

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

"A INFLUÊNCIA DO "LITTER" NA DISTRIBUIÇÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS"

LUIZ RENATO VALLEJO

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIA

Rio de Janeiro  
abril - 1982

TES  
0679

## FICHA CATALOGRÁFICA

VALLEJO, LUIZ RENATO

A influência do "litter" na distribuição das águas pluviais. Rio de Janeiro, 1982.

VIII, 123 p., 29,7 cm (Instituto de Geociências UFRJ, M.Sc., Programa de Pós-Graduação em Geografia, 1982).

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Geociências.

1. Estudo sistemático do papel do "litter" florestal nos processos de infiltração e escoamento lateral (superficial e subsuperficial). Os estudos foram realizados através do levantamento de dados em campo e experimentações de campo e laboratório com auxílio de simulador de chuvas e "flumes". I. IG/ UFRJ  
II. Título (série)



Para meus pais, e

Marisa Sanche

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaríamos de agradecer à orientação da Profa. Maria Regina Mousinho de Meis, pelo companheirismo e transmissão de um valioso espírito crítico em torno da aquisição de novos conhecimentos e realização dos trabalhos.

Pelas valiosas sugestões e assessoria dentro de suas especialidades:

Prof. Jan De Ploey - Universidade Católica de Leuven,  
Bélgica

Prof. Armand Chauvel - Universidade de São Paulo

Prof. João José Bigarella - Universidade Federal do  
Paraná

Profa. Ana Luiza Coelho Netto - Universidade Federal do Rio de Janeiro

Biologista Henrique F. Martins - Deptº de Conservação Ambiental DECAM-FEEMA

Pelo suporte financeiro, sem o qual não seria possível a realização deste trabalho:

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP

CEPG - UFRJ

Pela realização das microfotografias das amostras de solo:

Biol. Ney Hamilton Porfiro - Centro de Tecnologia Mineral - CETEM



Pela colaboração em todas as etapas da pesquisa:

Marisa Sanche

Pela Colaboração em diferentes fases da investigação:

Alexandre Antonio de Mello Santos

Eliomar Pereira da Silva Filho

Luiz Jorge Cardoso da Silva

Marcos Ribeiro Martins

Agradecemos ainda a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

## RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo o estudo da atuação do "litter" florestal na distribuição das águas pluviais. Este trabalho é parte integrante dos estudos iniciados em 1976 numa sub-bacia do Rio da Cachoeira no Maciço da Tijuca, RJ.

Inicialmente, procurou-se caracterizar a cobertura do "litter" numa área pré-selecionada no interior da referida bacia, considerando-se ainda aspectos da vegetação e da topografia. Estudos sobre capacidade de retenção da umidade pelo "litter" foram realizados em diversas amostras, visando também uma avaliação preliminar de seu potencial de intercepção da chuva. Estes resultados mostraram valores bastante elevados e superiores aqueles encontrados por outros autores em ambientes florestais temperados.

O levantamento das características texturais dos primeiros centímetros do solo ("top soil") na área, indicou que o "litter" pode favorecer os movimentos verticais da água. Estudos de campo, com a delimitação de "plots", demonstraram ainda que o "litter" desempenha um importante papel na manutenção da umidade dos primeiros centímetros do solo.

Paralelamente, foram realizadas pesquisas em laboratório como o uso de simulador de chuvas e "flumes", tendo por objetivo a melhor compreensão das relações entre o "litter" e a distribuição da água para o solo. Os resultados demonstraram que o "litter" reduz sensivelmente a ação direta das gotas de chuva sobre a superfície do terreno, mantendo condições propi-



cias à infiltração e reduzindo as taxas de escoamento superficial e subsuperficial. Este aspecto é ressaltado pelos dados das análises micromorfológicas, efetuadas em amostras do solo superficial, obtidas no decorrer dos experimentos. Observou-se que a remoção do "litter" da superfície do solo acarretou, principalmente, a destruição dos agregados e a redução da porosidade das amostras.



ABSTRACT

The goal of this thesis is to investigate the relationships between the forest litter and the water distribution in top soil. This research is one part of a comprehensive study, which began in 1976, on erosion activity in a small catchment of Rio Cachoeira (Maciço da Tijuca, RJ).

The initial step, was a description of litter cover on a selected slope profile; considering the properties of local vegetation and topography. Studies on the moisture retention capacity of litter were realized and the results showed elevated values. These values are higher than the existing data concerning extra-tropical regions.

The observed textural characteristics of the top soil in the profile implied that the forest litter may favour a vertical movement of the infiltration waters. The field observations within selected plots, confirmed the importance of litter as one factor that maintains high humidity levels in the top soil of the forest.

The second step of the research was to experiment with a model system of soil - litter - rain in the laboratory in order to understand better the relationship between litter and distribution of water in the soil. The results of experiments point out that the litter reduces significantly erosive activity of the rain, maintains conditions favorable for infiltration and reduces rate of surface and subsurface runoff.

Micromorphological observations showed that the absence of litter cover, promoted destruction of soil aggregates and reduced surface porosity, when the model soil was subjected to rainfall.



ÍNDICE

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. METODOLOGIA .....	12
2.1 Observações de Campo .....	14
2.2 Experimentações de Campo .....	20
2.3 Experimentações de Laboratório .....	21
2.3.a Simulador de Chuvas .....	22
2.3.b Os "flumes" .....	26
2.3.c Os Experimentos .....	29
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	
3.1 Aspectos gerais e topografia .....	41
3.2 As variações texturais na matriz superficial .....	45
3.3 Vegetação .....	47
3.4 Distribuição e composição do "litter" .....	50
4. O "LITTER" E A HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE	
4.1 "Litter": Capacidade de retenção e interceptação .....	61
4.2 As variações de umidade do "litter" e as implicações sobre a distribuição de umidade na superfície do solo .....	65
4.3 A influência do "litter" na infiltração e escoamento lateral: Experimentos de Laboratório .....	74
4.3.a "Flume" nº 1 .....	75
4.3.b "Flume" nº 2 .....	81
4.3.c Análises Micromorfológicas .....	88
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DIRETRIZES .....	109
BIBLIOGRAFIA .....	115



## 1. INTRODUÇÃO

O uso de técnicas de exploração dos recursos naturais, em vista do desenvolvimento da civilização moderna, tem interferido, em muitos casos, no próprio potencial de utilização destes recursos. Enquadra-se nesta ótica, a interferência humana sobre os recursos florestais, evidenciando-se as práticas do desmatamento. Os reflexos desta atuação podem ser exemplificados, destacando-se a intensificação dos processos erosivos em áreas anteriormente florestadas e pela alteração das características hidrológicas locais, interferindo nas condições climáticas e no regime hídrico dos rios. (Prandini et alii, 1976). Especialmente pelas características pluviométricas, elemento atuante no desencadeamento dos processos erosivos, estes reflexos tornam-se ainda mais evidentes nos trópicos úmidos.

Deste modo, torna-se indispensável conciliar a forma de exploração dos recursos florestais com as leis que regem o equilíbrio natural, e isto só poderá ocorrer a partir de um conhecimento científico aprofundado sobre a dinâmica destes sistemas. Entretanto, face à pobreza de dados, subsistem ainda controvérsias na literatura quanto ao papel ambíguo das florestas na estabilização das encostas, e o problema intensifica-se por um certo grau de desconhecimento de seu funcionamento, principalmente em regiões tropicais.



Alguns autores, Erhart (1955), Cailleux (1959) e Douglas (1969), acreditam que as taxas de denudação sob as coberturas florestais são bastante reduzidas. Rohdenburg (1970) e Tricart (1975), assinalam que as áreas recobertas por vegetação pluvial tropical, principalmente na Amazônia, apresentam-se morfodinamicamente estáveis, pois a densa cobertura vegetal dificulta qualquer remoção substancial de material. Domingues et alii (1971), baseando-se na atuação da floresta, impedindo a ação direta da chuva sobre o terreno e mantendo as condições de infiltração dos solos, consideram a sua remoção como uma das condicionantes no desencadeamento de movimentos de massa. Por outro lado, Rougerie (1960) e Young (1972) mencionam importantes atividades erosivas sob a cobertura florestal. Dentre os processos mais atuantes, cita-se a ocorrência de solifluxão em áreas tropicais de forte declive - superior a 30° (Behrmann, 1927; Sapper, 1914 e 1934; Wentworth, 1928 e Ruxton, 1967). Lewis (1974) e De Ploey (1979), demonstram que a ação das raízes é um dos fatores relacionados com a ocorrência de movimentos lentos ("creep") e deslizamentos ("landslides") em áreas tropicais, principalmente nas camadas superficiais do solo. Este efeito é mais representativo durante períodos muito chuvosos, pois o sistema radicular intensifica a infiltração e os fluxos subsuperficiais ("throughflow") podendo ocasionar a saturação e superar os limites de coesão entre as camadas do solo. Ruellan (1953), considera a floresta como um elemento de retardamento da ação das chuvas sobre a superfície dos solos; entretanto, sob chuvas intensas os troncos e raízes podem contribuir para a atividade erosiva direcionando fluxos e removendo material, principalmente nas superfícies de contato com o



manto decomposto. Deste modo, a ação de enxurradas, mesmo em áreas com recobrimento florestal, não é desprezível.

Portanto, permanece a questão sobre a real participação da floresta na estabilização das encostas e, ao que tudo indica, este aspecto está relacionado à compreensão da natureza e intensidade dos processos atuantes. Surge, então, a necessidade de se desenvolver estudos que visem o entendimento do funcionamento interno dos sistemas florestais, principalmente quanto à dinâmica da água e suas implicações nos processos erosivos.

O processo de infiltração em solos florestais situa-se como uma das etapas desta dinâmica e sua compreensão, assim como dos fatores que o condiciona, representa um importante subsídio para o entendimento das relações clima-flora-matéria. A infiltração, segundo Horton (in Ward, 1967) significa a entrada de água através das camadas superficiais do solo, e a intensidade deste processo está condicionada à capacidade de infiltração do terreno.

A capacidade de infiltração de um solo constitui a taxa máxima na qual a chuva pode ser absorvida pelo terreno e está relacionada à textura da porção mais superficial além de outras características físicas. A percolação das águas no meio poroso se processa numa proporção direta à carga hidrostática e inversa ao comprimento da camada de solo saturado, ou seja, a taxa de infiltração pode variar na medida em que o solo superficial se aproxima da saturação, tornando-se gradativamente mais lenta até atingir valores constantes.



A desproporção entre a intensidade da precipitação e a taxa de penetração das águas no solo pode determinar o escoamento superficial. Caso a intensidade da precipitação seja inferior ou igual a capacidade de infiltração, a água infiltra em proporções diretas. Caso a intensidade da precipitação ultrapasse a capacidade de infiltração, a taxa excedente tende a escoar superficialmente (Horton, 1933).

Dentre as condicionantes da manutenção da capacidade de infiltração em solos florestais, a literatura tem ressaltado a atuação do "litter", como elemento de interceptação, armazenamento de água e condicionador de fluxos superficiais.

"Litter", "Serapilheira", "Manta Morta", etc., são termos atribuídos à cobertura do solo, compreendendo, principalmente, resíduos vegetais ali depositados. Esta camada de detritos é considerada como Horizonte Orgânico, podendo diferenciar-se de acordo com o seu estado de fragmentação e decomposição. A camada superficial é composta por folhas íntegras, sem apresentar sinais aparentes de modificação quanto a sua estrutura original (Horizonte  $O_1$ ); enquanto a camada inferior já apresenta sinais de alteração física e bioquímica (Horizonte  $O_2$ ). (Lemos e Santos, 1976 e Foth, 1978).

A presença do "litter" está diretamente associada ao ritmo de deposição de folhas pelos estratos florestais e inversamente às taxas de decomposição e transporte.

Day (1940), Helvey e Patric (1955), citam que a formação do "litter" ("forest floor") é uma função da queda anual de folhas, que propicia a formação do húmus, sendo que, ambos fatores estão re



lacionados às condições locais. Bray e Gorham (1964), Rodin e Bazilevk (1964) mencionam que a produção de "litter", dependendo das condições locais, pode ser contínua ou sazonal. Em áreas tropicais há uma certa uniformidade de produção durante o ano, enquanto em regiões temperadas acentuam-se as quedas de folhas em períodos restritos. Fournier e Castro (1973) reforçam isto ao mencionarem que a produção do "litter" depende, em certo grau, do comportamento ecofisiológico das espécies que compõem as florestas e varia portanto, com a intensidade das variações climáticas locais. Quanto às taxas de decomposição, Shanks e Olson (1961) e Auten (1933) expressam que a acumulação de "litter" depende de vários fatores, entre eles: declividade do terreno, umidade, temperatura e facilidade de decomposição do material (relacionada com a espécie). Nos trópicos, o "litter" não acumula excessivamente, principalmente pelas altas taxas de decomposição associadas às altas temperaturas e umidade. Nas regiões temperadas, a acumulação é sensivelmente superior, pois a dificuldade de decomposição das folhas é maior.

A influência do "litter" sobre o comportamento hidrológico pode ser analisada inicialmente como um importante elemento de interceptação da água da chuva (Helvey e Patric, 1965). Este processo envolve o amortecimento e dispersão da energia das gotas impedindo sua ação direta sobre o solo (Musgrave, 1947).

Ekern (1950) expõe que o potencial de uma chuva pode ser caracterizado pelo somatório da energia cinética das gotas. A massa e a velocidade de queda ajudam a determinar a energia cinética da chuva. De acordo com Lawse e Pearsons (1943) a relação entre a distribuição dos tamanhos de gotas com a intensidade da chuva é a seguinte:  $D_m = 2,23 \cdot I^{1/82}$ , onde  $D_m$  é o diâmetro da gota em mm e  $I$  é a intensidade de precipitação (pol/hora). Ekern (1950) e Bertoni (1967),



assinalam que no processo erosivo, a ação das gotas corresponde à primeira fase, pois acarreta o desprendimento das partículas do solo.

A presença do "litter" impede a compactação superficial do solo e a ruptura dos agregados, que por sua vez ocasiona a liberação de partículas finas ("splash erosion"). Estas estariam sujeitas ao transporte superficial e também à formação de lacres (selagem) dificultando o processo de infiltração. Isto tem sido evidenciado através de alguns trabalhos experimentais, em que foram documentadas alterações sofridas por amostras de diferentes naturezas texturais, quando expostas à ação de chuvas artificiais. (Duley, 1939; Arend e Horton, 1942; Ekern, 1950 e McIntyre, 1958).

Quanto à infiltrabilidade, a literatura tem ressaltado a importância do "litter" como uma das variáveis atuantes no processo. Auten (1933), Kittredge (1938), Arend (1941) e Johnson (1941), enfatizam, de uma forma indireta, o desempenho do "litter" na manutenção da capacidade de infiltração em solos florestais. Estes autores comparam os valores de infiltração dos solos entre áreas florestadas e áreas de cultivo. A comparação é feita também dentro de áreas florestadas, removendo-se numa delas a cobertura de detritos superficiais. Os dados mostraram reduções entre 18 e 38% nas taxas de penetração de água, para as áreas alteradas. As razões atribuídas a estas reduções foram: a) exposição do solo à ação direta das gotas de chuva; b) incremento das taxas de escoamento superficial, decorrente das alterações estruturais do topo do solo.



Alguns autores procuram enfatizar a importância do "litter" sobre a infiltração, utilizando dados de escoamento superficial. Neste caso enquadra-se o trabalho de Lowdermilk (1930), em que foram detectadas importantes variações, tanto nas taxas de escoamento superficial quanto na carga de sedimentos erodidos, em canaletas ("flumes") com e sem recobrimento de detritos vegetais. No primeiro caso, os valores foram sensivelmente inferiores em relação ao segundo e as diferenças acentuaram-se na comparação entre amostras de características texturais distintas. Nas amostras texturalmente finas, sem recobrimento de detritos, as taxas de escoamento e transporte foram superiores às amostras arenosas, visto que a vedagem superficial desenvolveu-se com maior intensidade, limitando a infiltração. Baseado nestes resultados, o autor conclui que a eficiência do "litter" na redução das taxas de erosão é maior em solos texturalmente finos, onde mantém as características estruturais da superfície do terreno.

A ação do "litter" prende-se também à retenção de importantes parcelas de água que ultrapassam os estratos florestais superiores ("throughfall"). Esta ação é representada pelo armazenamento e este é considerado como um dos principais aspectos da função do "litter". A literatura tem apresentado diversos valores de retenção obtidos em várias regiões do mundo e as variações observadas envolvem principalmente, aspectos qualitativos (relacionados ao tipo de material), (Lowdermilk, 1930; Sternberg, 1949 e Blow, 1955).

O armazenamento de umidade pelo "litter" se reflete



também na manutenção das taxas de infiltração em solos florestais. Isto é explicado pela liberação gradativa de água para o solo, impedindo alterações bruscas nas características físicas superficiais do terreno. As observações de Ponçano et alii (1976), Soares et alii (1975) e Prandini et alii (1976), mostram que a infiltração efetiva, ou seja, a parcela real de água que se infiltra no terreno tendendo à saturá-lo, é menor em áreas florestadas, pois importantes frações de água são subtraídas antes de chegar em solo mineral. Esta subtração significa um retardamento na chegada da água ao solo, mantendo a infiltrabilidade, mesmo que a intensidade pluviométrica exceda os limites de absorção da camada superficial.

Resta saber, todavia, se atingido o limite de saturação do "litter", haverá a ocorrência de fluxos superficiais, principalmente sob ação de chuvas intensas.

Pierce (1967); Prandini et alii (1976) e Voigt e Walsh, (1976), discutem sobre a existência de escoamentos superficiais direcionados pela camada de "litter", que desviariam parte da água que atingiu o terreno, retardando a infiltração local e impedindo, conforme a intensidade da precipitação, a criação de condições críticas de saturação do solo.

A ocorrência destes fenômenos estaria relacionada com a declividade do terreno, que condiciona tanto o processo de acumulação quanto na ocorrência de fluxos.

Conforme a literatura tem mostrado, o "litter" desempenha um importante papel ao interferir nos processos hidroló



gicos superficiais em solos florestais. A proteção contra a ação das gotas de chuva, o potencial de armazenamento de umidade e a canalização de fluxos, têm implicações diretas na manutenção da capacidade de infiltração do solo. A natureza e intensidade destes processos estão na dependência de certas características do "litter", ligadas à própria vegetação local, como: tipo de material, forma, estrutura e capacidade de armazenamento. A espessura das camadas e a forma de distribuição espacial, são funções da vegetação e de suas características fenológicas, além da topografia.

Deste modo, podemos estabelecer, para o presente trabalho, as seguintes hipóteses básicas:

a) A presença do "litter" representa um importante fator na manutenção da capacidade de infiltração dos solos florestais, ao promover o amortecimento e dispersão da energia cinética das gotas de chuva.

b) O "litter" influi, diretamente, na manutenção dos gradientes verticais de umidade do solo favoráveis à infiltração. Esta ação, estaria ligada aos processos de armazenamento e liberação gradual de umidade para o solo mineral, reduzindo a possibilidade de geração de escoamentos superficiais e subsuperficiais.

c) A intercepção pelo "litter", representa, também, um importante papel no armazenamento temporário da água dentro do ambiente florestal, e na conservação da umidade do solo, mesmo após o término da chuva.

d) O desempenho do litter, quanto aos processos hidrológicos superficiais, varia sensivelmente nas áreas tropicais florestadas, face à própria heterogeneidade florística existente. A



vegetação e a topografia são importantes fatores que interferem neste desempenho.

Considerando a carência de informações à respeito do assunto em questão, em relação aos ambientes tropicais florestados, torna-se imprescindível o levantamento de dados sobre o "litter", e o estabelecimento de relações com o comportamento da água na superfície dos solos.

O presente trabalho está integrado a um projeto de investigação da atividade erosiva, desencadeada pelas chuvas, em uma sub-bacia do Rio Cachoeira no Maciço da Tijuca, RJ. Este projeto, foi criado no Instituto de Geociências da UFRJ. A área em questão apresenta um recobrimento de natureza florestal (Parque Nacional da Tijuca) em que os fortes desnivelamentos são típicos. De uma forma geral, os estudos de Coelho Netto (1979) possibilitaram o levantamento das características locais e a identificação das possíveis condicionantes dos processos erosivos.

Dentre estas condicionantes, enfatizaram-se a existência de importantes relações entre os diversos elementos da cobertura florestal (copas, troncos, "litter") e a dinâmica da água da chuva no interior da vegetação. Este reconhecimento permitiu o estabelecimento de diversas diretrizes de trabalho, entre as quais destaca-se a necessidade de compreensão do comportamento da chuva no interior da floresta, como também, sua capacidade de interceptação e armazenamento. Trata-se, nesse caso, de uma investigação detalhada do comportamento de certas variáveis e que possibilitará, no futuro, uma tentativa de elucidção da dinâmica do sistema florestal como um todo.

Optou-se, no presente estudo, pelo desenvolvimento de um plano de investigação sobre o papel do "litter" florestal



em relação a distribuição das águas pluviais, assim como na manutenção das condições de penetrabilidade dos solos. A análise deste desempenho envolve o levantamento de dados sobre a retenção de água pelo "litter", e as implicações sobre a umidade do solo, além de estudos sobre as relações com os processos de infiltração e escoamento lateral (superficial e subsuperficial). Os estudos estendem-se ainda, à influência da topografia na acumulação dos detritos orgânicos e os reflexos disto no desenvolvimento de processos erosivos pela água. Os objetivos prendem-se a obtenção de informações de caráter qualitativo, que visam subsidiar, na medida do possível, a compreensão da dinâmica hidrológica e erosiva dos sistemas florestais tropicais, tendo como área - laboratório a sub-bacia do Rio Cachoeira, RJ.



## 2. METODOLOGIA

O estudo do papel do "litter", de acordo com os objetivos propostos, representa uma tentativa de compreensão da hidrologia de superfície em áreas florestadas. Neste caso, pretende-se obter informações sobre o comportamento da água da chuva após a transposição pelos estratos florestais, subsidiando, na medida do possível, o entendimento da dinâmica erosiva na floresta. O estudo deste comportamento envolve a obtenção de dados que permitam relacionar a presença do "litter" com os processos de infiltração e escoamento lateral.

Para que estes objetivos fossem atingidos, optou-se pelo desenvolvimento de um trabalho envolvendo:

- a) Observações de campo
- b) Experimentações de campo
- c) Experimentações de laboratório

O uso conjugado destes diferentes níveis da análise justifica-se pelas dificuldades inerentes ao estudo dos sistemas naturais, principalmente quanto aos aspectos de sua dinâmica.

Observações em campo foram consideradas como capazes de fornecerem importantes subsídios de ordem qualitativa sobre a infiltrabilidade em solos florestais e sobre a influência do "litter" na hidrologia de superfície. Entretanto, a tentativa imediata de estabelecer relações, a partir destas obser-



vações , torna-se limitada pela interferência conjunta dos inúmeros fatores envolvidos no processo de infiltração. Além disso, nem todos os aspectos envolvidos nas relações entre o "litter" e a distribuição das águas puderam ser analisados a - través destas informações.

Visando a transposição parcial destes obstáculos , desenvolveu-se uma metodologia experimental, através de estudos de campo e laboratório. A utilização da experimentação de campo e laboratório se justifica pela necessidade de maior ou menor controle e manipulação das variáveis. Sendo assim, o uso de uma ou outra forma de experimentação significa maior ou menor grau de afastamento das condições naturais.

Na experimentação de campo, apenas certos elementos do sistema têm seu comportamento modificado, visando a observação das alterações ocorridas à partir das modificações. As possíveis alterações são comparadas aos resultados de uma "situação controle", usada como referencial dos experimentos. Mesmo assim, as relações não podem ser estabelecidas diretamente entre a presença do "litter" e a infiltrabilidade do solo, pois diversos fatores ainda permanecem fora do controle.

Na experimentação de laboratório, efetua-se uma redução no número de variáveis envolvidas, assim como o controle sobre seus comportamentos. Gera-se, então, um modelo simplificado da realidade permitindo estabelecer, com certo grau de precisão, o sentido das relações entre os elementos do sistema. Neste tipo de investigação, podemos repetir e modificar os experimentos a fim de melhor compreender o desempenho das



variáveis e dos processos envolvidos." Mesmo que a simulação das condições naturais seja imperfeita, pode-se adquirir importantes conhecimentos da interação de fatores específicos e de mecanismos" (De Ploey e Gabriels, 1980). Apesar do artificialismo envolvido neste tipo de experimentação, as informações apreendidas nestes procedimentos podem ser testadas e comparadas com as observações de campo. Certos problemas podem surgir na experimentação decorrentes, por exemplo, da escala e dos limites ("Boundary conditions") do modelo experimental. Isto reforça a necessidade de se manter, constantemente, contato com os dados de campo e a teoria existente.

Portanto, o procedimento metodológico adotado envolve a obtenção de dados sob diferentes níveis de controle, desde a observação direta de campo até a experimentação de laboratório. Cada um destes níveis de análise apresenta vantagens e limitações; entretanto os dados obtidos em cada um deles visam a composição de um quadro de informações que se complementam e, automaticamente, suprem suas deficiências individuais.

## 2.1

### Observações de campo

De acordo com os objetivos do presente trabalho, não se pretende fazer apenas um estudo sistemático da influência do "litter" na distribuição das águas pluviais, mas fornecer subsídios à compreensão da hidrologia de superfície em áreas tropicais florestadas. Deste modo, optou-se pela realização de estudos de natureza regional visando atender parte dos objetivos propostos. Para isso, os estudos foram cen -



tralizados numa área pré-selecionada no interior de uma sub-bacia experimental do Rio Cachoeira no Maciço da Tijuca, Rio de Janeiro. A área amostrada constitui-se numa vertente com aproximadamente 170 metros de comprimento situada na posição centro-oeste da bacia experimental (Fig.3). As informações obtidas através dos estudos preliminares desenvolvidos (Coelho Netto, 1979), permitiram o estabelecimento dos principais critérios para a seleção da área. Estes critérios foram: a) Representatividade da área como feição morfológica regional; b) Informações preliminares obtidas; e c) Diversidade vegetal existente.

A importância de se avaliar a representatividade da feição dentro da morfologia regional está ligada à possibilidade da geração de modelos a partir dos resultados, que possam ser testados em outras áreas dentro e fora da bacia experimental.

Os estudos preliminares, principalmente sobre os solos, representam elementos de controle sobre as características ambientais da área de estudo, sendo um importante subsídio à compreensão dos processos hidrológicos superficiais.

A diversidade vegetal constitui-se em outra forte razão para a escolha da área. A acumulação do "litter" sobre o piso florestal está intimamente relacionada com as características da vegetação.

As observações e medições na área de estudo foram orientadas pela seleção de alguns fatores que intervêm ou estão relacionados com a presença do "litter" e, conseqüentemente, com



os processos hidrológicos superficiais (geometria do relevo, vegetação, "litter" e textura da matriz superficial).

A caracterização geométrica do relevo, através do perfil topográfico da vertente, foi realizada considerando-se as relações com a acumulação do "litter" e com a distribuição da água no solo.

Shanks e Olson (1961) e Auten (1933) assinalam que a acumulação do "litter" depende, entre outros fatores, da declividade do terreno. [Van Zon (1980)] espressa a tendência de maiores taxas de movimentação das folhas nas encostas mais íngremes, principalmente na camada superficial ( $O_1$ ). Estes movimentos podem intensificar-se nos períodos secos pela menor umidade do "litter", o que facilita a remoção pelo vento.

