

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**FORMAÇÃO DAS CARGAS SÓLIDAS EM SUSPENSÃO EM PEQUENAS
BACIAS RURAIS DO DERRAME BASÁLTICO SULRIOGRANDENSE**

NILZA MARIA DOS REIS CASTRO

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia.

Porto Alegre, setembro de 1992.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Prof. Marc Pierre Bordas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e co-orientado pelo Dr. Pierre Chevallier, Diretor de Pesquisas do Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento em Cooperação (ORSTOM).

Agradecimentos :

Ao professor Marc Pierre Bordas, pela orientação, apoio e incentivo.

Ao doutor Pierre Chevallier, pela orientação, estímulo e pelos úteis conhecimentos teóricos e práticos transmitidos.

Ao professor Franz Semmelmann, por ter cedido o Laboratório de Sedimentos para as análises desta pesquisa.

A Unijuí, por ter emprestado equipamentos para a análise dos sedimentos.

A Rivaldo Dhein, professor da Unijuí e agrônomo da Cotrijuí, pelo grande apoio prestado ao projeto.

A prefeitura de Pejuçara, pelo apoio a pesquisa, empréstimo de máquinas, mão de obra e de uma sala para a instalação do laboratório.

A Secretaria de Agricultura do Rio Grande do Sul - IPRNR, pelos dados cedidos.

Aos técnicos, estagiário e funcionários da Hidrometria Agustin, César, Raupp, Lavitor, Pedrinho, Barbosa e Chicão, e do Laboratório de Sedimentos : Bruno e Marino ; pelo trabalho, dedicação e amizade proporcionados durante a confecção da dissertação.

Aos professores e funcionários do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, em especial a Lígia e as bibliotecárias.

A CAPES, pela bolsa concedida.

Ao CNPq e FAPERGS, pelo financiamento da pesquisa.

Aos meus familiares e amigos, pelo constante e permanente incentivo.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

Há trinta anos, uma forte expansão agrícola descontrolada vem ocorrendo no planalto basáltico sul riograndense, causando sérios problemas de degradação dos solos : compactação dos solos, aumento do escoamento superficial, aumento da concentração de sedimentos, depósitos nos rios e assoreamento de pequenas barragens.

A bacia do rio Potiribu é considerada como representativa de regiões dos campos do planalto basáltico. Esta pesquisa apresenta os primeiros resultados hidro-sedimentológicos desta bacia.

Os objetivos da pesquisa são identificar funções de produção de água e sedimento para áreas em que predomina o escoamento difuso e para as bacias em que predomina o escoamento concentrado, e de elucidar os processos físicos que atuam na formação das cargas sólidas.

Para atingir os objetivos são empregadas simulações de chuvas em uma parcela de 1 m², para um melhor entendimento dos processos físicos hidrossedimentológicos. Uma outra parcela de 1 m² é estudada sob o efeito de chuvas naturais. Esses resultados são comparados com os dados de parcelas de 77 m², cedidos pela Secretaria da Agricultura do RS, onde são analisados a influência da cobertura vegetal, preparo do solo e erosividade das chuvas nas perdas de água e sedimentos. Também é analisada a concentração de sedimentos na saída de uma sub-bacia de 13,7 ha. São apresentados alguns resultados de três sub-bacias de 1,1 km², 19,4 km² e 563 km², durante dois eventos em junho de 1991.

Os resultados mostram a relação inversa entre a área da bacia e a perda de solo específica, nos dois eventos estudados. Mostram também a importância do preparo do solo e da erosividade das chuvas nas perdas de solo.

SUMMARY

For thirty years, agriculture has developed rapidly but haphazardly on the basalt plateau of Rio Grande do Sul, causing serious problems of soil degradation : soil compaction, increased surface runoff, increased sediment removal, sediment deposition in rivers and silting of small dams.

The basin of the Rio Potiribu is considered representative of the cultivated region of the basalt plateau. This paper presents the first results from a hydro-sedimentological study of this basin.

The objectives of the research are to determine yield functions for water and sediment both from areas where diffuse runoff predominates, and from basins where concentrated runoff predominates ; and to clarify the physical processes controlling sediment yield.

To attain these objectives and to get a better understanding of physical processes governing runoff generation and sediment removal, two small plots (each 1 m²) were studied, one of which received simulated rainfall and the other natural rainfall. Results from both plots are compared with data from plots with area 77 m² set up by the Agriculture Department, RS ; these are used to study the effects on water and soil losses of plant cover, soil cultivation and rainfall erosivity. Sediment concentration in runoff from 13,7 ha basin is studied, and results are also presented from 3 sub-basins with areas 1,1 km², 19,4 km² and 563 km² for two events in June 1991.

Results from the two events studied show an inverse relation between basin area and specific soil loss. They also show the importance of soil cultivation and rainfall erosivity on soil loss.

RÉSUMÉ

Depuis une trentaine d'années, on observe une expansion agricole non-contrôlée sur le plateau basaltique du Rio Grande do Sul qui cause de sérieux problèmes de dégradation des sols : compactation, augmentation du ruissellement, augmentation de la concentration en charges solides et des dépôts dans les cours d'eau, comblement des petites retenues.

Le bassin du Rio Potiribu est considéré comme représentatif des régions cultivées du plateau de l'épanchement de basalte. Cette étude présente les premiers résultats ayant trait à l'hydro-sédimentologie de ce bassin.

Les objectifs de cette recherche sont, d'une part, identifier les fonctions de production de l'écoulement liquide et solide sur les parcelles où prédomine un écoulement diffus et sur les bassins où prédomine un écoulement concentré, et, d'autre part, comprendre les processus physiques qui interviennent dans la formation des charges solides.

Pour atteindre ce objectifs, sont réalisés des simulations de pluies sur une parcelle de 1 m² pour une meilleure compréhension des processus physiques hydro-sédimentologiques. Une autre parcelle de 1 m² est étudiée sous l'effet de pluies naturelles. Ces résultats sont comparés avec les données de parcelles de 77 m², fournies par le Secrétariat à l'Agriculture, RS, où est analysée l'influence de la couverture végétale, de la préparation du sol et de l'érosivité des pluies sur les pertes en eau et en charges solides. La concentration en charge solide sur un versant de 13,7 ha est également étudiée. Quelques résultats sont présentés concernant trois sous-bassins de 1,1 km², 19,4 km² et 563 km², au cours de deux événements pluvieux de juin 1991.

Les résultats montrent une relation inverse entre la surface du bassin et la perte en sol spécifique pour les deux événements étudiés. Ils montrent aussi l'importance de la préparation du sol et de l'érosivité des pluies dans les pertes en sols.

SUMÁRIO

	página
APRESENTAÇÃO.....	2
RESUMO.....	3
SUMARY.....	4
RÉSUMÉ.....	5
SUMÁRIO.....	6
LISTA DE TABELAS.....	9
LISTA DAS FIGURAS.....	10
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivo Específico.....	17
3. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIAS RURAIS.....	19
3.1 Introdução.....	19
3.2 Processos físicos.....	19
3.2.1 Erosão do Solo.....	19
3.2.1.1. Definição.....	19
3.2.1.2. Descrição do processo de erosão pela água.....	19
3.2.1.3. Fatores que afetam a erosão hídrica.....	20
a) Chuva.....	20
b) Solo.....	22
c) Topografia.....	23
d) Cobertura vegetal.....	23
e) Manejo do solo.....	25
3.2.1.4 Metodologia de Estudo.....	27
a) Estudo da Erosão em condições de chuvas naturais.....	27
b) Estudo da erosão com simuladores de chuva.....	28
3.2.2 Depósito.....	31
3.2.2.1 Descrição do fenômeno.....	31
3.2.2.2 Fatores que influenciam o depósito.....	32
3.2.2.3 Metodologia de Estudo.....	32
3.2.3 Síntese.....	33
3.3 Expressão da produção de sedimentos de uma bacia elementar.....	34
3.3.1 Bacia elementar do primeiro tipo (com predominância de escoamento difuso) : USLE.....	34
3.3.1.1 Fator erosividade da chuva : R.....	35
3.3.1.2 Fator erodibilidade do solo : K.....	36

3.3.1.3 Fator topográfico ou fatores comprimento de rampa e grau de declive : LS	36
3.3.1.4 Fator cobertura e manejo vegetal : C	37
3.3.1.5 Fator prática conservacionista : P	37
3.3.2 Bacia elementar do segundo tipo (predominância do escoamento concentrado)	37
3.3.2.1 Modelos empíricos	37
a) SDR	37
b) P.S.I.A.C.	39
3.3.2.2 Modelo semi-empírico : MUSLE	39
3.3.2.3 Modelos conceituais	40
a) CREAMS	40
b) ANSWERS	40
c) SWRRB	41
3.3.3 Síntese	41
3.4. Efeito de Escala	42
3.4.1. Escala Temporal	43
3.4.2 Escala Espacial	47
3.5 Síntese	49
4. AREA E INSTALAÇÕES DE PESQUISA : A BACIA DO POTIRIBU	51
4.1 Introdução	51
4.2 Características Gerais	53
4.2.1. Climatologia	54
4.2.2 Erosividade das Chuvas : (Fator R)	54
4.2.3 Pedologia : (fator K)	55
4.2.4 Geomorfologia : (fator LS)	56
4.2.5 Cobertura Vegetal : (fator C)	57
4.2.6 Práticas Conservacionistas : (fator P)	58
4.2.7 Aspectos sócio-econômicos	59
4.3 Monitoramento da Bacia	59
4.3.1 Instrumentação e operação	60
4.3.1.1 Bacias do primeiro tipo	61
4.3.1.2 Bacias do segundo tipo	61
4.3.2 Monitoramento das Chuvas	61
4.3.3 Monitoramento do Escoamento	61
4.3.4 Monitoramento dos Sedimentos	63
4.3.4.1 Considerações preliminares	63
4.3.4.2 Estudo da produção de sedimentos sob chuva artificial (microparcela de 1 m ²).	63

4.3.4.3. Estudo da produção de sedimentos sob chuva natural em parcelas nas quais o escoamento difuso predomina : microparcela, parcela e vertente	69
a) Estudo da produção de sedimentos na microparcela de 1 m ² sob efeito de chuva natural	69
b) Estudo da produção de sedimentos nas parcelas do CTC (77 m ²).....	69
c) Estudo da produção de sedimentos na vertente do Anfiteatro (A=13,7 ha) 70	
4.3.4.4 Estudo da produção de sedimentos nas bacias nas quais predomina o escoamento concentrado : bacia do Donato, Turcato e Andorinhas.....	70
4.3.5 Operação.....	71
4.3.6 Análise dos sedimentos.....	72
5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	73
5.1 Precipitações	73
5.2 Erosividade	74
5.3 Hidrologia e Sedimentologia.....	75
5.3.1 Estudo da produção de sedimentos e água sob chuva artificial (microparcela de 1 m ²)	75
5.3.2 Estudo da produção de sedimentos e água sob chuva natural em parcelas nas quais o escoamento difuso predomina :microparcela, parcela e vertente.....	83
a) Estudo da produção de sedimentos na microparcela de 1 m ² sob chuva natural83	
b) Estudo da produção de sedimentos e água na parcela de 77 m ² do CTC (Centro de Treinamento da Cotrijuí).....	84
c) Estudo da produção de água e sedimentos na vertente do Anfiteatro (13,17 ha)87	
5.3.3 Estudo da produção de sedimentos nas bacias em que predomina o escoamento concentrado : bacia do Donato, Turcato e Andorinhas	87
a) Bacia do Donato.....	87
b) Bacia do Turcato.....	88
c) Bacia de Andorinhas	90
6. CONCLUSÃO.....	94
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
ANEXOS	102

LISTA DE TABELAS

	página
3.1 - Índices de erosividade.....	21
3.2 - Perdas de solo absoluta e relativa no CTC	26
3.3 - Perdas de sedimentos entre estações de jusante e montante ao longo dos rios.....	49
4.1 - Aspectos sócio-econômicos de Pejuçara, Cruz Alta e Ijuí.	59
4.2 - Características das sub-bacias do Potiribu.....	59
4.3 - Características dos aparelhos	60
5.1 - Precipitação mensal do ano de 1991 registrada nos pluviógrafos da bacia do rio Potiribu	74
5.2 - Erosividade mensal das chuvas de 1991 registradas em seis pluviógrafos	75
5.3 - Resultados da Simulação de chuva.....	77
5.4 - Microparcela sob chuva natural	83
5.5 - Precipitações registradas no pluviógrafo do CTC, e índice de erosividade	84
5.6 - Perdas de água e solo das parcelas do CTC -Secretaria da Agricultura do RS.	85
5.7 - Concentração média de sedimentos no Anfiteatro	87
5.8 - Resultados dos dois eventos de junho de 91 das sub-bacias do Donato, Turcato e Andorinhas	91

