podem indicar linhas investigativas mais promissoras para os processos geomorfológicos que ocorrem na natureza, auxiliando a comprovação de determinada teoria ou modelo evolutivo. Desta forma, os experimentos conduzidos a partir de modelos físicos reduzidos devem ser vistos como técnicas complementares às investigações e aos experimentos de campo, e portanto, não sendo recomendáveis como meio único de comprovação científica.

Neste artigo é apresentado um modelo reduzido para investigação da origem e desenvolvimento do fluxo detrítico ocorrido na Estrada do Soberbo - Maciço da Tijuca – RJ (AVELAR, 2003; LACERDA & AVELAR, 2003). Além disso, serão discutidos alguns resultados extraídos de ensaios executados em uma caixa experimental para investigação da relação chuva-infiltração-escoamento, a fim de reproduzir o comportamento hidrológico de solos do Maciço da Tijuca (JANSEN & COELHO NETTO, 1998; JANSEN, 2001).

II. MODELOS REDUZIDOS UTILIZADOS

O movimento de massa do Soberbo (Figura 1) teve início em 14 de janeiro de 1966 como um fluxo detrítico (*debris flow*) de grandes dimensões, gerado após eventos de chuva de alta intensidade, alcançando 675 mm em três dias (MEIS & SILVA, 1968; PEDROSA *et al.*, 1988). BARROS *et al.* (1992) relatam que o fluxo se iniciou a partir da queda de um bloco de rocha que se chocou com o colúvio da encosta e gerou poro-pressões compatíveis com a geração de liquefação do material. Por outro lado, PEDROSA *et al.* (1998) apontam que a elevação do nível d'água subsuperficial foi suficiente para tal iniciação.

Após diversas reativações do movimento do Soberbo, foram encomendados à COPPE/UFRJ uma série de estudos para estabilização da massa coluvial, coordenados pelo



Prof. Willy Lacerda, que geraram uma série de teses e trabalhos detalhados, tanto em campo como em laboratório sobre as características geológicas, geomorfológicas e geotécnicas associadas aos eventos (LACERDA & SCHILLING, 1992; AVELAR & LACERDA, 1997, LACERDA, 1999, LACERDA & AVELAR, 2003, dentre outros).

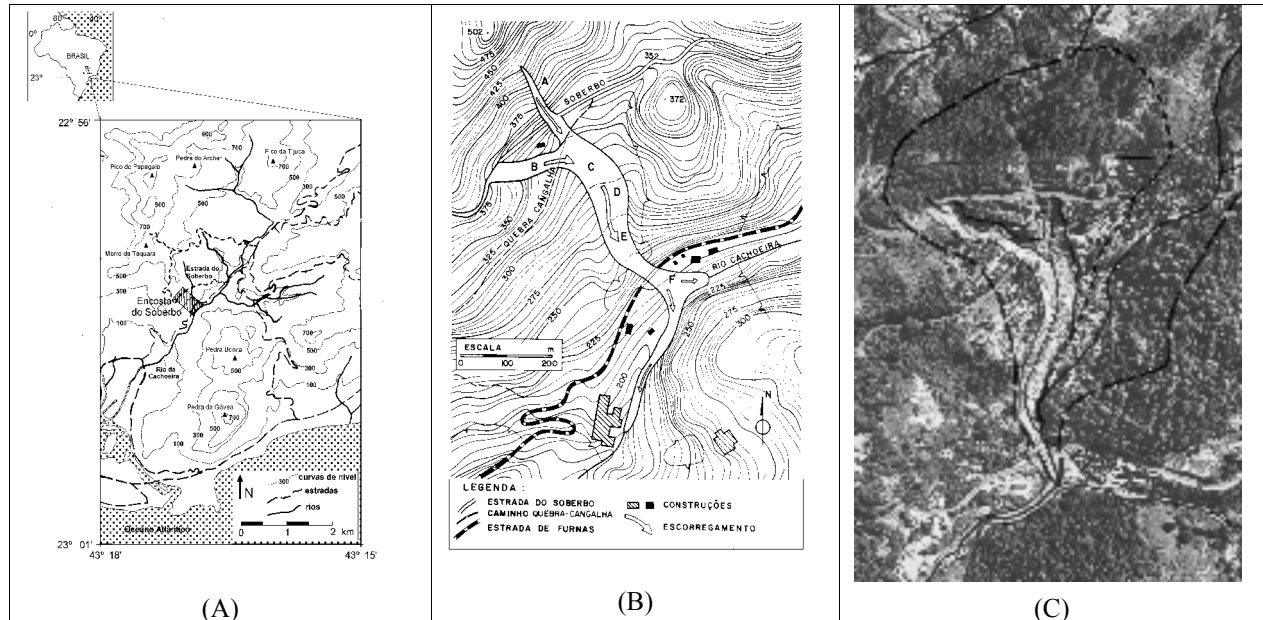


Figura 1 – (A) Localização da encosta do Soberbo; (B) Características topográficas da encosta segundo PEDROSA *et al.* (1988) e (C) Foto aérea do fluxo detrítico em 1967.

Uma compilação geral destes estudos, feita por LACERDA (1999), permitiu a teorização de um modelo hidrológico e mecânico para o início e o desenvolvimento do fluxo detrítico do Soberbo, bem como suas posteriores reativações, que ocorreram como deslocamento da massa coluvial associado a elevações do nível potenciométrico caracterizando-se como *creep* (Figura 2). Neste modelo, destaca-se que a presença de diques de diabásio em meio ao solo saprolítico atua como um barramento aos fluxos subsuperficiais, causando intenso artesianismo logo a montante. Este processo aumenta a poro-pressão na massa de saprolítico e, sobretudo, no solo coluvionar, que proporciona redução da resistência ao cisalhamento e permite o deslocamento da massa coluvial. Uma caixa experimental foi construída para comprovar a validade deste modelo e estudar as variações dos parâmetros envolvidos procurando entender a geração dos fluxos detríticos (AVELAR, 2003).