Numa certa medida, a topografia pode também ter implicações indiretas sobre a acumulação do "litter". Conforme as informações preliminares, existe uma nítida variação da vegetação ao longo das vertentes, (Coelho Netto, 1979). [Esta variação pode estar relacionada, além de outros fatores, à redução da espessura dos regolitos], podendo constituir-se numa limitação à ocupação de certos tipos de vegetais. Logo, podemos supor que a produção do "litter" pela vegetação varia com o declive, proporcionando maior ou menor proteção à superfície do solo contra os agentes erosivos.

O levantamento da vegetação local foi considerado como fator preponderante à compreensão das características do "litter". Os aspectos considerados como mais importantes para atender os objetivos foram: Identificação das espécies e domínios vege-



tais e Densidade de cobertura aérea em função da variação topográfica.

A cobertura do "litter" foi estudada em função dos domínios vegetais e da topografia. Dados como a densidade da cobertura, tipo de material e espessura das camadas de "litter" foram considerados no levantamento. A documentação destas informações foi feita por meio de descrições e fotograficamente.

Conforme a literatura (Lowdermilk, 1930; Blow, 1955; Voigt e Walsh, 1976 e outros) [um dos aspectos mais importantes do desempenho hidrológico do "litter" está em sua capacidade de armazenamento de umidade.] Este fenômeno é favorável à manutenção da capacidade e das taxas de infiltração em solos florestais. [Através da análise de amostras coletadas ao longo da vertente, foi feita uma primeira avaliação da capacidade de armazenamento de água pelo "litter."] A amostragem baseou-se nos domínios vegetais existentes. Para os cálculos de capacidade de armazenamento empregou-se a técnica descrita no trabalho de Blow (1955). As amostras foram imersas em água por um período de 90 minutos, seguindo-se a isso a drenagem dos excessos durante 30 minutos. Posteriormente à pesagem, empregando-se sempre 50g de material úmido, as amostras foram postas a secar em estufa a 100°C até obtenção de peso constante. O teor de umidade armazenado foi calculada em função do peso seco final.

$$\frac{(PI - PF)}{PF} \times 100 = \text{Teor de umidade armazenado, onde PI é o peso inicial (úmido) e PF é o peso final (seco)}$$



## CAP. RETENC. FRACTIONADA.

—17 Estes cálculos foram feitos tanto para a camada 0<sub>1</sub> (não decomposta) como para a camada 0<sub>2</sub> (parcialmente decomposta), pois supõe-se a existência de diferenças nas capacidades de retenção em função do grau de decomposição das folhas. Posteriormente, novas amostragens do "litter" foram realizadas visando um estudo prévio da sua capacidade de interceptação. Neste caso, as amostras foram coletadas em pequenas áreas pré-estabelecidas (400 cm<sup>2</sup>) através do uso de pequenos "quadracts" de 20x20cm. As amostragens foram feitas apenas nas camadas de "litter" compostas por folhas, não havendo preocupação inicial quanto à representatividade dos dados gerados nestas análises, em relação à área florestal.

O procedimento para determinação da capacidade de interceptação do "litter" é igual ao anterior descrito. Entretanto, para os cálculos foi feita a conversão do peso de água retida (em gramas) para altura de precipitação em milímetros. A conversão efetuou-se através da fórmula empírica  $I=0,12r$  onde  $I$  é a interceptação, por unidade de área (em mm), e  $r$  a retenção em gramas de água. A referida fórmula foi definida após a realização de ensaios laboratoriais com o uso de uma bureta graduada (c c) e de uma proveta pluviométrica (mm). Tendo em vista que 1 c c de água corresponde à 1g, os dados foram plotados e foi calculada a regressão linear. A correlação encontrada entre os valores foi de 0,98, sendo significativa ao nível de 99,9%.

Como contribuição à definição das condições de permeabilidade dos solos sob a cobertura florestal, em que o "litter" é um dos condicionantes, caracterizou-se texturalmente amostras de solo ao longo da área de estudo. Neste caso



optou-se pela amostragem dos primeiros centímetros de solo em função do papel que esta camada tem definição dos índices de permeabilidade.

As condições da permeabilidade são definidas em grande parte pelas características físicas dos solos, destacando-se a distribuição granulométrica e a estrutura dos perfis. A capacidade de infiltração (Horton, 1933), que constitui a taxa máxima na qual a chuva pode ser absorvida pelo solo, está relacionada com a textura da porção mais superficial, e a cobertura do solo.

Além disso, observações diretas realizadas em campo, mostraram variações na composição textural entre as camadas superficiais do solo sob o "litter". Nestas observações, as atenções convergiram para a existência de grandes concentrações de grãos de quartzo lavados nas zonas de contato entre o solo mineral e o "litter". Logo abaixo desta camada, notou-se a elevação nas concentrações de finos, pela própria variação na coloração dos materiais. [Acreditando que estas variações possam se constituir em indicadores de movimentos lentos da água verticalmente, favorecidos pela presença do "litter", optou-se pela realização de amostragens no topo do solo e a 5 cm de profundidade em vários pontos selecionados na área de estudo.] A amostragem a 5 cm de profundidade, ou seja, numa zona imediatamente abaixo da superfície, se justifica pela tentativa de relacionar as variações texturais com os processos atuais. Como é conhecido, a referida região apresentou outros usos até o final do século passado (plantio de café, exploração de madeira, etc) e o distanciamento excessivo das amostragens em relação à superfície, poderiam levar a considerações não relacionadas com a presença da floresta. Evidentemente, este procedimento não elimina a possibilidade de erro nas conclusões, mas diminui sua probabilidade.



Foram coletadas 44 amostras em 22 pontos ao longo da vertente (Fig.4) sendo que as análises texturais basearam-se no método de Folk (1968). Para a comparação entre as amostras (topo e 5 cm) calculou-se a razão entre o percentual de grosseiros (cascalhos e areias) e finos (silte e argila). A utilização deste índice (grosseiros/finos), além de facilitar a comparação entre as amostras, baseou-se na bimodalidade encontrada na maior parte das distribuições granulométricas estudadas.

## 2.2 Experimentações de Campo

Esta etapa do estudo foi direcionada no sentido da obtenção de dados sobre o armazenamento de umidade pelo "litter" e os reflexos disto na distribuição da água nos primeiros centímetros do solo sob condições naturais. Os resultados obtidos representam uma avaliação preliminar do problema e cuja importância justifica a continuação dos estudos na área. Os métodos e técnicas empregados foram testados como procedimento de estudo.

As medições de campo foram feitas no interior de "quadracts" delimitados na vertente (1 x 1m). Foram utilizados três pares de "quadracts" distribuídos em 3 dos 4 domínios vegetais existentes considerando-se ainda, o tipo de "litter" e a declividade. A delimitação dos "quadracts" foi feita em pontos em que a cobertura pela vegetação impedia a penetração de radiação solar em grande escala. Com isto, procurou-se minimizar os efeitos da radiação sobre a evaporação do solo e "litter". Num dos "quadracts" de cada par, foi removida a camada de detritos



superficiais tornando uma das áreas de amostragem desprovida de proteção. Com isto, foram feitas comparações entre a umidade dos primeiros 10cm do solo em cada um dos dois quadracts delimitados. As amostragens foram individualizadas em: topo, 5 e 10cm, e realizadas após a ocorrência de dois períodos chuvosos consecutivos.

A técnica de coleta do material incluiu a raspagem superficial do solo e o uso de um pequeno trado cilíndrico (  $\phi$  3/4 pol) graduado a 5 e 10cm para coleta das amostras subsuperficiais. O uso dessa técnica de coleta, apesar de não ser a forma mais adequada para estudos de umidade do solo, permite a uniformidade nas amostragens facilitando, portanto, as comparações. A umidade do solo e do "litter" foi obtida pela diferença entre os pesos inicial e final, após a secagem em estufa a 100°C. Os dados foram plotados permitindo a análise das variações de umidade entre os "quadracts" durante dias sucessivos após o término das chuvas.

### 2.3

#### Experimentações de laboratório

Tendo por objetivo a obtenção de informações adicionais à respeito das relações entre a presença do "litter" e a infiltrabilidade dos solos, diversos experimentos foram desenvolvidos em laboratório. Estes experimentos envolveram a construção de modelos simplificados, ou seja, pela supressão de certas variáveis naturalmente envolvidas, através do uso de "flumes" e simulador de chuva.



A possibilidade de efetuar estudos e estabelecer relações mais precisas entre as variáveis selecionadas, corresponde à principal vantagem da simplificação envolvida nos experimentos, apesar do distanciamento da complexidade ambiental.

A seguir, são fornecidas as principais informações sobre as características do simulador de chuvas e dos "flumes" utilizados nos experimentos.

2. 3a)

#### Simulador de Chuvas

O simulador utilizado corresponde ao modelo Leuven, desenhado e construído pelo Prof. Jan De Ploey no Laboratório de Geomorfologia Experimental da Universidade de Leuven, Bélgica. Podemos citar como principais vantagens de seu uso:

- a) Contrôles sobre a intensidade e duração das chuvas simuladas;
- b) Altura regulável, permitindo o controle sobre a energia das gotas produzidas;
- c) Através do conhecimento de suas características, pode-se avaliar o nível de significância das chuvas simuladas em relação às chuvas naturais.

Como pode ser visto através da figura 1, funcionalmente o simulador compreende 3 unidades básicas: 1) unidade de suprimento de água; 2) unidade de distribuição de água e controle de intensidade das chuvas; e 3) unidade de geração de gotas ("dropmaker").



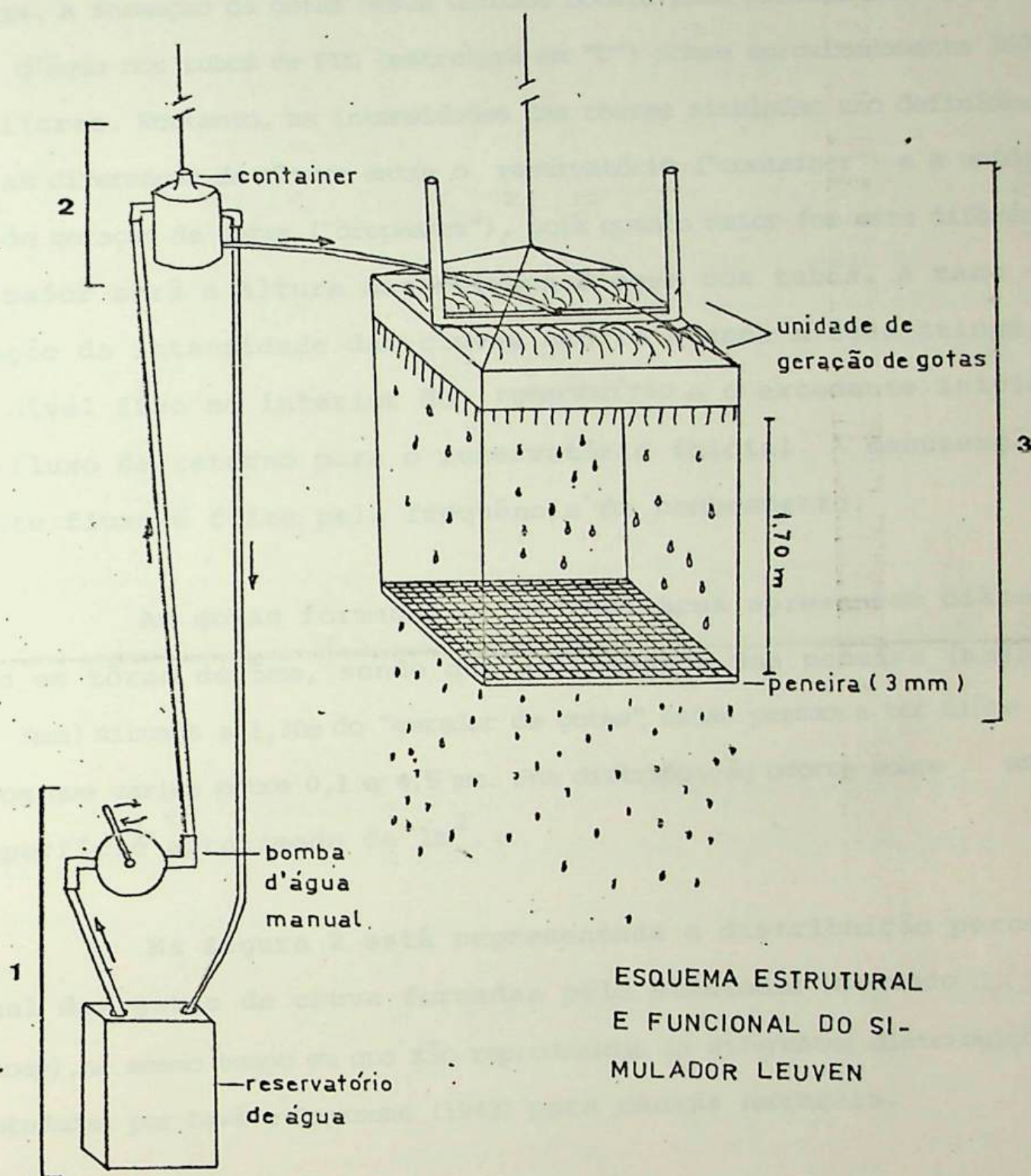


Fig. 1-Esquema do Simulador Leuven



A água bombeada para o pequeno reservatório suspenso ("container") é distribuída para a unidade de geração de gotas. A formação de gotas nesta unidade ocorre pela pressão das colunas d'água nos tubos de PVC (estrutura em "U") sobre aproximadamente 360 capilares. Portanto, as intensidades das chuvas simuladas são definidas pelas diferenças de altura entre o reservatório ("container") e a unidade de geração de gotas ("dropmaker"), pois quanto maior for esta diferença maior será a altura das colunas d'água nos tubos. A manutenção da intensidade das chuvas ocorre quando a água atinge, um nível fixo no interior do reservatório e o excedente inicia um fluxo de retorno para o reservatório inicial. A manutenção deste fluxo é feita pela frequência de bombeamento.

As gotas formadas pelos capilares apresentam diâmetro em torno de 5mm, sendo que ao transpor uma peneira (malha de 3mm) situada a 1,70m do "gerador de gotas", estas passam a ter diâmetros que variam entre 0,1 e 4,5 mm. Sua distribuição ocorre sobre uma superfície aproximada de  $1m^2$ .

Na figura 2 está representada a distribuição percentual das gotas de chuva formadas pelo simulador (segundo J. De Ploey), ao mesmo tempo em que são reproduzidas as diferentes distribuições estudadas por Laws e Pearsons (1943) para chuvas naturais.

O diagrama mostra que o tipo de gotas produzidas, e a sua distribuição, é sempre constante para qualquer intensidade utilizada, enquanto nas chuvas naturais esta distribuição sofre variações. As gotas mais frequentes produzidas pelo simulador situam-se entre 2 e 3mm de diâmetro (41,35%), o que, em termos médios, aproxima-se das chuvas naturais



entre 15 e 40mm/h.

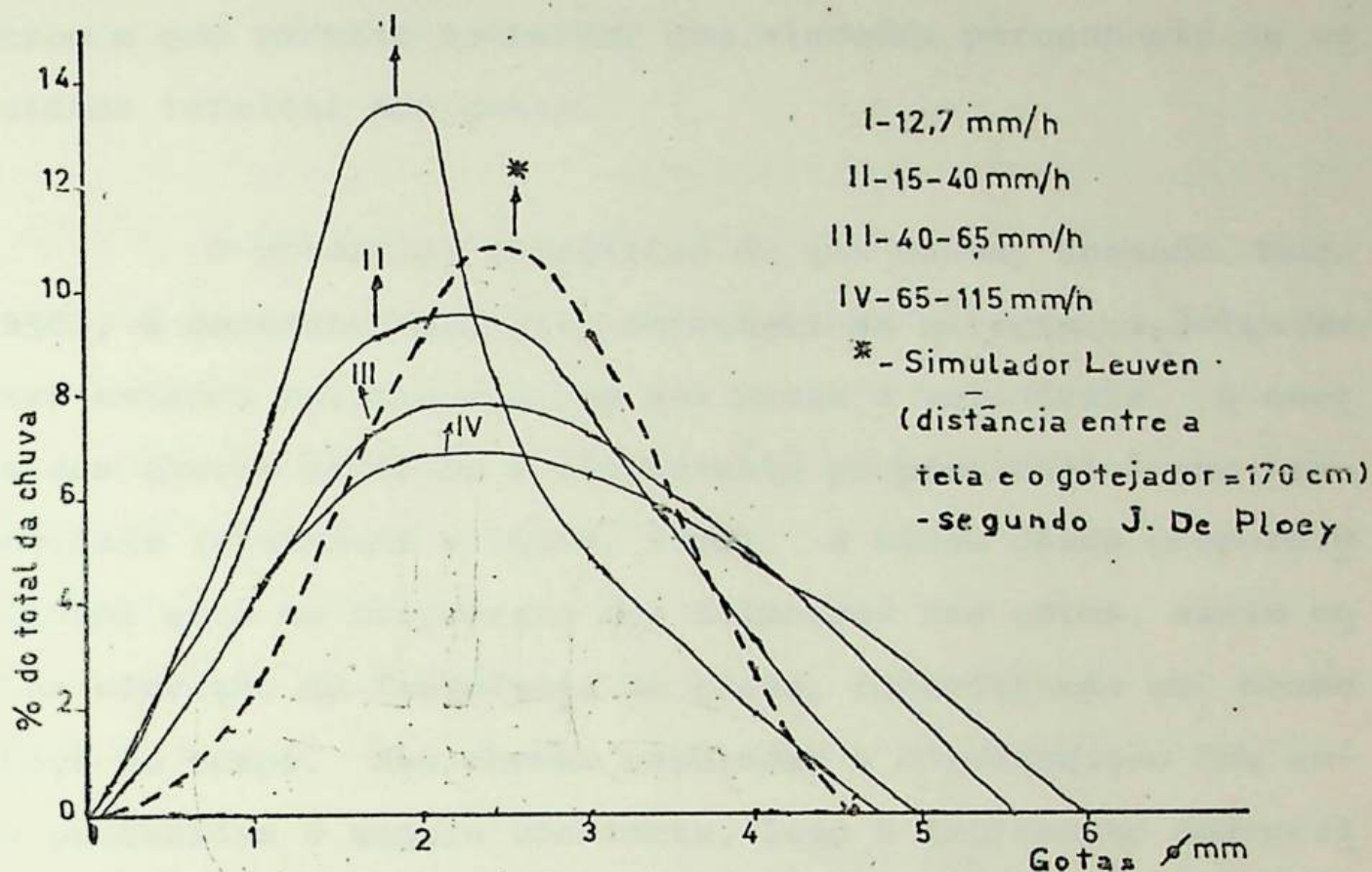


Fig. 2-Distribuição percentual de gotas de diferentes chuvas (segundo Laws e Pearsons, 1943) e comparação com as gotas produzidas pelo simulador Leuven,

A variação de altura da unidade de geração de gotas ("dropmaker") implica na modificação dos valores energéticos das mesmas.

A energia cinética das gotas é uma função da massa e da velocidade de queda (Bertoni, 1967). As gotas de chuva na queda podem alcançar uma velocidade máxima, ou "velocidade terminal", a partir da qual o movimento é uniforme. Essa velocidade constante é atingida quando a resistência oposta à queda é igual ao peso do corpo menos o empuxo para cima. Segundo Laws (1941) gotas entre 2 e 3 mm (gotas mais frequentes produzidas pelo simulador) adquirem 95% de sua velocidade terminal após a queda de uma altura entre 5,0 e 7,2 m respectivamente.



A altura máxima do simulador, conforme a extensão das hastes de suspensão erguidas, é de aproximadamente 6,50 metros o que permite trabalhar com elevados percentuais da velocidade terminal das gotas.

O potencial energético de uma chuva, segundo Ekern (1950), é caracterizado pelo somatório da energia cinética das gotas estando relacionada com sua massa e velocidade. A energia das chuvas naturais é diretamente proporcional à sua intensidade (Wischmeir e Smith, 1958). A razão dessa proporcionalidade está no incremento dos diâmetros das gotas, assim como na elevação da frequência de queda, considerando um mesmo espaço de tempo. Nas chuvas simuladas a distribuição das gotas produzidas é sempre constante, logo o incremento energético em função da intensidade, está relacionado apenas com a elevação da frequência de gotejamento.

Em resumo, as principais diferenças entre as chuvas naturais e simuladas (Simulador Leuven) são: a distribuição das gotas e a razão de proporcionalidade entre a intensidade e a energia da chuva, sendo que o segundo aspecto é uma consequência do primeiro.

2.3b)

Os "flumes"

Consideramos como "flumes", caixas experimentais desenvolvidas em função dos objetivos traçados. Neste caso, a construção das mesmas baseou-se na possibilidade de medição das taxas de infiltração em amostras de solo, durante a exposição à chuvas simuladas. Os "flumes" utilizados, foram desenhados e cons-



truídos por equipes de trabalho do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Projeto "Impacto Diferencial da Erosão Pluvial em Solos Tropicais".

O primeiro "flume" construído apresenta as seguintes dimensões internas: 70 cm de comprimento, 40 cm de largura e 15 cm de altura, sendo que a parte frontal tem apenas 13 cm de altura (Fotos 3 e 4). A definição das dimensões superficiais baseou-se na área de atuação do simulador ( $1 \text{ m}^2$ ), enquanto que a altura foi estabelecida arbitrariamente. Fundamentado no fato de que as taxas de infiltração estão condicionadas às características superficiais (Horton, 1933) e que nos experimentos pretende-se estudar a influência do "litter" neste processo, consideramos que a altura do "flume" satisfizesse a execução dos estudos. A altura da parte frontal (13 cm) corresponde à espessura da amostra colocada no "flume". Deste modo, a água resultante do escoamento superficial flui sobre a superfície frontal, reduzindo as taxas de acumulação, resultantes do "efeito de borda" nos experimentos.

Para que a água infiltrada pudesse ser coletada e medida volumetricamente, foi construído um fundo poroso no "flume" com auxílio de 2 telas, sendo uma de nylon e outra de arame. A primeira impede a remoção das partículas mais grosseiras, enquanto a segunda funciona como elemento de sustentação da amostra. A água, ultrapassando o fundo permeável, é coletada por um funil de alumínio com as mesmas dimensões do "flume" e canalizada para uma bureta situada logo abaixo (Foto 5). As medições das taxas de infiltração são feitas cronometrando-se o tempo de preenchimento do volume da bureta (25 cc) sendo convertidos



posteriormente em cc/min.

Os experimentos realizados neste flume levaram a uma análise crítica dos resultados obtidos. Nesta análise questionou-se sobre a possível influência de fluxos subsuperficiais em experimentos com a amostra inclinada. Estes fluxos, limitados pela parte frontal do "flume", tenderiam a elevar os valores de infiltração.

Como tentativa de aperfeiçoamento das medições e correção dos resultados iniciais, foi construído um segundo "flume" (Fotos 6, 7 e 8). Neste, as dimensões em termos de largura e altura, são as mesmas do anterior, porém o comprimento é 30 cm maior. Esse aumento no comprimento representou a criação de um compartimento com o objetivo de medição dos valores de escoamento lateral (superficial e subsuperficial). Nesta área adicional foi instalado um segundo funil para coleta de água infiltrada originada destes fluxos. Esse compartimento foi preenchido com sedimentos grosseiros (areia grossa) enquanto a amostra de solo foi colocada na área restante da caixa. A água infiltrada na amostra é diretamente coletada pelo primeiro funil e os fluxos laterais, após ultrapassarem a camada arenosa, são coletados no segundo. Por problemas técnicos, as medições não puderam ser realizadas através de buretas. Neste caso, estas basearam-se na fixação do tempo (1 minuto) para medição do volume em ambos os funis.

A manutenção das dimensões iniciais do compartimento da amostra, permite a comparação entre os resultados dos dois "flumes".



2.3c)

Os experimentos

O roteiro das experimentações foi baseado no registro do comportamento da infiltração numa amostra de solo (bloco alterado) antes e após o recobrimento de sua superfície com uma camada de "litter". Para a realização dos experimentos utilizou-se uma amostra de solo coletada na área de estudo e submetida a um processo de normalização. A normalização, neste caso, envolveu a retirada de elementos como raízes, animais cavadores, etc. que participam paralelamente com o "litter" na manutenção da infiltrabilidade dos solos. Deste modo, pode-se estabelecer com certo grau de precisão que as modificações no comportamento da infiltração ocorreram em função da presença ou ausência do "litter". Além disto, a estrutura original foi alterada, mantendo-se apenas pequenos agregados orgânicos. A manutenção destes agregados representa a preservação um indicador para o controle das modificações estruturais superficiais decorrentes da ação direta das gotas de chuva.

No presente trabalho, apenas um tipo de solo foi utilizado nas experimentações e, conforme os levantamentos texturais preliminares, não podemos considerá-lo como o mais representativo da área. Entretanto, ao considerar os objetivos experimentais, a representatividade da distribuição do solo torna-se secundária. Indubitavelmente, as características texturais e estruturais do substrato interferem nos processos estudados e, por esta razão, é pretensão futura o uso de outros tipos de solo.



Os estudos do comportamento da infiltração, em função da presença do "litter", compreenderam a análise da ação de diferentes intensidades pluviométricas, sobre superfícies com diferentes declividades.

Foram escolhidas 4 intensidades pluviométricas para realização dos experimentos (15, 30, 45 e 75 mm/h). A altura do simulador foi fixada em 4,6m, (distância entre os capilares e o "flume"), significando que a energia de impacto das gotas manteve-se constante para todas as intensidades. Esta altura empregada permite que as gotas atinjam 79,4% de sua velocidade terminal e a energia das chuvas por milímetro de precipitação corresponde a 20,7 Joules/m<sup>2</sup>, (Segundo J. De Ploey).

Parte-se da hipótese de trabalho de que o aumento de intensidade da chuva tem influência direta sobre as alterações estruturais da superfície do solo e, portanto, sobre sua capacidade de infiltração (Arend e Horton, 1942; Musgrave, 1947; Ward, 1967 e outros).

As declividades da amostra utilizadas foram: 0°, 8° e 15°, sendo que para cada declividade fixada foram realizados 4 experimentos (diferentes intensidades pluviométricas) totalizando 12 experimentos com o primeiro "flume". O fundamento da variação nos ângulos da amostra está no surgimento de componentes laterais nos movimentos da água no solo (escoamentos) com reflexos sobre o comportamento da infiltração. (Krusekopf, 1943; Musgrave, 1947 e Ward, 1967).

O estudo da influência do "litter" na infiltração, foi feito pela análise individual dos resultados experimentais e pela comparação entre os experimentos.



A seguir, são apresentadas as diversas etapas da rotina experimental empregada. Esta rotina corresponde a uma adaptação dos estudos experimentais realizados por Duley (1939).

#### 1ª Fase:

- Recobrimento da superfície da amostra com uma camada de "litter" (aproximadamente 2 cm de espessura). Foram utilizadas principalmente folhas íntegras (camada  $O_1$ ), em função da facilidade de sua remoção. Foram utilizadas folhas com comprimento variado entre 5 e 7cm e largura entre 3 e 5cm coletados na área de estudo (Domínio 4, Vertente do Archer - Veja pag.44 ).
- Fixação da intensidade da chuva simulada e inclinação do "flume".
- Início do experimento com medições sucessivas (intervalos de 2 minutos) dos valores de infiltração pela cronometragem de preenchimento do volume da bureta. Esta etapa prolonga-se, em média, por 60 minutos para todos os experimentos.