LISTA DAS FIGURAS

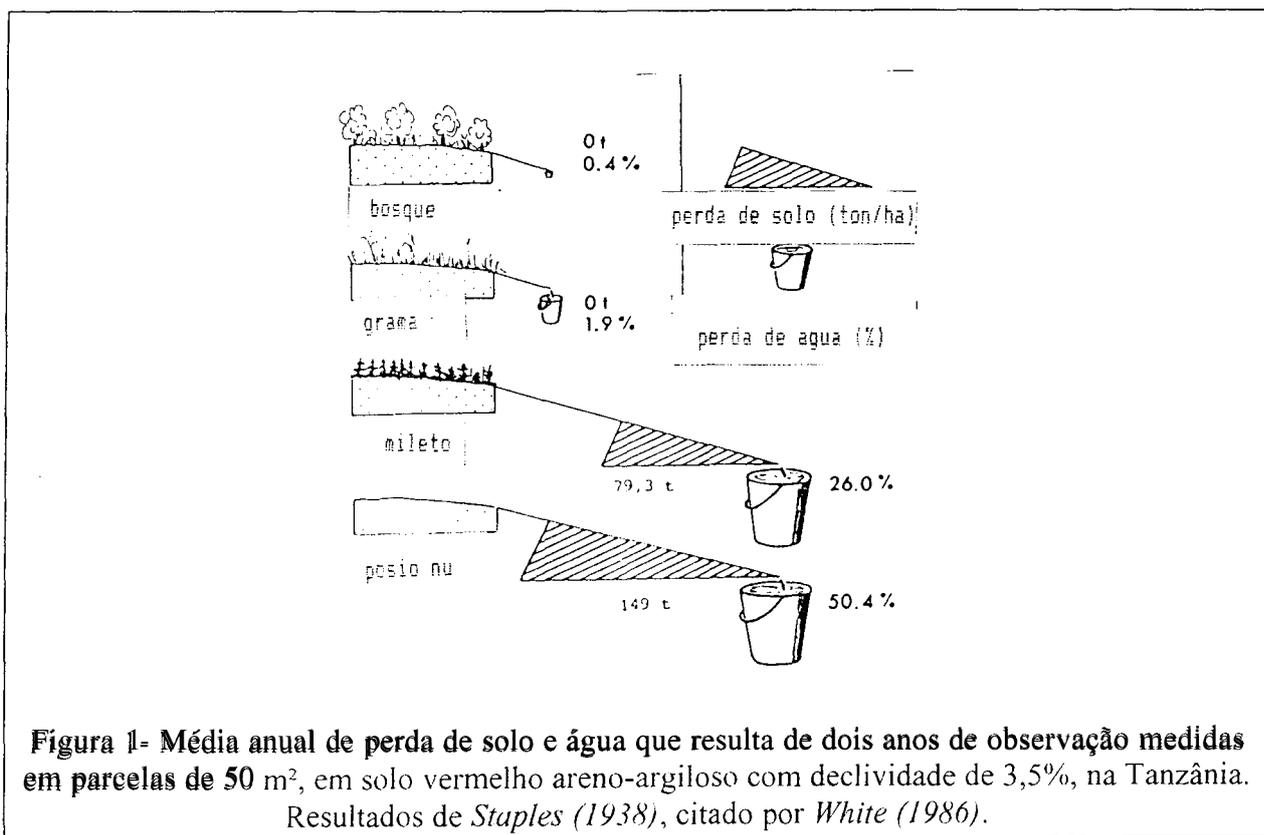
	página
1 - Média anual de perda de solo e água de 2 anos medidas em parcelas de 50 m ² , em um solo vermelho areno-argiloso com declividade de 3,5% na Tanzania.....	12
2 - Células elementares : escoamento difuso e concentrado.....	17
3.1- Velocidade de infiltração em latossolo roxo distrófico (solo Santo Ângelo), após 9 horas sob diferentes usos.	24
3.2- Simulador de chuvas de Meyer.....	29
3.3- Simulador de chuva de Swanson.....	29
3.4- Simulador de chuvas de Zanchi.	30
3.5- Relação entre a taxa de transferência de sedimentos e a área de drenagem da bacia para diferentes regiões.	38
3.6- Localização das escalas no espaço e tempo usadas para representar os processos físicos.	42
3.7- Representação dos fenômenos hidrológicos escala temporal.	44
3.8- Representação dos fenômenos hidrológicos na escala espacial.	46
3.9- Relação entre erosão específica e área das bacias em clima semi-árido no sudoeste dos Estados Unidos.	48
4.1- Localização da bacia do rio Potiribu.	52
4.2- Zonas de erosão potencial homogênea no derrame basáltico sulino.....	53
4.3- Mapa dos solos da bacia do rio Potiribu.....	55
4.4- Localização dos linígrafos, pluviógrafos, e pluviômetros na bacia do rio Potiribu....	62
4.5- Seção de medição da vertente Anfiteatro e da bacia do arroio Donato.....	64
4.6- Seção de medição da bacia do arroio Turcato e da bacia do rio Potiribu.	66
4.7 -Simulador de chuvas ORSTOM.....	68
5.1 -Precipitações médias na bacia do rio Potiribu nos anos de 89, 90 e 91.	73
5.2 -Erosividade média das chuvas em 16 anos de observação, e erosividade média das chuvas de 91.	76
5.3 -Simulação de chuva 1B2 - 1a campanha - chuva 2.....	78
5.4 -Simulação de chuva 1B3 - 1a campanha - chuva 3.....	79
5.5 -Simulação de chuva 1B4 - 1a campanha - chuva 4.....	79
5.6 -Simulação de chuva 2B1 - 2a campanha - chuva 1.....	80
5.7 -Simulação de chuva 2B2 - 2a campanha - chuva 2.....	80
5.8 -Simulação de chuva 2B3 - 2a campanha - chuva 3.....	81
5.9 -Simulação de chuva 2B4 - 2a campanha - chuva 4.....	81
5.10-Evento de 17 a 20 de junho de 91 - Concentração de sedimentos e vazão líquida do arroio Donato.....	88

5.11-Evento de 17 a 20 de junho de 91 - Vazão líquida dos arroios Donato e Turcato, e precipitação.....	89
5.12-Evento de 04 a 09 de junho de 91 - Concentração de sedimentos e vazão líquida do arroio Turcato.	90
5.13-Evento de 04 a 06 de junho de 91 - Vazão líquida dos arroios Donato e Turcato e precipitação.	91
5.14-Evento de 04 a 10 de junho de 91 - Concentração de sedimentos e vazão líquida do rio Potiribu.....	92

1. INTRODUÇÃO

A erosão é um sério problema que o mundo inteiro está enfrentando. Na maior parte das regiões habitadas, os fenômenos de erosão e sedimentação são fortemente influenciados pelo homem e muito mais intensos que a erosão que ocorre naturalmente, conhecida como erosão geológica. A erosão acelerada (provocada pelo homem) pode causar perdas de solo de 50 cm/século em alguns casos, enquanto que a erosão geológica seria da ordem de 1cm/século (órdenes de grandeza) (Bordas, 1991).

A agricultura é um dos principais fatores responsáveis por este quadro. Quando não planejada, leva ao desgaste prematuro do solo e portanto, do próprio recurso básico que a sustenta. A figura 1 mostra os resultados de um estudo feito na Tanzânia, por Staples (1938) (citado por White (1986)), utilizando dois anos de medições em parcelas de 50 m², solo vermelho areno-argiloso, com declividade de 3,5%. Os resultados mostram a influência da cobertura vegetal nas perdas de solo e água.



A expansão da fronteira agrícola quando acompanhada de uso intensivo da terra, da mecanização agrícola e práticas agrícolas inadequadas dá origem a grandes concentrações de sedimentos em suspensão, a depósitos aluviais nos leitos dos rios e em reservatórios, bem como à rápida degradação de estradas vicinais e ao desmoronamento de pontes.

Cassol (1986) recorda que o solo é um recurso natural renovável, já que o solo agrícola desenvolve-se a partir do desgaste das rochas sob o efeito de fatores como clima, relevo e organismos vivos. A chuva e o vento transportam os sedimentos : quando a energia destes não é suficiente para realizar este transporte, ocorre o depósito dos sedimentos sobre a crosta terrestre. A erosão atua no solo agrícola já formado desgastando-o. Este é transportado, depositado e eventualmente consolidado dando origem a novas rochas. A vegetação que se desenvolve sobre o solo é um dos fatores responsáveis pelo equilíbrio que existe naturalmente. Via de regra, a utilização agrícola do solo inicia com a retirada da vegetação nativa, o que provoca a degradação do solo com uma velocidade superior à da sua formação, o que leva ao rompimento do equilíbrio natural existente e torna o solo um recurso natural não renovável.

No Brasil, segundo *Bordas et al. (1988)* a erosão ocorre com maior intensidade no oeste amazonense, em Minas Gerais, no divisor de águas entre a bacia do Prata e a Amazônia e no oeste do derrame basáltico sulino. Em Minas Gerais a erosão intensa é fruto do desmatamento para obtenção de lenha para uso industrial e doméstico ; e nas outras três regiões resulta da expansão da fronteira agrícola. Em geral o agricultor utiliza o solo de modo muito imediatista : ele planta e consegue obter boa produtividade com a adição de fertilizantes, não se preocupando com a perda de solo. Quando não mais consegue manter a produtividade apenas com o auxílio de fertilizantes, o solo já se encontra em uma situação crítica (devido as perdas ocorridas) e sua recuperação (quando a degradação não for irreversível) levará muito tempo e exigirá altos investimentos. O agricultor que permite que esta fase seja atingida e não tem condições de recuperar o solo, acaba por abandoná-lo.

A dimensão e o clima do país oferecem ao agricultor cujo solo ficou empobrecido a possibilidade de abrir novas lavouras. Isto favorece uma forte expansão agrícola, que segundo *Bordas, 1991* se faz sob impulsão de duas correntes migratórias principais : a dos pequenos agricultores (sobretudo oriundos da região sul) que se deslocam em direção ao oeste (Rondônia) e ao norte (Roraima) da bacia amazônica, e a da agricultura industrial, mecanizada que se expande pela região dos Cerrados. Um exemplo que mostra claramente as consequências que pode ter a expansão agrícola descontrolada no Brasil é dado pela região do derrame basáltico, no Sul do país.

A região do derrame basáltico, que cobre quase 1.000.000 km² do continente sulamericano, apresenta geralmente condições de solo, topografia e pluviometria favoráveis à agricultura. Esta cresceu rapidamente a partir de 1850 em consequência da imigração européia. Essa expansão da fronteira agrícola tem se feito de modo anárquico e predatório : ao desmatamento indiscriminado

seguiram-se a mecanização agrícola, o uso descontrolado de produtos químicos e a quase monocultura da soja. "Sabendo-se que o regime hídrico do Estado do Rio Grande do Sul é bastante extremado (fortes precipitações e fortes estiagens), é fácil concluir que os solos aptos para a agricultura, mas degradados pelo manejo incorreto, passaram a sofrer intensamente a ocorrência do processo de erosão hídrica" (Cassol, 1986). Este processo conduziu a uma situação crítica dos recursos hídricos, caracterizada pela aceleração notória da erosão do solo e pela deterioração da qualidade das águas. Outro problema preocupante que vem ocorrendo refere-se aos poluentes que são adsorvidos pelos sedimentos e migram para os rios, prejudicando a vida aquática e a população que utiliza a água desses mananciais.

Pelo que acaba de ser visto, a avaliação e o eventual controle das situações críticas que podem surgir requer o conhecimento da quantidade de sedimento transportada por um rio, para o dimensionamento de obras hidráulicas, para garantir o equilíbrio dos ecossistemas fluviais e para melhorar a qualidade das águas superficiais. Há duas maneiras de expressá-la : a descarga sólida e a carga sólida. A descarga sólida é a quantidade de sedimento que passa na seção de um rio por unidade de tempo enquanto a carga sólida é a relação entre o peso de material transportado por unidade de tempo e o peso de água que passa no rio por unidade de tempo.

Para controlar a degradação ambiental, necessita-se entre outras coisas de uma análise quantitativa e qualitativa da produção de sedimentos e de água : assim poderão ser definidas práticas agrícolas que melhor conservem o solo e os recursos hídricos : a ocupação do espaço rural poderá ser orientada e o meio ambiente preservado sem prejudicar obras de infraestrutura.

A área a ser estudada nesta pesquisa é constituída pela bacia do rio Potiribu. Esta área foi escolhida para a pesquisa por ser considerada bacia representativa do derrame basáltico sulamericano após estudos descritos por *Borges e Bordas (1990)*, além de se prestar para o emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de simulação de chuvas, devido ao seu relevo suave. A região estudada apresenta uma declividade em torno de 3 a 10%, chegando à máximos de 15% .O seu estudo permite entender quais poderão ser os impactos da agricultura sobre os recursos hídricos do planalto e em outras regiões do país. Se a expansão agrícola descontrolada que está ocorrendo não for controlada, problemas semelhantes ou piores podem acontecer nas regiões de agricultura intensiva, como o Cerrado e a Amazônia.

O Projeto Potiribu nela executado é um projeto integrado de pesquisa, reunindo vários especialistas de diversas entidades e que conta com a assessoria científica do ORSTOM (Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération). Dele faz parte este trabalho, que tem por objetivo principal estudar a produção de sedimentos e água na bacia do rio Potiribu, em bacias embutidas de tamanho crescente, dando ênfase ao estudo dos processos físicos que governam a produção de sedimento e água, e ao efeito de escala.