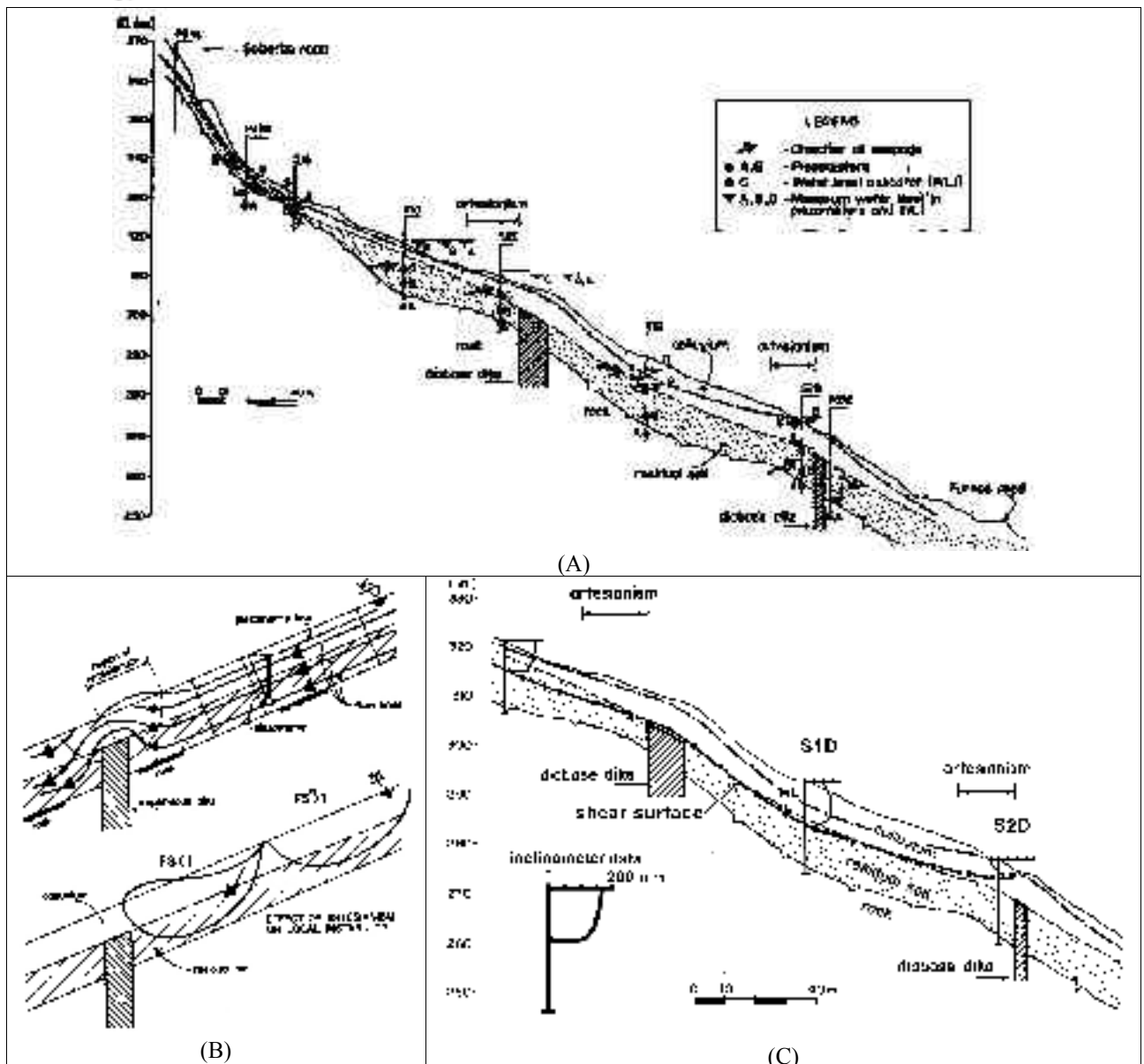


Figura 2 – (A) Atuação dos diques de diabásio na geração de artesianismo a partir de dados obtidos da instrumentação de campo e a (B) conseqüente ocorrência de instabilização na encosta do Soberbo (LACERDA, 1999) que resultam no (C) deslocamento da massa coluvial sobre o saprolito (LACERDA & AVELAR, 2003).

A caixa experimental utilizada para a elaboração do modelo reduzido foi construída em madeira impermeável, chapas de compensado a prova d'água de 30 mm de espessura, com dimensões úteis de 1,78 x 0,60 x 0,35 m (Figura 3). Esta caixa é aparafusada a um *chassis* metálico para garantir a rigidez do sistema e permitir a colocação dos eixos e rolamentos, a fim de possibilitar inclinações entre 0 e 40°. O fluxo d'água subsuperficial é gerado a partir do sistema de entrada d'água com controle de vazão localizado extremidade superior da caixa (figura 4), sendo que na maioria dos ensaios utilizou-se a vazão de 800



cm³/min. O sistema de saída d'água também conta com controle de vazão, a fim de permitir variações no nível de saturação do sopé da 'encosta' modelada.

A linha central do fundo da caixa conta com 8 pedras porosas espaçadas a cada 0,20 m, que se ligam a tubos piezométricos localizados nas duas laterais da caixa. Em alguns desses tubos, de acordo com o interesse de pesquisa, são acoplados 6 transdutores de pressão, com capacidade de + 120 a - 120 cmH₂O, de modo a permitir a leitura da poropressão na base do solo (Figura 4). Também foi colocado na lateral da caixa um transdutor angular, para mensuração da declividade nos ensaios com inclinação variável. Todos estes transdutores eram ligados a um sistema de aquisição de dados conectado a um computador Pentium III - 450 Mhz, com um *software* de leitura de dados feito no próprio laboratório. Nas paredes laterais internas da caixa foram colados adesivos-escala quadriculados centimetricamente para medição dos deslocamentos superficiais observados através de filmagem dos ensaios com câmera de vídeo VHS.

O solo utilizado foi areia fina, da praia de S. Francisco (Niterói, RJ), lavada e passada entre as peneiras # 40 e # 100 (0,149 a 0,420 mm), apresentando K_{sat} entre 1,98 e $3,01 \times 10^{-2}$ cm/s para índice de vazios entre 0,62 e 0,87, e ângulo de atrito efetivo de 30,6°.

A espessura do solo foi de 0,15 m, sendo colocada entre o terço inferior e o terço médio uma peça de madeira com 0,10 x 0,60 m, a fim de modelar o dique de diabásio (Figura 4). A 0,20 m da parte superior da caixa e acima do nível geral da areia (de 0,15 m) foi colocado outra peça de madeira, com 0,10 x 0,60 m, a fim de criar um reservatório adicional de areia (berma) para evitar processos de condição movediça (artesianismo) logo a jusante da seção subsuperficial da entrada d'água.