#### 2ª Fase:

- Remoção da camada de "litter", tornando a superfície do solo desprotegida.
- Reinício das medições de infiltração. Nesta fase, as medições foram realizadas por períodos de tempo variáveis, tomando-se como critério a observação do comportamento da própria infiltração.

Durante os experimentos, observações de ocorrência de escoamento superficial, alteração estrutural visível da superfície da amostra, influência de agentes externos sobre o experimento, etc. permitiram a melhor compreensão dos processos estudados.



As principais conclusões à respeito da influência do "litter" foram tiradas da comparação entre o comportamento das curvas de infiltração nas duas etapas experimentais (com e sem "litter"). A tentativa de explicação do comportamento das curvas foi baseada na escolha de dois indicadores das condições de infiltração da superfície do solo. O primeiro indicador empregado foi a condição de umidade superficial (topo do solo), usando como base de comparação a umidade subsuperficial (5 cm).

De acordo com o modelo clássico de Horton (1933) a entrada da água no solo depende das condições superficiais (capacidade de infiltração). A infiltração ocorre em proporções diretas à precipitação, se a intensidade da chuva for inferior ou igual à capacidade de absorção pelo solo. Sendo superior, surge um excedente de umidade que tende a escoar superficialmente. Baseado nisso, as condições de umidade dos primeiros centímetros podem refletir as proporções entre a precipitação e a entrada de água no solo.

As medições de umidade foram feitas em amostras retiradas do "flume" antes dos experimentos serem iniciados e no final da primeira e segunda fases. As diferenças entre a umidade superficial e subsuperficial durante os experimentos, serviram como base compreensão parcial do comportamento das curvas.

A análise micromorfológica de amostras de solo, coletadas durante os experimentos, corresponde ao outro indicador das alterações ocorridas. A finalidade desta análise é a observação microscópica das características estruturais do topo do solo e de 5cm de profundidade no decorrer dos experi-



mentos. Portanto, as amostragens foram realizadas paralelamente à obtenção de material para umidade.

Segundo Brewer (1972) o uso da análise micromorfológica tem tido larga aceitação nos estudos sobre a história e processos de desenvolvimento de perfis de solo, pois permite mostrar o arranjo dos constituintes edáficos por meio de uma escala bastante reduzida. Num dos níveis de interpretação dos dados micromorfológicos certos processos como a iluviação de argilas, selagem de poros, compactação, etc. podem ser detectados, evidenciando-se as razões da alteração nas taxas de infiltração em um solo.

As análises micromorfológicas são sempre precedidas por etapas como: amostragem, impregnação e laminação. A amostragem foi realizada de modo que as alterações na estrutura fossem mínimas. Para isto, empregou-se pequenos cilindros de alumínio (5 cm de altura) dotados de um corte longitudinal que permite a sua abertura para remoção da amostra. O material foi colocado em pequenas formas de alumínio e seco ao ar por 10 dias, antes de sua impregnação. Esta técnica de coleta corresponde a uma adaptação realizada durante o trabalho decorrente das condições experimentais criadas e dos objetivos estabelecidos.

A impregnação é realizada com o uso de resina Poly lite T-208 (transparente e pré-acelerada) numa concentração de 65%. Os 35% restantes são constituídos por Monômero de Estireno (Diluyente) mais a adição de algumas gotas de catalizador. O Monômero de Estireno promove a diminuição da viscosidade da resina, facilitando sua penetração pelos poros da amostra.



tra. O processo de impregnação é feito em etapas pela adição gradual da resina, além de submeter as amostras à baixas pressões no interior de um dessecador. A formação de vácuo no dessecador facilita a elevação da resina no interior da amostra, inicialmente colocada no fundo do recipiente de alumínio. Este procedimento é repetido por, pelo menos, 3 dias sucessivos, até que a resina adicionada ultrapasse a superfície da amostra. A secagem ocorre num período de 20 dias, o que reduz a possibilidade de alterações estruturais por uma secagem muito rápida.

Após a secagem da resina, os pequenos blocos são cortados no sentido horizontal da coleta e a laminação realiza-se em 2 níveis: topo e subsuperfície (entre 4 e 5cm). As análises microestruturais foram auxiliadas pelo uso de microscópio (aumento= 35x) e a lupa binocular (aumento= 10x), sendo que toda documentação foi feita fotograficamente.

As técnicas de impregnação e laminação basearam-se nos trabalhos de Kelly, Chapman e Pettifer (1970); Hanrion, (1976) e também na orientação prático-teórica do Dr. Armand Chauvel do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, que participou ainda na assessoria às análises micromorfológicas das lâminas.

Deve-se ressaltar, que quando as amostras de solo foram retiradas do "flume", para medição de umidade e análise micromorfológicas, houve a recomposição com solo visando a redução das alterações superficiais.

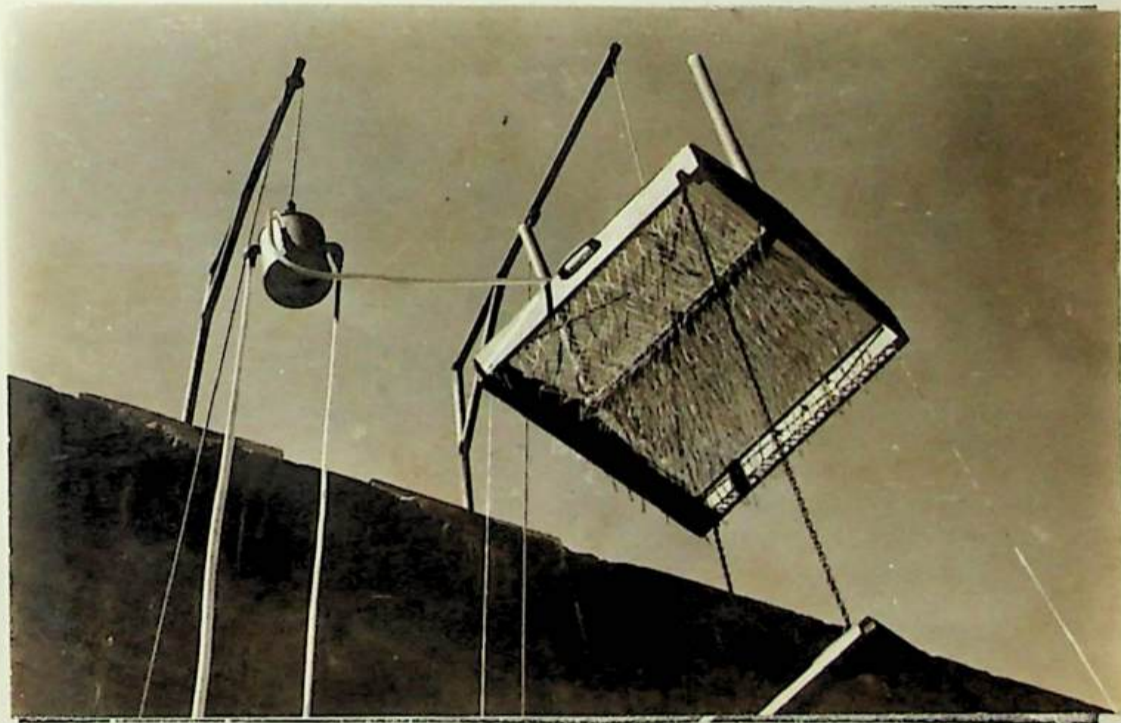
A alteração promovida nas amostragens envolveu apenas a 0,8% da área total do "flume".

Com o uso do segundo "flume", a rotina experimental foi bastante semelhante à anterior. Neste caso, foram realizados



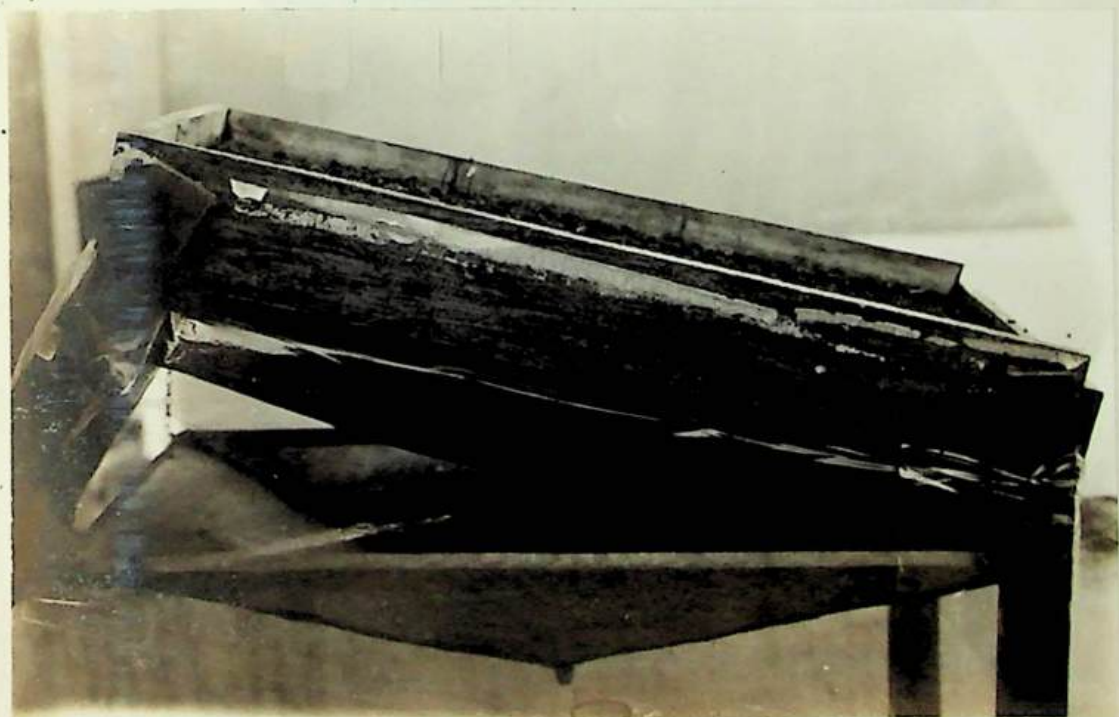
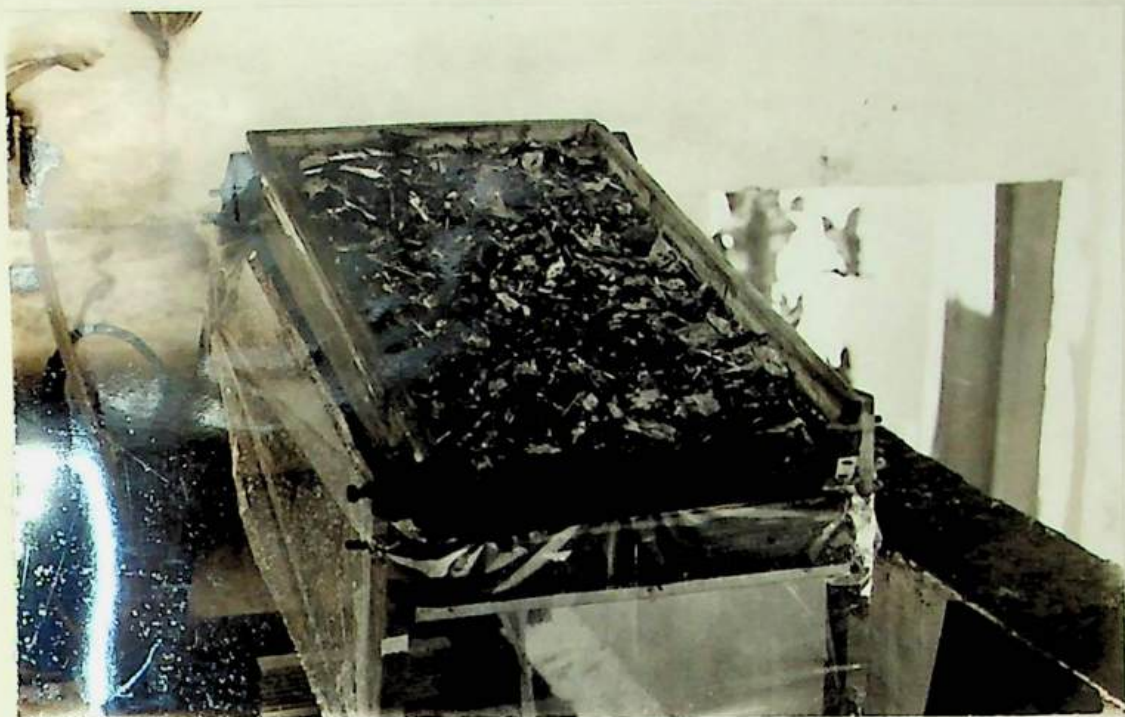
apenas 4 experimentos, sendo 2 deles com declividade de 8° e os restantes com 15°, sendo que as intensidades de chuva selecionadas foram de 30 e 75 mm/h. Nestes experimentos foram registrados os valores de infiltração e escoamento lateral (superficial e subsuperficial) através dos coletores dos compartimentos antes descritos. Paralelamente, foram feitas amostragens de solo superficial e a 5cm, para determinação de umidade. Em função de certas dificuldades técnicas e dos objetivos a que se propunham estes experimentos, ou seja, a correção das possíveis distorções ocorridas nos resultados do primeiro "flume", não foram realizados estudos micromorfológicos.





FOTOS 1 e 2 - Aspecto geral do Simulador Leuven utilizado nas experimentações de laboratório





FOTOS 3 e 4 - Aspecto. geral do "FLUME" nº 1





FOTO 5 - Detalhe do sistema de medição de infiltração do  
"FLUME" nº 1





FOTO 6 - Aspecto geral do "FLUME" nº 2

FOTO 7 - Detalhe dos coletores de água dos compartimentos de medição de infiltração (ã esquerda) e escoamento lateral ( ã direita)





FOTO 8 - Vista parcial do "FLUME" nº 2, ressaltando-se o preenchimento dos compartimentos com a amostra de solo normalizada e com areia grossa.

OBS: Durante a realização dos experimentos, o 2º compartimento (areia) do "FLUME" permanece recoberto, impedindo a recepção direta da chuva.



### 3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Aspectos Gerais e Topografia.

A área estudada fica localizada no interior de uma sub-bacia formadora do Rio da Cachoeira, no Maciço da Tijuca. Nesta sub-bacia foi implantada uma Estação Experimental, em 1976, pelo Programa de Pós-graduação em Geografia, (UFRJ). Os detalhes da localização e das principais características da sub-bacia foram descritos no trabalho realizado por Coelho Netto (1979).

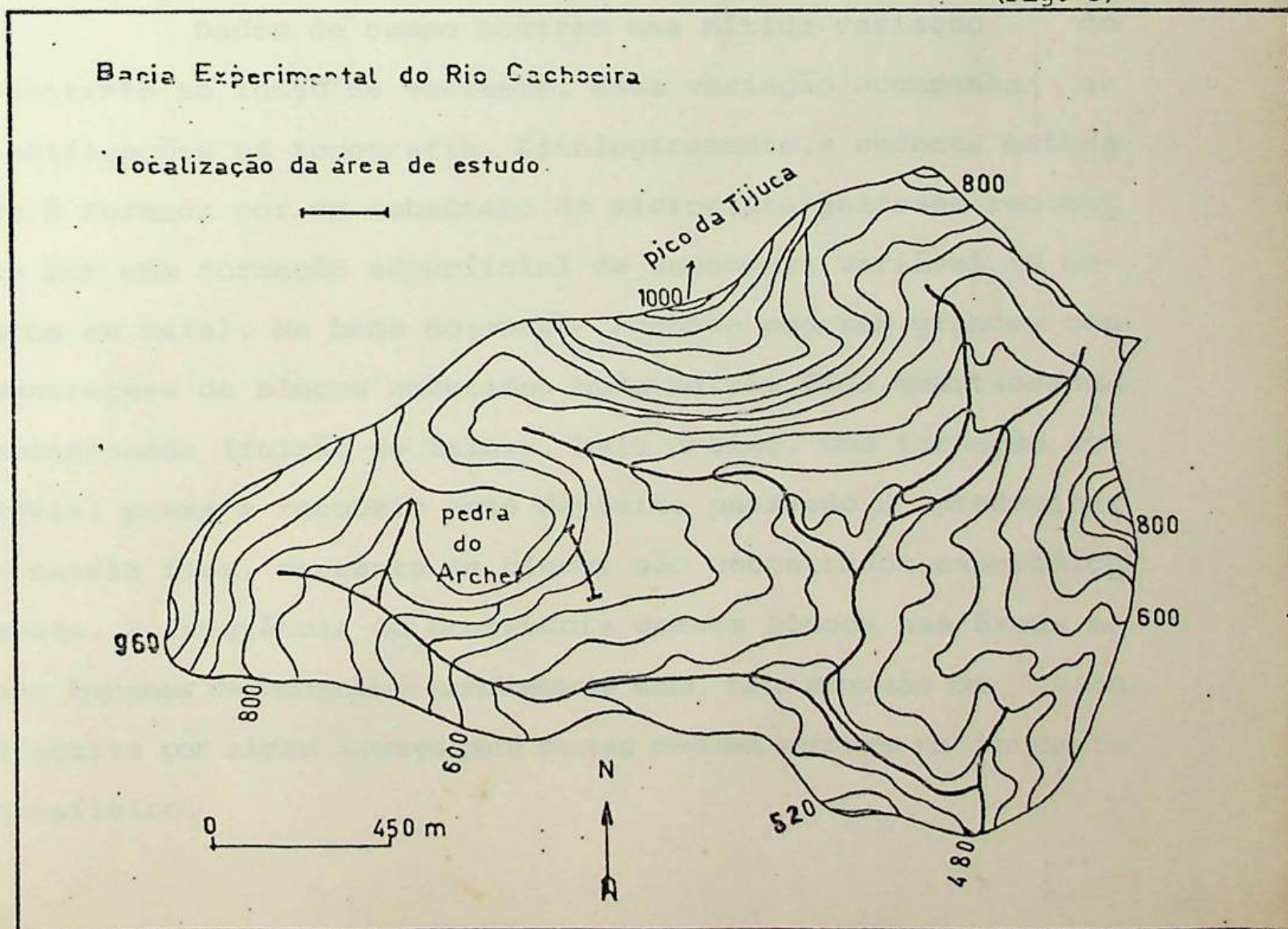
De acordo com o citado autor, a sub-bacia do Rio da Cachoeira abrange uma área de 3,45 km<sup>2</sup> numa configuração triangular e seu perímetro atinge 8,1km. A topografia regional é marcada por um relevo montanhoso onde sobressaem os pontões rochosos. Entre eles, destaca-se o Pico da Tijuca (1022m), ponto central do Maciço da Tijuca, além do Pico do Papagaio (983m), Pedra do Conde (821m), Pedra do Elefante (863m) e Pedra do Archer (800m). Os declives mais frequentes na sub-bacia (50%) ocorrem entre 12 e 22°, havendo uma redução bastante significativa em direção aos valores extremos. Os declives superiores a 39° apresentam uma frequência total de apenas 6%, enquanto as áreas com declividade inferior a 6° apresentaram-se também pouco frequentes (2,5%). O substrato rochoso, de idade pré-cambiana, é constituído predominantemente por gnaisses diversos (microclina, biotita e granitoides) e algumas intrusões de granitos. Em termos pedológicos, sobressai a ocorrência de grandes extensões de latossolos. A profundidade dos regolitos é bastante variável e parece altamente relacionada com as feições topográficas, pois no fundo das depressões espessam-se tornando-se mais delgadas nos esporões. Texturalmente, nos colúvios os teores de siltes e argilas são normalmente infe



riores aos teores de cascalhos e areias (35,7% em média). Quanto à precipitação, os totais anuais mais frequentes, a partir dos dados obtidos durante 9 anos (1967 a 1975), apresentam-se entre 2000 e 2500mm. O período anual mais chuvoso corresponde ao verão havendo um pequeno decréscimo durante o inverno. A cobertura vegetal encontrada, mata latifoliada perene, se destaca pela grande diversidade de espécies. A composição das matas se caracteriza pela presença de 3 estratos principais (arbóreo, arbustivo e herbáceo) além de grande quantidade de epífitas, lianas (cipós) e escandantes (trepadeiras). As espécies encontram-se em estágio de recomposição florestal (sucessão) em função dos diferentes usos submetidos ao solo até o fim do século passado (1860).

- Para o desenvolvimento do presente estudo as informações foram centralizadas numa vertente situada na porção centro-oeste da sub-bacia nas proximidades da Pedra Archer (figura 3).

(Fig. 3)





A vertente compreende um interflúvio desenvolvendo-se a partir das proximidades de um paredão rochoso (Pedra do Archer) e que se prolonga por cerca de 170m. Na figura 4 está representado o perfil topográfico da referida vertente. Nas imediações do paredão rochoso a declividade é bastante acentuada (acima de  $20^\circ$ ;  $\bar{x} = 25^\circ$ ), entretanto a extensão destes segmentos é pequena dentro da vertente (12%). A porção mais representativa, em termos de declividade, corresponde à área intermediária (entre  $10^\circ$  e  $20^\circ$ ;  $\bar{x} = 15^\circ$ ) abrangendo (60%) da extensão total. As áreas com declividade inferior a  $10^\circ$  ( $\bar{x} = 6^\circ$ ) compreendem (28%) do total. Estas características topográficas podem ser consideradas como representativas de própria bacia experimental, respaldadas nos levantamentos anteriormente realizados (Coelho Netto, 1979).

Dados de campo mostram uma nítida variação do substrato ao longo da vertente. Esta variação acompanha as modificações na topografia. Litologicamente, a encosta estudada é formada por um substrato de microclina-gnaisses recoberto por uma formação superficial de espessura variável (6 metros ou mais). Na base do paredão rochoso ocorrem grandes concentrações de blocos embutidos numa matriz fina quartzosa mal selecionada (feição de talus). Mais abaixo, uma formação coluvial passa a recobrir este depósito passando a predominar a matriz fina, enquanto os blocos são encontrados esporadicamente. A frequência de ocorrência desses blocos nas áreas menos íngremes da vertente é praticamente nula. Esta sucessão tem sido descrita por alguns autores para certas regiões serranas no sudeste brasileiro.



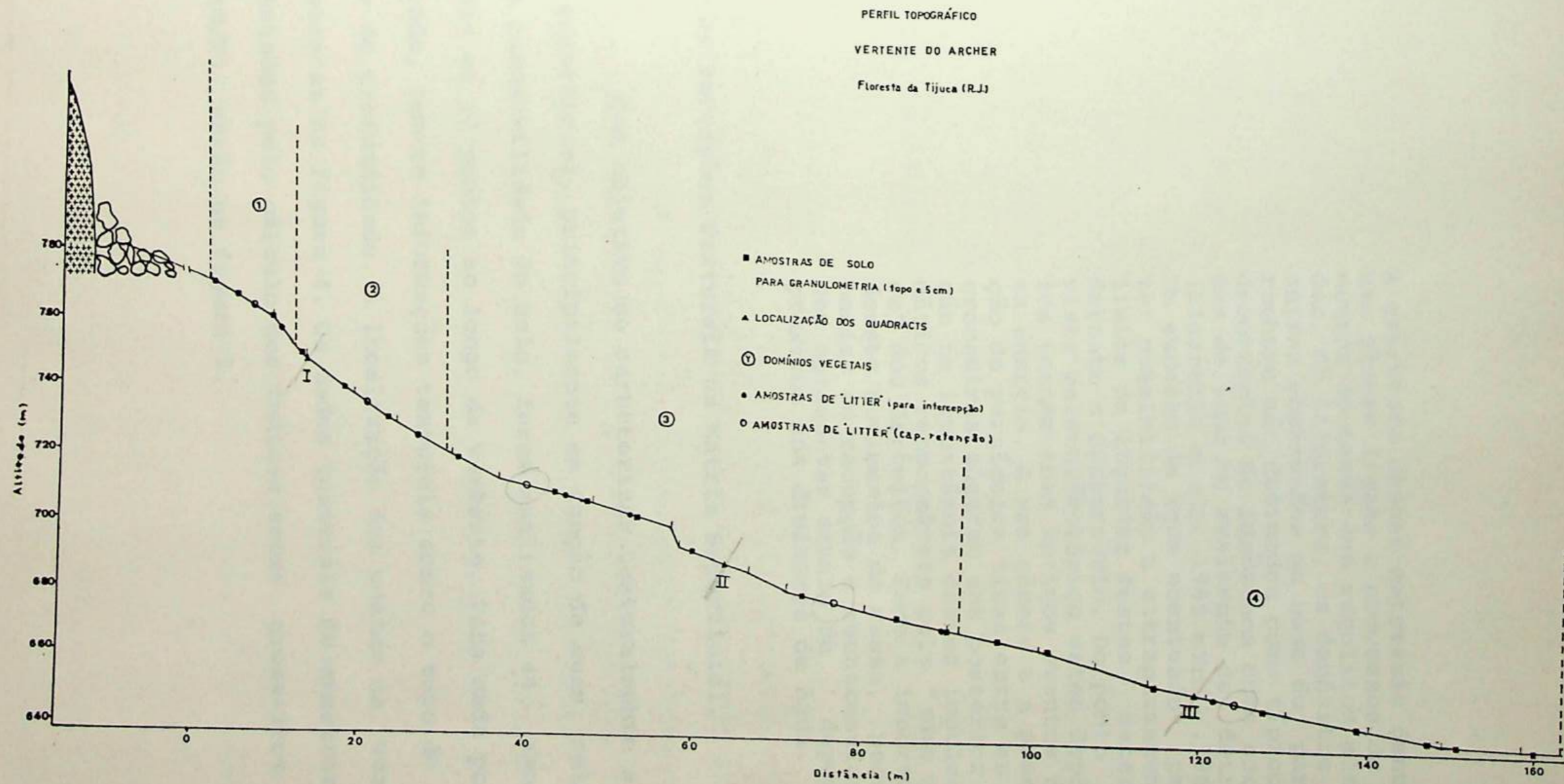


Fig. 4 - Perfil topográfico da vertente do Archer (Maciço da Tijuca, RJ)



A estrutura desses materiais denuncia uma gênese ligada a processos de movimentos de massa dos regolitos alterados. Na literatura, os depósitos grosseiros observados na base do paredão rochoso são definidos como típicos, decorrentes de fenômenos como corridas de lama ou avalanche de detritos (Bigarella et alii 1965 e Troll, 1969). Um excesso de água acentuado parece ter possibilitado a ultrapassagem do limite de liquidez destes materiais durante o Quaternário. Do ponto de vista paleohidrológico estes depósitos testemunham antigos eventos de alta energia. A sua gênese e a preservação de partículas finas entre as mais grosseiras sugerem uma posterior redução na importância destes impulsos climáticos responsáveis pela "mise en place" dos depósitos. Face a importância desses movimentos de massa, pequenas bacias de recepção e reentrâncias podem apresentar sinais de deposição próximos aos divisores de água.