No capítulo dois são apresentados os objetivos geral e específico deste trabalho. No capítulo três é feita uma revisão dos processos físicos (entre os quais a erosão e os fatores que a afetam), das expressões da produção de sedimento de uma bacia, do estudo da erosão em condições de chuva natural e simulada, e por fim outro do efeito de escala. No capítulo quatro a bacia é apresentada detalhadamente focalizando os aspectos que mais condicionam a produção de sedimentos ; são detalhadas a instrumentação e a operação da bacia (medição de vazão, precipitação, coleta de sedimentos, etc.). No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos do período de junho a setembro de 1991, e a seguir analisados e interpretados. No capítulo seis são apresentadas conclusões e recomendações.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O projeto Potiribu tem por propósito básico a previsão das alterações do regime hidrológico, do comportamento hidrossedimentológico, da qualidade da água e de sedimentos (cargas poluidoras) em função da ocupação do solo e das práticas agrícolas. Esta previsão pode ser feita com o uso de modelos matemáticos.

Os modelos são utilizados para simular a resposta de uma bacia hidrográfica (tal como a produção de água e sedimento) a uma solicitação externa, sempre vinculada à precipitação interceptada e a várias condições características do meio receptor. Esta resposta não poderia ser obtida através de trabalho de campo para todas as bacias desejadas, por ser um trabalho muito longo e caro. Por isso são usados os modelos, que segundo *Kauark Leite (1986)*, citado por *Goldenfum (1991)*, separam os complexos fenômenos físicos, químicos e biológicos envolvidos, para estudá-los como sub-sistemas mais simples e, posteriormente, reagrupá-los. Desta forma, diversos e distintos cenários podem ser simulados para se ajustarem corretamente às práticas agrícolas de cada bacia, permitindo um melhor controle da poluição de origem agrícola.

Os modelos comportam duas funções fundamentais que são: produção e transferência. A primeira expressa a produção de água e sedimento, por exemplo, de uma bacia elementar. A segunda deve permitir prever como os sedimentos e a água vão se deslocar na rede de drenagem, onde irão se depositar, em suma, fazer uma propagação das cargas de sedimentos nas bacias elementares até a saída da bacia.

Os modelos podem ser concentrados ou distribuídos. Um modelo é concentrado quando seus parâmetros e variáveis se alteram somente em função do tempo; quando variam também em função do espaço, o modelo é distribuído. Na realidade, os modelos distribuídos subdividem o sistema físico em elementos que são considerados homogêneos quanto às propriedades avaliadas, havendo variação apenas de elemento para elemento. Portanto, os modelos distribuídos tratam o sistema como um conjunto de sub-sistemas concentrados.

Os modelos também podem ser empíricos ou conceituais. Um modelo empírico não leva em conta os processos físicos internos do sistema, enquanto que os modelos conceituais o fazem.

Para obter bons resultados com os modelos existentes, é fundamental o conhecimento dos fenômenos naturais. *Goldenfum (1991)* sugere um maior número de trabalho de campo em pequenas bacias rurais, utilizando monitoramento intenso e detalhado de modo a haver uma

representação mais fiel dos processos hidrossedimentológicos, e a melhorar a compreensão de seu funcionamento.

É necessário então, um conhecimento das funções de produção e de transferência de água e sedimentos em células consideradas como elementares, a serem depois propagadas na rede de drenagem.

2.2 Objetivo Específico

De acordo com o tamanho da área representada pelo modelo, as células elementares podem ser de 2 tipos (figura 2) :

- a) as em que predomina o escoamento difuso : é o caso das parcelas experimentais de 1 m² até 1 ha aproximadamente.
- b) as em que existe escoamento concentrado : Nota-se que o tamanho desse tipo de célula elementar pode variar de acordo com o porte da bacia a ser simulada, e que cabe portanto, que o estudo dessas células seja feito em bacias de vários tamanhos (entre 10 ha e 1.000 km² no caso da região sul).

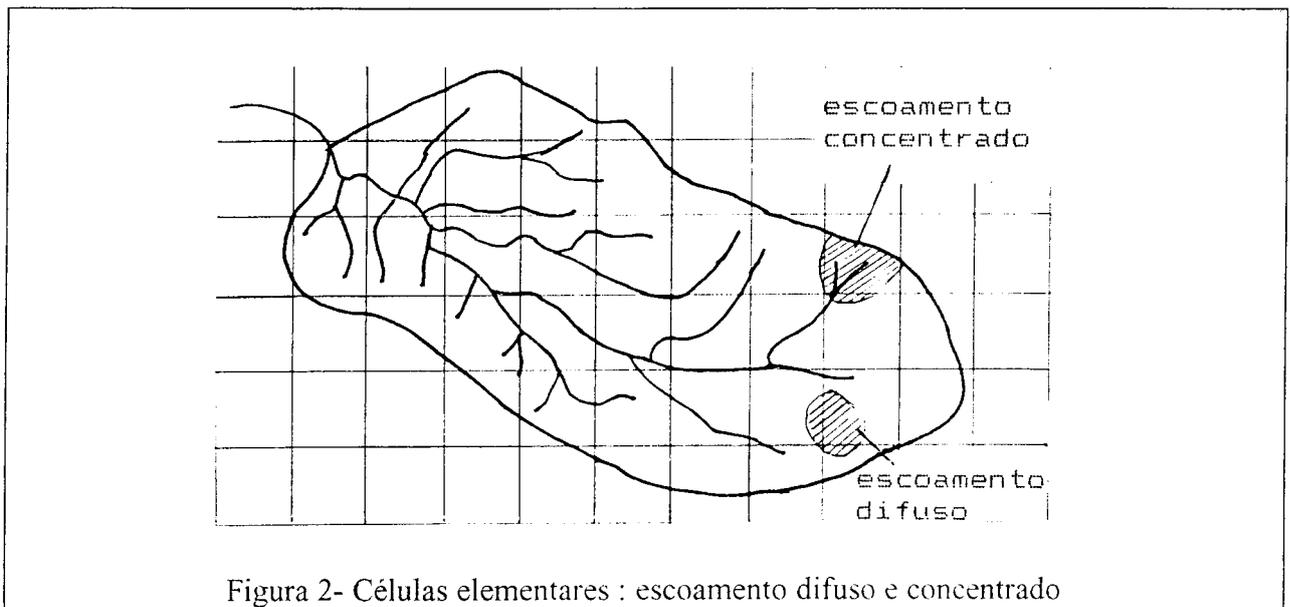


Figura 2- Células elementares : escoamento difuso e concentrado

Esta pesquisa tem por objetivos específicos :

- 1) Identificar as funções de produção e de transferência de água e sedimento para os dois tipos de células elementares típicos da região do planalto basáltico sulriograndense. Pensa-se identificar essas funções de produção a partir da medição nos exutórios de

bacias de vários tamanhos, da quantidade de sedimentos e das vazões produzidas por chuvas isoladas.

- 2) Elucidar a influência dos processos físicos em jogo na formação das cargas sólidas, usando para tanto as medições de vazões e sedimentos, efetuados nas bacias de menor tamanho.

A apresentação dos conhecimentos disponíveis a respeito dos processos físicos que determinam a gênese das cargas sólidas, dos métodos usados na determinação dessas cargas, e das maneiras de expressá-las é tentada no próximo capítulo.

3. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM BACIAS RURAIS

3.1 Introdução

Neste capítulo será feita uma revisão dos processos físicos que regem a produção de sedimentos por uma bacia hidrográfica, ou seja, dos conhecimentos disponíveis sobre a erosão e o depósito de partículas sólidas. Será também feita uma rápida revisão dos modelos usados para expressar a produção de sedimentos em bacias em que predomina o escoamento difuso (bacias elementares do primeiro tipo) e em bacias onde predomina o escoamento concentrado. Será abordado também a influência do efeito de escala na hidrologia (escala espacial e temporal).

3.2 Processos físicos

3.2.1 Erosão do Solo

3.2.1.1. Definição

Erosão é a remoção de partículas constituintes do solo, resultante da precipitação pluviométrica, ou pela ação dos ventos e das ondas (RS, *Secretaria da Agricultura, 1983*). No caso presente, o estudo deter-se-á exclusivamente na erosão hídrica.

3.2.1.2. Descrição do processo de erosão pela água

Na erosão hídrica, os principais agentes erosivos são : o impacto das gotas da chuva (efeito de salpico) sobre o solo e o escoamento superficial d'água sobre a superfície do solo.

O processo de erosão hídrica do solo pela chuva é descrito por *Cogo (1975)* da seguinte forma : "tão logo a chuva começa a ocorrer, a vegetação eventualmente crescendo na área irá evitar que parte da precipitação atinja diretamente a superfície do solo. Este processo físico é chamado de *interceptação*. Parte da chuva, se a área não estiver totalmente coberta pela vegetação, ou a chuva inteira, se a área estiver totalmente desprovida de vegetação, irá imediatamente atingir diretamente a superfície do solo. Esta ação de impacto das gotas de chuva sobre o solo descoberto dá início ao processo de desagregação do solo devido a grande quantidade de energia cinética contida na mesma."

Durante uma chuva, milhares de milhões de gotas de chuva golpeiam cada hectare de terreno, despreendendo partículas da massa de solo e lançando-as em todas as direções. *Ellison (1947)*, afirma que muitas destas partículas podem ser atiradas a mais de 60 cm de altura e a mais de 1,50 m de distância.

Segundo este autor, as gotas de chuva que golpeiam o solo contribuem para o processo erosivo pelo menos sob 3 formas :

- a) Despreendem partículas de solo no local que sofre o impacto ;
- b) Transportam por salpicamento as partículas despreendidas e
- c) Imprimem energia em forma de turbulência à água superficial.

Logo após a chuva cair no solo uma parte dela infiltra-se, enquanto o restante vai encher as pequenas depressões ou áreas de micro relevo existentes na superfície rugosa do terreno. Após, a água começa a acumular-se nessas depressões e, logo, começa a escoar sobre a superfície do solo. Neste momento, o transporte das partículas de solo desagregadas pode começar a ocorrer. Se a capacidade de transporte (quantidade de sedimento por unidade de tempo que um escoamento consegue transportar) do escoamento superficial for maior que a carga de sedimentos que ele contém, ocorre o transporte. Se a carga de sedimentos contida no escoamento superficial for maior que a sua capacidade de transporte ocorre a deposição.

3.2.1.3. Fatores que afetam a erosão hídrica

A erosão hídrica do solo se manifesta com uma intensidade variável condicionada pelos seguintes fatores : chuva, solo, topografia, cobertura e manejo do solo.

a) Chuva

A chuva é um dos fatores climáticos de maior importância da erosão dos solos.

Dados de chuvas em totais ou médias mensais e/ou anuais pouco significam em relação à erosão. A apresentação dos dados de chuvas totais de áreas, limitados pelas observações feitas a cada 24 horas, também não tem grande significado em relação a erosão, já que nunca a chuva se distribui uniformemente no período de um dia (*Bertoni e Lombardi Neto, 1985*).

Para um estudo de erosão dos solos deve ser analisado cada evento, com sua intensidade, duração e frequência.

A intensidade é o fator mais importante. Quanto maior a intensidade de chuva maior a perda por erosão.

A duração da chuva é o complemento da intensidade ; a combinação dos dois determina a chuva total. Analizando duas chuvas com a mesma intensidade, caindo em condições de solo, cobertura e fatores topográficos iguais, a chuva de maior duração irá causar uma perda de solo maior.

A frequência das chuvas é um fator que também influi nas perdas de solo pela erosão. Se o intervalo entre elas é curto, o teor de umidade do solo é alto, assim o escoamento superficial

também é mais alto e conseqüentemente a erosão é maior. Quando os intervalos são maiores, o solo está seco e o escoamento superficial será menor pois haverá uma infiltração alta.

A tabela 3.1, segundo *Hadley et al. (1985)*, mostra os diversos índices, determinados por vários autores, que são usados para indicar a erosividade das precipitações.

Tabela 3.1 - Índices de Erosividade (fonte : *Hadley et al., 1985*).