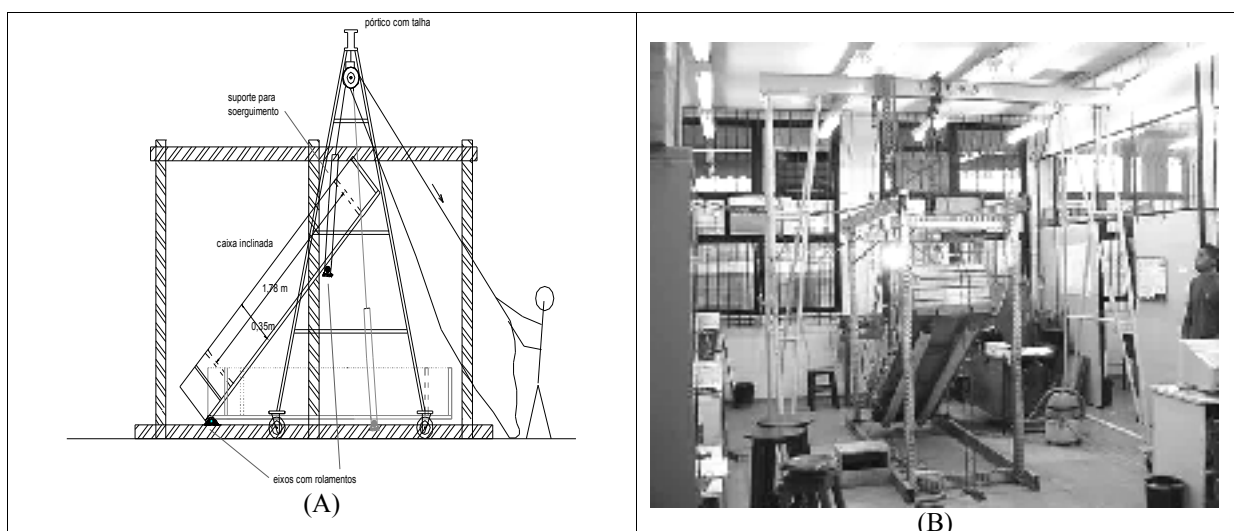


Figura 3 – (A) Desenho da caixa experimental e sistema de inclinação e soergimento. (B) Fotografia geral do sistema dentro do laboratório.

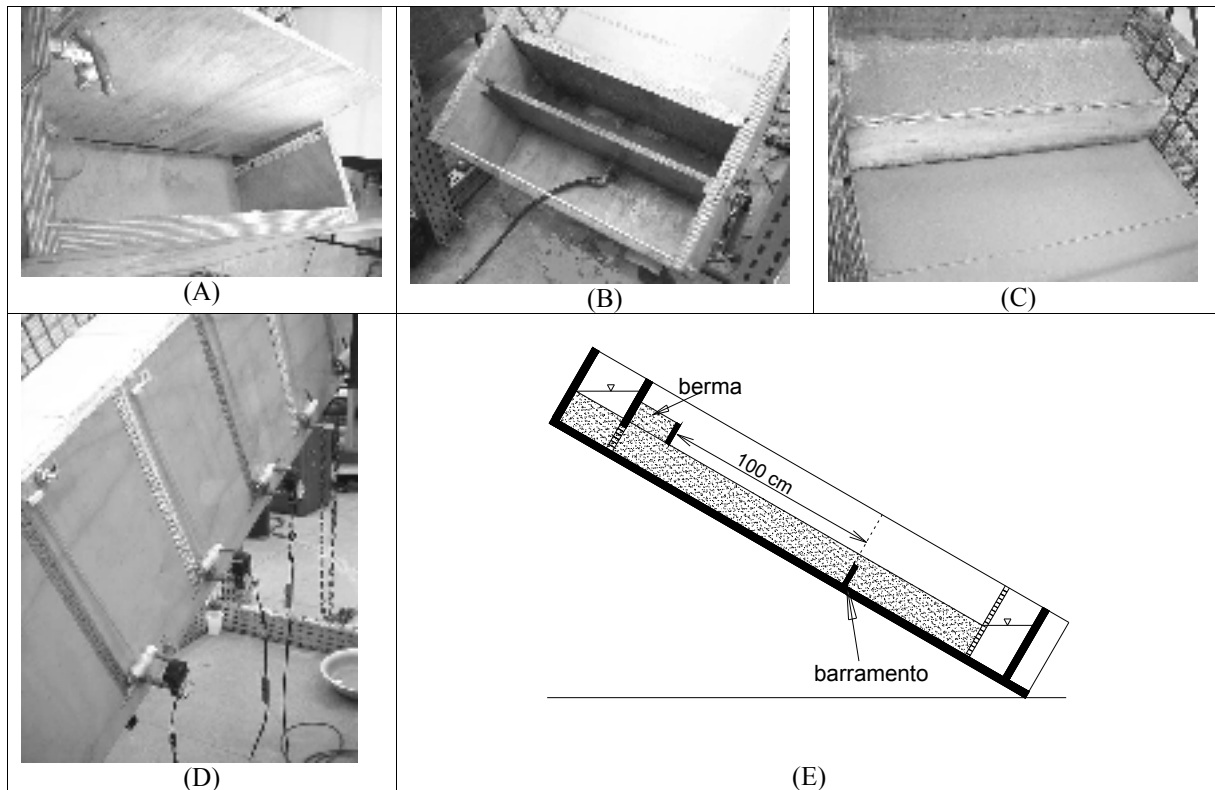


Figura 4 – Características da caixa experimental: (A) Sistema de entrada d' água. (B) Sistema de saída d' água. (C) Berma (espessura adicional de areia) e escala lateral interna para análise dos deslocamentos superficiais. (D) Piezômetros convencionais e transdutores de pressão. (E) Condições de contorno dos ensaios de acordo com as características geomorfológicas da encosta do Soberbo.