### 3.2 - As Variações Texturais na Matriz Superficial.

Com objetivo de caracterizar texturalmente a matriz superficial, principalmente em função de suas relações com a permeabilidade do solo, foram analisadas 44 amostras obtidas em 22 pontos ao longo da vertente. Para cada ponto a mostrado, tem-se informações texturais sobre o topo do solo e 5cm de profundidade. A localização dos pontos na vertente encontra-se na figura 4. Os dados texturais de amostras, representados pelo cálculo dos índices entre grosseiros e finos (G/F), estão na figura 5.



o - 5 cm

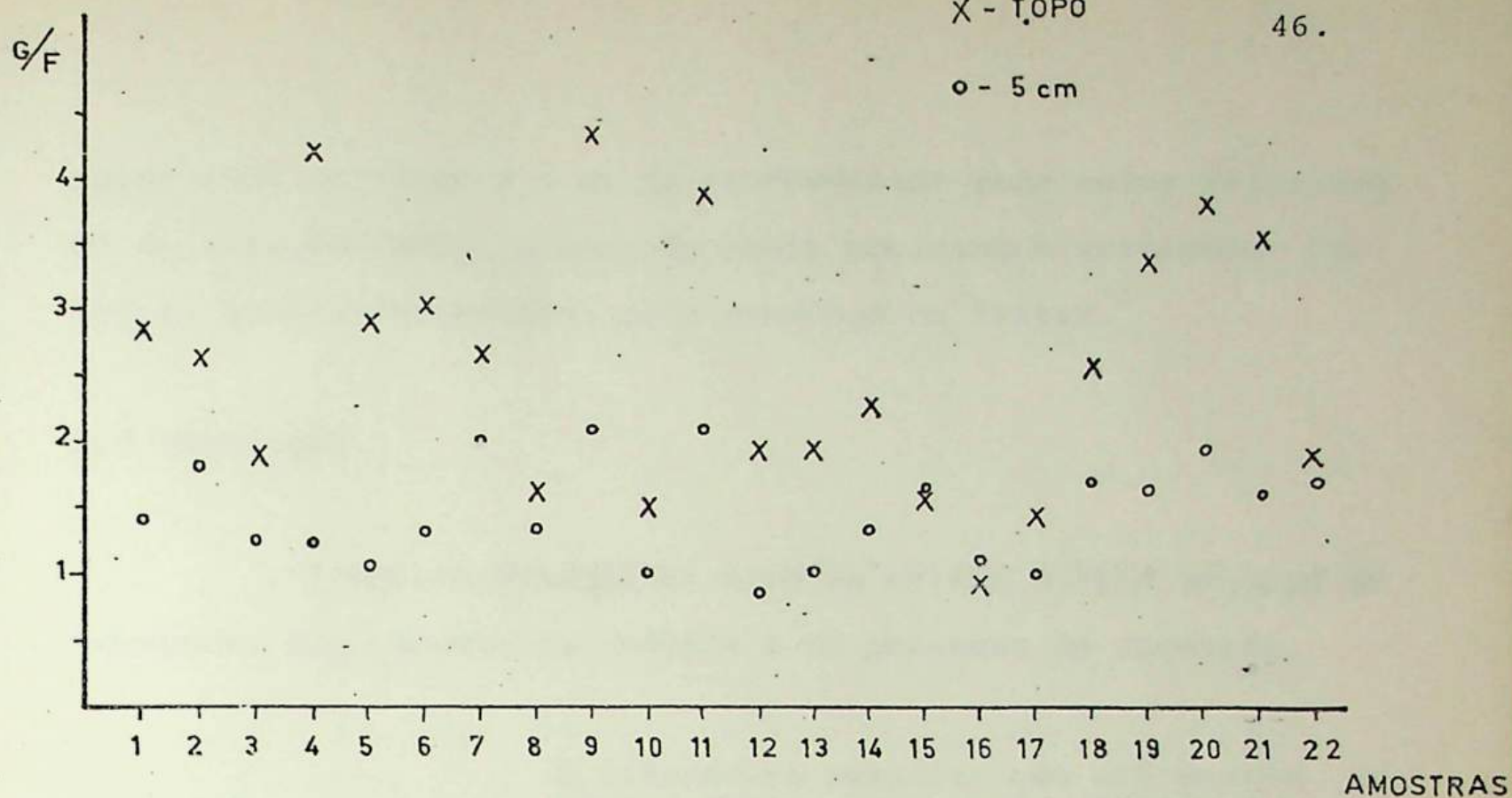


Fig. 5 - Variações texturais entre as amostras do topo e 5 cm representadas através de índice G/F.

Observa-se que a relação G/F decresce nas amostras de subsuperfície (5cm) significando que os teores de silte e argila são menos expressivos no topo do solo. Como pode ser visto, em muitos pontos amostrados na vertente as diferenças texturais são bastante acentuadas, enquanto em outras as diferenças são menores. Em apenas dois pontos amostrados o comportamento textural se inverte (amostras 15 e 16), onde o percentual de finos é pouco mais expressivo no topo do solo.

Sobre as variações texturais nas amostras ao longo da vertente, nenhuma conclusão pode ser tirada no momento. Entretanto, as variações verticais são bastante nítidas. Isto representa, sob o ponto de vista textural, uma elevada permeabilidade superficial que pode ser decorrente da proteção exercida pelo "litter" contra o impacto direto da chuva e da liberação gradativa da umidade para o solo. A elevação no



percentual de finos a 5 cm de profundidade pode estar relacionada ao enriquecimento promovido pelos movimentos verticais lentos da água e favorecidos pela presença do "litter".

### 3.3 Vegetação

A caracterização da área de estudo mostra um tipo de cobertura tipicamente secundária e em processo de sucessão.

A literatura ressalta que até meados do século XVII a densa mata primitiva permaneceu praticamente intocada (Atala, 1966). A partir dessa época entretanto, desencadeou-se a ação antrópica na região, acarretando sucessivas transformações decorrentes da exploração efetiva de seus recursos. Inicialmente, desenvolveu-se uma fase extrativista seguindo-se então a fase agrícola. Após a remoção da vegetação, visando a exploração de madeiras e o abate de árvores para lenha e carvão, a região foi utilizada para plantio da cana de açúcar e posteriormente a atividade cafeeira. Diversos problemas decorrentes do uso indiscriminado dos solos, principalmente envolvendo o abastecimento de água para a população, levaram o governo a tomar medidas visando a recuperação dos mananciais provenientes das montanhas. Sendo assim, foi iniciado o reflorestamento das encostas, principalmente do maciço da Tijuca, com o uso de espécimens regionais e oriundas de outras áreas. Esta atividade foi mais expressiva durante o período compreendido entre 1860 e 1880.

Entre as características atuais da vegetação está a existência de grande quantidade de espécies arbóreas em estágios de crescimento nos estratos inferiores (herbáceo e arbustivo). A pequena densidade de cobertura aérea, em comparação com as florestas primitivas, corresponde a outro indicador da



condição secundária. A presença de espécimens de "Imbaúba" (Gen. Cecropia) na composição da mata é uma outra indicação dessa condição, sendo típica em toda a bacia experimental.

Ao longo da vertente estudada existe uma nítida variação na composição florística e na densidade da cobertura aérea. Para melhor caracterizar a vegetação local, foram reconhecidos 4 domínios principais (veja fig. 4) e que são descritos a seguir. A identificação da vegetação foi realizada com assessoria do Biologista Henrique F. Martins (DECAM. FEEMA).

#### DOMÍNIO 1

Este domínio vegetal abrange uma área com aproximadamente 12 metros de extensão e localiza-se nas proximidades do paredão rochoso (Pedra do Archer). Nesta área a vegetação é pouco densa e a cobertura das copas abrange, visualmente, 40% em média. A vegetação arbustiva é escassa e são observados diversos troncos caídos sobre o solo. A ação do vento, aliada à forte inclinação do terreno (25°) parece ser responsável por esta fisionomia.

A vegetação dominante é composta principalmente por indivíduos das famílias Palmae (gen. *Atalea*, *Geonoma* e *Euterpe*), Annonaceae (gen. *Xilopia*) e Graminae (gen. *Merostax* e *Chusquea*). Ressalta-se também a existência de indivíduos do gen. *Cecropia* ("Imbaúba").



DOMÍNIO 2

Nesta área a cobertura vegetal torna-se mais densa tanto pelo aumento da frequência de espécimens arbóreas, como pelo incremento de outros estratos intermediários. A densidade da cobertura situa-se em torno de 60%. A extensão deste domínio atinge 22 m numa área com declividade média de 20°. No estrato arbustivo predominam os indivíduos da família *Palmae* (gen. *Euterpe* e *Geonoma*). São encontrados ainda indivíduos das famílias *Euphorbiaceae* (gen. *Hyeronyma*), *Leguminosae* (gen. *Copaifera*), *Guttiferae* (gen. *Kyelmeyera*), *Myctaginaceae* (gen. *Pisonea*), *Malpighiaceae* (gen. *Bunchosia*), *Rubiaceae* (gen. *Psychotria*), *Polygalaceae* (gen. *Polygala*) e *Bignoniaceae* (gen. *Tabebuia*).

DOMÍNIO 3

Este domínio é caracterizado pela dominância de Gramíneas ("bambús" ; gen. *Chusquea* e *Merostax*) que à medida que ocupam a área propiciam o entrelaçamento da vegetação e o aumento da cobertura (cerca de 80%). Este domínio ocupa uma área com extensão em torno de 60 m e a declividade é de 15°.

Na composição florística da área são encontrados ainda indivíduos das famílias *Cyperaceae* (gen. *Scleria*), *Polygonaceae*, *Vochysiaceae* (*Qualea glaziovii*), *Proteaceae* (gen. *Roupala*), *Rubiaceae* (gen. *Psychotria*), *Lauraceae* (*Ocotea teleiandra*), *Solanaceae* (gen. *Brunfelsia*) e *Palmae* (gen. *Geonoma* e *Euterpe*).



DOMÍNIO 4

Este domínio, como o anterior, ocupa uma área bastante representativa na vertente numa extensão total de 68 m , enquanto a densidade da cobertura vegetal está em torno de 80%. A declividade média é a menor de toda a vertente (99). Neste domínio, a diversidade vegetal é bastante grande, ocorrendo espécies já encontradas em outros domínios e algumas outras, principalmente arbóreas, específicas da área. Não foi constatada a predominância de qualquer espécie.

As principais famílias identificadas foram: Meliaceae (gen. *Guarea* e *Cabrarea*), Rubiaceae (*Psychotria hancorniaefolia* e *P. leiocarpa*), Palmae (gen. *Geonoma*, *Euterpe* e *Astrocaryum*), Myctaginaceae (gen. *Pisonea*), Guttiferae (*Clusia criuva*), Leguminosae (gen. *Machaerium*), Proteaceae (gen. *Roupala*), Vochysiaceae (*Qualea glaziovii*), Bignoniaceae (gen. *Tecoma*), Melastomataceae (gen. *Miconia*), Graminea (gen. *Chusquea*), Tiliaceae (Gen. *Triminfetta*), Malpighiaceae (gen. *Bunchosia* e *Heteropteres*) e Polygalaceae (*Plygala laureola*).

### 3.4 - Distribuição e composição do "litter"

A composição e distribuição do "litter" florestal na área acompanham a variação topográfica e da vegetação. Sobre a distribuição espacial, observa-se que nas áreas mais íngremes, principalmente no Domínio 1, o "litter" apresenta-se disposto de forma descontínua. Deste modo, em muitos locais a superfície não apresenta cobertura, possivelmente em função da topografia. Além disso,



a ação do vento nestas áreas pode ter grande influência principalmente pela pequena densidade da cobertura vegetal. Nos domínios posteriores, o "litter" está uniformemente distribuído sobre o solo.

A composição do "litter" varia diretamente com o tipo de vegetação encontrada na área. O "litter", na área referente ao primeiro domínio vegetal descrito, é constituído basicamente por folhas de palmeiras (Gen. *Geonoma* e *Euterpe*) e de árvores que compõem os estratos mais altos. Enfatiza-se a presença de troncos e galhos sobre a superfície, sendo que os troncos pertencem a indivíduos do gen. *Cecropia*. Quando os troncos posicionam-se perpendicularmente ao comprimento da encosta, estes funcionam como elementos de "represamento" das folhas. Nas áreas à montante dos troncos, há uma grande acumulação do material e à jusante, a cobertura, às vezes, é pobre ou ausente. Blocos superficiais também podem exercer o mesmo papel nestas áreas (Fotos 11, 12 e 13).

O tipo de folhas encontradas no "litter" no 1º domínio, apresenta em geral, comprimento bastante acentuado em relação à largura (folhas de palmeiras), além de ser um material composto por fibras longitudinais e de difícil decomposição microbiana (Fotos 9 e 10). A existência deste tipo de folhas em maior abundância além dos troncos e galhos observados na área, sugere a possibilidade de que a ocorrência de fluxos superficiais sobre o "litter" seja muito grande, principalmente sob condições de saturação. Por outro lado, a canalização promovida poderia ter um papel erosivo intenso, porém descontínuo, nas áreas desprovidas de cobertura.



A espessura dessas camadas apresenta-se em alguns pontos entre 2 e 3 cm, enquanto nas áreas de "represamento" pode chegar até 10 cm.

NO domínio 2, além das folhas de palmeiras, são encontradas diversos outros tipos, em função da diversificação e aumento da cobertura vegetal. A espessura das camadas de "litter" situa-se entre 3 e 4 cm podendo haver zonas de maior acumulação. São encontrados ainda, galhos sobre a superfície, porém em menor quantidade do que na área anterior.

As taxas de decomposição nesta área, têm um significado maior e isto se reflete sobre o tipo de material que apresenta uma camada  $O_2$  melhor representada. A maior diversidade no tipo de folhas também contribui para a ação dos microrganismos. A estrutura e o tipo de material encontrado, sugerem também um potencial de canalização de fluxos sob condições de saturação, porém numa escala aparentemente menor.

Nas áreas do domínio 3, o "litter" é composto basicamente por folhas de gramíneas (gen. Chusquea) com um formato lanceolado bastante proeminente. Variações nesta composição são observadas em função da presença de outros tipos de vegetais, porém em quase toda a área predominam as características acima citadas (Fotos 16 e 17).



A estrutura do "litter" nestas áreas apresenta uma peculiaridade que a distingue dos outros domínios. As folhas dispostas em camadas de acôrdo com o período de queda, são interligadas por fungos filamentosos (hifas) propiciando uma estrutura compacta e pouco permeável. O formato das folhas e sua distribuição segundo um único plano, favorece esta estruturação. Acredita-se, portanto, que esta organização favoreça também a ocorrência de fluxos superficiais.

O domínio 4 é caracterizado pela presença de folhas lanceoladas com comprimento levemente superior à largura, tendendo à forma ovalada. Estas são provenientes dos diversos tipos de vegetais, principalmente árvores, existentes na área. A disposição das folhas sobre o solo se dá em diversos planos, principalmente pelo retorcimento nelas observado (Fotos 18e19).

Neste caso, ao contrário do domínio anterior, a superfície apresenta-se bastante rugosa, além de conter diversas superfícies de acumulação de água externa e internamente às camadas de folhas. A espessura média das camadas está em torno de 3 cm. Esta estrutura acima descrita parece favorecer muito mais aos movimentos verticais da água do que aos fluxos superficiais sobre o "litter", considerando-se também que a declividade do terreno é pequena.

Um detalhe observado praticamente ao longo de toda a vertente, é a presença de uma camada de raízes finas, densamente distribuída na interface solo mineral - folhas, assumindo, muitas vezes, uma estrutura esponjosa. Sua presença deve



ser uma remanescência de outras formas de vegetação da área ou mesmo uma característica da própria vegetação herbácea atual.

Esta camada de raízes tem possivelmente um papel hidrológico importante no que se refere a canalização de pequenos fluxos para o solo. A presença de grãos de quartzo lavados associados a esta camada, fortalece a idéia de um transporte seletivo intenso nesta zona.





FOTOS 9 e 10 - Vista geral das áreas de forte inclinação (domínio vegetal 1). Observa-se que o "litter" é composto basicamente por folhas de palmeiras (gen. *Geonoma* e *Euterpe*) de elevado potencial de canalização superficial de fluxos.





FOTOS 11 e 12 - Aspectos da forma de distribuição do "litter" sobre a superfície do solo nas áreas de forte declive. Nota-se claramente a descontinuidade na acumulação do "litter", além da presença de superfícies canalizadoras de água.





FOTO 13 - A queda de troncos e galhos perpendicularmente a direção da encosta, pode funcionar como elemento de "represamento do litter". Nota-se que as superfícies à jusante são pobremente protegidas pela cobertura de "litter".





FOTOS 14 e 15 - Aspectos da distribuição do "litter" nas áreas de pequena declividade





FOTOS 16 e 17 - Detalhes da composição e estrutura do "litter" nas áreas ocupadas por bambús (gen. Chusqueda). As características das folhas e camadas sugerem o estabelecimento de condições favoráveis à canalização de fluxos (escoamento hipodermico).



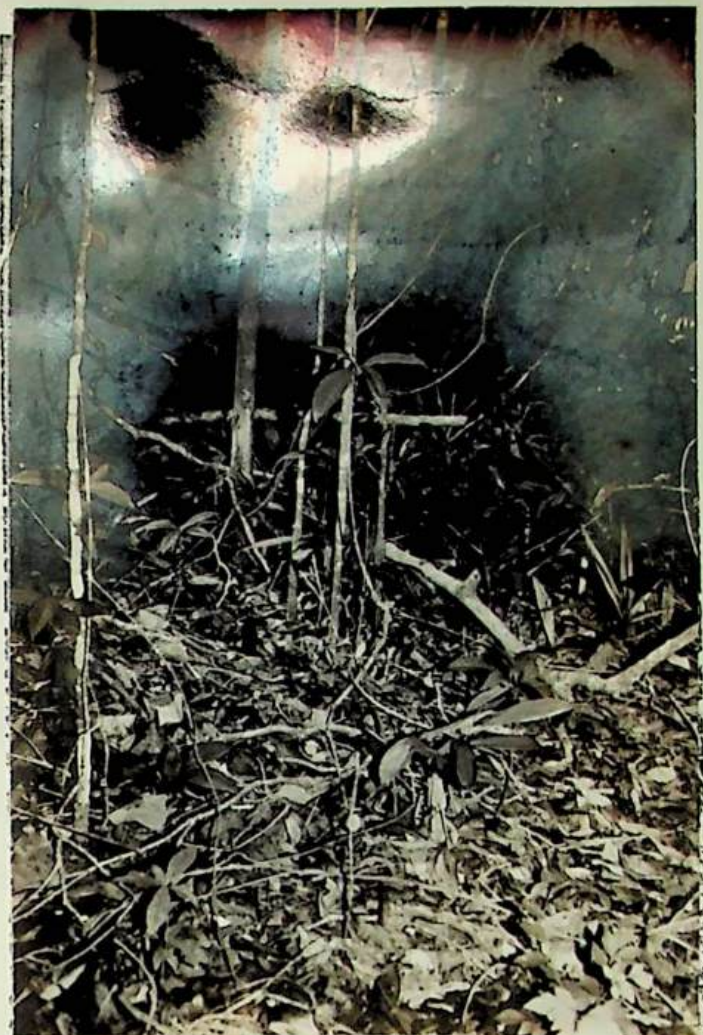


FOTO 18 e 19 - A elevada rugosidade das camadas de "litter", observada sob certos tipos de vegetação, apresenta condições favoráveis ao armazenamento e à infiltração.



#### 4. - O "LITTER" E A HIDROLOGIA DE SUPERFÍCIE

##### 4.1 - "Litter": Capacidade de Retenção e Intercepção.

Para o estudo das características hidrológicas do "litter", quanto à retenção de umidade, foram analisadas 11 amostras, sendo que 5 especificamente para estudo do potencial de retenção e as 6 restantes para potencial de intercepção. Os dados de capacidade de retenção (Camadas  $O_1$  e  $O_2$ ) estão na tabela I. A ordem numérica das amostras correspondem à ordenação de coleta ao longo da vertente de cima para baixo (Fig. 4).

TABELA I

Capacidade de Retenção do "Litter" (Camadas  $O_1$  e  $O_2$ )

AMOSTRA	CAMADA	
	$O_1$	$O_2$
I	134 %	260 %
II	294 %	268 %
III	213 %	335 %
IV	320 %	323 %
V	278 %	302 %

De acôrdo com estes dados, os valores de retenção obtidos são bastante elevados ocorrendo, entretanto, variações em função do tipo de material. A amostra nº I é a que apresenta menor capacidade de retenção (coletada no domínio 1) enquanto que na amostra 4 os valores encontrados foram os mais elevados (domínio 3). Em algumas amostras estes valores aproximam-se ou ultrapassam 300% de retenção, ou seja, para



cada 100g de material pode haver uma retenção de 300g de água. Blow (1955), através do mesmo método aqui empregado, encontrou valores entre 200 e 250% para o "litter" de florestas de carvalho no Tennessee. Lowdermilk (1930), registrou valores em torno de 180% para amostras coletadas na Califórnia, em florestas de pinheiros. Sternberg (1949), através dos dados obtidos na região de Itatiaia (RJ), menciona valores de até 300%, o que coincide com as informações aqui apresentadas. Nota-se então, que os valores de retenção destas amostras apresentaram-se superiores aqueles registrados nos trabalhos efetuados em regiões temperadas.

Os dados mostram ainda, que na maioria dos casos as camadas parcialmente decompostas apresentam potenciais de retenção superiores às camadas não decompostas do "litter".

Não é objetivo deste trabalho o estudo detalhado das razões que induzem à diferenciação na retenção de umidade nas camadas e amostras, entretanto podemos adiantar que estas diferenças relacionam-se com as características intrínsecas à cada tipo de material.

Em primeiro lugar, a desagregação e decomposição microbiana das folhas na camada  $O_2$  leva ao aumento da superfície específica do material e, conseqüentemente, ao maior potencial de reter umidade. As diferenças entre as amostras relacionam-se com certas características como: relação superfície/peso, estrutura foliar, relêvo e constituição orgânica (Voight e Walsh, 1976).



De acôrdo com o trabalho de Voight e Walsh (1976) a retenção de umidade pelo "litter" está relacionada com os fenômenos de absorção e adsorção ou adesão superficial. A absorção depende principalmente da porosidade, ou seja, da possibilidade de penetração de águas nos poros interiores do material. A adsorção depende de diversas características das folhas como: área superficial estrutura, relevo, forma, relação superfície/peso seco e composição orgânica. A relação superfície/peso seco, constitui-se num dos melhores indicadores quantitativos das diferenças de retenção entre vários tipos de folhas. Por exemplo, folhas com o mesmo peso seco podem ter superfícies diferentes, o que irá refletir nos fenômenos de absorção e adsorção.

Visando a uma avaliação qualitativa preliminar sobre a capacidade de intercepção do "litter", ou seja, do potencial de retenção da chuva (em mm) foram analisadas 6 amostras obtidas nos pontos assinalados na figura 4. Os resultados estão contidos na tabela II envolvendo: peso seco (em 400cm<sup>2</sup>), capacidade de retenção (por unidade de peso) e capacidade de intercepção (em 400 cm<sup>2</sup>).

TABELA II

AMOSTRA	Peso Seco (g)	Cap. Ret. (%)	Cap. Inter. (mm)
I	104,1	227	28,4
II	88,8	241	25,8
III	60,2	244	17,5
IV	74,7	285	25,6
V	56,0	174	11,8
VI	81,1	216	21,2



Os dados demonstram uma proporcionalidade direta entre a capacidade de intercepção das amostras e seu peso seco acumulado, o que não ocorre com os valores de retenção. A amostra nº 1 apresenta o maior valor de intercepção, entretanto seu potencial de retenção não é o mais elevado, sendo inferior às amostras 2,3 e 4. A amostra 4 tem maior potencial de retenção (285 g) apesar de que seu peso seco em 400 cm<sup>2</sup> é inferior às amostras 1,2 e 6, entretanto sua capacidade de intercepção é bastante elevada (25,6 mm). As amostras 2 e 4 apresentam uma diferença em torno de 14g entre seus pesos secos, porém a capacidade de intercepção é praticamente a mesma. Entre as amostras 1 e 4 os pesos secos diferem em torno de 30g, entretanto a diferença entre seus potenciais de intercepção é de apenas 2,8mm. Portanto, os valores de intercepção encontrados para as amostras estudadas são bastante elevados, sendo que a retenção da água precipitada não está na dependência apenas do peso seco acumulado, mas das características individuais de cada tipo de material, possivelmente, do estado de decomposição do "litter". Neste caso, diferentes quantidades de material acumulado podem interceptar volumes semelhantes de precipitação o que implica possivelmente, em comportamento distintos de água sobre diferentes coberturas do "litter".

Conforme a explanação metodológica anteriormente feita, estes valores encontrados correspondem às diferenças entre o peso seco das amostras e o peso úmido saturado. A manipulação em laboratório envolve a alteração de estrutura original das camadas, logo, apesar de imprecisão dos resultados em relação às condições naturais, existe uma certa pro -



proporcionalidade que permite a elaboração de conclusões qualitativas importantes.

#### 4.2 - As Variações da Umidade do "litter" e as Implicações Sobre a Distribuição de Umidade na Superfície do Solo.

Os estudos experimentais de campo sobre o comportamento da umidade do "litter" e dos primeiros centímetros do solo, foram realizados após a ocorrência de 2 períodos chuvosos, intercalados por 10 dias. Deste modo, pode-se acompanhar as variações da umidade do "litter" e do solo, antes e após a precipitação. As medições foram realizadas durante todo o mês de julho e início de agosto de 1981. Na fig. 6 estão caracterizados os 2 períodos de precipitação, em termos de volumes diários, e as variações de temperatura ocorridas durante toda a fase de medição. Os dados de precipitação e temperatura foram obtidos, respectivamente, nas estações climatológicas da Capela Mayrink e Alto da Boa Vista (1300 m e 1900m da área estudada).

O 1º período de precipitação apresentou um volume total de 65,5mm distribuídos em 5 dias. Deste total 65% (42,6mm) concentraram-se no 1º dia enquanto os 35% restantes distribuíram-se de forma decrescente, nos 4 dias posteriores. Nestes 4 dias, a distribuição da chuva foi irregular com poucas horas de efetividade (20 horas), em relação ao período total.



O volume total precipitado no 2º período, foi de 32,1mm distribuídos em 2 dias. Deste total 93% (29,7mm) ocorreram no 1º dia e os 7% restantes no 2º dia distribuídos em 6 horas, sendo que entre o 1º e o 2º dia de chuva, houve intervalo de 24 horas.

Quanto à temperatura, pode-se notar que, entre o término da primeira e início da segunda chuva, há uma ascensão gradual dos valores, atingindo 28,4°C. Após o término da segunda chuva, o comportamento da temperatura foi diferente do período anterior, principalmente pelo fato de que a nebulosidade nestes dias foi bastante elevada. Logo, os dois períodos de amostragem apresentaram-se climaticamente diferentes, sendo o primeiro com o céu aberto e temperatura ascendente, e o segundo com elevada nebulosidade e temperatura variável (elevações e reduções).

As amostragens de "litter" e solo foram realizadas após o término dos 2 períodos de chuva, sempre no horário compreendido entre 11 e 13 horas. Os comportamentos da umidade nas amostras do "litter", obtidas nos 3 "quadracts" experimentais delimitados (ver localização na figura 4), estão representados na figura 6.