Índices	Pesquisador
a) P^2 / p onde P , precipitação média mensal do mês mais chuvoso p , precipitação média anual	<i>Fournier (1960)</i>
b) $\sum_1^{12} P_i^2 / p$ onde P_i , precipitação média mensal p , precipitação média anual	<i>Arnoldus (1977)</i>
c) $p \times \theta$ onde p , precipitação média anual θ , desvio padrão da média mensal das precipitações totais	<i>Ciccaci et al. (1977)</i>
d) $b \times c$ onde b , número de dias com precipitação maior que 30 mm para bacias permeáveis e maior que 20 mm para bacias impermeáveis c , porcentagem de precipitação anual em relação aos dias de precipitação maior que 30 mm	<i>Demmak (1982)</i>
e) $E \times I_{30}$ onde E , energia cinética total do evento I_{30} , intensidade máxima em 30 minutos	<i>Wischmeier e Smith (1978)</i>
f) $(\sum_1^k A \times I_m) / 100$ onde A , altura pluvial para um evento individual I_m , intensidade máxima de chuva do evento individual k , número de eventos no ano	<i>Lal (1976)</i>

b) Solo

O impacto da chuva sobre o solo é a causa fundamental da erosão hídrica. Por isso a quantidade de material erodido, vai depender da combinação do poder da chuva em causar erosão e da habilidade do solo em resistir à ação da chuva. Para identificar as propriedades do solo que afetam a erosão hídrica torna-se interessante considerar os componentes essenciais da erosão que são : desagregação e transporte. Solos de alta desagregabilidade e alta transportabilidade são altamente erodíveis (*Cogo, 1975*).

b.1) Propriedades do solo que afetam a desagregação (*Cogo, 1975*) :

Para evitar de ser separada da massa de solo, uma partícula tem que estar unida às demais partículas, de modo que o agente desagregante não possa removê-la. A argila é o principal agente cimentante das partículas de solo junto com a matéria orgânica, embora, em grau menor. A argila atua pela atração eletrostática excida por suas partículas.

O conteúdo de matéria orgânica também afeta a desagregabilidade, uma vez que quanto maior o teor de matéria orgânica maior a estabilidade dos agregados, portanto, menor a desagregabilidade do solo. A combinação de matéria orgânica com argila fornece uma alta estabilidade aos agregados do solo, tornando-o resistente à desagregação.

O conteúdo de umidade do solo também influencia a estabilidade dos agregados. Solos com umidade intermediária desagregam menos do que solos secos ou molhados.

b.2) Propriedades do solo que afetam o transporte (*Cogo, 1975*) :

O tamanho das partículas desagregadas é fundamental na determinação da transportabilidade do solo. As menores partículas desagregadas são as mais facilmente transportadas. Partículas de areia ou agregados do solo do tamanho de areia ou maiores somente são transportadas por escoamentos rápidos, ou pela água que está sendo constantemente agitada pelas gotas da chuva. Partículas de argilas dispersas permanecem indefinidamente em suspensão, sendo as mais facilmente transportadas pelo escoamento superficial.

A densidade das partículas desagregadas também afeta a transportabilidade. As partículas mais facilmente transportadas são as de densidade menor.

Seixas (1984) compara o comportamento de um solo arenoso com um solo argiloso durante uma precipitação. Um solo arenoso, com interstícios grandes, durante uma chuva leve absorve toda a água que recebe sem originar escoamentos superficiais e portanto, sem sofrer erosão. Em compensação, como possui baixos teores de partículas argilosas que atuam ligando, mantendo unidas as partículas grossas, ao fluir qualquer corrente de água sobre uma superfície, arrasta grandes quantidades de solo. O oposto se verifica com o solo argiloso provido de espaços intersticiais muito pequenos. Durante uma chuva normal, devido ao reduzido tamanho de seus

poros, grande parte da água não penetra no solo, escoando superficialmente. Em contraposição, é grande a resistência à ação desintegradora da água corrente.

c) Topografia

A topografia do terreno, representada pela declividade e pelo comprimento das rampas, exerce acentuada influência sobre a erosão. *Bertoni e Lombardi Neto (1985)*, afirmam que o tamanho e a quantidade do material em suspensão transportado pela água dependem da velocidade com que ela escoar e essa velocidade é uma resultante do comprimento da rampa e do grau de declive do terreno.

A inclinação do terreno tem papel importantíssimo no fenômeno da erosão, pois a água flui mais rapidamente à medida que aumenta a declividade e, por isso mesmo, o tempo de infiltração se torna menor.

Seixas (1984) alerta que o comprimento de rampa não é menos importante que o grau de inclinação, principalmente quando se trata de vertentes cultivadas. O solo, ao saturar-se de umidade, faz com que a água do escoamento se acumule em toda a extensão da vertente, aumentando o seu volume, a sua velocidade e concorrendo para os mais desastrosos efeitos.

Para uso e combinações definidas de comprimento e grau de declive, foi construído um gráfico usando a equação proposta por *Wischmeier e Smith (1960)*, citado por *Bertoni e Lombardi Neto (1985)* :

$$LS = \sqrt{L} \times (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2) / 100$$

onde :

L = comprimento de declive em metros

S = grau do declive em porcentagem

Enfim o microrelevo constitui outro fator topográfico que influi na erosão, trata-se de pequenas elevações e depressões naturais ou causadas pelo preparo do solo e caminhamento de animais. O microrelevo retém parte da água da chuva, permitindo sua infiltração.

d) Cobertura vegetal

A cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão.

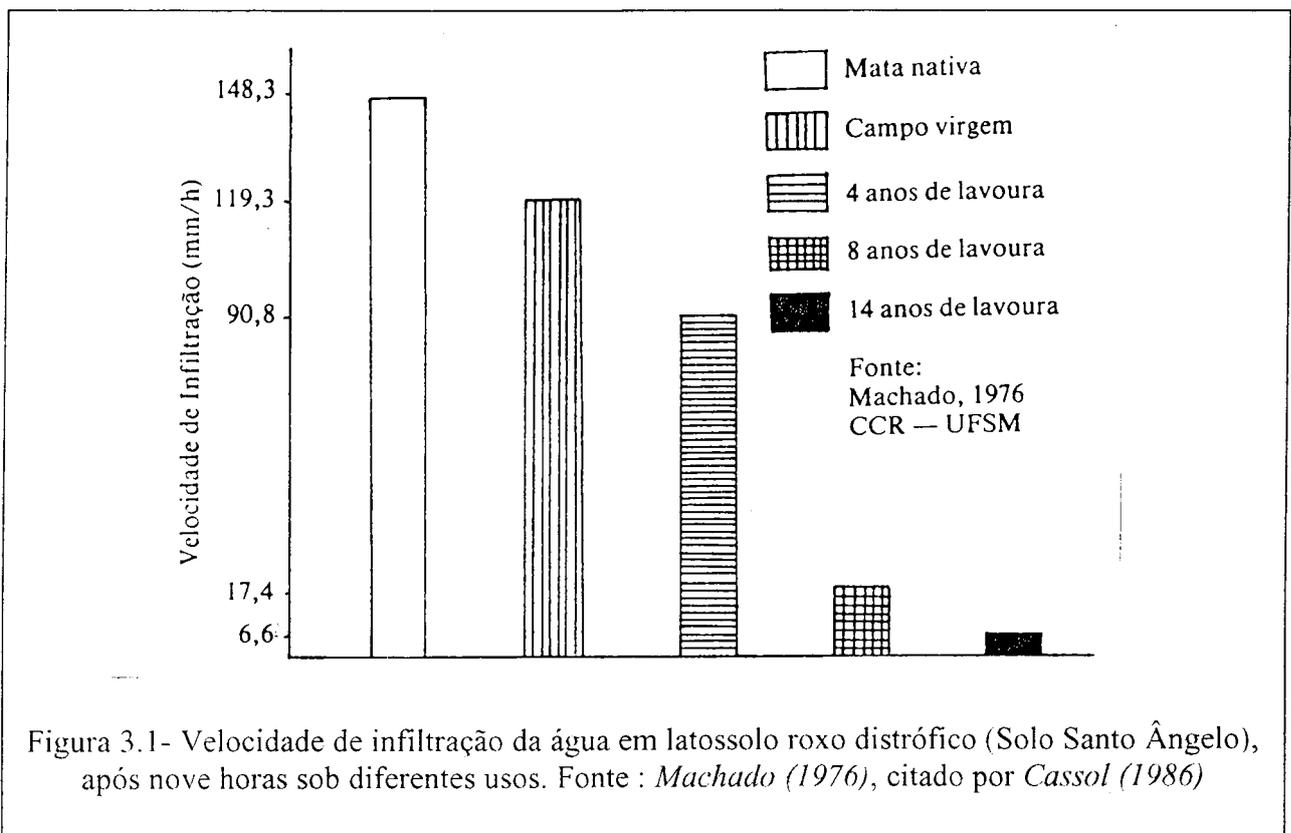
Segundo *Bertoni e Lombardi Neto (1985)*, os efeitos da vegetação são múltiplos e podem ser assim relacionado :

- 1) Proteção direta contra o impacto das gotas de chuva ;
- 2) Dispersão da água, interceptando e evaporando antes que atinja o solo ;

- 3) Decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração da água ;
- 4) Melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água ;
- 5) Diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento de atrito na superfície.

Quando uma gota de chuva se choca com a cobertura vegetal densa, rompe-se em minúsculas partículas de água que penetram facilmente no solo. Ao passo que, quando a gota golpeia diretamente o solo desnudo, a força do impacto desprende partículas de solo que ficam em suspensão e à medida que a água se infiltra, se depositam nos espaços porosos do solo, obstruindo e dificultando a passagem posterior de água que se torna forçada a escoar pela superfície do terreno. Por outro lado, a folhagem que cai, ao decompor-se, aumenta o teor de matéria orgânica e conseqüentemente a porosidade do solo. (Seixas, 1984).

A vegetação protege também o solo da radiação solar, diminuindo a evaporação da água acumulada da camada superficial do solo e reduzindo assim a infiltração dessa água e o armazenamento de água dentro do solo.



A figura 3.1 mostra os valores da velocidade de infiltração de água para diferentes usos do solo.

Pelos dados apresentados, nota-se que a velocidade de infiltração decresce com o aumento dos anos de cultivo do solo e com a diminuição da cobertura vegetal.

Os tipos de preparo do solo afetam grandemente o grau de cobertura do solo e as condições físicas da superfície. Preparos de solo que enterram toda a resteva da cultura anterior como o sistema convencional de preparo, proporcionam maior erosão do solo do que os sistemas de preparo reduzido, em que parte da resteva é deixada na superfície.

e) Manejo do solo

O manejo do solo compreende o tipo de preparo do solo, práticas culturais, tipos de cultura, etc. Todos estes aspectos inerentes ao uso do solo afetam enormemente a erosão, devido a ação da cobertura do solo e condições de superfície pelos diferentes tipos de manejo.

Dois sistemas básicos de preparo do solo devem ser levados em consideração : o convencional e o conservacionista.

O sistema convencional é o sistema que tradicionalmente tem sido usado, com queima dos resíduos sobre o solo e grande mobilização do solo com máquinas agrícolas. Este sistema é muito favorável à erosão.

O sistema conservacionista é aquele sistema que adota qualquer sequência de preparo do solo que reduza as perdas de solo e água em relação ao preparo convencional. Há dois aspectos fundamentais que caracterizam o sistema conservacionista. São eles : conservação da cobertura por resíduo vegetal e diminuição da mobilização do solo.

A não mobilização do solo é importante pois quanto menos máquinas pesadas passarem sobre o solo, menor será a compactação do solo superficial, maior será a infiltração da água, menor será o escoamento superficial e menor será então a erosão.

Um sistema muito adotado nos últimos anos é o plantio direto. Trata-se de um sistema conservacionista no qual a semente é depositada diretamente no solo não preparado, e onde os resíduos da cultura anterior permanecem na superfície, protegendo o solo do impacto da chuva e aumentando nele a porcentagem de matéria orgânica em decorrência da decomposição dos restos culturais.

O terraceamento também é uma prática conservacionista muito utilizada. O terraceamento é formado por um conjunto de terraços geralmente complementados por canais escoadouros. O terraço é uma estrutura mecânica construída no terreno, formada pelo conjunto de um canal e um camalhão, dispostos transversalmente ao declive e construídos espaçadamente a distâncias que

variam conforme a declividade e o tipo de solo. A principal função do terraço é diminuir o comprimento do declive, reduzindo, assim, a formação de sulcos em regiões de alta precipitação e retendo mais água em zonas mais secas.

Outras práticas conservacionistas bastante usadas são : as culturas em faixas, que consistem na disposição das culturas em faixas de largura variável, de tal forma que a cada ano se alterem plantas que oferecem pouca proteção ao solo com outras de crescimento denso ; os cordões de vegetação permanente, que são fileiras de plantas perenes e de crescimento denso, dispostas com determinado espaçamento horizontal e sempre em contorno ; a adubação verde, que é a incorporação ao solo, de plantas especialmente cultivadas para esse fim. Estas plantas protegem o solo contra a ação direta da chuva quando estão vivas e, depois de enterradas, melhoram as condições físicas do solo pelo aumento do conteúdo de matéria orgânica ; e o plantio em contorno, que consiste em dispor as fileiras de plantas e executar todas as operações de cultivo no sentido transversal ao declive, em curvas de nível.

As práticas conservacionistas podem ser feitas em conjunto, como por exemplo terraços e plantio em contorno ou terraços e cordões vegetativos.