As relações entre precipitação, infiltração e escoamento superficial nas encostas florestadas do Maciço da Tijuca vem sendo estudadas através de trabalhos de campo localizados na bacia do alto curso do rio Cachoeira (COELHO NETTO, 1985; 1987, 1992; dentre outros). O geocossistema florestal constitui um ambiente auto-regulador das condições hidro-climáticas, da estabilidade dos solos e por conseguinte das encostas que sustentam a biota, a qual, por seu turno, também é auto-sustentável, na medida em que produz e estoca seus nutrientes. O papel regulador da hidrologia de encosta envolve a interceptação das chuvas pelas copas arbóreas e serrapilheira; a infiltração e o armazenamento da água pluvial, constituindo zonas preferenciais de produção do escoamento que converge e alimenta as descargas fluviais.

Na bacia experimental do alto vale do rio Cachoeira (3,5 km²), inserida no Parque Nacional da Tijuca e drenante da vertente sul do Maciço da Tijuca (Figura 5), a vegetação arbórea gera uma interceptação média de 20% das chuvas anuais; os demais 80% infiltram nos solos e fraturas das rochas. Do total da precipitação média anual que infiltra, apenas 30% converge para os canais fluviais durante os eventos de chuvas (*storm flow*);



significando, portanto, que 50% das precipitações são estocadas nos solos e rochas mais profundas, de onde parte da água retorna gradualmente à atmosfera por evapotranspiração. Deste modo, a entrada da água no solo e sua percolação no perfil solo são altamente influenciadas pela serrapilheira (Figura 5) e pelos sistemas radiculares: enquanto as raízes finas, mais concentradas no topo de solos (areno-argilosos), favorecem uma elevada condutividade hidráulica (da ordem de 10^{-2} cm/s), as raízes subverticais, mais profundas exercem um importante papel no controle de fluxos d'água preferenciais verticais, assim como os dutos de raízes mortas (JANSEN & COELHO NETTO, 1998; BASILLE *et al.*, 2002). SILVEIRA (2004) ressalta que essa descontinuidade hidráulica na base da zona de enraizamento propicia a geração de zonas saturadas suspensas, sob determinadas condições de umidade antecedente.

No que diz respeito à estabilidade das encostas vale ressaltar o papel dos sistemas radiculares, especialmente das árvores de maior porte, com raízes profundas e ancoradas em bases coesas. Essas raízes, ao mesmo tempo em que sustentam seus respectivos indivíduos arbóreos, estão reforçando e estabilizando os solos. No caso de encontrarem blocos embutidos na matriz de solos, as raízes arbóreas, mais expansivas, costumam envolver os mesmos, promovendo a sua fixação nas encostas. Esses mesmos blocos funcionam como superfícies impermeáveis que induzem o desvio dos fluxos d'água subsuperficiais, os quais, ao contornarem esses blocos, podem originar dutos ou drenos naturais (*piping*). Esses dutos, por sua vez, favorecem o alívio de poro-pressões positivas na matriz dos solos e, desta forma, reduzem a probabilidade de instabilidade dos mesmos, ou seja, de ocorrência de deslizamentos.

A fim modelar as condições de precipitação e produção de fluxos intra serrapilheira-topo do solo foi elaborado um sistema composto por um simulador de chuva com intensidade e tamanho de gotas controlados (tipo Leuven, Bélgica – DEPLOEY & SAVAT, 1968) e uma caixa experimental capaz de utilizar solos diferentes e permitir inclinações entre 0 e 45° (Figura 6).

O simulador consiste de um reservatório-alimentador de água para um tubo de PVC rígido em forma de 'U', com 1,20 m de altura e 0,60 m de base, de onde saem 324 tubos flexíveis de 0,2 mm de diâmetro espaçados em malha regular. Abaixo deste conjunto de tubos coloca-se uma tela de nylon que, de acordo com a distância em relação ao simulador, controla o tamanho das gotas. A altura entre o 'ladrão' do reservatório-alimentador e a base do PVC em 'U' permite controlar a intensidade de chuva que atua sobre a caixa experimental, sendo mensurada através de pluviômetro e cronômetro.



A caixa experimental é construída em madeira, com dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,45 m e fundo composto por 02 telas de aço inox com malha de 5 e 1 mm, aonde são acoplados coletores de água abaixo do solo testado, na parte superior da caixa (0,70 m de comprimento), e abaixo do material drenante situado a jusante (Figura 6). Deste modo, é possível ensaiar solos com diferentes granulométricas e adicionar elementos superficiais ou inseridos na massa de solo, para simular respectivamente a serrapilheira e a arquitetura de raízes. Além disso, é possível coletar e quantificar a parcela de fluxo vertical e a parcela de fluxo paralelo à superfície da encosta relacionando-os com intensidade de chuva, umidade antecedente, duração do evento, etc.

Nos ensaios realizados utilizou-se o uma camada de 30 cm de solo argilo-arenoso, horizonte B de um latossolo do Maciço da Tijuca, colocado manualmente sobre uma camada arenosa de 5 cm de espessura previamente inserida no fundo da caixa. A fim de evitar a erosão por salpico colocou-se um feltro de alta permeabilidade sobre a superfície da amostra (JANSEN & COELHO NETTO, 1998). Os ensaios foram feitos nas seguintes condições: 0° e 15° sem raízes e 0° e 15° com 12 'raízes' (elementos verticais). Estes elementos eram cilindros de madeira, com 33 cm de comprimento e 1,5 cm de diâmetro, representando uma densidade de 34,3 raízes/m². A intensidade de chuva variou de 33,0 a 44,6 mm/h.