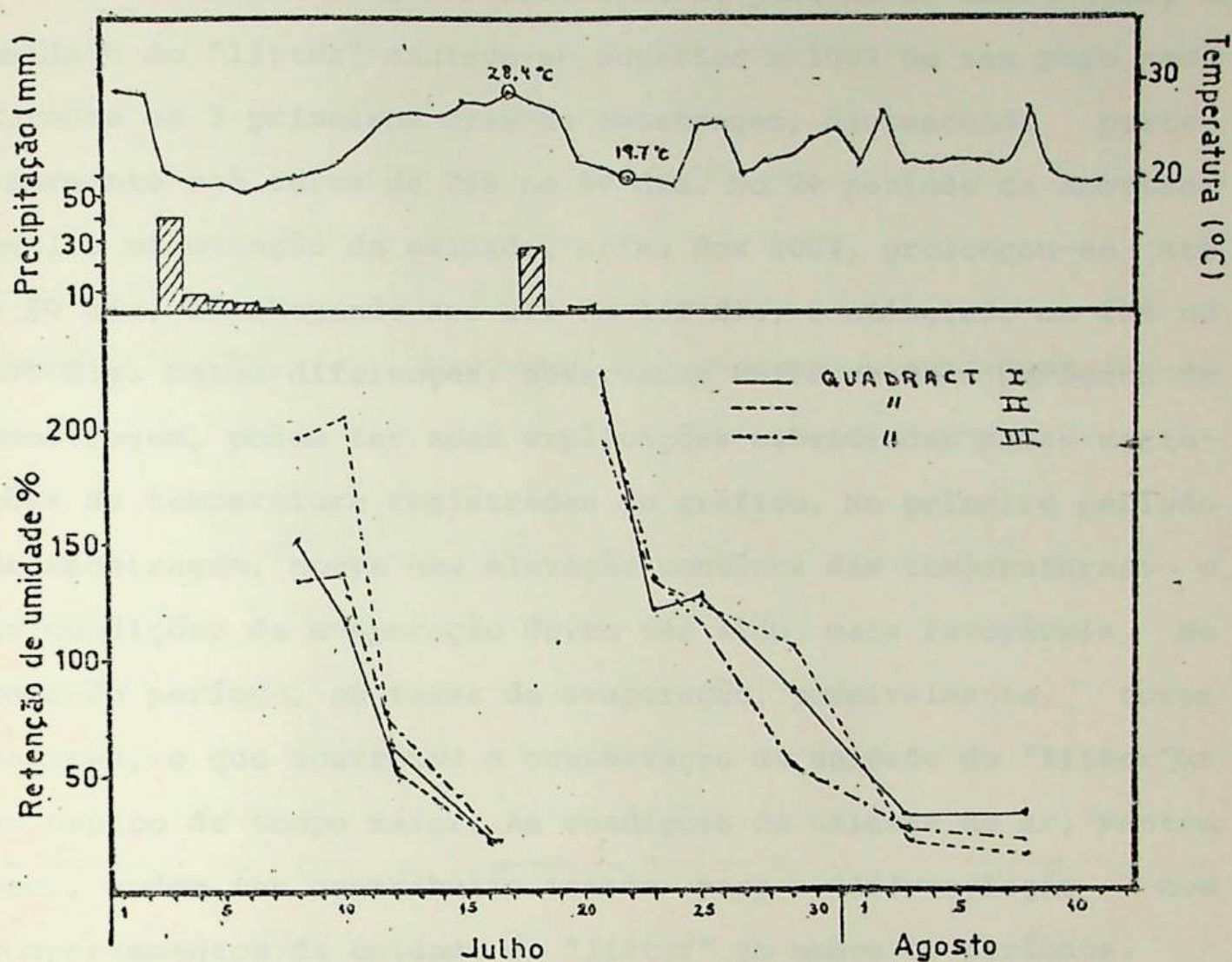


Fig. 6 - Variações na umidade do "litter" após 2 períodos chuvosos sucessivos

Os aspectos das curvas de umidade das amostras são bastante semelhantes entre si, observando-se apenas algumas diferenças numéricas entre elas, que devem ser decorrentes da composição de cada tipo de "litter" e das condições microclimáticas locais (temperatura, evaporação, etc). As diferenças observadas entre as amostras nos primeiros dias de coleta após o término das chuvas, podem estar relacionadas ainda aos valores de interceptação pelos estratos florestais superiores sobre os "quadracts" de amostragem. Podemos supor que nas áreas de maior interceptação pelas copas, a umidade armazenada pelo "litter" apresenta valores inferiores às áreas de menor interceptação. Entretanto, este raciocínio só é válido para condições de não saturação do "litter".



Nas curvas referentes ao 1º período de amostragem, a umidade do "litter" manteve-se superior a 100% de seu peso seco durante os 3 primeiros dias de amostragem, decrescendo posteriormente até cerca de 26% no 9º dia. No 2º período de amostragem, a manutenção da umidade, acima dos 100%, prolongou-se até o 5º dia, só chegando aos 25% no 14º dia, e atingindo os 20% no 19º dia. Estas diferenças, observadas entre os dois períodos de amostragem, podem ter suas explicações subsidiadas pelas variações de temperatura registradas no gráfico. No primeiro período de amostragem, houve uma elevação contínua das temperaturas, e as condições de evaporação devem ter sido mais favoráveis. No segundo período, as taxas de evaporação, possivelmente, foram menores, o que acarretou a conservação da umidade do "litter" por um espaço de tempo maior. As condições de umidade do ar, ventos, etc., podem ter contribuído também para a diferenciação nos comportamentos da umidade do "litter" em ambos os períodos.

A comparação entre os dois períodos de registro mostra, ainda, que os valores de umidade do "litter", imediatamente após o término da primeira chuva, foram inferiores aos valores do início do 2º período, mesmo com um volume precipitado superior. As razões disto parecem situar-se nas características das chuvas, anteriormente descritas. No primeiro caso, a descontinuidade da chuva observada nos 5 dias pode ter dado condições às copas de interceptarem grande parte da precipitação, o que representa uma menor contribuição de umidade para o interior da floresta. Aliado a isso, as condições de evaporação entre os intervalos das chuvas, no primeiro período pode ter contribuído para redução dos valores de umidade do "litter" inicialmente retida.



No segundo caso, a concentração da chuva num período menor não permitiu o estabelecimento das mesmas condições de evaporação supostamente ocorridas no caso anterior.

Um detalhe importante observado no gráfico é a variação média da umidade das amostras de "litter" entre o fim do 1º período de registro e o início do segundo. Esta variação foi em torno de 184%, o que significa que as amostras retiveram cerca de 160% de seu peso (descontando a umidade antecedente de 26%) após a 2ª chuva.

Estes dados refletem um elevado percentual de intercepção pelo "litter", principalmente pelos baixos valores de umidade, antecedente ao 2º período de chuva.

Os valores de umidade dos primeiros 10cm do solo e suas variações no tempo, foram obtidos nos 3 pares de "quadracts" delimitados na área de estudo (3 com "litter" e 3 sem "litter") e estão representados nas figs. 7, 8 e 9. Nos gráficos, pode ser visto claramente que nos "quadracts" com cobertura de "litter" a umidade, na maioria das vezes, apresentou-se mais elevada. Estas diferenças foram mais frequentes entre as amostras do topo do solo, ocorrendo em 90% das amostragens (nos 3 "quadracts"). Em relação aos 5 e 10cm de profundidade, nem sempre a umidade das áreas com cobertura de "litter" apresentou-se superior, e a frequência de ocorrência esteve em 67 e 70%, respectivamente. Isto indica, a princípio, que a presença do "litter" tem uma influência mais significativa sobre a umidade do topo do solo.

Blow (1955), em estudos desenvolvidos em florestas de carvalho, menciona que os 10 primeiros centímetros do solo, em "quadracts" com cobertura de "litter", apresentaram-se 20% mais úmidos do que naqueles desprovidos de cobertura.



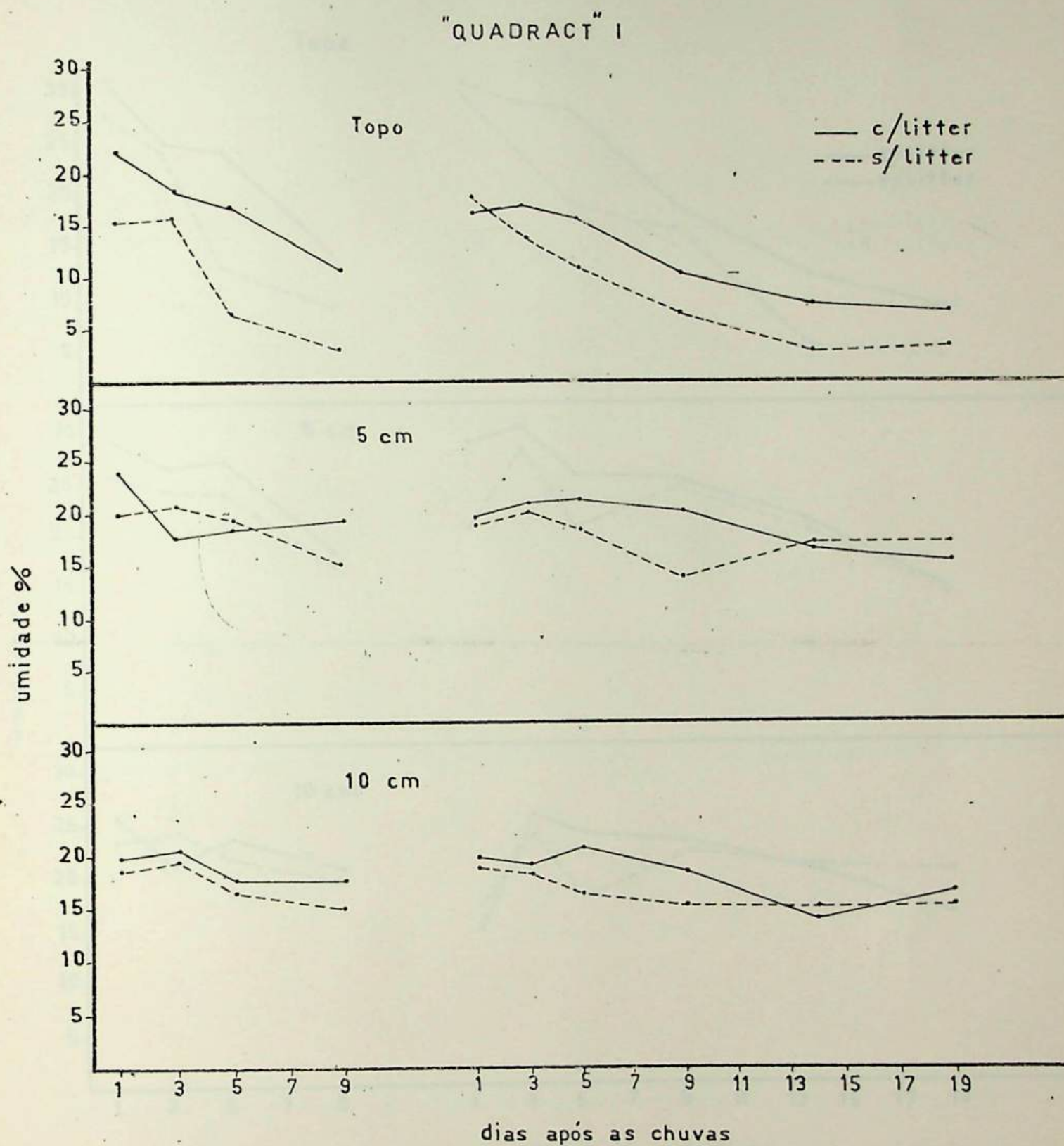


Fig. 7 - Variações de umidade do solo no topo, 5 cm e 10 cm. "Quadreact" I



## "QUADRACT" II

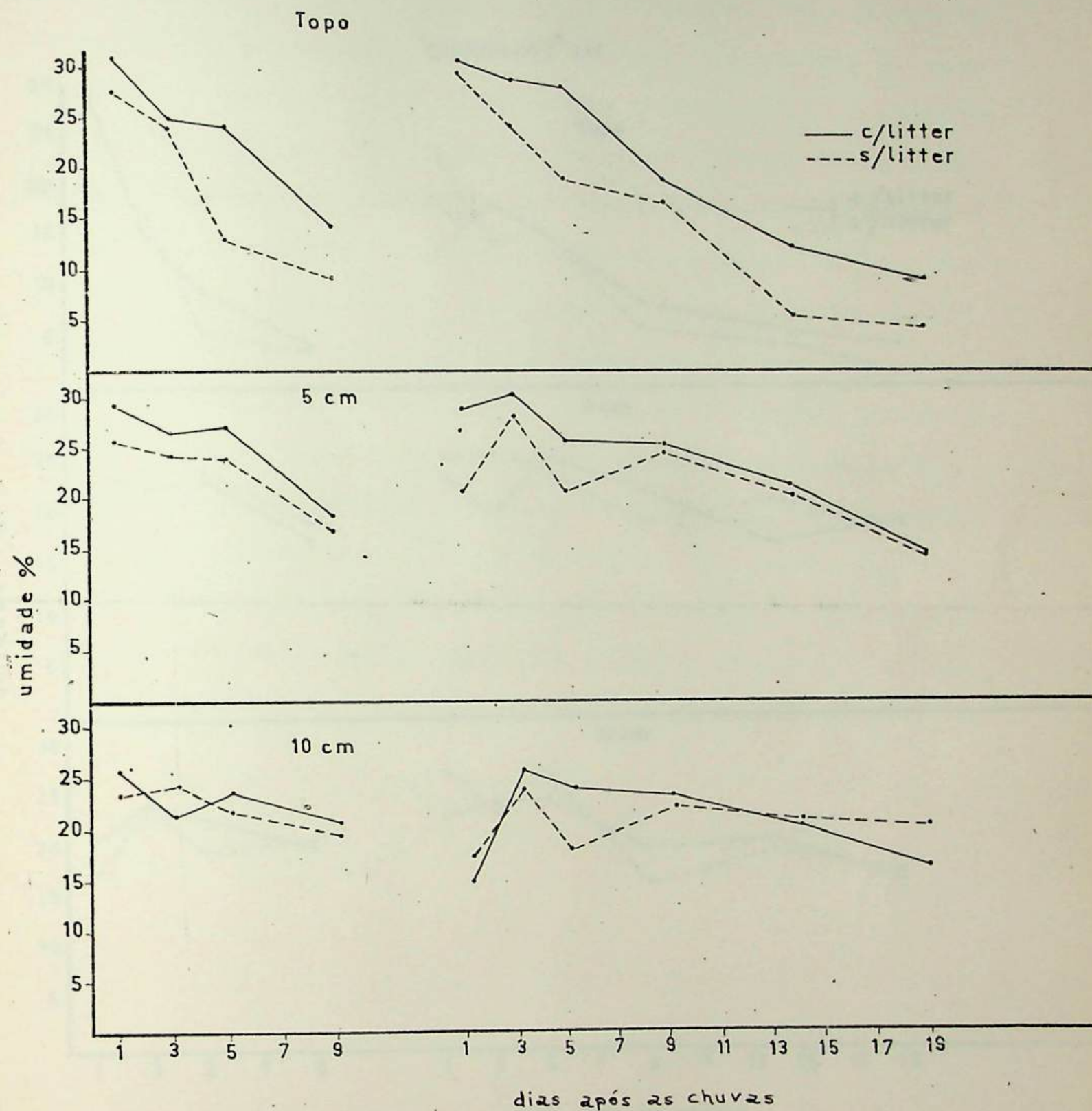


Fig. 8 - Variações da umidade do solo no topo, 5 cm e 10 cm, "Quadract" II



## "QUADRACT" III

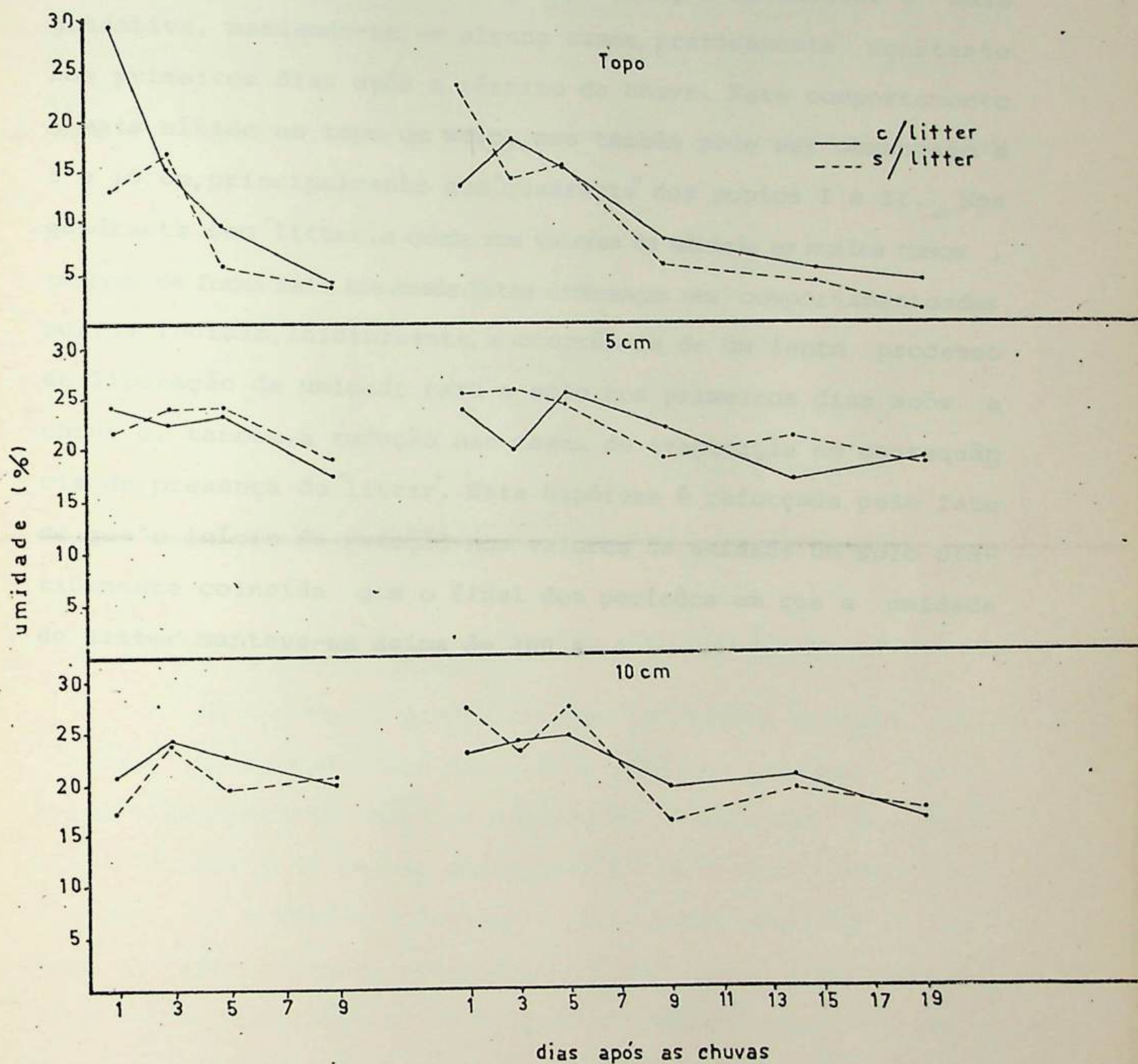


Fig. 9 - Variações de umidade do solo no topo, 5 cm e 10 cm, "Quadreact" III



Sobre as variações no tempo , existe uma proporcionalidade inversa entre a umidade do solo e o número de dias após a chuva, em todos os "quadracts". Entretanto, nas curvas referentes aos "quadracts" com "litter", a redução da umidade é mais gradativa, mantendo-se, em alguns casos, praticamente constante nos primeiros dias após o término da chuva. Este comportamento é mais nítido no topo do solo, mas também pode ser observado a 5 e 10 cm, principalmente nos "quadracts" dos pontos I e II. Nos quadracts sem "litter", a queda nos valores da umidade em muitos casos , ocorreu de forma mais acentuada. Estas diferenças nos comportamentos das curvas indicam, inicialmente, a ocorrência de um lento processo de liberação de umidade para o solo nos primeiros dias após a chuva e, também, a redução nas taxas de evaporação em consequência da presença do "litter". Esta hipótese é reforçada pelo fato de que o início da redução nos valores de umidade do solo praticamente coincide com o final dos períodos em que a umidade do litter manteve-se acima de 100 %.



4.3. - A Influência do "litter" na Infiltração e Escoamento Lateral: Experimentos de Laboratório.

Para execução dos experimentos de laboratório, com os dois "flumes", foi utilizado um tipo de solo cuja caracterização textural está representada na figura 10.

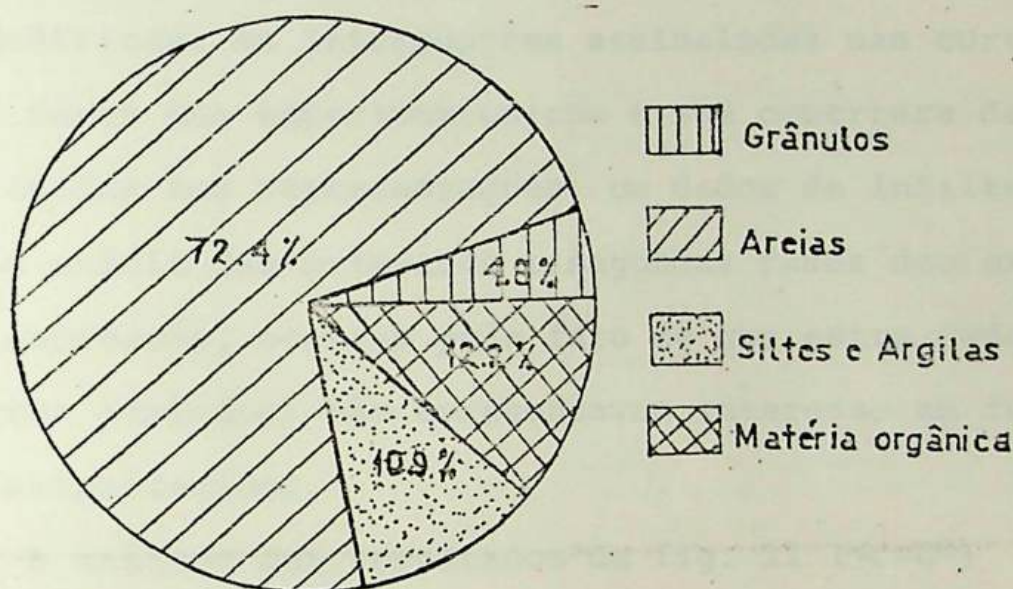


Fig. 10 - Caracterização textural do solo utilizado nas experimentações de laboratório.

A textura é predominantemente arenosa havendo, entretanto, um elevado teor de matéria orgânica (12,2%). A presença dessa matéria orgânica confere ao solo uma estrutura caracterizada pela grande quantidade de agregados orgânicos (grumos). Os pequenos agregados (< 1cm) foram mantidos no processo de normalização, pois, como foi mencionado anteriormente, eles representam objetos de análise das modificações estruturais ocorridas durante os experimentos.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos com o uso dos "flumes" número 1 e 2.



4.3. a) "Flume" nº1

Os resultados referentes aos 12 experimentos realizados estão resumidos nos gráficos das figs. 11, 12 e 13.

Em cada uma das figuras estão representados os resultados dos experimentos realizados com ângulo de inclinação constante. Nelas estão registradas as variações ocorridas nos valores de infiltração na amostra submetida a diferentes intensidades pluviométricas. As interrupções assinaladas nas curvas delimitam as 2 fases dos experimentos (com e sem cobertura de "litter") Foram suprimidas nas representações, os dados de infiltração referentes ao início das primeiras e segundas fases dos experimentos. Esta supressão, ocorreu pelo fato de que estes dados iniciais (curtos períodos) não apresentavam interesse em função dos objetivos estabelecidos.

A análise dos resultados da fig. 11 ( $\alpha = 0^\circ$ ) mostra que enquanto o solo esteve recoberto com a camada de "litter", os valores de infiltração mantiveram-se praticamente constantes. Como pode ser visto, estes valores são proporcionais às intensidades das chuvas empregadas. Após a retirada do "litter", o comportamento da infiltração modifica-se, sendo que nas intensidades mais elevadas (45 e 75mm/h) as alterações são imediatas, decrescendo até valores bem reduzidos. Nas chuvas menos intensas (15 e 30mm/h), houve um período caracterizado por um ligeiro aumento nos valores, que decresceram posteriormente. Estas elevações podem ser atribuídas ao fato de que a capacidade de infiltração do solo era superior às intensidades pluviométricas empregadas. A medida que a amostra submetia-se a ação direta das gotas de chuva, certas alterações no topo do solo se processaram, refletindo na queda da infiltração. Nas intensidades mais elevadas, (45 e 75mm/h) tudo indica que as alterações foram muito mais rápidas.