Cassol et al. (1987) desenvolveram um trabalho realizado no CTC (Centro de Treinamento da Cotrijuí) em Ijuí e concluíram que em relação ao solo descoberto, o preparo convencional reduziu as perdas de solo em média em 22,8% para o trigo e 76,4% para a soja ; o cultivo mínimo em 54,8% para o trigo e 79,6% para a soja e o plantio direto em 96,3% para o trigo e 95,3% para a soja. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 3.2

Tabela 3.2 -Perdas absolutas (t/ha) e relativas (%) de solo durante todo o ciclo das culturas de trigo e soja no CTC (Centro de treinamento da cotrijuí) de 1979 a 1981

Preparo solo	Trigo				Soja			
	1979 t/ha	1980 t/ha	Média		1979/80 t/ha	1980/81 t/ha	Média	
			t/ha	(%)			t/ha	(%)
1	52,5	32,8	42,7	100	237,8	139,4	188,6	100
2	37,1	20,3	28,7	67,2	63,1	26,2	44,6	26
3	22,6	16,0	19,3	45,2	54,9	21,8	38,4	20,4
4	1,9	1,3	1,6	3,7	14,5	6,1	9,0	4,7

(%) Perdas relativas de solo, tomando por base as perdas em Preparo Convencional Descoberto.

- 1 - Preparo convencional, solo descoberto
- 2 - Preparo convencional
- 3 - Cultivo Mínimo
- 4 - Plantio Direto

3.2.1.4 Metodologia de Estudo

A influência desses fatores sobre a erosão é estudada geralmente por via experimental em parcelas de tamanhos padronizados com superfície da ordem de 100 m². Nelas é estudada a perda de solo causada pela erosão hídrica. A erosão nesta escala é causada pelo efeito de salpico, ou seja, pela desagregação do solo que o impacto da gota da chuva causa, ao atingir o solo ; e pelo escoamento superficial difuso na parcela , eventualmente concentrado em pequenos sulcos. Essas parcelas são estudadas somente sob chuvas naturais. Os resultados obtidos nelas foram largamente usados por Wischmeier e serviram de base para elaboração da USLE (Equação Universal de Perdas de Solo). Surgindo a necessidade de acelerar as pesquisas, foram criados os "simuladores de chuvas", e as parcelas de Wischmeier passaram a ser estudadas também sob chuva artificial.

a) Estudo da Erosão em condições de chuvas naturais

O processo de perda de solo pela erosão hídrica é geralmente estudado através de parcelas experimentais sob chuvas naturais que são monitoradas.

Olson e Wischmeier (1963) estudaram a perda de solo em parcelas experimentais, que são conhecidas como parcelas de Wischmeier. Estas parcelas têm 22 metros de comprimento, 9% de declividade, são mantidas constantemente descobertas e preparadas no sentido do declive (parcela padrão). As outras parcelas estudadas costumam ter o mesmo comprimento e declividade, mas são cultivadas, geralmente com culturas diferentes e o preparo do solo varia de uma para outra, a fim de compará-las com a parcela padrão.

Dados dessa natureza foram coletados durante 40 anos nos Estados Unidos (*Olson e Wischmeier, 1963*) a partir dos quais estabeleceram-se equações que permitem avaliar perdas de solo ao longo dos anos. Um exemplo desse tipo de estudo no Brasil, é o estudo de *Bertoni et al. (1975)*, que conduziram pesquisas desde 1943 em quatro locais do Estado de São Paulo. No Rio Grande do Sul, a Secretaria da Agricultura desenvolve atualmente esse tipo de estudo em três locais : em Guaíba, em colaboração com o Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FA/UFRGS) desde 1975, em Santa Maria, na Estação Experimental desde 1978 e em Augusto Pestana, próximo a Ijuí com a colaboração da Cotrijuí (Cooperativa Regional Triticola Serrana Ltda), desde 1978. No Paraná o IAPAR, vem conduzindo pesquisas em parcelas de 10 x 32 m, desde 1976.

Esse sistema de estudo da erosão em condições de chuvas naturais é bastante caro e demorado. O estudo da erosão com simuladores de chuva oferece uma alternativa para encurtar os prazos da pesquisa.

b) Estudo da erosão com simuladores de chuva

O simulador de chuva, como o nome já diz, é um aparelho que simula uma chuva de intensidade e duração desejada, que cai sobre uma parcela de área conhecida.

Segundo *Asseline e Valentin (1978)*, o simulador de chuva tem os seguintes objetivos :

- a) Estudar as características do escoamento e da infiltração, nas condições mais próximas possíveis das condições naturais ;
- b) Recolher dados suficientes para serem utilizados nas várias aplicações : pedologia (teste de erodibilidade e instabilidade estrutural), hidrologia (estudo do escoamento) e agronomia (evolução da superfície do solo com as diferentes intensidades de chuva, comparação de técnicas culturais, ...) ;

Meyer (1965), enumera as seguintes vantagens no uso de simuladores de chuva na pesquisa de conservação de solos :

- a) Resultados mais rápidos : a chuva simulada pode ser aplicada em tratamentos escolhidos. O estudo de chuvas naturais demandaria muitos anos para se obter informações e as vezes, após um período grande, os objetivos iniciais perdem a finalidade em função das mudanças na agricultura ;
- b) Maior eficiência : uma vez que os testes são feitos mais rapidamente e num tempo pré-determinado, a manutenção das parcelas experimentais é muito mais barata. Com chuva natural as parcelas precisam ser mantidas durante anos, o que encarece a pesquisa ;
- c) Maior controle : a chuva simulada permite uma inspeção de todos os equipamentos antes e logo após cada precipitação. Também medições que seriam difíceis de fazer durante uma chuva natural são facilmente realizadas durante a chuva simulada. O controle das condições do experimento pode ser melhor, uma vez que é conhecido precisamente quando a chuva simulada vai ocorrer.

Existem vários modelos de simuladores.

Meyer e McCune (1958) desenvolveram um simulador (figura 3.2), projetado para trabalhos em parcelas de até 3 metros de largura e 25 metros de comprimento. Este aparelho é muito complexo, dispendioso e de difícil manuseio (*Bertoni e Lombardi Neto, 1985*).

Swanson (1965) projetou um simulador que reduzia grandemente a mão de obra requerida, mantendo-o ainda valioso para parcelas de campo (figura 3.3). Sua base foi um equipamento comercial de irrigação de braços rotativos. Dez braços, cada um com 8 metros de comprimento, acoplados numa haste central que também conduz a água para os braços. O simulador montado num reboque é instalado entre as parcelas, de tal forma que os braços girem sobre as mesmas.

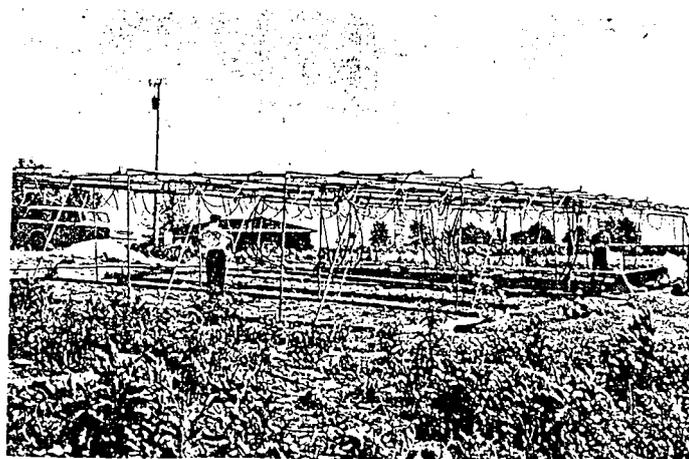


Figura 3.2- Simulador de chuvas proposto por Meyer e McCune. Fonte : Zanchi (1979)

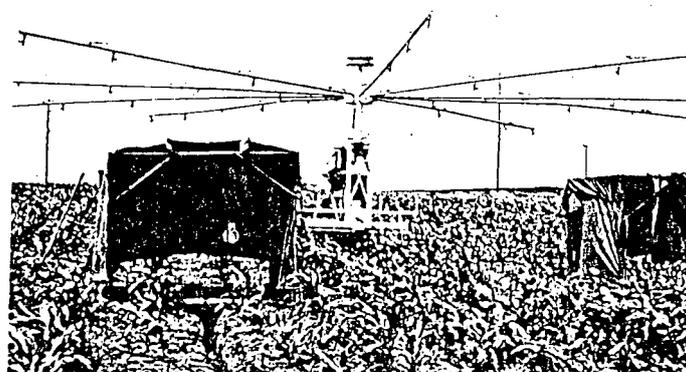


Figura 3.3- Simulador de chuvas proposto por Swanson. Fonte : Zanchi (1979).

Simuladores como os de *Meyer e Swanson* são muito grandes, o que dificulta o seu transporte até o campo e a sua operação.

Zanchi et al. (1983) desenvolveram um simulador de chuvas mais fácil de montar e transportar (figura 3.4). Ele é composto por 4 unidades que podem trabalhar separadas independentes uma das outras ou juntas. Cada unidade cobre uma parcela de 4,5 m de largura por 3,5 m de comprimento. As áreas cobertas são de 13,5 m², 27,0 m², 40,5 m² ou 54 m². As barras do simulador são de alumínio, reduzindo o seu peso e facilitando a montagem e desmontagem.

Asseline e Valentin (1978) aperfeiçoaram um minissimulador de chuvas originalmente idealizado por *Bertrand e Parr (1960)*.

Esses autores desenvolveram um simulador de chuva que tem por objetivos melhorar as técnicas dos simuladores já existentes. Eles projetaram um aparelho fácil de transportar e de armar que se distingue dos demais modelos existentes pelo fato de que a chuva que cai sobre a parcela de 1 m² pode ser programada para várias intensidades e durações diferentes, sem sofrer interrupções, de uma maneira progressiva e contínua dentro de uma faixa de intensidade compreendida entre 30 e 140 mm/h.

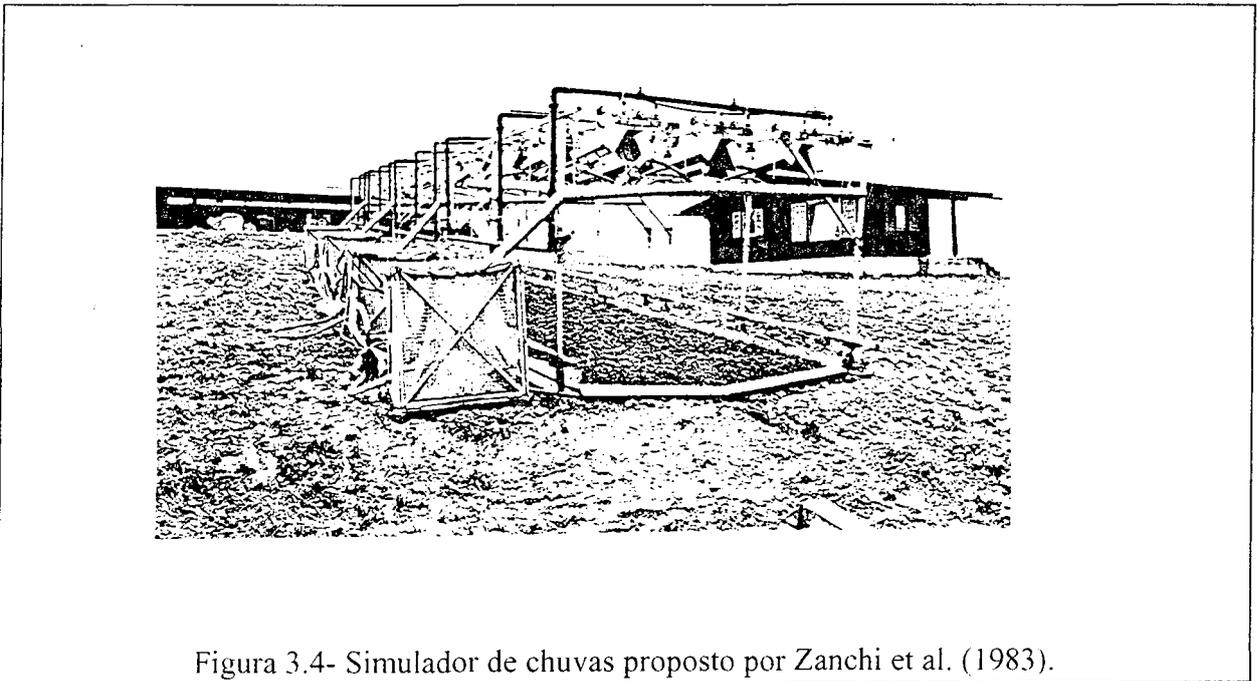


Figura 3.4- Simulador de chuvas proposto por Zanchi et al. (1983).

Asseline e Valentin (1978) fizeram um estudo comparativo entre a energia cinética das chuvas naturais e das chuvas simuladas pelo simulador desenvolvido por eles. Concluíram que o

simulador de chuva produz energia cinética mais próxima das energias cinéticas naturais, quanto maior é sua intensidade. A energia cinética produzida pelo simulador em todas as intensidades testadas é inferior à produzida pelas chuvas naturais. Com uma intensidade de 37 mm/h, a relação entre energia cinética simulada e energia cinética natural é de 57%, com uma intensidade de 60 mm/h esta relação é de 87% e com uma intensidade de 140mm/h é de 90%. Estes resultados são comparáveis com os de *Meyer (1965)*, que fazendo este tipo de estudo, com uma intensidade de chuva de 50 mm/h chegou a uma relação entre a chuva simulada e a natural de 77%.