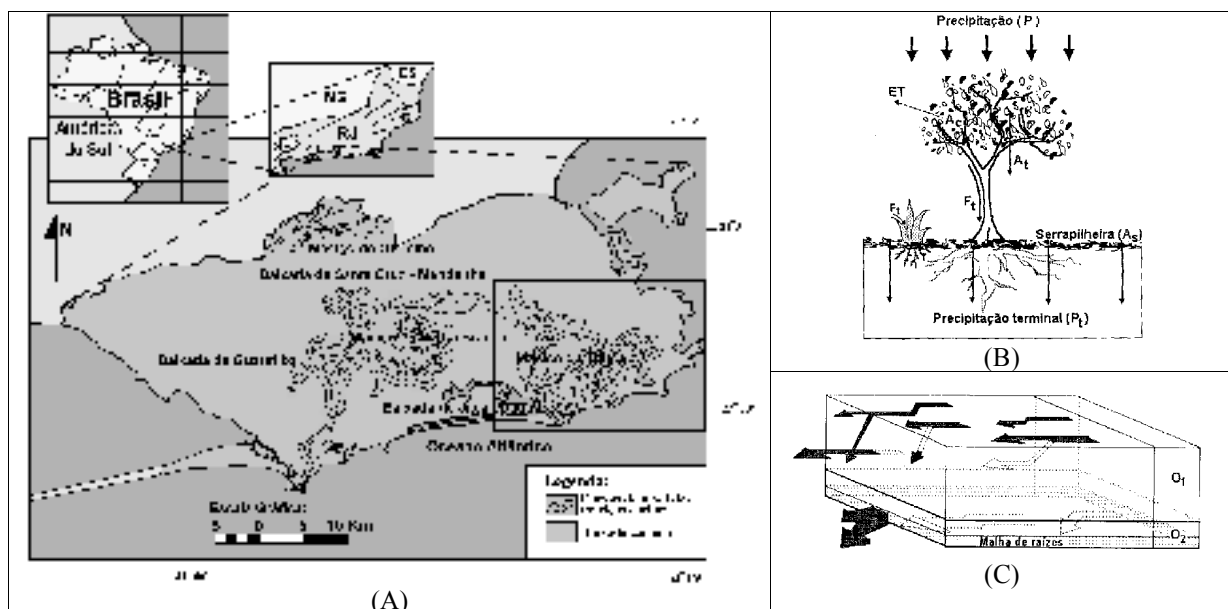


Figura 5 – (A) Localização do Maciço da Tijuca. (B) Comportamento da água no domínio florestal. (C) Fluxos intra serrapilheira-topo do solo (COELHO NETTO, 1987; 1994).

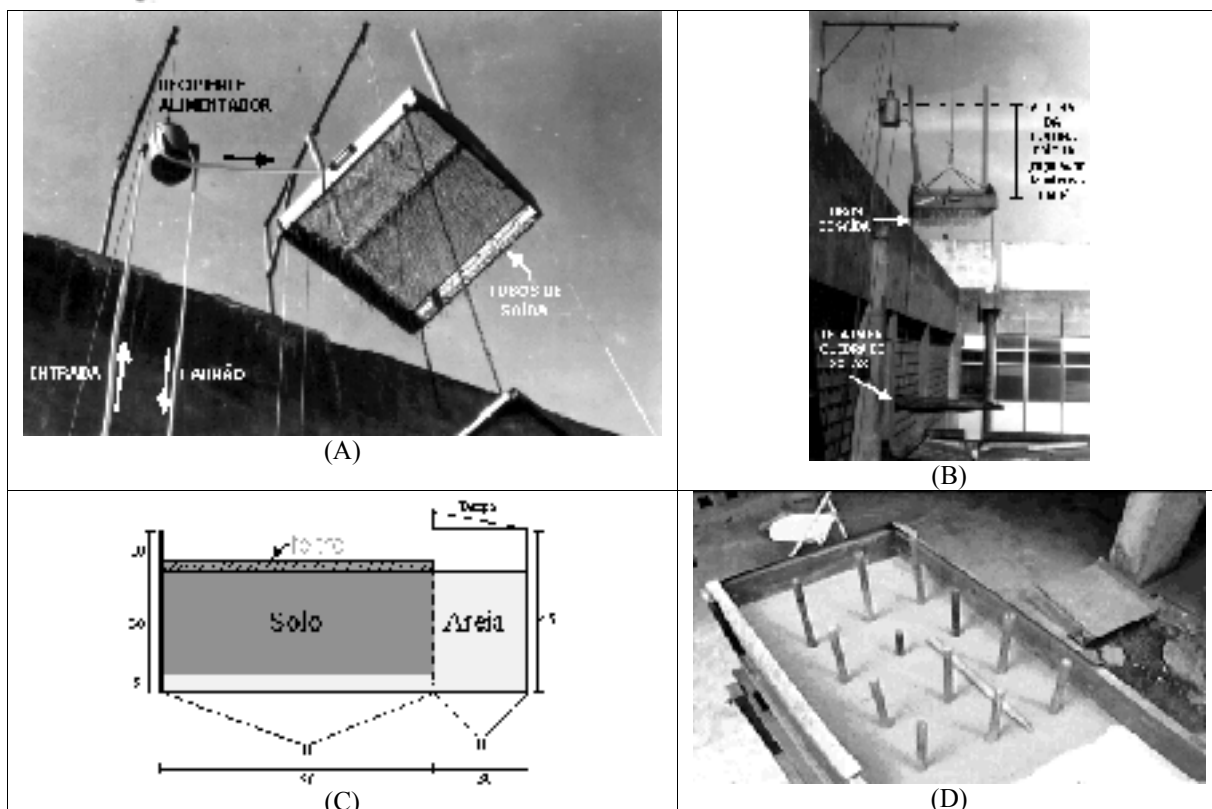


Figura 6 – (A) Componentes do simulador de chuva. (B) controle da intensidade de chuva e do tamanho das gotas. (C) Geometria da caixa experimental. (D) Introdução de elementos de madeira para simulação de raízes de sustentação pivotantes (JANSEN, 2001).

III. RESULTADOS

Os ensaios realizados na caixa experimental para modelagem do movimento de massa do Soberbo mostraram que de acordo com determinados intervalos de inclinação ocorre um tipo característico de movimento de massa (Tabela 1). Valores de inclinação abaixo de 10° não permitem a ocorrência de movimento de massa e apenas gera erosão por escoamento superficial. Entre 10 e 20° os movimentos de massa são do tipo fluxo (fluxo de solo, neste caso), com iniciação e desenvolvimento mais efetivo para $17,5^\circ$ (Figura 6). Entre 20 e 30° se dá a formação de deslizamento (Figura 7), com uma zona de cisalhamento bem definida, que pode evoluir para um fluxo detrítico caso as deformações ultrapassem cerca de 20%.

Os resultados dos ensaios para modelagem hidrológica das encostas florestadas do Maciço da Tijuca mostraram que há acentuado aumento componente vertical dos fluxos subsuperficiais para a ocorrência de raízes (figura 8). Além disso, verificou-se que o efeito da declividade é mais marcante para o solo sem raízes, no entanto, depois de determinada duração da chuva os fluxos verticais ganham relevância, enquanto o fluxo lateral se mantém aproximadamente constante.