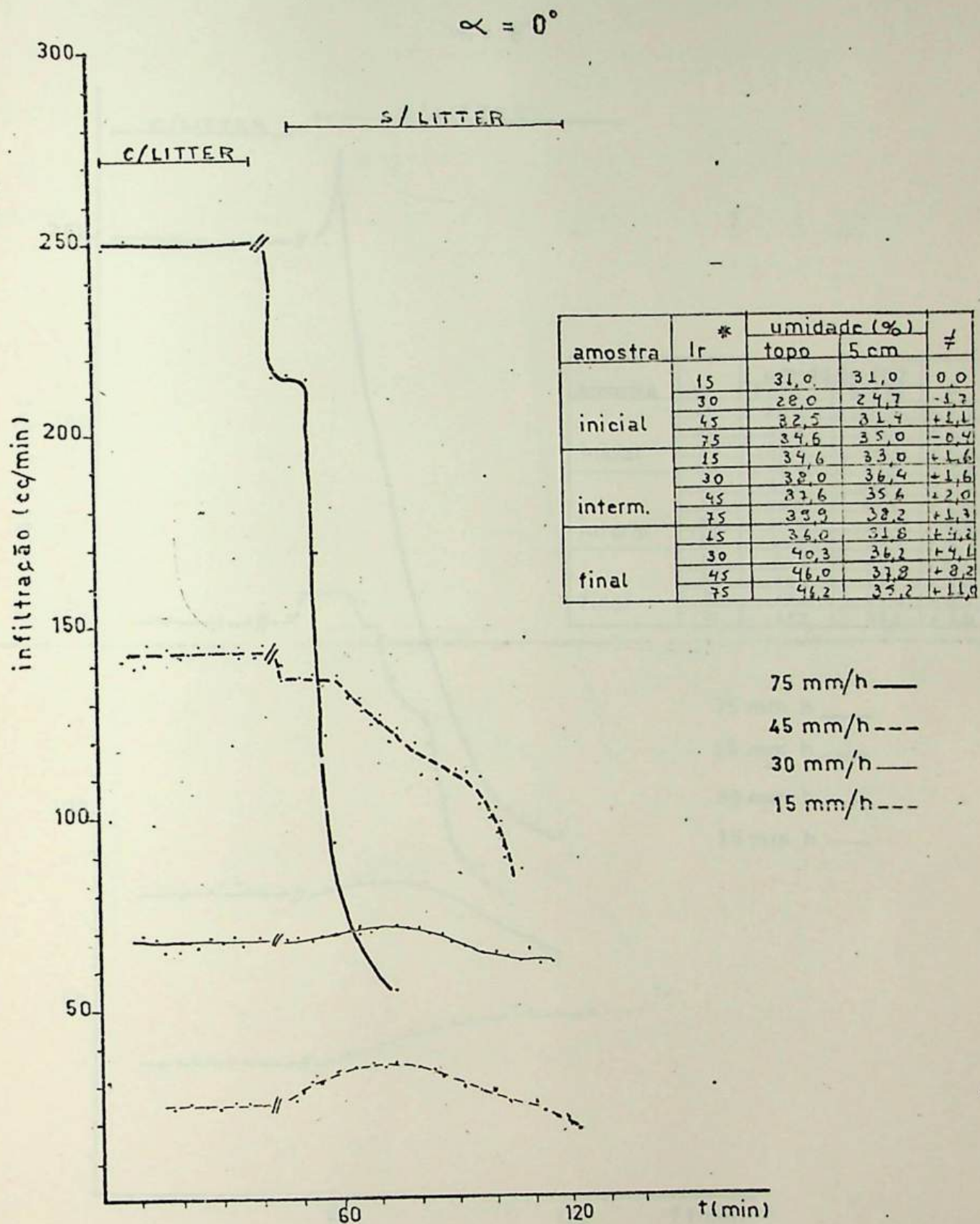


Fig. 11 - Comportamento da infiltração nos experimentos realizados com o "Flume" nº 1,  $\alpha = 0^\circ$

com

\* Intensidade da Chuva (mm/h)



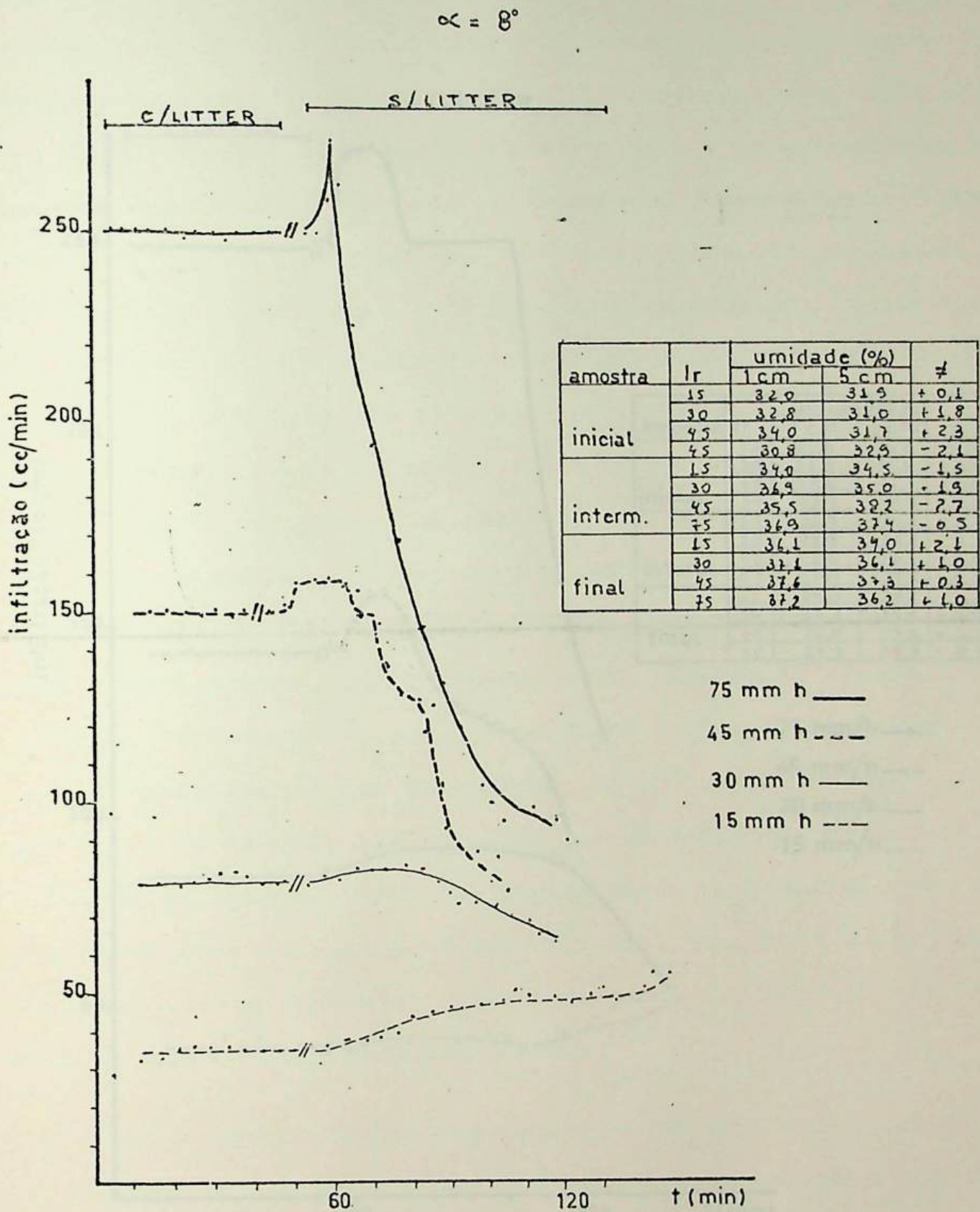


Fig. 12 - Comportamento da infiltração nos experimentos com "Flume" nº 1,  $\alpha = 8^\circ$



$$\alpha = 15^\circ$$

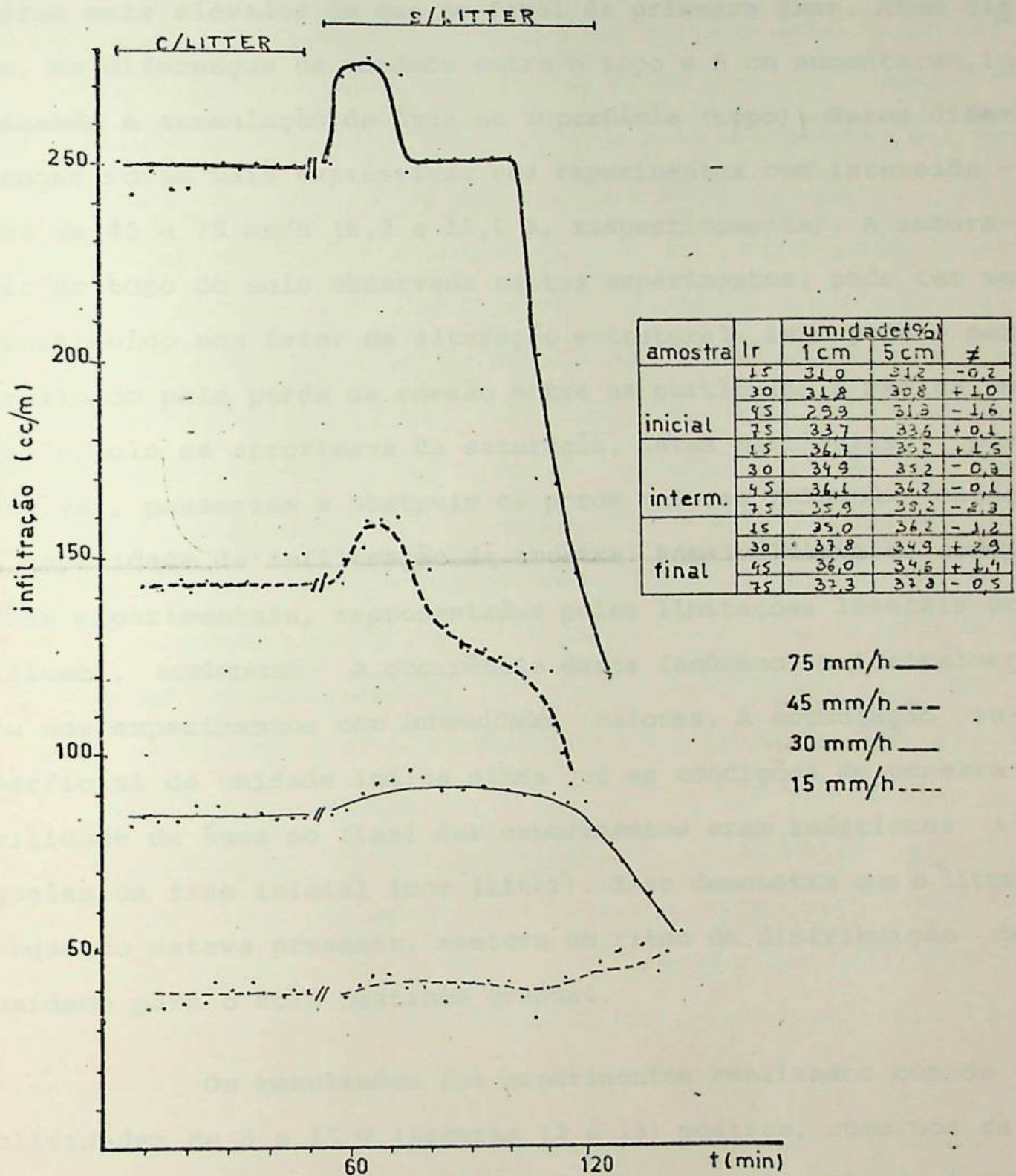


Fig. 13 - Comportamento da infiltração nos experimentos realizados com "Flume" nº 1,  $\alpha=15^\circ$ .



A tabela anexa ao gráfico contém os dados de umidade superficial e a 5 cm de profundidade do início, fim da primeira fase (amostra intermediária) e final dos experimentos. Estes dados mostram que no final dos experimentos a umidade superficial apresentou valores mais elevados do que no final da primeira fase. Além disso, as diferenças de umidade entre o topo e 5 cm aumentaram, indicando a acumulação de água na superfície (topo). Estas diferenças foram mais expressivas nos experimentos com intensidades de 45 e 75 mm/h (8,2 e 11,0 %, respectivamente). A saturação do topo do solo observada nestes experimentos, pode ter se constituído num fator de alteração estrutural. Isto pode ser explicado pela perda de coesão entre as partículas à medida em que o solo se aproximava da saturação. Estas partículas, por sua vez, passariam a obstruir os poros maiores reduzindo então, a capacidade de infiltração da amostra. Possivelmente as condições experimentais, representadas pelas limitações laterais do "flume", aceleraram a ocorrência deste fenômeno, principalmente nos experimentos com intensidades maiores. A acumulação superficial de umidade indica ainda que as condições de penetrabilidade da água no final dos experimentos eram inferiores a aquelas da fase inicial (com "litter"). Isso demonstra que o "litter" enquanto esteve presente, manteve um ritmo de distribuição de umidade para o solo bastante gradual.

Os resultados dos experimentos realizados com declividades de 8 e 15 ° (figuras 12 e 13) mostram, como nos casos anteriores, sensíveis alterações no comportamento da infiltração após a remoção do "litter". Entretanto, algumas diferenças podem ser notadas. Nos experimentos de 15 mm/h (8 e 15°) a



infiltração não decresce nas fases finais, mantendo-se mais elevada durante todo o período analisado (em torno de 90 minutos). Nos experimentos com 30, 45 e 75 mm/h, entre a remoção do "litter" e as quedas nos valores de infiltração, ocorreram elevações nas curvas durante períodos variáveis. Além disso, a umidade do solo, apesar de sofrer pequenos aumentos no final dos experimentos, não apresentou diferenças tão significativas entre o topo e 5 cm. Certamente a declividade da amostra teve participação na ocorrência de fluxos superficiais, reduzindo a possibilidade de acumulação de umidade nos primeiros centímetros. A ocorrência destes fluxos, reduzindo a acumulação superficial facilitaria a movimentação vertical da água, o que de certa forma pode explicar as elevações observadas nas taxas de infiltração no início das fases finais dos experimentos. Entretanto, um outro processo decorrente das próprias condições experimentais, pode ter influenciado no comportamento da infiltração. A ocorrência de fluxos, principalmente subsuperficiais, ao serem limitados na parte frontal do "flume" ficaram retidos e um certo volume de água migraria verticalmente somando-se à água infiltrada ("efeito de borda"). Nos experimentos com ângulo de 15°, os aumentos na infiltração e os tempos de manutenção destes valores foram maiores do que nos experimentos de 8°, o que reforça a hipótese anterior pois, quanto maior a declividade mais pronunciado se desenvolveria o "efeito de borda" no "flume".

Tendo em vista as questões levantadas em torno de certos aspectos dos resultados apresentados, foram realizados novos experimentos com o uso de um segundo "flume".



4.3.b) "Flume" nº 2

A realização dos experimentos com este "flume" teve por objetivo a melhor compreensão dos resultados obtidos inicialmente, visto que a acumulação de umidade em decorrência do efeito de borda, parece ter influenciado as curvas de infiltração. Além disto, os resultados deste segundo "flume" visam também uma avaliação da influência do "litter" na geração de fluxos superficiais e subsuperficiais, tendo em vista a possibilidade de sua medição. Estes resultados estão contidos nas figuras 14, 15, 16 e 17.

O comportamento das curvas em todos os experimentos é bastante semelhante, ou seja:

- nas primeiras fases dos experimentos (com "litter") nota-se a estabilização dos valores de infiltração e de escoamentos laterais (superficiais e subsuperficiais);
- nas segundas fases, observa-se que a infiltração sofre redução enquanto os fluxos laterais passam a apresentar valores mais elevados.

A redução das taxas de infiltração e a elevação nos valores de escoamento lateral após a remoção da camada de "litter" podem estar relacionados com as modificações estruturais desenvolvidas na superfície da amostra. Além disso, o "litter" ao condicionar a liberação gradativa de água para o solo, favorece a manutenção das condições de transmissão vertical de umidade. Após a sua remoção, um volume maior de água passa a elevar os valores de umidade da amostra, que estando submetida a uma certa declividade e tendo excedido seus limites de transmissão vertical, torna-se favorável à ocorrência de fluxos laterais.



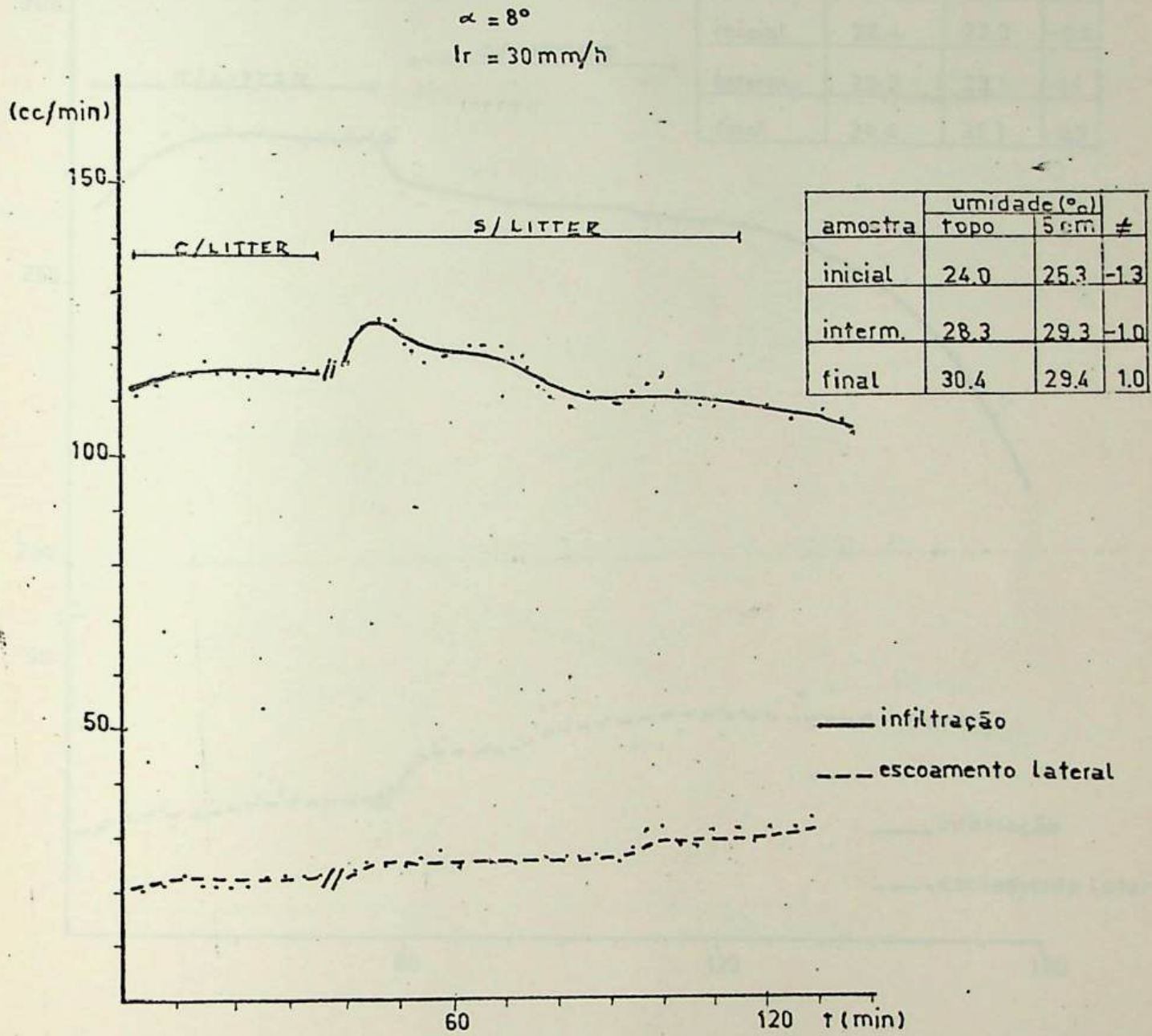


Fig. 14 - Comportamento da infiltração e escoamento lateral no "Flume" nº 2  
 $\alpha = 8^\circ$ ,  $I_r = 30 \text{ mm/h}$ .



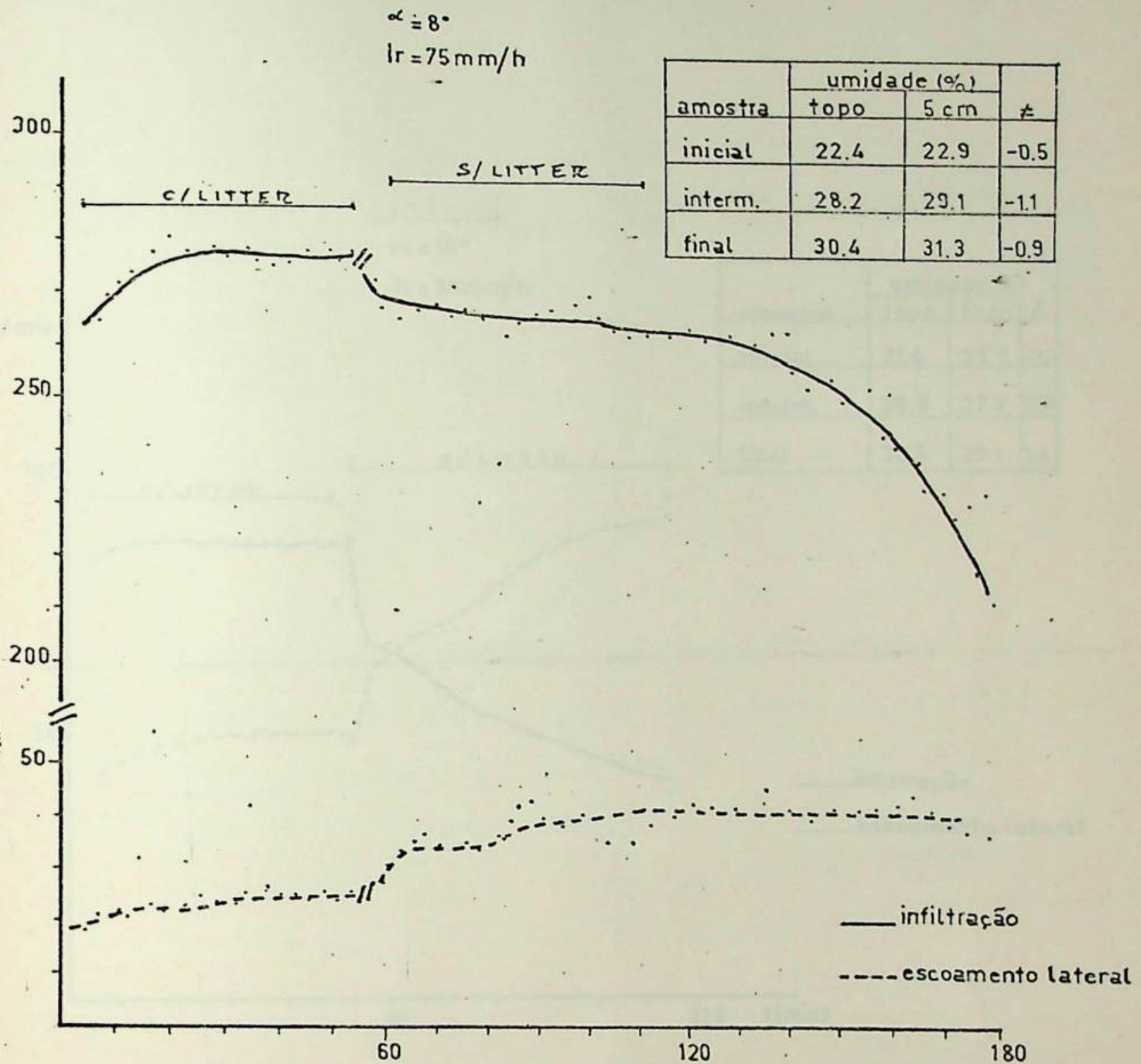


Fig. 15 - Comportamento da infiltração e escoamento lateral no "Flume" nº 2  
 $\alpha = 8^\circ$ ,  $I_r = 75 \text{ mm/h}$ .







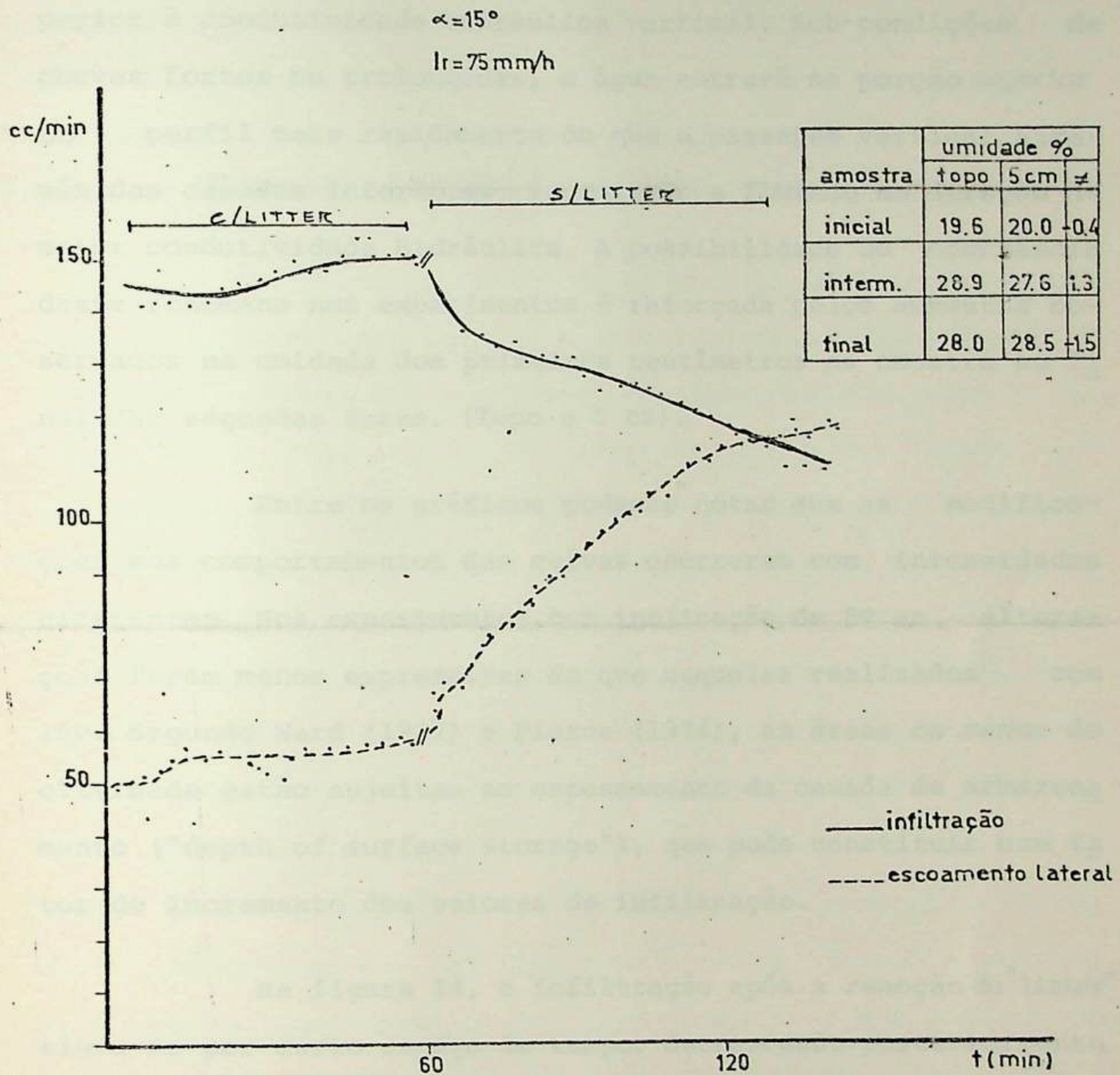


Fig. 17 - Comportamento da infiltração e escoamento lateral no "Flume" nº 2  
 $\alpha = 15^\circ, I_r = 75 \text{ mm/h.}$



Esta hipótese baseia-se na citação feita por Ward (1967), de que a geração de fluxos subsuperficiais é favorecida quando a condutividade hidráulica lateral é substancialmente superior à condutividade hidráulica vertical. Sob condições de chuvas fortes ou prolongadas, a água entrará na porção superior do perfil mais rapidamente do que a passagem vertical através das camadas inferiores, acumulando e fluindo na direção da maior condutividade hidráulica. A possibilidade de ocorrência deste fenômeno nos experimentos é reforçada pelos aumentos observados na umidade dos primeiros centímetros da amostra ao final das segundas fases. (Topo e 5 cm).

Entre os gráficos podemos notar que as modificações nos comportamentos das curvas ocorreram com intensidades diferentes. Nos experimentos com inclinação de 8º as alterações foram menos expressivas do que naqueles realizados com 15º. Segundo Ward (1967) e Pierce (1974), as áreas de menor declividade estão sujeitas ao espessamento da camada de armazenamento ("depth of surface storage"), que pode constituir num fator de incremento dos valores de infiltração.

Na figura 14, a infiltração após a remoção do "litter" eleva-se por curto espaço de tempo, decrescendo posteriormente. Isso pode estar relacionado com o fato de que a intensidade de chuva (30 mm/h) era menor que a capacidade de infiltração da amostra e, pelo menos durante alguns minutos, as taxas de infiltração mantiveram-se mais elevadas até que certas modificações estruturais ocorressem.



Nos experimentos com 15° (figuras 16 e 17) as modificações foram tão marcantes, que acarretaram a inversão das curvas nas fases finais, ou seja, os valores de escoamento lateral ultrapassaram os valores de infiltração. Isto significa que sob condições de forte inclinação, o "litter" desempenha um importante papel na redução das taxas de escoamento lateral, mantendo os níveis de condutividade hidráulica vertical.