Semmelmann et al. (1991), mediram a energia cinética de chuvas simuladas pelo simulador desenvolvido por *Asseline e Valentin (1978)*, em função de suas intensidades. Na ausência de medições de energias cinéticas de chuvas naturais na região de interesse (planalto médio), os autores compararam os resultados com dados de energias cinéticas naturais relatadas por *Wischmeier e Smith (1978)*. Para intensidades de chuvas de 40, 60 e 76 mm/h os autores constataram que as energias cinéticas simuladas correspondem a 46,7% ; 44,7% e 43,8% das energias cinéticas naturais, respectivamente, valores esses, menores que os geralmente encontrados nas bibliografias.

Nesta pesquisa será usado o simulador de chuva desenvolvido por *Asseline e Valentin (1978)* cuja descrição é feita na seção 4.3.4.2.

3.2.2 Depósito

A erosão e o depósito são os dois fenômenos fundamentais que regem o comportamento do leito dos rios e determinam o balanço sedimentológico de uma bacia (*Bordas et al., 1988*). O fenômeno do depósito é bem menos conhecido que a erosão e a metodologia usada em geral para estudá-lo é de laboratório, com uso de canais. Já a erosão é estudada em parcelas e em pequenas bacias hidrográficas.

3.2.2.1 Descrição do fenômeno

As partículas de solo que são desagregadas pela ação da gota da chuva são transportadas pelo escoamento superficial. Se a capacidade de transporte máxima deste escoamento for maior que a carga de sedimentos que ele contém, ocorre o transporte ; caso contrário ocorre a deposição.

Os sedimentos transportados pelo escoamento superficial podem ser carregados pelos rios e eventualmente alcançar o oceano. No entanto, alguns deles são depositados nas bases das vertentes, em reservatórios e sobre planícies aluviais ao longo de seu caminho rumo à saída da bacia. Alguns sedimentos são depositados somente temporariamente. As chuvas sub-sequentes, as vezes muitos anos depois, podem coletar os sedimentos e movê-los mais adiante ao longo da rede de drenagem.

Golubev (1982), citado por *Walling (1983)* desenvolveu um estudo na bacia do rio Oka, na Rússia e concluiu que somente 10% da perda de solo bruta é transportada para os grandes rios, 60% é depositada nas bases das vertentes, 20% é depositada em canais efêmeros e 10% é depositada em cursos menores da rede.

Hadley e Shown (1976), citado por *Walling (1983)* concluíram que somente 30% dos sedimentos erodidos nas microbacias (0,5 a 5,2 km²) da bacia de Ryan Gulch no noroeste do Colorado, U.S.A., encontram seu caminho para o rio principal e mais ou menos 30% deste sedimento é transportado até a saída da bacia.

3.2.2.2 Fatores que influenciam o depósito

Para ocorrer o depósito, como foi visto, é necessário que a capacidade de transporte do escoamento seja menor que a carga de sedimentos que ele contém. Esta capacidade de transporte que o escoamento possui, varia com o atrito entre o sedimento que o escoamento carrega e o fundo do leito (em caso de depósito nos rios), ou a camada de solo superficial (em caso de depósito nas vertentes). Ou seja, se a energia dissipada com o atrito varia, haverá várias capacidades de transporte, e para uma mesma carga de sedimento, ora poderá haver depósito, ora não.

3.2.2.3 Metodologia de Estudo

As pesquisas sobre depósito são geralmente realizadas em laboratório, com o uso de canais. *Silvestrini (1991)* fez uma revisão de trabalhos realizados sobre a capacidade de transporte à partir da formação de depósitos de sedimentos. Esta linha de pesquisa teve origem nos trabalhos de *Gilbert (1914)*, o qual desenvolveu uma série de relações empíricas em que variavam as condições de vazão, declividade e propriedades de sedimento, em fundo fixo e móvel. O uso dessas equações não é considerado prático devido aos processos iterativos que se deve realizar, porém os seus dados são de extrema utilidade para ajustar novas fórmulas.

Pedroli (1963) pesquisou a formação de depósito em canais de fundo fixo e liso. O objetivo de suas experiências consistiu, essencialmente, em avaliar o transporte de sedimentos de fundo em estações de controle construídos sobre leitos naturais em regiões montanhosas. Para uma determinada vazão eram injetadas quantidades sempre crescentes de material sólido até conseguir o depósito.

Novak e Nalluri (1975, 1978 e 1984), efetuaram também amplas pesquisas em condutos circulares e canal retangular de fundo fixo liso ou rugoso, com a finalidade de determinar o início de movimento para partículas discretas e transporte sólido por arraste, definido como a máxima taxa de transporte sem tendência do sedimento à depositar.

No Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) tem-se desenvolvido uma série de pesquisas desde 1974 sobre transporte de sedimentos em canais de fundo fixo e móvel e formação de depósito (*Costa, 1974 ; Almeida, 1980 ; Garcia, 1983 ; Medeiros, 1986 ; Borges, 1987*). Os resultados desses experimentos foram sintetizados por *Bordas et al. (1988)*. Os autores estudaram as condições hidráulicas do escoamento que regem a formação de depósitos em águas correntes. Este estudo permitiu estabelecer relações mais precisas que as fórmulas clássicas entre a capacidade máxima de transporte, a potência hidráulica do escoamento, o tamanho dos sedimentos transportados e a rugosidade do fundo do rio. A partir destas relações, é possível fazer um estudo sobre a formação dos depósitos em águas correntes usando variáveis independentes (vazão, potência hidráulica).

O critério para a condição crítica, em todos os casos, foi a formação de um depósito contínuo, uniforme e com espessura igual ao diâmetro da partícula transportada. Os resultados mostraram que :

- a) A potência hidráulica por unidade de superfície é a variável mais confiável para expressar a capacidade de transporte ;
- b) Pode-se definir três modalidades distintas de transporte por arraste : transporte de grãos isolados, de conjunto e da massa, cada uma delas respondendo a uma lei diferente de consumo de energia ;
- c) Um escoamento transporta mais facilmente as partículas de diâmetro idêntico ao do revestimento de fundo que as de qualquer outro tamanho.

Silvestrini (1991) continuando na mesma linha de pesquisa do IPH/UFRGS, aprimorou a definição de um critério analítico para obtenção da vazão crítica de início de depósito com base na idéia, originalmente elaborada por *Costa (1974)*. Foi possível definir uma nova taxa de depósito, calculada a partir do volume de sedimentos captados por uma fossa de retenção localizada à jusante da zona de observação no canal. Os resultados obtidos pelos critérios analítico e experimental são praticamente idênticos. O autor estendeu os resultados antes obtidos para uma gama de potências hidráulicas maiores, e conseguiu fundir todos os resultados numa única expressão (*Bordas e Silvestrini 1992*).

3.2.3 Síntese

Os fenômenos da erosão são bastante estudados. Dispõe-se de um bom acervo de resultados (parcelas de Wischmeier) que permitiu elaborar uma "Equação Universal de Perdas de Solo (USLE)", a seguir apresentada (seção 3.3.1). Os estudos do impacto da chuva no solo em parcelas de 1 m², são ainda escassos para termos um bom entendimento do efeito de salpico e dos processos físicos. Os estudos sobre o depósito também são escassos.

3.3 Expressão da produção de sedimentos de uma bacia elementar

Como já visto podemos dividir as bacias elementares em dois tipos :

- a) bacias elementares do 1° tipo : São aquelas em que predomina o escoamento difuso. São as parcelas experimentais de até aproximadamente 1 ha. O escoamento superficial ocorre de maneira difusa, pois o caminho que este percorre é curto, não chegando a concentrar o fluxo. Por isso não ocorre erosão em sulcos de modo muito significativo. Entre os modelos hidrossedimentológicos que usualmente se aplicam à este tipo de bacia elementar destaca-se o modelo empírico Equação Universal de Perda de Solo (USLE), que foi criado baseado no trabalho de Wischmeier em parcelas e extrapolada para vertentes.
- b) bacia elementar do 2° tipo : São aquelas em que predomina o escoamento concentrado na formação das cargas sólidas. São bacias maiores que 1 ha. Nestas bacias além do efeito splash, o escoamento superficial também é responsável pela desagregação das partículas do solo, pois devido à sua maior área, o escoamento difuso, ao se propagar pela bacia, toma caminhos preferenciais, se transforma em escoamento concentrado e quando este passa, desagrega partículas que ainda não haviam sido desagregadas pelo impacto da gota da chuva no solo. Neste tipo de bacia elementar, podemos destacar alguns dos modelos empregados : a taxa de transferência (SDR) e o PSIAC, que são modelos empíricos, a equação universal de perda de solo modificada (MUSLE), que é um modelo semi-empírico, pois é uma modificação da USLE, que utiliza vazões e volumes escoados em vez de chuvas. Esses últimos são medidos ou calculados com auxílio de modelos conceituais.

3.3.1 Bacia elementar do primeiro tipo (com predominância de escoamento difuso) : USLE

Wischmeier e Smith (1978), desenvolveram uma equação empírica nos E.U.A. a partir de numerosos trabalhos realizados desde 1940. Suas conclusões apoiaram-se na análise estatística de mais de 10.000 dados anuais. O resultado final foi a equação dita universal de perdas de solo :

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

onde :

- A = perda anual de solo calculada por unidade de área
- R = fator erosividade da chuva
- K = fator erodibilidade do solo
- L = fator comprimento da vertente
- S = fator declividade da vertente
- C = fator uso e manejo do solo / cobertura vegetal
- P = fator práticas conservacionistas

3.3.1.1 Fator erosividade da chuva : R

A partir das correlações obtidas entre as perdas em terra medidas sobre as parcelas experimentais e diferentes características das chuvas, *Wischmeier e Smith (1978)*, encontraram o fator EI₃₀ que é o valor do produto da energia cinética de cada chuva unitária pela sua intensidade máxima em 30 minutos.

$$EI_{30} = E_c \times I_{30}$$

onde :

EI_{30} = Índice de erosão (t.m * mm/ha.h)

E_c = Energia cinética da chuva em t.m/ha.mm

I_{30} = Intensidade máxima em 30 minutos, em mm/h.

Esse produto é considerado por *Wischmeier (1959)*, como a melhor expressão do poder da chuva em causar erosão (*Leprun 1981*).

A energia cinética da chuva é calculada pela seguinte equação (*Wischmeier e Mannering, 1969*, citado por *Bertoni e Lombardi Neto, 1985*) :

$$E_c = 12,14 + 8,88 \times \log I \quad \text{para } I \leq 75 \text{ mm/h}$$

$$E_c = 28,8 \quad \text{para } I > 75 \text{ mm/h}$$

onde :

E_c = energia cinética em t.m/ha.m

I = intensidade em mm/h

Para calcular EI₃₀, precisa-se dividir o diagrama de pluviógrafo de cada chuva em seções com declives uniformes e determinar a energia cinética de cada seção, multiplicar esta energia pela quantidade de chuva para cada trecho, somar os valores das energias de todas as seções e finalmente multiplicar esta energia total pela maior intensidade da chuva num período de 30 minutos consecutivos. A soma dos resultados de todas as chuvas (acima de 12,5 mm e separadas de outras chuvas por um período inferior a 6 horas, ou chuvas de 6 mm em um período de 15 minutos, segundo critério estabelecido por *Wishmeier (1978)*) de um ano resulta no fator R anual. O fator R da equação é a média dos valores anuais de R de um período longo de tempo (20 anos ou mais).

3.3.1.2 Fator erodibilidade do solo : K

Nas mesmas condições de clima e de declive sob a mesma cobertura vegetal ou com o mesmo preparo do solo, solos diferentes, mesmo próximos, apresentam sensibilidade à erosão hídrica bem diferentes. (Leprun, 1981)

Wischmeier e Smith (1978) compararam a erodibilidade de solos diferentes e manejos diferentes sobre o mesmo tipo de parcela : a parcela padrão (22m de comprimento, 9% de declividade, mantida continuamente descoberta e preparada no sentido do declive). O fator K, portanto, é um valor quantitativo determinado experimentalmente. Para determiná-lo, usa-se a equação :

$$K = A / R$$

onde :

K = fator erodibilidade do solo

A = perda de solo em t/ha

R = fator erosividade da chuva (t.m.mm/ha.h)

Esta equação é a equação básica de *Wischmeier*, os fatores LS, C e P tem cada um o valor unitário, pois é o caso da parcela padrão.

Sendo de longa duração as medidas experimentais de K, nas condições padrão requeridas, *Wischmeier et al. (1971)*, citado por *Leprun, 1981*, estabeleceram uma equação empírica para a avaliação da erodibilidade, do solo a partir dos cálculos estatísticos. Os autores construíram um ábaco para a obtenção do K. Para a sua utilização cinco parâmetros são considerados :

- 1) a soma da porcentagem de silte e de areia muito fina (granulometria entre 0,05 e 0,10 mm),
- 2) a porcentagem de areia fina a grossa (entre 0,1 e 2 mm),
- 3) a porcentagem de matéria orgânica,
- 4) a estrutura e
- 5) a permeabilidade.