Tabela 1 – Síntese dos resultados dos experimentos com inclinação constante.

| ENS AIO S | IN C LI N Ç A O (G R A U S) | PRINCIPAIS OCORRÊNCIAS | MOVIMENTOS DE MASSA CARACTERÍSTICOS |
|-----------------|--|---|--|
| 22 | 10 | A saturação da camada de areia se dá de montante para jusante, atingindo valores máximos de poro-pressão de 15 cmH ₂ O (100% da espessura de solo saturado), sem haver deformação. Há escoamento de água superficial e transporte de partículas em baixa velocidade. | erosão superficial*** |
| 11*, 23 | 15 | Valores de poro-pressão por volta de 12 cmH ₂ O (80% da espessura de solo saturado) iniciam a formação do fluxo de solo na parte superior e no terço médio da caixa. Prosseguindo o aumento da poro-pressão este fluxo avança sobre a areia não-saturada a jusante, mas sem deformá-la. Neste processo, a velocidade aumenta e há a tendência da formação de um fluxo de solo mais concentrado, apresentando baixa viscosidade e avançando como uma onda sobre o terço inferior da caixa. | fluxo detrítico pouco viscoso |
| 24 | 17,5 | Se a poro-pressão atingir 15 cmH ₂ O na parte superior, associado a 10 cmH ₂ O no terço médio, ocorrerá o início do fluxo de solo. O aumento da poro-pressão no terço médio acelera o fluxo que avança sobre a areia não-saturada a jusante, sem deformá-la. Há o desenvolvimento de um fluxo espesso que alcança ampla abrangência lateral, mas com elevada viscosidade. | fluxo detrítico viscoso |
| 20, 21 | 20 | Se a poro-pressão atingir 11 cmH ₂ O na parte superior e 10 cmH ₂ O no terço médio inicia-se um fluxo de solo na parte superior. Em seguida se acentua o artesianismo a montante do barramento com poro-pressão entre 13 e 15 cmH ₂ O. Isso produz exfiltração e assim forma-se um fluxo de solo no local. No decorrer do processo os fluxos se unem e tendem a aumentar a velocidade, porém devido à declividade e ao barramento inicia-se a formação de uma zona de cisalhamento e aparece uma ruptura na superfície da areia. Na continuidade a poro-pressão tende a se estabilizar em torno de 15 cmH ₂ O e o processo muda de fluxo para deslizamento translacional. | fluxo detrítico viscoso e deslizamento translacional. |
| 13,25 | 25 | A ocorrência de 11 cmH ₂ O de poro-pressão na parte superior leva à deformação por <i>creep</i> e ligeiro aumento na espessura no terço médio da caixa. Aumentando a poro-pressão nesta região e junto ao barramento, por volta de 12 a 13 cmH ₂ O, a deformação se intensifica. Forma-se uma zona de cisalhamento interna no terço médio e aparece ruptura na superfície da areia a montante do barramento. Este processo avança e a poro-pressão tende a se manter constante. Se a deformação ultrapassar 15 % pode se iniciar um fluxo de solo junto ao barramento. | ' <i>creep</i> ', deslizamento translacional e fluxo detrítico |



| | | | |
|---------------------------------------|----|---|--|
| 12**,14, 15, 16, 17, 18 e 19 | 30 | A deformação se inicia através de <i>creep</i> na parte superior da caixa com 12 cmH ₂ O (80% da espessura saturada) e há correspondente aumento de espessura no terço médio, com valores de poro-pressão de 10 cmH ₂ O. Depois, com poro-pressão de 12 a 15 cmH ₂ O e deformação horizontal de 1 a 2%, forma-se uma zona de cisalhamento interna e aparece ruptura na superfície da areia. Este cisalhamento é acompanhado de dilatação do material, de modo que a de poro-pressão tende a permanecer sem acréscimo. A continuidade do processo de deformação (> 20%), tende a evoluir para um fluxo de solo. | ' <i>creep</i> ', deslizamento translacional e fluxo detritico |
|---------------------------------------|----|---|--|

* - Neste ensaio a vazão foi de 325cm³/15s.

** - Neste ensaio a vazão foi de 250cm³/15s.

*** - Embora a erosão não seja um movimento de massa, entra aqui para caracterizar o fenômeno envolvido.

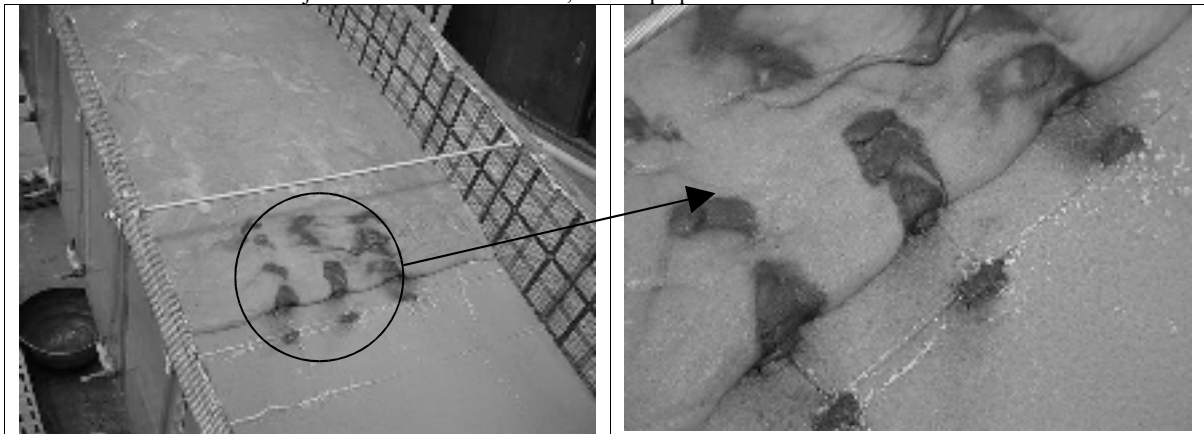


Figura 6 – Formação de fluxo de solo com 17,5° de inclinação, equivalente a um fluxo detritico viscoso.