A comparação entre os valores de umidade do solo registrados nestes experimentos e naqueles realizados como primeiro "flume", mostra que a saturação da superfície da amostra no "flume" nº 2 (topo e 5 cm) foi inferior, mesmo nos finais dos experimentos. Isto demonstra que o "efeito de borda" no "flume" nº 2 foi menos significativo, principalmente pela drenagem proporcionada pela presença do segundo compartimento (preenchido com areia grossa). Quanto ao comportamento das curvas, podemos agora afirmar que as elevações observadas nos valores da infiltração após o término das primeiras fases ("flume" nº 1, fig. 12 e 13), foram decorrentes, em parte, do incremento nas taxas de fluxos laterais. Portanto, certos aspectos do comportamento das curvas referentes aos resultados do primeiro "flume" estavam relacionados com anormalidades experimentais, e que puderam ser melhor compreendidos através da realização de um segundo conjunto de experimentos pelo uso do "flume" nº 2,

Os experimentos demonstraram que a presença do "litter" permite a manutenção das taxas de infiltração no solo. Estes resultados confirmam as constatações feitas nos trabalhos desenvolvidos por certos autores. Duley (1939), num trabalho experimental envolvendo a colocação e remoção de uma camada



de "palha" sobre a superfície do solo exposto à chuvas simuladas, observou uma redução da ordem de 0,95 pol/h após a retirada da "palha". Johnson (1940) em estudos de campo, registrou valores de infiltração 39,5 % mais elevados em "plots" com cobertura de "litter" em relação aqueles sem cobertura. Arend (1941), determinou valores médios de redução da infiltração em torno de 18 % após a remoção do "litter" em áreas florestadas no Missouri. Lowdermilk (1930) assinala que a presença do "litter", além de manter os níveis de percolação vertical nos solos, reduz sensivelmente as taxas de escoamento superficial e a carga de sedimentos erodidos. Entre estes autores, existe um consenso em torno de que a ação do "litter" reduz a compactação superficial e o processo de selagem, responsáveis pelo incremento dos valores de escoamento superficial em detrimento da infiltração.

Visando a detecção das razões que levaram às alterações nos comportamentos da infiltração e escoamento lateral, referentes aos resultados do presente trabalho, foram realizadas análises micromorfológicas das amostras obtidas no "flume" nº 1. Estas análises, juntamente com a documentação fotográfica das lâminas, são apresentadas a seguir.

#### 4.3.c) Análises Micromorfológicas

Face aos problemas técnicos surgidos no processo de impregnação e laminação das amostras, nem todas as lâminas puderam ser analisadas. Dos 12 experimentos realizados com o "flume" nº 1, totalizando 36 lâminas do topo e 36 lâminas de subsuperfície (5cm), somente os resultados de 8 experimentos poderão ser aqui discutidos, pois 19 lâminas foram danificadas ou encontram-se tecnicamente precárias. Para cada experimento realizado, e-



xiste uma sequência de lâminas obtidas no início, final da primeira fase (momento da remoção do "litter") e final da segunda fase, do topo e 5 cm. de profundidade.

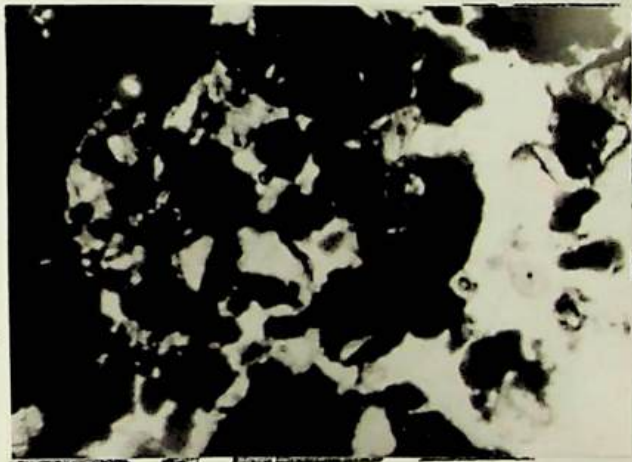
AMOSTAS DO TOPO DO SOLO

Experimento I

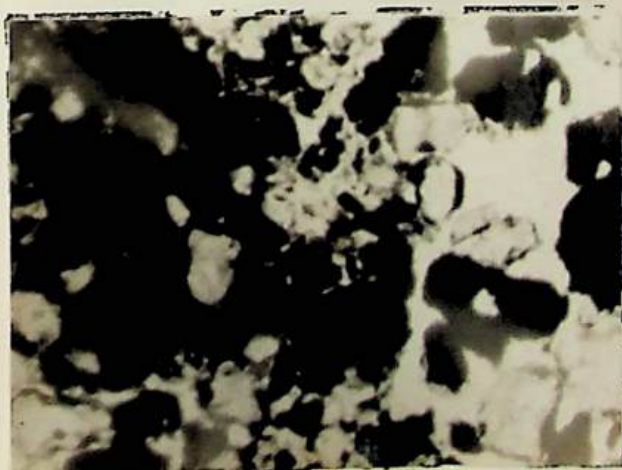
Intensidade da chuva - 30 mm/h

Inclinação do "flume" - 0°

Lâminas analisadas - Final da 1ª e 2ª fase



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm





A comparação entre as 2 amostras permite a identificação de pequenos indícios de alteração estrutural no final do experimento. O principal indicador dessas modificações são os agregados que no final da 1ª fase (com "litter") apresentaram-se predominantemente arredondados, tornando-se ligeiramente alterados no final do experimento. Estas modificações são representadas pela ocorrência de pequenas fissuras nos agregados, além de pequenas alterações em sua forma.

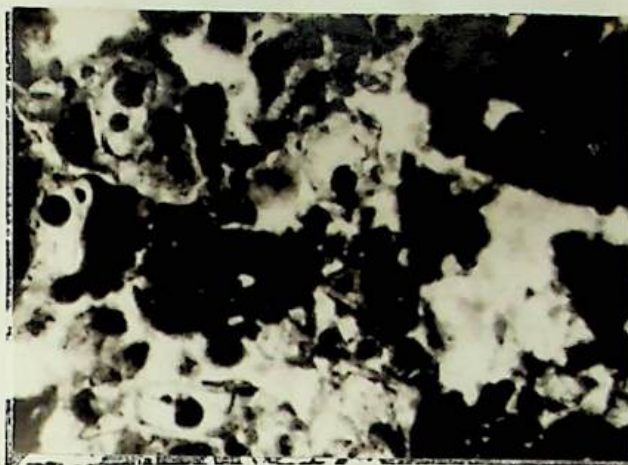


## Experimento II

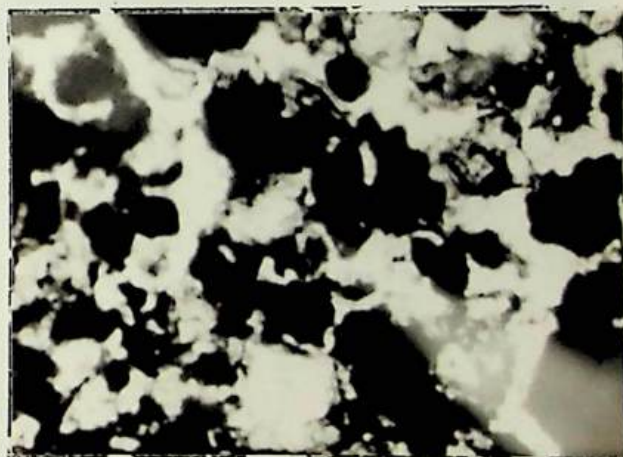
Intensidade da chuva - 45 mm/h

Inclinação do "flume" - 0°

Lâminas analisadas - Final da 1ª e 2ª fases



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  
|-----|

Como no caso anterior, pequenos indícios de alteração na morfologia dos grumos podem ser notados em alguns pontos da lâmina no final do experimento, ou seja, fissuras e desagregação.



## Experimento III

Intensidade da chuva - 15 mm/h

Inclinação do "flume" - 8°

Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm

Nota-se que nesta sequência de lâminas não ocorreram modificações estruturais sensíveis, permanecendo tanto a forma dos agregados como a porosidade inalterados durante o experimento.

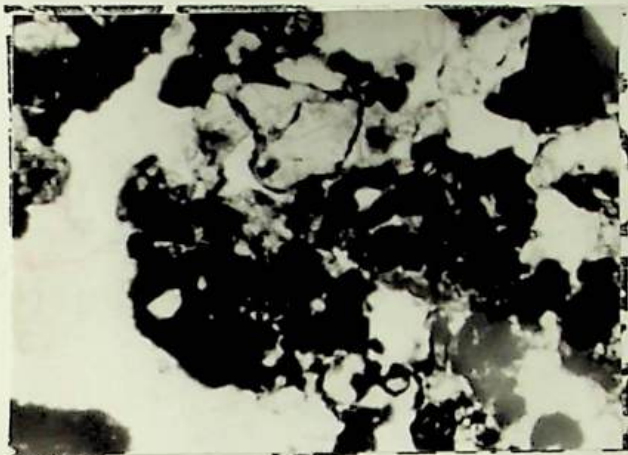


## Experimento IV

Intensidade da chuva - 30 mm/h

Inclinação do "flume" - 8°

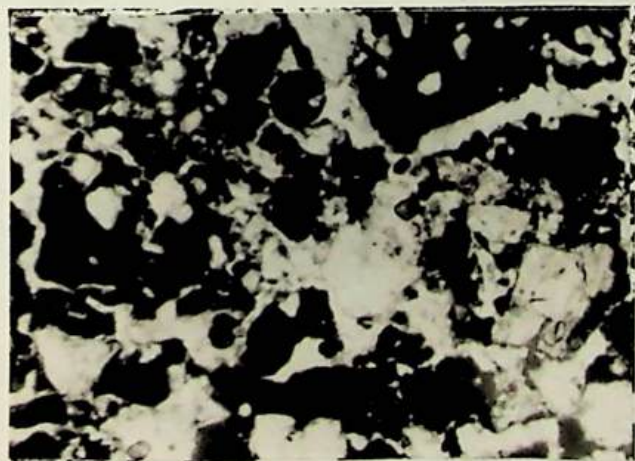
Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  
|-----|



Neste caso, ocorreram modificações quantitativas e qualitativas nítidas na sequência de lâminas. Quantitativamente, houve redução da porosidade da amostra no final do experimento. Esta diminuição da porosidade decorreu de alterações qualitativas envolvendo a fissuração e desestruturação dos grumos. Estes, nas duas primeiras lâminas, aparecem individualizados e arredondados, o que não ocorre na 3ª lâmina. Uma outra característica pode ser observada nas lâminas envolvendo a presença dos grãos de quartzo. Na lâmina do início do experimento, os grãos aparecem envolvidos por finas camadas de sedimentos (filmes de argilas) e nos espaços intergrumos estes sedimentos também aparecem formando a estrutura plásmica\* da amostra. Na lâmina do final da 2ª fase, os grãos aparecem lavados e individualizados e o plasma praticamente desaparece. No final do experimento a estrutura plásmica reaparece (decorrente da ruptura dos agregados) e os grãos de quartzo apresentam-se novamente envolvidos por sedimentos finos.

\* A estrutura plásmica, em micromorfologia, constitui a massa argilosa de um solo. Esta massa argilosa envolve os grãos e os vazios (poros).

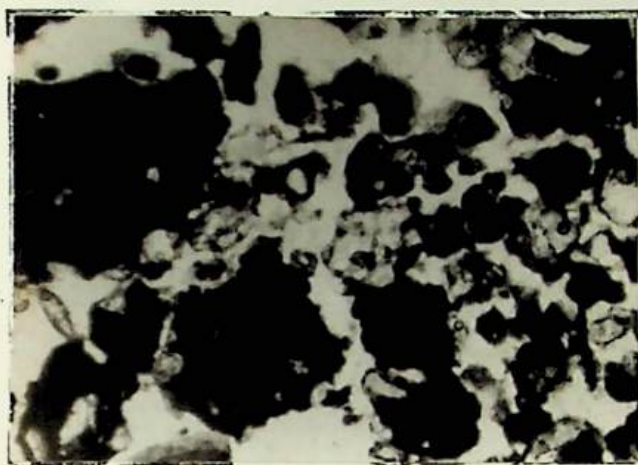


## Experimento V

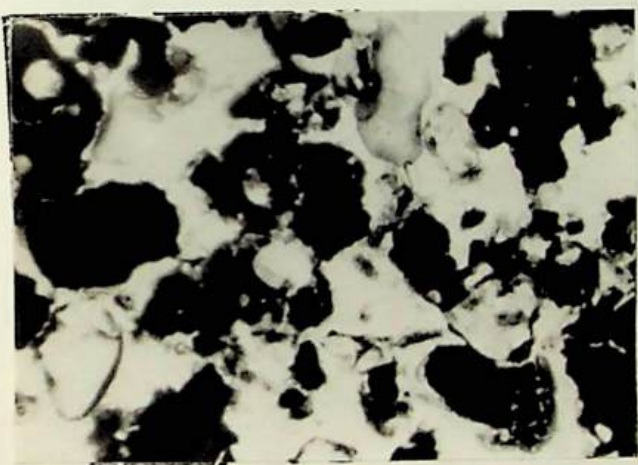
Intensidade do "flume-45 mm/h

Inclinação da amostra - 8°

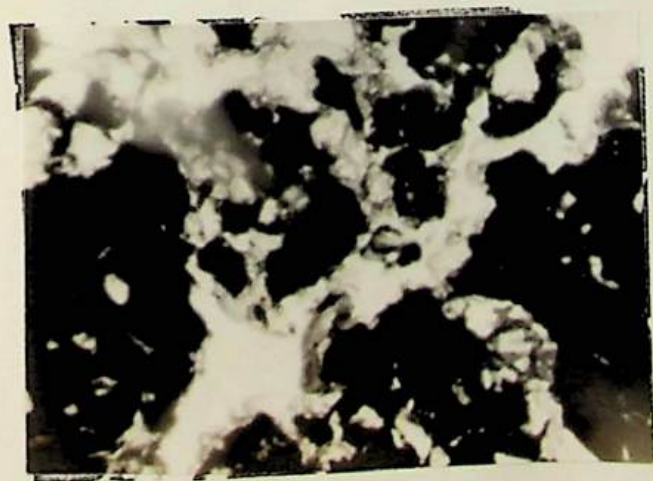
Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm



Para este experimento, a mesma análise feita anteriormente pode ser empregada, enfatizando-se que na lâmina do final da 1ª fase os grãos de quartzo estão bem individualizados e lavados como pode ser constatado na própria fotografia.

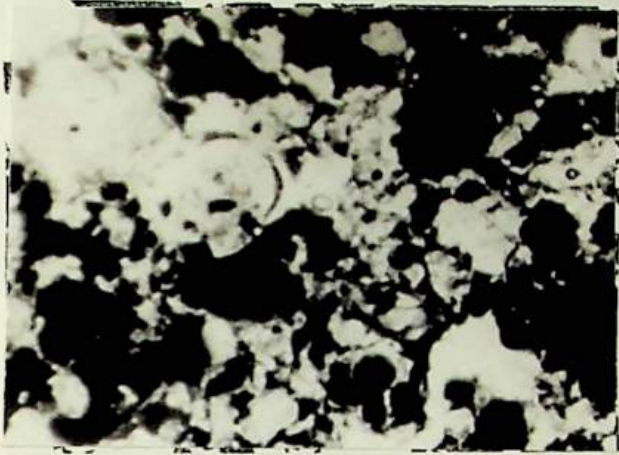


## Experimento VI

Intensidade da chuva - 30 mm/h

Inclinação do "flume" - 15°

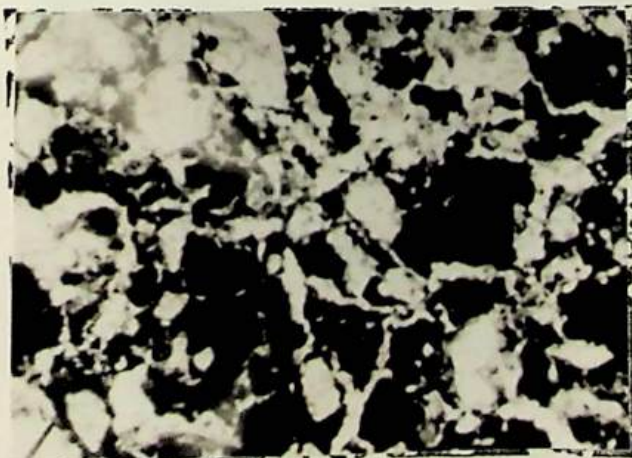
Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm



Pode-se notar grande redução da porosidade acompanhada da modificação no formato dos agregados. A estrutura plásmica observada na lâmina do início do experimento, praticamente desaparece no final da 1ª fase e reaparece no final do experimento. Mais uma vez, os grãos de quartzo encontram-se individualizados e lavados na lâmina do final da 1ª fase.

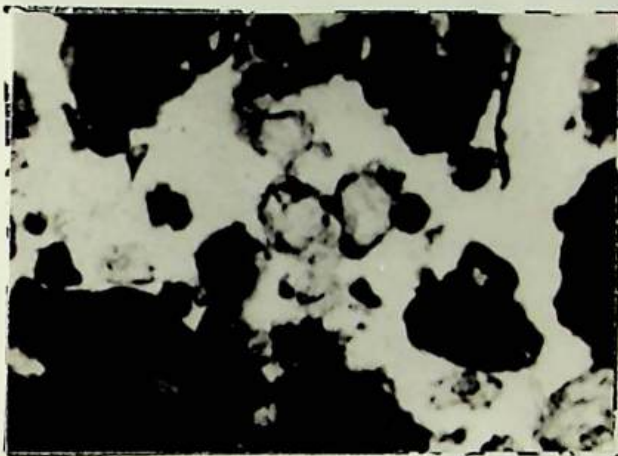


## Experimento VII

Intensidade da chuva - 45 mm/h

Inclinação do "flume" - 15°


Lâminas analisadas - Início do experimento e final da 2ª fase



Início do experimento



Final da 2ª fase

1 mm  


Apesar da ausência da lâmina referente ao final da 1ª fase, observa-se claramente a redução da porosidade do solo pela redução dos espaços interagregados. Não foram observadas, modificações qualitativas.

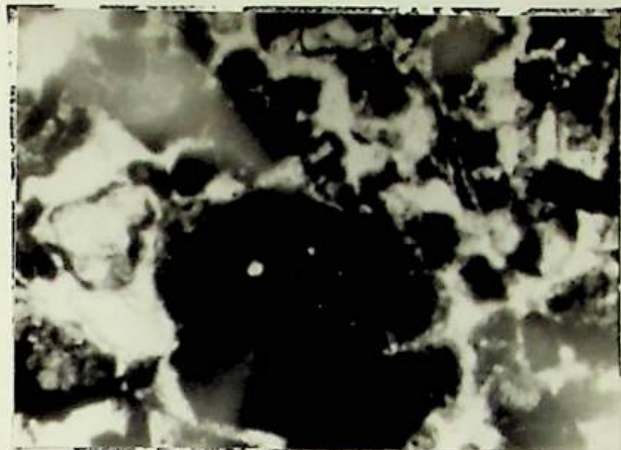


## Experimento VIII

Intensidade da chuva - 75 mm/h

Inclinação do "flume" - 15°

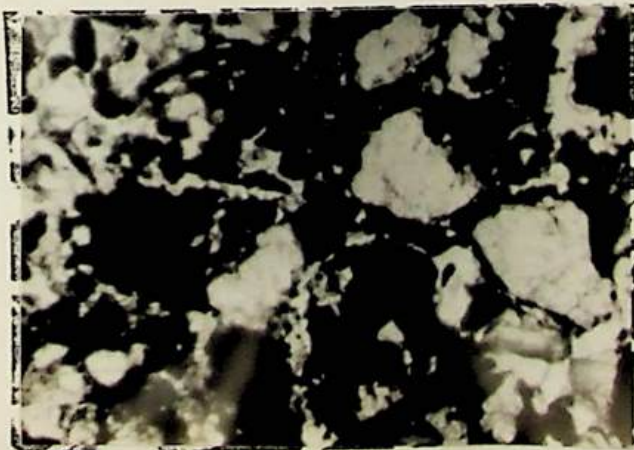
Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  
┌───┐



A desagregação dos grumos no final do experimento acarretou a redução da porosidade e o surgimento da estrutura plásmica. Este plasma é observado no início do experimento e desaparece no final da 1ª fase. Os grãos de quartzo aparecem lavados e os grumos individualizados na lâmina do final da 1ª fase.



Amostras de Subsuperfície ( 5 cm )

A análise das lâminas das amostras de 5 cm em todos os experimentos, não detectou a ocorrência de alterações quantitativas e qualitativas significativas entre si. Foram selecionadas, para efeito ilustrativo, algumas sequências de lâminas que são mostradas à seguir. As lâminas selecionadas referem-se aos experimentos III, IV, VI, e VIII.



## Experimento III

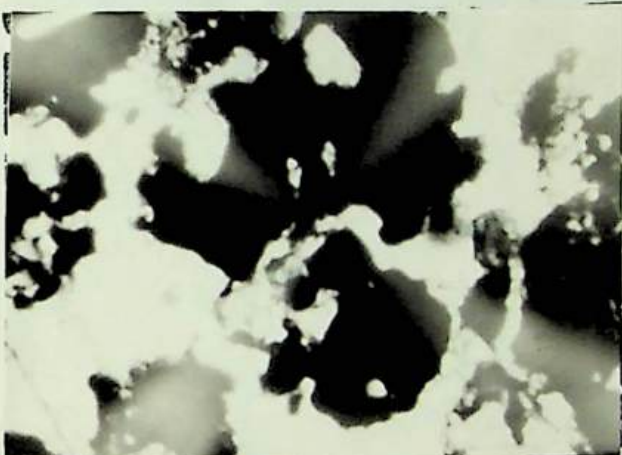
Intensidade da Chuvã - 15 mm/h

Inclinação do "flume" -  $8^{\circ}$ 

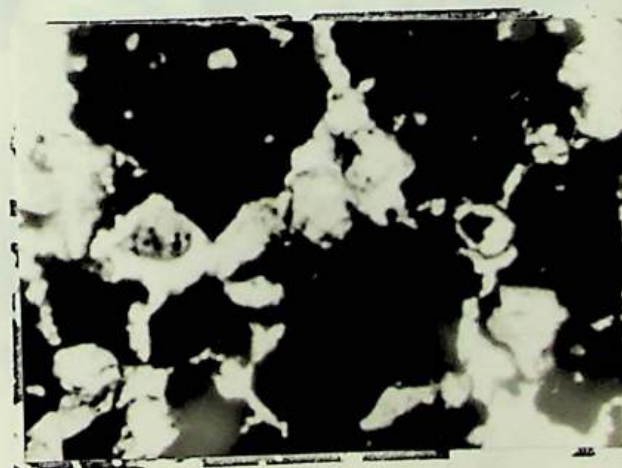
Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  
—|—

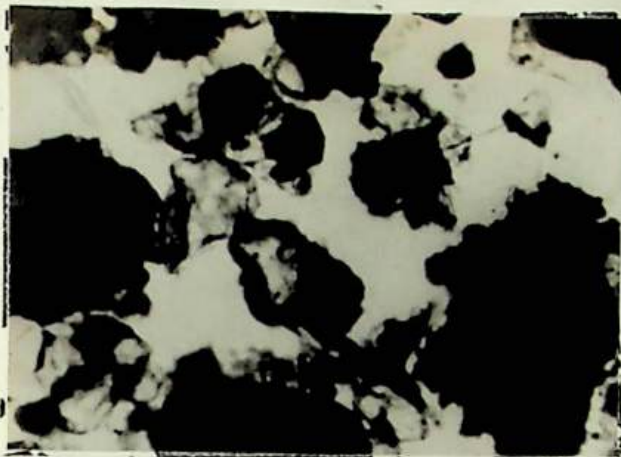


## Experimento IV

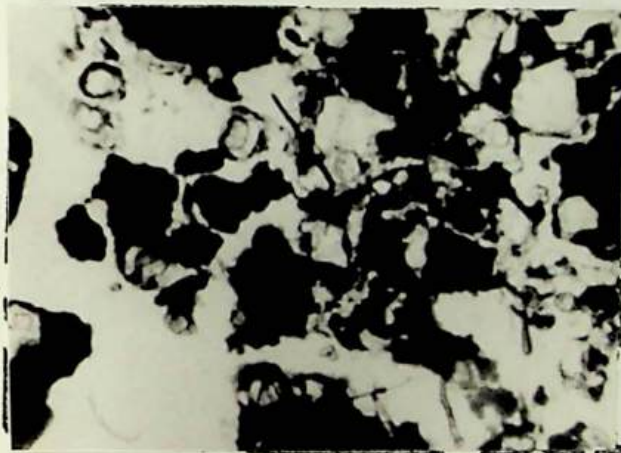
Intensidade da chuva - 30 mm/h

Inclinação do "flume" - 8°

Lâminas analisadas - início, final da 1ª e 2ª fases




Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  


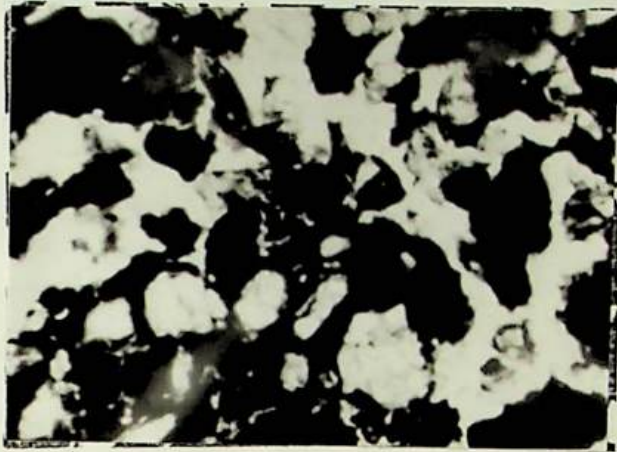


## Experimento VI

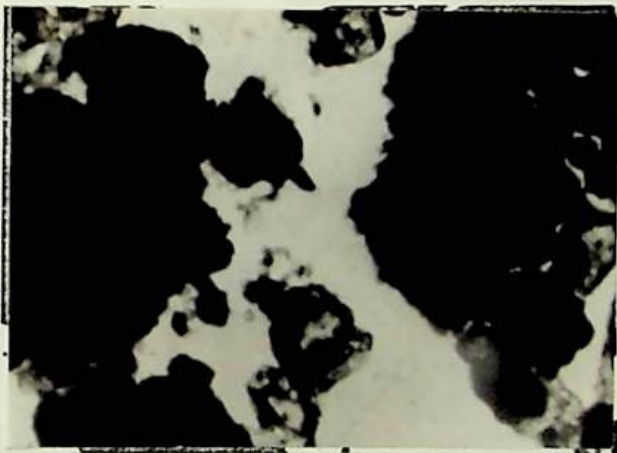
Intensidade da chuva - 30 mm/h

Inclinação do "flume" - 15°

Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  
|-----|

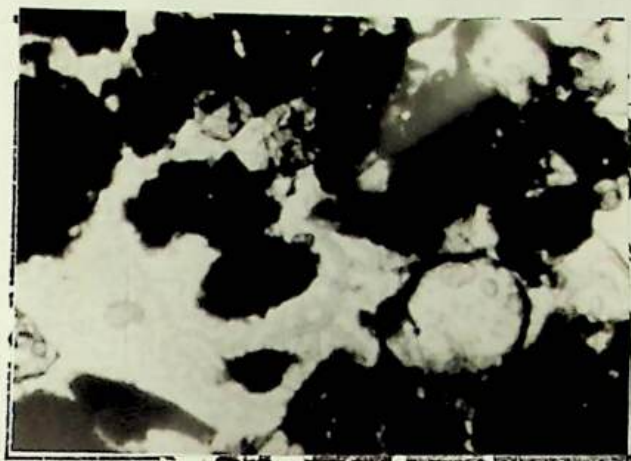


## Experimento VIII

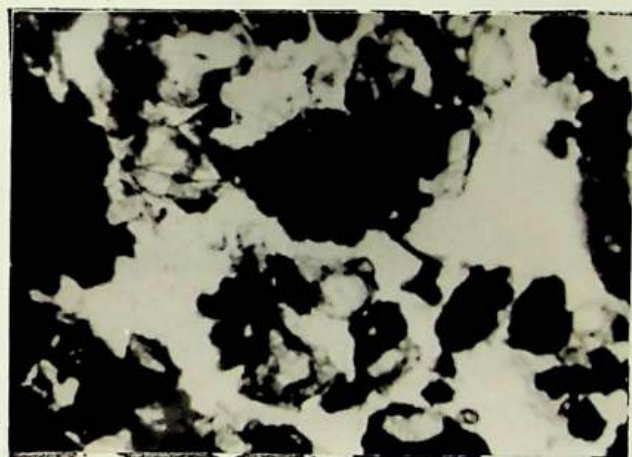
Intensidade da chuva - 75 mm/h

Inclinação do "flume" - 15°

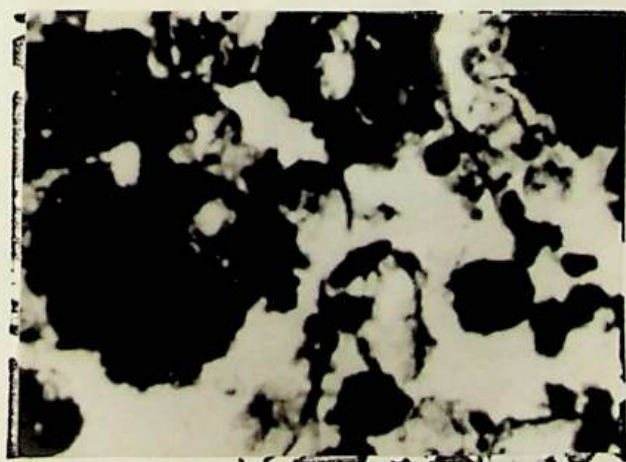
Lâminas analisadas - Início, final da 1ª e 2ª fases



Início do experimento



Final da 1ª fase



Final da 2ª fase

1 mm  
┌───┐



Os dados micromorfológicos revelaram, inicialmente, que as modificações ocorridas se desenvolveram apenas no topo do solo, não sendo detectadas nas amostras de 5 cm. De todas as sequências de lâminas submetidas às análises micromorfológicas, foram nítidas as alterações estruturais referentes aos experimentos IV, V, VI e VIII, correspondendo às intensidades superiores a 30 mm/h. Nos experimentos I e II as alterações ocorreram em pequeno grau. No experimento III, as modificações quantitativas e qualitativas na estrutura não foram detectadas, coincidindo com o fato de que a remoção do "litter" não ocasionou redução dos valores de infiltração. Face a estabilidade dos agregados do solo e a baixa intensidade da chuva (15 mm/h) podemos concluir que durante o período de tempo empregado não houve alteração sensível na capacidade de infiltração da amostra.