3.3.1.3 Fator topográfico ou fatores comprimento de rampa e grau de declive : LS

Na equação de *Wischmeier e Smith (1978)* o fator LS é igual a 1 para as condições da parcela padrão : 22 m de comprimento e 9% de declividade.

Wischmeier e Smith (1960), citado por *Bertoni e Lombardi Neto (1985)*, desenvolveram após 17 anos de medições um ábaco único dando, ao mesmo tempo, o fator LS em função do comprimento e do grau do declive de acordo com a equação de segundo grau a seguir :

$$LS = \sqrt{L} \times (1,36 + 0,97S + 0,1385S^2) / 100$$

onde :

L = comprimento de rampa em metros

S = grau do declive em %

LS= fator topográfico na USLE

3.3.1.4 Fator cobertura e manejo vegetal : C

Na equação de *Wischmeier e Smith (1978)*, o fator C é a razão entre a erosão medida sobre a parcela cultivada com aração morro abaixo, e a erosão medida na parcela padrão usada para a determinação de K (parcela mantida continuamente sem cobertura vegetal com aração morro abaixo).

O fator C deve portanto ser determinado experimentalmente. Ele se encarrega do efeito total da vegetação viva, dos restos culturais deixados no solo e do tipo e sistema de cultura. O fator C muda em cada estágio de crescimento vegetal.

3.3.1.5 Fator prática conservacionista : P

O fator P, na equação de *Wischmeier e Smith (1978)* é a razão das perdas de terra de um terreno preparado com uma prática conservacionista e de outro terreno, análogo, preparado morro abaixo. Este último terreno pode ser a parcela padrão que já serve de referência para a determinação de K e C.

As práticas conservacionistas mais comuns são : cultivo em curva de nível, cultivo em faixas, terraceamento, etc.

A USLE é um modelo que foi desenvolvido há mais de 20 anos e é ainda um dos modelos mais usados para avaliar a erosão. Ela não define separadamente os fatores relacionados com os processos hidrológicos fundamentais, tais como : chuva, infiltração e escoamento, e os processos de erosão fundamentais como a desagregação, o transporte e o depósito causados pelo impacto da gota da chuva no solo e pelo escoamento superficial (*Foster e Lane, 1987*).

3.3.2 Bacia elementar do segundo tipo (predominância do escoamento concentrado)

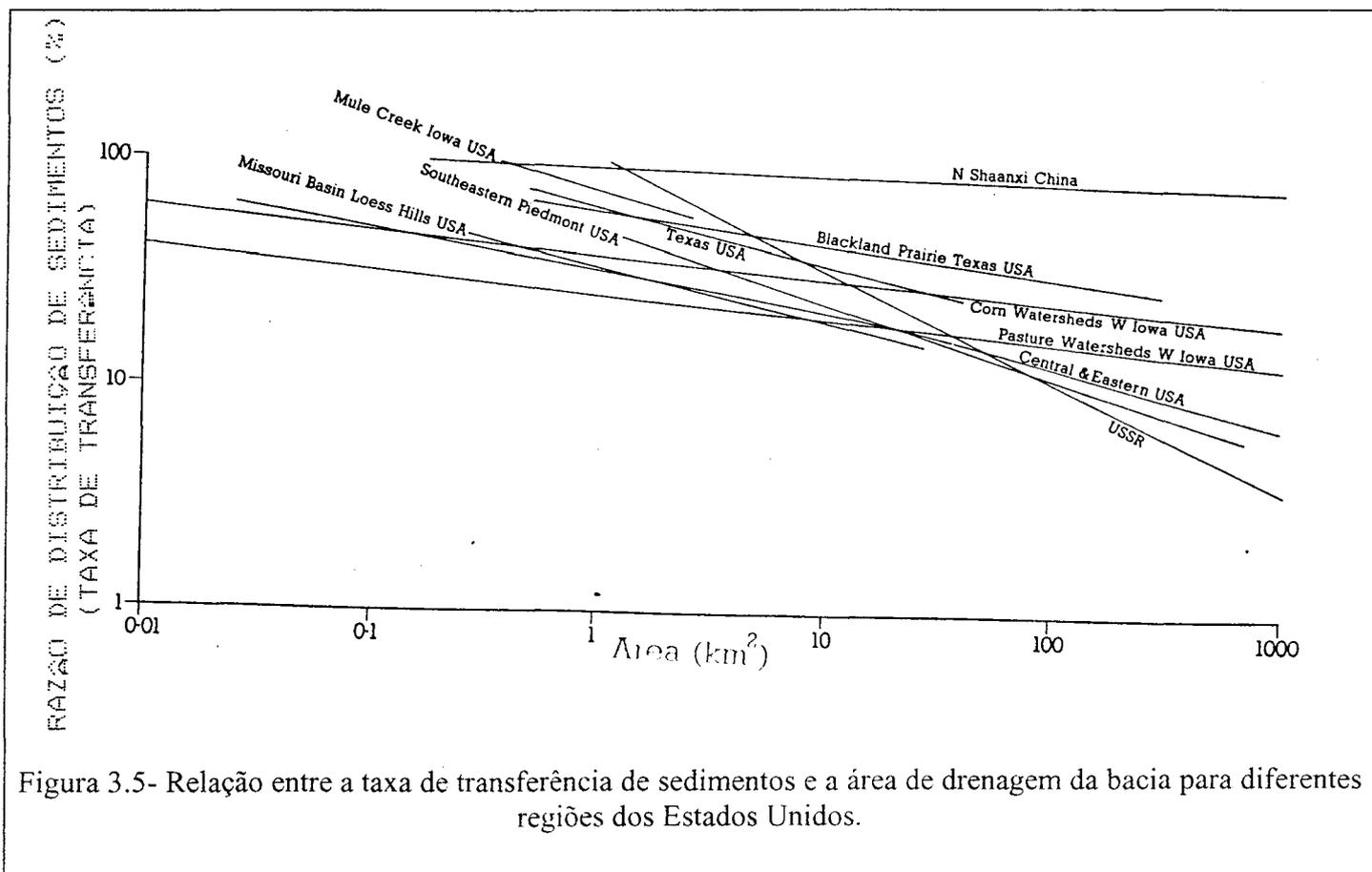
3.3.2.1 Modelos empíricos

a) SDR

O SDR (Sediment Delivery Ratio) : *Rhoel (1962)* apresentou resultados de seu estudo sobre taxa de transferência de sedimentos em bacias, feito para os Estados Unidos. O autor relacionou a taxa

de transferência de sedimentos (erosão na saída da bacia sobre erosão total da bacia) com a área de drenagem da bacia. As informações colhidas mostram que existe uma relação inversa entre a taxa de transferência e o aumento da área da bacia que varia de acordo com as peculiaridades da região (figura 3.5). Essa diminuição do sedimento produzido por unidade de área com o aumento do tamanho da bacia pode ser, segundo *Hadley e Schumm (1961)*, citado por *Hadley et al. (1985)*, devido aos seguintes fatores :

- absorção do escoamento superficial pelos canais efêmeros, causando deposição do sedimento ;
- maior diversidade da topografia nas grandes bacias, proporcionando lugares na base dos declives para o depósito dos sedimentos ;
- a curta duração e pequeno alcance das chuvas de verão (em bacias grandes, elas não ocorrem em toda a sua extensão) ;
- o desenvolvimento de planícies aluviais e depressões nas bacias maiores oferecem lugares favoráveis para o depósito.



Outros pesquisadores continuaram coletando dados e fazendo observações depois de Roehl (1962), (Sokolovskii (1968), Piest et al. (1975), Renfro (1975), Vanoni (1977), Williams (1977), Mou e Meng (1980) ; citados por Walling (1982)), mas são relações empíricas e não permitem o entendimento dos processos físicos da erosão.

b) P.S.I.A.C

O P.S.I.A.C., sigla do nome da entidade que o desenvolveu, (Pacific Southwest Inter-Agency Committee) foi desenvolvido pelo Comitê institucional do sudoeste do Pacífico em 1968 para aplicação em zonas áridas e semi-áridas do sudoeste dos Estados Unidos. Este método prevê a produção de sedimentos de uma bacia de uma maneira qualitativa, utilizando para isto características de 9 fatores da bacia, dos quais dois são essencialmente as características do clima e do escoamento, um refere-se ao uso do solo e os outros seis referem-se à geologia, solos, vegetação e desenvolvimento da erosão. Para cada um desses fatores é atribuída uma classificação numérica baseada nas observações de campo na bacia e a soma destas classificações é usada para produzir uma classificação geral da produção de sedimento no qual é convertida em uma estimativa anual da produção de sedimentos em unidade de peso por unidade de área (Hadley et al., 1985).

3.3.2.2 Modelo semi-empírico : MUSLE

A equação universal de perda de solo (USLE) foi desenvolvida a princípio para calcular a produção de sedimentos em pequenas lavouras e cada um dos fatores foi desenvolvido para este propósito.

Williams e Berndt (1972), adaptaram a Equação Universal para poder estimar a perda de solos em bacias hidrográficas. A expressão proposta diferencia-se basicamente da USLE pelo fato de expressar a produção de sedimentos de um evento chuvoso (e não mais a produção anual), e pela substituição do índice de erosividade da chuva por um índice que traduz a contribuição sólida do escoamento concentrado e está vinculado as vazões escoadas pela rede de drenagem. Os demais fatores da USLE são mantidos, mas devem ser adaptados.

A modificação do procedimento tem por princípio a ponderação dos fatores de acordo com as suas variações nas diferentes áreas da bacia e o cálculo de razões de transferência (produção de sedimentos em um dado ponto ao longo do canal da bacia dividido pela produção a montante deste ponto) para as diferentes áreas da bacia, em função de suas características fisiográficas, a fim de poder estimar a produção de sedimentos da bacia em uma só solução da equação.

O cálculo da razão de transferência torna-se desnecessário se o fator de erosividade da chuva é substituído por um fator de escoamento superficial. *Williams (1975 e 1977)* estudou 18 bacias no Texas e Nebraska e a partir deste estudo aumentou a precisão da equação. Esta última versão

pode ser chamada de Equação Universal de Perda de Solo Modificada (EUPSM ou MUSLE), assim expressa :

$$A = 11,8(Q \times q_p)^{0,56} \times K \times LS \times P$$

onde :

Q = volume do escoamento superficial em m³

qp = pico do hidrograma de cheia em m³/s

As modificações apresentadas por *Williams (1975)* permitem estimar a produção de sedimentos para um único evento de chuva, enquanto que a USLE foi desenvolvida para estimar a produção anual de sedimentos.

3.3.2.3 Modelos conceituais

Entre os principais modelos conceituais existentes, para simular o comportamento do tipo de bacia em pauta, destacam-se :

a) CREAMS

O modelo CREAMS (1980) (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, estando composto por três sub-modelos : hidrologia, erosão e produtos químicos. Trata-se de um modelo baseado na teoria de *Meyer e Wischmeier (1969)*, aplicável a lotes de campos agrícolas, definido como uma unidade de gerenciamento homogênea no que se refere a solos, tipo de uso da terra e com distribuição espacial uniforme da precipitação. Suas principais vantagens são o fato de poder simular uma ampla variedade de práticas conservacionistas e de poder ser aplicado a bacias com carência de dados hidrológicos, já que o modelo não necessita de calibração (*Goldenfum, 1991*). O modelo representa o escoamento na superfície do solo, escoamento em canais e pequenas retenções.

b) ANSWERS

O modelo ANSWERS (1977) (Areal Non-point Source Watershed Environmental Response Simulation) foi implementado para estudar o impacto de uso do solo, prática conservacionista e manejo de bacia na qualidade de água (*Beasley e Huggins (1981)*, citado por *Goldenfum (1991)*). Trata-se de um modelo distribuído, considerando a bacia dividida em uma malha de pequenos elementos, nos quais os parâmetros de hidrologia e erosão são considerados uniformes. O modelo apresenta como vantagem principal a possibilidade de representar com grande precisão as variáveis do sistema (*Goldenfum, (1991)*).

c) SWRRB

O modelo SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins) foi desenvolvido por *Arnold e Williams (1985)*, citado por *Kauark Leite, (1986)*. Consta de uma ampliação do modelo CREAMS no modelo hidrológico, com a finalidade de adaptá-lo a grandes bacias rurais e introduzir a geração estocástica de dados. O modelo prevê o efeito das práticas agrícolas na hidrologia e produção de sedimentos de grandes bacias rurais. O modelo é constituído de três partes : hidrológico, erosão e meteorológico. Foi testado em 11 bacias de até 500 km². Ele discretiza espacialmente a bacia em sub-bacias através das condições físicas. O modelo fornece os resultados através de médias anuais, médias mensais ou diárias para cada sub-bacia e para a bacia global.

d) WEPP

O Departamento Americano de Agricultura (USDA) está atualmente desenvolvendo o projeto WEPP (Water Erosion Prediction Project), com o objetivo de criar uma nova geração de tecnologia de previsão de erosão hídrica utilizando os recursos computacionais atualmente disponíveis. Esse modelo utiliza pequenas bacias como unidades, diferenciando-se da USLE, que utiliza parcelas e vertentes.