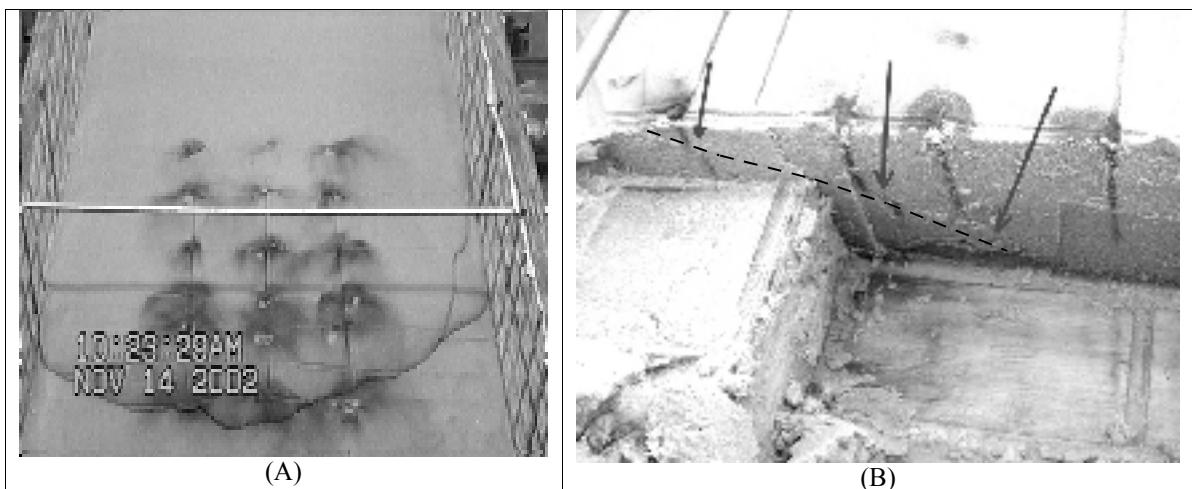


Figura 7 – Resultado típico dos ensaios entre 20 e 30° de inclinação: (A) Ocorrência de um deslizamento, aqui com 10% de deformação e (B) formação da zona de cisalhamento, observada aqui na parte central do deslizamento após o término do ensaio.

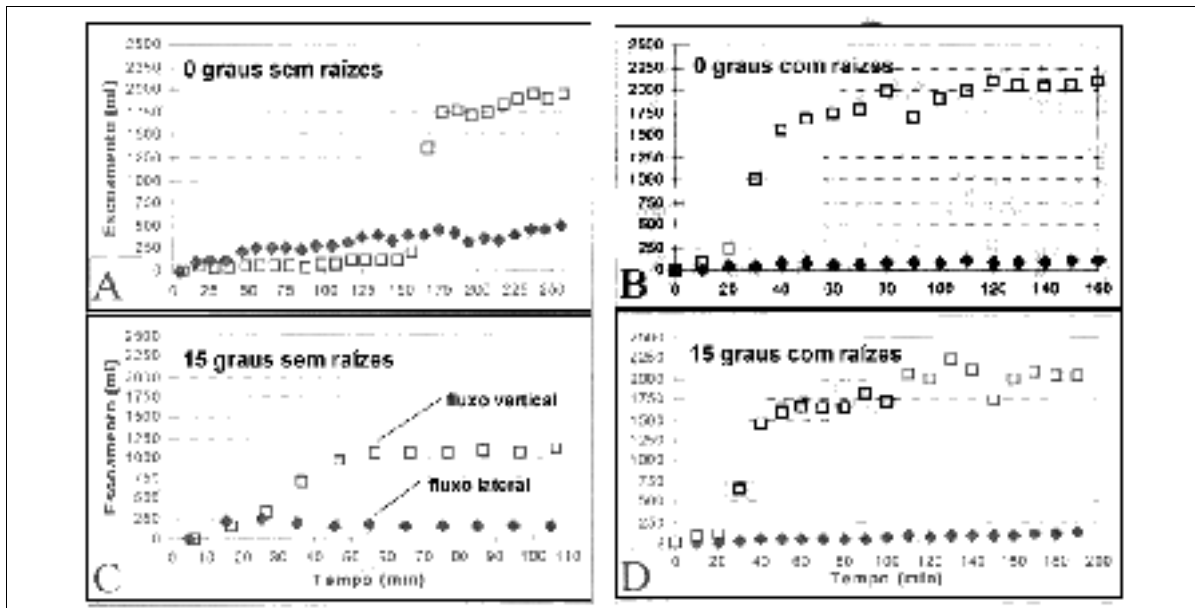


Figura 8 – Participação dos fluxos vertical e lateral na caixa experimental com declividades de 0 e 15° e simulação de raízes (JANSEN & COELHO NETTO, 1998).

IV. CONCLUSÕES

A modelagem dos elementos geológicos, geotécnicos e hidrológicos da encosta nos ensaios na caixa experimental para o movimento de massa do Soberbo mostrou que a propagação do fluxo detrítico deve estar relacionada à ocorrência de artesianismo a montante do dique de diabásio presente na área. Os resultados obtidos nos ensaios da caixa experimental com inclinação constante, apresentando barramento parcial interno, revelaram que para declividades entre 20 e 30° o movimento de massa começa como *creep*, evolui para deslizamento translacional e, se a continuidade da deformação ultrapassar 20 %, será produzido um fluxo detrítico. Se o intervalo de declividade estiver entre 15 e 20° ocorrerá a geração de fluxo detrítico diretamente, sendo que a inclinação mais efetiva para ocorrência deste mecanismo é 17,5°. Esta é quase a mesma declividade da encosta do Soberbo (17°), no trecho em que houve a progressão do fluxo detrítico em 1967 (regiões: C e D definidas por SCHILLING & LACERDA, 1992). Os ensaios realizados com valores de declividade entre 10 e 15° permitem concluir que haverá apenas a produção de erosão por escoamento de água superficial. Não haverá a iniciação de movimentos de massa devido à pequena parcela da componente força tangencial, que está associada à aceleração gravitacional paralela ao sentido da declividade.