Sob condições de precipitação mais intensas isto não ocorreu, pois o impacto de um número maior de gotas por unidade de tempo e a saturação, acarretou as modificações constatadas pelas análises micromorfológicas. A ruptura dos agregados; juntamente com a formação de uma estrutura plásmica em torno das partículas grosseiras, proporcionou a diminuição da porosidade superficial. Esta condição estrutural pode ser reflexo também de um processo de selagem, em que a água de escoamento superficial, ao depositar as partículas finas (liberadas pelo impacto das gotas sobre os agregados) em torno das grosseiras, formaria um lacre pouco permeável.

Nos experimentos de laboratório citados nos trabalhos de Duley (1939) e McIntyre (1958), foram documentadas alterações estruturais no topo do solo, semelhantes aquelas observadas no presente trabalho, o que confirma o desenvolvimento de processos de compactação e selagem influenciando na infiltração do solo.



Nos experimentos realizados sem inclinação a estrutura das lâminas não favorece a elaboração das mesmas conclusões anteriores, principalmente pelo fato de que apenas 2 sequências puderam ser analisadas. De qualquer forma, as quedas nos valores de infiltração foram evidentes, ao mesmo tempo em que foi constatada a saturação superficial, refletindo a redução na capacidade de infiltração da amostra no final.

Um dos aspectos que mais chamou a atenção nas análises, foi a presença dos grãos de quartzo lavados, juntamente com os agregados bem individualizados, e a ausência de sedimentos finos formadores da estrutura plásmica, em algumas lâminas do final da 1ª fase (Experimentos IV, V, VI, e VIII). Entretanto, esta estrutura plásmica foi observada nas lâminas iniciais dos experimentos. Isto pode, possivelmente, ser interpretado como resultante do transporte vertical seletivo pela água de infiltração, enquanto o "litter" esteve presente sobre a amostra.



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DIRETRIZES

O levantamento de informações em campo e as experimentações realizadas, possibilitaram a formulação de algumas considerações sobre a atuação do "litter" na distribuição das águas pluviais. De uma maneira geral, estas considerações confirmam as informações adquiridas através dos trabalhos já realizados, além de mostrar alguns aspectos novos do problema.

Dentro da problemática da hidrologia de superfície, os resultados evidenciam que o "litter" desempenha um importante papel na manutenção da infiltrabilidade do solo. Os experimentos mostraram que [enquanto o "litter" recobria a superfície da amostra, as taxas de infiltração mantiveram-se estáveis e elevadas, decrescendo após a sua remoção.] [Estas reduções na infiltração foram acompanhadas pelo aumento dos valores de escoamento lateral] . Este comportamento demonstra que o "litter" permite a conservação da porosidade superficial, podendo ser constatada pelas características microestruturais das amostras de solo. [A presença dos agregados orgânicos inalterados inicialmente e a sua destruição após a remoção do "litter", representa a melhor indicação da proteção exercida contra a ação direta das gotas de chuva,] refletindo na manutenção da capacidade de infiltração da amostra. A presença de grãos de quartzo lavados nas amostras obtidas enquanto a cobertura do



"litter" esteve presente, sugere a ocorrência de um intenso transporte vertical de sedimentos finos, uma vez que nas amostras iniciais os grãos apresentavam-se envolvidos por filmes de argila e a estrutura plásmica era bem nítida.

Os resultados conduziram ainda à hipótese de que o "litter", ao retardar a chegada da água para o solo, mantém as condições de condutividade hidráulica vertical. [A remoção do "litter", submetendo o solo à recepção de um maior volume de água numa mesma unidade de tempo, elevou os valores de umidade dos primeiros centímetros, facilitando o aumento das taxas de escoamento superficial e subsuperficial.] Experimentalmente, este evento tornou-se mais característico quando a amostra esteve submetida a ação de chuvas mais intensas e sob ângulos de inclinação.

Tendo em vista que apenas um tipo de solo foi utilizado nas experimentações, sugere-se a realização de estudos com o uso de outras amostras texturalmente diferentes. Estes estudos permitirão uma avaliação qualitativa mais abrangente em torno da importância do "litter" na proteção de diferentes tipos de solo.

Na tentativa de obtenção de evidências desta atuação em áreas florestadas, chegou-se a conclusão de que a porosidade superficial do solo sob a cobertura de "litter" é bastante elevada. As variações texturais registradas nos solos da Floresta da Tijuca, entre o topo e 5 cm de profundidade, sugerem a possibilidade de um intenso processo de lavagem e remoção de finos para as camadas imediatamente inferiores. Além disso, a observação da presença de grãos de



quartzo lavados nas zonas de contato entre o "litter" e o solo, re-  
força a hipótese da predominância de elevadas taxas de infiltra-  
ção. Por outro lado, em se tratando de uma área ocupada por vege-  
tação secundária e submetida a uma ação antrópica intensa até o  
fim do século passado, torna-se problemático o estabelecimento de  
relações diretas entre as variações texturais e o processo de in-  
filtração. Isto, entretanto, não invalida a hipótese anteriormen-  
te exposta.

Face ao surgimento destas questões, propõe-se a reali-  
zação de novos levantamentos das características texturais dos  
primeiros centímetros do solo em outras vertentes situadas na  
bacia experimental e no interior de formações florestais primiti-  
vas, ou seja, em que a ação humana não tenha se processado a cur-  
to e médio prazo. O emprego da micromorfologia no estudo de amos-  
tras da área, pode servir como um importante instrumento auxiliar,  
evidenciando a ocorrência de uma organização estrutural indi-  
cadora da migração vertical de sedimentos.

A manutenção da infiltrabilidade do solo pelo "litter"  
prende-se também às suas características de retenção de umi-  
dade. A absorção de parcela da água que atinge a superfície do  
terreno florestal representa a redução do potencial erosivo da  
chuva. A conservação de umidade pelo "litter" após a precipitação,  
tem implicações na manutenção da própria umidade superficial do  
solo, principalmente pelo fornecimento gradual e proteção contra  
as taxas de evaporação. Os valores encontrados no presente traba-  
lho, em laboratório e sob condições naturais, demonstram a exis-  
tência de elevados potenciais de armazenamento sendo, inclusive,  
superiores aqueles encontrados por outros autores em formações



homogêneas. Nas amostras de "litter" analisadas, os maiores valores de retenção foram encontrados nas camadas parcialmente de compostas, refletindo a importância das elevadas taxas de decomposição microbiana dos ambientes tropicais no estabelecimento de condições favoráveis ao armazenamento. Sob condições naturais, observou-se que a retenção da precipitação pelo "litter" (intercepção), torna-se mais expressiva quando as condições antecedentes foram favoráveis à retenção, ou seja, elevadas temperaturas e baixa umidade. Algumas amostras apresentaram capacidades de retenção superiores a 250 % de seu peso seco, enquanto em outras estes valores foram inferiores. Esta variabilidade na capacidade de retenção entre as amostras pode ser atribuída às características individuais de cada tipo de "litter" o que, evidentemente, é uma função da vegetação da qual é originado. Por exemplo, folhas de palmeiras (gen. Euterpe e Geonoma) apresentam valores de retenção bastante reduzidos quando comparados com amostras compostas por outros tipos de folhas.

Além de considerar as diferenças de retenção de umidade, acredita-se no estabelecimento de comportamentos hidrológicos distintos, tendo em vista os diferentes tipos e estruturas do material encontrados. Certos tipos de materiais que compõem o "litter" (troncos, galhos, folhas de palmeiras, etc.) apresentam características de elevado potencial de canalização de fluxos superficiais (escoamento hipodérmico), principalmente quando localizados nas áreas de forte inclinação. Nas áreas predominantemente ocupadas por Gramineas (gen. Chusquea e Merostax), apesar de terem sido registrados os maiores valores de retenção, existem condições favoráveis a geração de escoamentos hipodérmicos.



cos na superfície das camadas. A disposição longitudinal das fibras que compõem as folhas e sua acumulação sobre a superfície do terreno, forma uma estrutura de baixa rugosidade e pouco permeável, propícia à canalização de fluxos. Em outras áreas (por ex: Domínio vegetal 4) a elevada rugosidade das camadas de "litter" contém inúmeras superfícies de armazenamento representadas pelas reentrâncias das folhas. Nestes domínios, a ocorrência de escoamentos hipodérmicos parece ser bastante descontínua, predominando os movimentos verticais dos fluxos.

As hipóteses sobre estes comportamentos diferenciais podem ser testadas futuramente através do emprego, no campo e em laboratório, da simulação de chuva, considerando os diferentes tipos e estruturas do "litter".

Em termos gerais, o "litter" como componente da estrutura florestal, assume uma grande importância, no que se refere ao controle da hidrologia de superfície. A proteção contra o impacto das gotas de chuva, o armazenamento e a possibilidade de geração de escoamentos hipodérmicos pelo "litter" refletem a sua importância na redução do potencial erosivo das águas pluviais. Entretanto, de acordo com as informações preliminares, a intensidade desta atuação parece ser extremamente variável dentro das áreas tropicais florestadas, principalmente em função da sua heterogeneidade florística.

As variações topográficas e suas implicações na vegetação e acumulação do "litter", reforçam a hipótese de uma grande variabilidade no comportamento da água. Nas áreas de forte declive, supõe-se que a ocorrência de escoamentos hipodérmicos se



ja elevada. Tendo em vista a descontinuidade na distribuição do "litter" observada nestas áreas, as superfícies desprovidas de cobertura, estão sujeitas à uma ação erosiva mais intensa, apesar de não terem sido encontradas quaisquer evidências de remoção acelerada de sedimentos. Logo, podemos supor, que sob certas condições, a ação do "litter" pode facilitar o desenvolvimento de processos erosivos, apesar de que, dentro do ambiente florestal, estes processos parecem ser muito localizados. Além disso, acredita-se que a ocorrência destes processos esteja relacionada com o estabelecimento de condições críticas de precipitação, ou seja, chuvas intensas e / ou prolongadas.

No presente trabalho, a preocupação básica prendeu-se ao levantamento de informações quanto à natureza da atuação do "litter" florestal na distribuição das águas pluviais. A intensidade dos processos envolvidos nesta atuação só poderá ser avaliada através da realização de estudos integrados, uma vez que o "litter" é apenas uma das variáveis componentes de um sistema extremamente complexo. A partir da integração com estudos sobre interceptação florestal e distribuição de umidade no solo, acredita-se na possibilidade de uma melhor avaliação da representatividade do papel hidrológico do "litter" dentro da própria bacia experimental.

Portanto, não podemos considerar o presente assunto como esgotado, uma vez que muitas questões ainda permanecem pendentes. Entretanto, acreditamos que as informações adquiridas e a metodologia empregada, representam importantes passos na tentativa de compreensão da dinâmica hidrológica das áreas tropicais florestadas.



BIBLIOGRAFIA

- ALWAY, F.J. & KITTREDGE Jr., J. - 1933 - The forest floor under stands of aspen and paper birch. Soil Science, 35:307-313
- AREND, J.L. - 1941 - Infiltration rates of forest soils in the Missoiri Ozarks as affected by woods burning and litter removal. Journal of Forestry, 39:726-728
- AREND, J.L. & HORTON, R.E. - 1942 - Some effects of rain intensity, erosion, and sedimentation on infiltration - capacity. Soil Science Society of America, Proceedings, 7:82-89
- ATALA, F. - 1966 - Histórico, passeios e excursões. In: Floresta da Tijuca. Centro de Conservação da Natureza. p.11-57
- AUTEN, J.T. - 1933 - Porosity and water absorption of forest soils. Journal of Agricultural Research, 46:997-1014
- BERTONI, J. - 1967 - A potencialidade erosiva da gota de chuva. Notícia Geomorfológica, 3(13/14):55-56
- BEHRMANN, W. - 1927 - Die Oberflächenformen in den feuchtwarmen Tropen-Dusseldorfer Geogr. Votr. und Erörterungen, 3. Teil Morphologie der Klimazonem
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R. & SILVA, J.X. - 1965 - Considerações à respeito da evolução das vertentes. Bol. Paran. Geografia, 16/17:85-116



- BLOW, F.E. - 1955 - Quantity and hydrologic characteristics of litter under upland oak forests in Eastern Tennessee Journal of Forestry, 53:190-195
- BRAY, J.R. & GORHAN, E. - 1964 - Litter production in forests of the world. In: CRAGG, J.B. (ed), Advances in Ecological Research. London, cap. 2 p. 101-157
- BREWER, R. - 1972 - The basis of interpretation of soil micro morphological data. Geoderma, 8 (43):81-94
- CAILLEUX, A. - 1959 - Études sur le érosion et la sédimentation en Guyana. Mem. Expl. Carte Géol. de la France, Paris. Dept? Guyane Française, p.49-73
- COELHO NETTO, A.L. - 1979 - O Processo erosivo nas encostas do Maciço da Tijuca, RJ. Rio de Janeiro UFRJ, Instituto de Geociências, 112 p. (tese de mestrado)
- DAY, G.M. - 1940 - Topsoil changes in coniferous plantations. Journal of Forestry, 39:646-649
- DE PLOEY, J. - 1979 - Landslides in Serra do Mar, Brazil. Catena, 6:111-122
- DE PLOEY, J. & GABRIELS, D. - 1980 - Measuring soil loss and experimental studies. In: -KIRBY, M.J. & MORGAN, R.P.C. Soil Erosion, New York, John Wiley and Sons Ltd. Cap.3 p.63-108
- DOMINGUES, A.J.P.; LIMA, G.R.; ALONSO, M.T.A. & BULHÕES, M.G. - 1971 Serra das Araras. Os movimentos do solo e aspectos da flora Rev. Bras. de Geogr, 33 (3):3-51



- DOUGLAS, I. - 1969 - The efficiency of humid tropical denudation systems. Trans. and Pap. of the Inst. of British Geogr., 46:1-16
- DULEY, F. L. - 1939 - Surface factors affecting the rate of intake of water by soils. Soil Science of America, Proceedings, 4:60-64
- DUNNE, T. & LEOPOLD, L. B. - 1978 - Water in environmental planning. San Francisco, Ed. W. H. Freeman and Co. 818p.
- EKERN, P. C. - 1950 - Raindrop impact as the force initiating soil erosion. Soil Science Society of America Proceedings, 15:7-10
- EKERN Jr., P. & MUCKENHIRN, R. J. - 1947 - Water drop impact as a force in transporting sand. Soil Science of America, Proceedings, 12:441-444
- ELLISON, W. D. - 1945 - Some effects of raindrop and surface-flow on soil erosion and infiltration. Transactions American Geophysical Union, 23(3):415-429
- ERHART, H. - 1955 - Biostasie et rhesistaise: equisse d' une théorie sur le rôle de la pedogenése en tant que phénomène géologique. C.R. Acad. Sci., 241:1218-1220
- FOLK, R. L. - 1968 - Petrology of sedimentary rocks. Austin, Univ. Texas, 170 p.
- FOTH, H. D. - 1978 - Fundamentals of Soil Science. 6 ed. New York John Wiley and Sons. 436 p.



- FOURNIER, L.A. & CASTRO, L.C. - 1973 - Producción y descomposición del mantillo en un bosque secundario húmedo de premontano. Revista de Biología Tropical, 21(1):59-67
- HANRION, Q. - 1976 - Techniques utilisées pour la préparation des lamines minces pétrographiques. France, Lab. Commun de Petrographie-Mineralogie. Off. de la recherche scientifique et technique outre-mer. p. 16-18
- HELVEY, J.D. & PATRIC, J.H. - 1965 - Canopy and litter interception of rainfall by Hardwoods of Eastern United States. Water Resources Research, 1(2):193-206
- HORTON, R.E. - 1933 - The role of infiltration in the hydrologic cycle. Trans. Amer. Geophys. Union, 14:446-460
- HURSH, C.R. - 1944 - Water storage limitations in forest soil profiles. Soil Science of America, Proceedings, 4:412-414
- IMESON, A.C. - 1977 - Splash erosion, animal activity and sediment supply in a small forested Luxembourg catchment. Earth Surface Processes, 2:153-160
- IMESON, A.C. - 1977 - A simple field-portable rainfall simulator for difficult terrain. Earth Surface Processes 2:431-436
- JACKSON, I.J. - 1977 - Climate, water and agriculture in the tropics. New York, Longman. 248 p.
- JENKINS, D.A. - 1970 - Some analytical techniques applicable in soil micromorphology. In: Osmond, D.A. & Bullock, P. (ed.) Micromorphological Techniques and Applications Harpenden. Agricultural Research. Council Soil Survey Technical Monograph nº 2) p. 25-32



- JOHNSON, C.E. - 1957 - Utilizing the decomposition of organic residues to increase infiltration rates in water spreading. Transactions, American Geophysical Union, 3(3):326-332
- JOHNSON, W.M. - 1940 - Infiltration capacity of forest soil as influenced by litter. Journal of Forestry, 38:520
- JOHNSON, W.M. & NIEDERHOF, C.H. - 1941 - Some relationships of plant cover run-off, erosion, and infiltration on granitic soils. Journal of Forestry, 39:854-858
- KELLY, R.G.; CHAPMAN, S. & PETTIFER, K. - 1970 - The preparation of thin sections of soils using Polyethylene Glycols. In: Osmond, D.A. & Bullock, P. ed. Micromorphological Techniques and Applications. Harpend, N. Agricultural Research Council. (Soil Survey Technical Monograph n<sup>o</sup> 2) p.15-24
- KIRBY, M.J. - 1969 - Infiltration Throughflow and Overland flow. In: Chorley, Richard, J. (ed) London, Methuen & Co. 588p.
- KITTREDGE Jr., J. - 1938 - Comparative infiltration in forest and open. Journal of Forestry, 36:1156-1157
- KORNAS, M.A. - 1971 - Plant litter. In: Phillipson, J. Methods of Study in Quantitative Soil Ecology: Population and Energy Flow. Oxford, Blackwell. cap. 3 p. 24-33
- KRUSEKOPF, H.H. - 1943 - The effect of slope on soil erosion. Mo. Agr. Expt. Sta. Res. Bul. 363. 24p.



- LAWS, J.O. - 1941 - Measurements of the fall velocities of water-drops and raindrops. Trans. Amer. Geophys. Union, 22:709-721
- LAWS, J.O. & PEARSONS, D.A. - 1943 - The relation of raindrop size to intensity. Trans. Amer. Geophys. Union, 24:452-459
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. - 1976 - Manual de método de trabalho de campo. Soc. Bras. de Ciência do Solo. Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo. 36 p.
- LEWIS, L.A. - 1974 - Slow movement of Earth under Tropical Rain Forest conditions. Geology, 2(1):9-10
- LOFFLER, E. - 1977 - Tropical rainforest and morphogenic stability. Z. Geomorph., 21(3):251-261
- LOWDERMILK, W.C. - 1930 - Influence of forest litter on runoff, percolation and erosion. Journal of Forestry, 28:474-491
- MCINTYRE, D.S. - 1958 - Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. Soil Science, 28(4):185-189
- MCINTYRE, D.S. - 1958 - Soil splash and the formation of surface crusts by raindrop impact. Soil Science, 28(5):261-266
- MUSGRAVE, G.W. - 1947 - The quantitative evaluation of factors in water erosion - A first approximation. Journal of Soil and Water Conservation, 2(3):133-138
- MUSGRAVE, G.W. & HOLTAN, H.N. - 1964 - Infiltration. In: CHOW, VEN TE, Handbook of Applied Hydrology, New York McGraw-Hill Book Co.



- PEREIRA, H.C. - 1956 - A rainfall test for structure of tropical soils. Journal of Soil Science, 7(1):68-75
- PHILIP, J.R. - 1958 - The theory of infiltration; 6 - Effect of water depth over soil. Soil Science, 28(5):278-286
- PHILIP, J.R. - 1958 - The theory of infiltration; 7. Soil Science, 85(6):333-337
- PIERCE, R.S. - 1967 - Evidence of overland flow on forest watersheds. In: W.E. Sopper and H.W. Caull, INT. SYMP. ON FOREST HIDROLOGY p. 247-253
- PONÇANO, W.L.; PRANDINI, F.L. & STEIN, D.P. - 1976 - Condicionamentos geológicos e de ocupação territorial nos escorregamentos de Maranguape, Ceará, em 1974. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1. Rio de Janeiro, 1974. Anais.
- PRANDINI, F.L.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J.A.; PONÇANO, W.L. & SANTOS, A.R. - 1976 - Resenha crítica da atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas. Construção Pesada, Outubro p.46-60
- RODIN, L.E. & BAZILEVIC, M.I. - 1966 - The biological productivity of the main vegetation types in the northern hemisphere of the world. Forestry Abstracts, 27(3):369-372
- ROHDENBURG, H. - 1970 - Morphodynamische Aktivitäts- und Stabilitätszeiten. Eiszeitalter und Gegenwart, 21:81-96
- ROUGERIE, G. - 1960 - Le Façonnement des modèles en Côte d'Ivoire forestière. Mém. Inst. Fr. Afr. Noire, 58, Dakar



- RUELLAN, F. - 1953 - O papel das enxurradas no modelado do relevo brasileiro (1ª parte). Boletim Paulista de Geografia, 13: 5-18
- RUXTON, P.B. - 1967 - Slopewash under nature primary rainforest in Northern Papua. In: JENNINGS, J.N. & MABBUTT, J.A. Landform studies from Austrália and New Guinea. Cambridge, p.85-94
- SAPPER, K. - 1914 - Über abtragungsvorgänge in den regenfeuchten tropen und ihre morphologischen Wirkungen. Geogr. Zeitschur.
- SAPPER, K. - 1934 - Geomorphologie der feuchten tropen. Leipzig.
- SCHIFF, L. - 1953 - The effect of surface head on infiltration rates based on the performance of ring infiltrometers and ponds. Transactions, American Geophysical Union, 34(2):257-266
- SHANKS, R.E. & OLSON, J.S. - 1961 - First-year breakdown of leaf litter in Southern Appalachian Forests. Science, 134:194 - 195
- SOARES, L.; GUIDICINI, G. & LIMA VERDE, L.A. - 1975 - Considerações sobre os movimentos de massa ocorridos na Serra de Maranguape, Ceará. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 7. Fortaleza. Anais
- STERNBERG, H.O. - 1949 - Enchentes e movimentos coletivos do solo no Vale do Paraíba, em Dezembro de 1948. Influência da exploração destrutiva da terra. Rev. Bras. de Geografia, 11(2) : 223-261



- TACKETT, J.L. & PEARSON, R.W. - 1965 - Some characteristics of soil crusts formed by simulated rainfall. Soil Science, 99: 407-413.
- TRICART, J. - 1975 - Influence des oscillations climatiques récents sur le modelé en Amazonie Orientale (Region de Santa rêm) d'après les imagens radar latéral. Z. Geomorph.N.F., 19:140-163.
- TROLL, C. - 1969 - Inhalt, problem und methoden geomorphologischer forschung. Geol., 80:225-257.
- VAN ZON, H.J.M. - 1980 - The transport of leaves and sediment over a forest floor. Catena, 7:97-110.
- VOIGT, VON PETER & WALSH, RORY, P.D. - 1976 - Hidrologische prozesse in bodenstreu. Einige experimentelle befunde. Schr. Naturw, Ver. Schlesw., 46:35-54.
- YOUNG, A. - 1972 - Slopes. Edinburgh, Oliver & Boyd.
- WARD, R.C. - 1967 - Principles of Hydrology. New York, MacGraw-Hill Publ. Co. 367 p.
- WENTWORTH, C.K. - 1928 - Principles of stream erosion in Hawaii. J. Geol., 36:385-410.
- WISCHMEIR, W.H. & SMITH, D.D. - 1958 - Rainfall energy and its relationships to soil loss. Am. Geophys. Union, Trans., 39: 285-201.
- WISLER, C.O. & BRATER, E.F. - 1959 - Hidrology. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 408 p.