Em relação à modelagem da hidrologia em encostas florestadas do Maciço da Tijuca, a presença de raízes em uma matriz de solo homogênea foi capaz de alterar o comportamento hidrológico de subsuperfície, podendo promover um acréscimo do fluxo



vertical de 90 a 200 % (JANSEN, 2001). Este comportamento vem sendo observado através de tensiometria de campo em várias condições de intensidade de chuva e declividade de encostas. O estudo da variabilidade dos parâmetros envolvidos no comportamento dos fluxos intra serrapilheira-topo do solo de encostas com diferentes materiais e declividades possibilitam investigações que dificilmente são obtidas em campo.

Os experimentos mencionados foram capazes de reproduzir condições de campo e mostraram que os modelos reduzidos em base física podem ser muito eficiente nos estudos geomorfológicos, sendo ainda uma abordagem nova, em especial no Brasil, mas que pode ser explorada e ampliada para comprovações de modelos de evolução do relevo. Neste contexto as questões referentes às escalas espaciais e temporais devem ser consideradas para que o modelo reduzido atenda as necessidades de compatibilidade dimensional com o fenômeno geomorfológico a ser investigado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro do CNPq, FAPERJ e CNPq-PRONEX através de auxílios e bolsas. Ao Eng. Ricardo Domingues pela eletrônica, aos Geógrafos MSc. Ricardo Jansen e Mdo. Rodrigo Basile e aos bolsistas de IC Marcelo Bousas, Anselmo Borba, Vitor Aguiar, Raquel Costa e Raquel Maciel.

REFERÊNCIAS

- AVELAR, A.S., 2003, “Iniciação e desenvolvimento de fluxos detríticos em encosta: ensaios triaxiais de choque e em caixa experimental abordando o caso do Soberbo (RJ)”, Tese de D.Sc., Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 247 p.
- AVELAR, A.S. & LACERDA.W.A, 1997, “Causas iniciais do movimento de massa do Soberbo, RJ – Brasil”, 2º Simpósio Panam. sobre Escorregamentos e 2ª Conf. Bras. sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, v.1, pp. 3-12.
- BARROS, W.T., BOGOSSIAN, F. & LOPES, P.C.C., 1992, “O escorregamento do Soberbo”, Pub. Especial, 1ª Conf. Bras. sobre Estabilidade de Encostas – COBRAE, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 14 p.
- BASILE, R.O.N.C.; JANSEN, R.C. & COELHO NETTO, A.L., 2002, “Mecanismos de infiltração sob a influencia de raízes: estudo experimental em laboratório”, Anais do IV Encon. PRONEX Sistema Encosta-Planície Costeira, Bananal, pp.118-122.
- COELHO NETTO, A.L., 1985, “Surface Hydrology and Soil Erosion in a Tropical Mountainous Rainforest Drainage Basin, Rio de Janeiro”, Tese de DSc, Leuven, Universidade de Leuven – Bélgica, 181 p.
- COELHO NETTO, A.L., 1987, “Overlandflow Production in a Tropical rainforest catchment: the role of litter flow”, CATENA, v.14, n.3, pp. 213- 231.
- COELHO NETTO, A.L. , 1992, “O Geocossistema da Floresta da Tijuca, RJ”, Cap.3, *in*: Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro, ABREU, M.A. (org); Ed. Coleção Biblioteca Carioca, Sec. Mun.de Cult., Tur. e Esp. da Pref. do RJ: pp. 104-142.
- DE PLOEY, J. & SAVAT,J., 1968, “Contribution à l'étude de l'érosion par le splash” Zeitschrift für Geomorphologie, v. 2 , pp. 174-197.



-
- GUIMARÃES, R.B., 1999, "Interação da pesquisa com a Engenharia Civil: caso Geotecnia" 1ª ed., Salvador, Editora Mapa Mundi, 208 p.
- JANSEN, R.C., 2001, "Distribuição dos sistemas radiculares em encostas florestadas e sua influência sobre a infiltração", Tese de M.Sc.; Rio de Janeiro, Prog. de Pós-Grad. em Geografia/UFRJ, 147 p.
- JANSEN, R.C. & COELHO NETTO, A.L., 1998, "O papel dos sistemas radiculares no controle da infiltração no perfil de solo: experiências de laboratório", Anais do I Fórum de Geo-Bio-Hidrologia, Curitiba, pp. 211-218.
- LACERDA, W.A., 1999, "Local instability in saturated colluvial slopes in southern Brazil", International Symposium on Slope Stability Engineering, Shikoku, Japan, v.1, pp. 199-204.
- LACERDA, W.A. & AVELAR, A.S., 2003, "Flume tests on sand subjected to seepage with the influence of hidden barriers", Proc. International Workshop on Occurrences and Mech. of Flows in Natural Slopes and Earthfill, Florença, v.1. pp. 136 – 144.
- LACERDA, W.A. & SCHILLING, G.H., 1992, "Rain induced creep-rupture of Soberbo road landslide", Proc. 6th Intern. Symp. Landslides, New Zealand, v.1, pp. 145-152.
- LOBO CARNEIRO, F., 1996, "Análise dimensional e teoria de semelhança dos modelos físicos" 2ª ed., Rio de Janeiro, Editora UFRJ, 258 p.
- MEIS, M.R.M & SILVA, J.X., 1968, "Considerações geomorfológicas a propósito dos movimentos de massa ocorridos no Rio de Janeiro", Rev. Bras. de Geografia, ano 30, no 1, pp. 55-73.
- PEDROSA, M.G.A.; SOARES, M.M. & LACERDA, W.A., 1988, "Mechanism of movements in colluvial slopes in Rio de Janeiro", Proc. 5th Intern. Symp. on Landslides, Lausanne, v.2, pp. 1211-1216.
- SCHUMM, S.A., MOSLEY, M.P. & WEAVER, W.E., 1987, "Experimental Fluvial Geomorphology", New York, John Willey & Sons., 413 p.
- SILVEIRA, C.S., 2004, "Infiltração, evapotranspiração e transporte de solutos na zona não-saturada de um solo florestal – Parque Nacional da Tijuca - RJ" Tese de D.Sc., Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 217 p.
- SILVEIRA, G.C., & LACERDA, W.A., 1992, "Caracterização mineralógica dos solos residuais e coluvionares do escorregamento da encosta do Soberbo", 1ª Conf. Bras. sobre Estabilidade de Encostas- COBRAE, Rio de Janeiro, v. 1, pp. 479-490.