Este modelo prediz a perda de solo causada pela erosão hídrica em canais com fluxo concentrado (caminhos da água, canais de terraços,...), que medem em torno de 0,9 a 1,8 metros de largura e 0,9 metros de profundidade. O modelo é aplicado à áreas de no máximo 640 acres (2,56 km²). São necessárias informações sobre a chuva referentes a quantidade, intensidade e pico e informações sobre uso e manejo do solo. O modelo calcula a perda de solo anual e fornece a erosão laminar, em sulcos ; a erosão em escoamento concentrado ; a produção de sedimento e suas características dentro do campo , e sua deposição (*Foster e Lane, 1987*).

3.3.3. Síntese

Ao concluir o exame das expressões da produção de sedimentos, podemos destacar alguns problemas para expressar e para utilizar na prática, a função de produção de uma bacia :

- 1) Número muito grande de dados necessários para aplicação dos modelos conceituais ;
- 2) Escolha adequada dos parâmetros fisiográficos e/ou hidrológicos a serem empregados nos diferentes modelos ;
- 3) Limites de aplicação de cada tipo de modelo ;
- 4) Aferição dos modelos.

A determinação da carga sólida que sai das bacias é importante para testar modelos conceituais ou para conhecer a descarga de abastecimento à jusante de cada bacia que será usada para estudar a propagação dos escoamentos no canal escoadouro.

Os modelos conceituais requerem muitos dados. Eles são úteis para pequenas bacias, mas seus custos são desproporcionais ao valor das obras às quais vão beneficiar. As equações empíricas não levam em conta os processos físicos do sistema. O caminho intermediário seria o desenvolvimento de equações semi-empíricas. Há necessidade, então, de investir na determinação de expressões simples, para avaliar a produção de sedimentos de pequenas bacias rurais.

3.4. Efeito de Escala

Klemes (1983), critica os hidrólogos por se preocuparem em ajustar e testar modelos hidrológicos ao invés de tentar conhecer primeiro o processo hidrológico em si. O autor também se refere ao egocentrismo humano ao escolher uma escala de trabalho. Ele diz que a escala humana é a intermediária entre a escala molecular e a escala astronômica e estamos acostumados com a nossa escala. Assim, o conceito de declividade de um canal, velocidade de fluxo, carga hidráulica não seria natural se nos colocássemos na escala molecular em vez da escala humana. O mesmo aconteceria se nos colocássemos na escala astronômica.

Ainda segundo o mesmo autor há um progresso lento em relação ao entendimento das escalas, motivado pelo fato que em qualquer escala que estejamos trabalhando, tentamos associá-la à escala humana. Na hidrologia trabalhamos com a escala hidrológica e esta escala não está muito

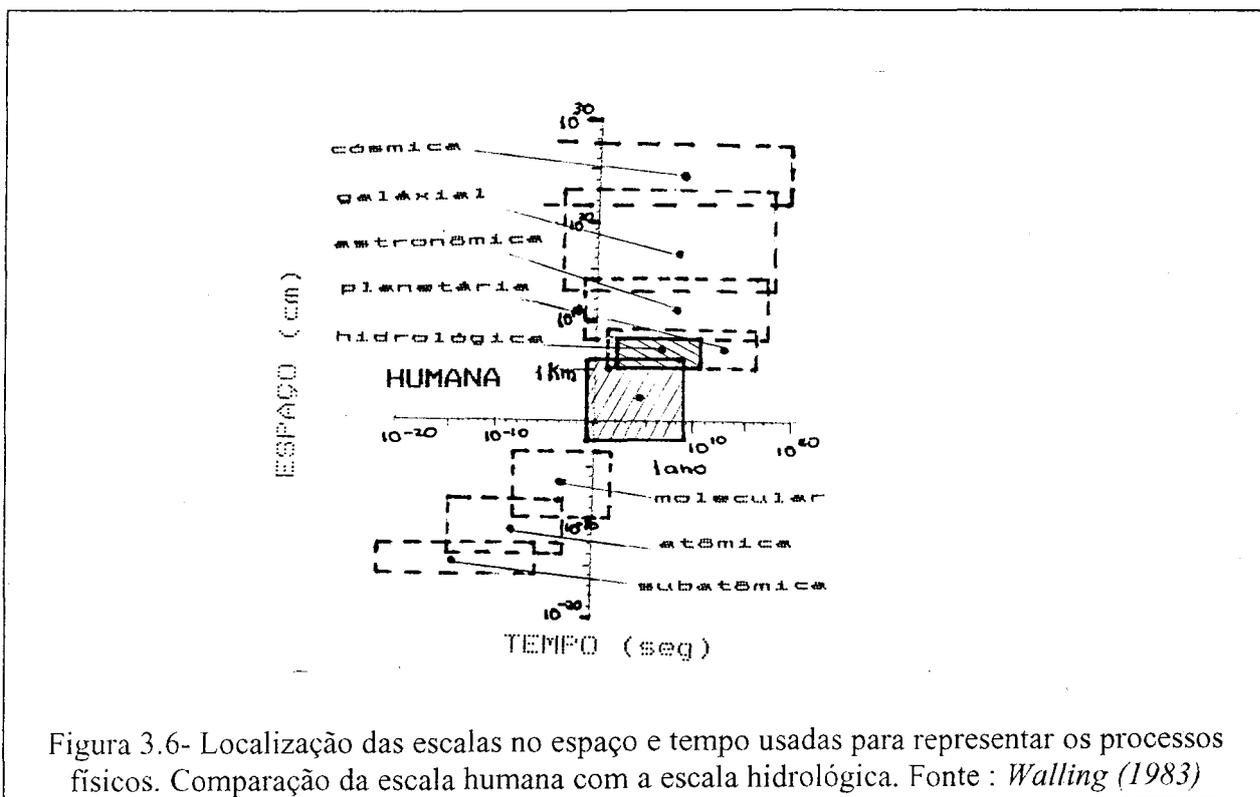


Figura 3.6- Localização das escalas no espaço e tempo usadas para representar os processos físicos. Comparação da escala humana com a escala hidrológica. Fonte : *Walling (1983)*

distante da escala humana, como vemos na figura 3.6. Isto pode confundir-nos pois frequentemente ocorre uma sobreposição dos planos escala humana com escala hidrológica. Segundo o autor temos dificuldades em formar conceitos claros em uma escala imediatamente no limite da escala humana.

Os fenômenos hidrológicos desenvolvem-se no decorrer do tempo dentro de um espaço terrestre limitado, assim sendo, podemos dividir a escala hidrológica em escala temporal e escala espacial.

3.4.1. Escala Temporal

Hulton, próximo ao final do século dezoito imaginava a terra como uma máquina quase eterna na qual forças dinâmicas internas criavam esforços que, no decorrer do tempo, elevavam novas terras dos oceanos enquanto que outras superfícies expostas estavam sendo erodidas. Esse pensamento desafiava o pensamento dos sábios da época que admitiam que as grandes feições eram criadas por catástrofes violentas (*Eicher, 1969*).

A concepção original de *Hulton* admitia uma máquina mundial repetindo seus ciclos indefinidamente. Tal máquina era, para todos os propósitos, eterna. Hoje, visualizamos um planeta em transformação, configurações locais ao acaso podem se repetir de tempos em tempos, mas a combinação total de circunstâncias nunca é perfeitamente a mesma duas vezes. Pensamos em termos de um sistema que foi estabelecido no princípio à cerca de 4 e meio bilhões de anos atrás e desde então tem estado em desenvolvimento. (*Eicher, 1969*).

Deste estudo podemos constatar a importância da escala temporal. Podemos falar em termos de minutos, como a duração de uma chuva por exemplo ; em termos de meses, como a variação climatológica ao longo do ano, e até em milhões de anos, como as mudanças geomorfológicas na terra.

Podemos observar na figura 3.7 a distribuição na escala temporal de alguns fenômenos ligados aos recursos hídricos e especialmente à erosão e sedimentação.

O efeito de salpico é um efeito instantâneo, ou seja, no momento em que a chuva atinge o solo, partículas do solo são desagregadas. As partículas mais finas de solo ao serem desagregadas infiltram com a água no solo. Essas partículas finas, depositam-se nos poros do solo, impedindo a infiltração da água e formando o chamado selamento superficial. Este selamento age como uma camada bem menos permeável que o solo antes da chuva, aumentando o escoamento superficial (*Asseline e Valentin, 1978*).

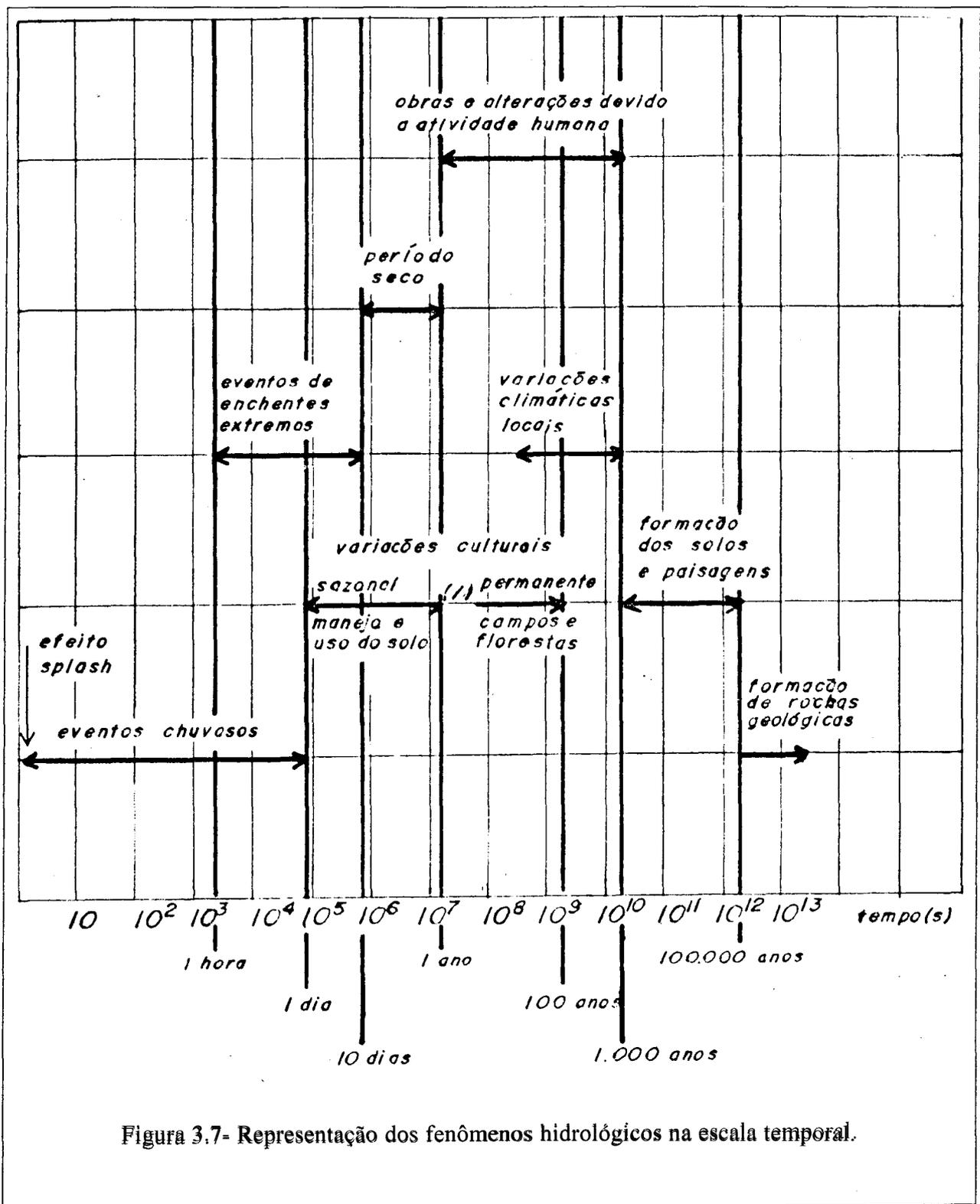


Figura 3.7- Representação dos fenômenos hidrológicos na escala temporal.

Um evento chuvoso pode durar de alguns segundos a um ou até mais dias. As variações culturais (vegetação e uso do solo) sazonais podem atingir uma duração de 1 dia a 1 ano ou mais, enquanto que as permanentes (campos e florestas) podem durar até mais de 100 anos. Os solos com variações culturais sazonais são bem mais suscetíveis à erosão que os solos com vegetação permanentes, pois eles vão ficando cada vez mais degradados com o passar do tempo.

As variações climáticas num local podem ocorrer em 10 anos até 1.000 anos ou mais. "A chuva é essencialmente a origem da erosão por seu impacto sobre a superfície do solo" (*White, 1986*). Ocorrendo em um local variações climáticas, ocorrerá também variações no processo hidro-sedimentológico.

A formação das paisagens e solos podem ocorrer em 1.000 anos até 100.000 anos ou mais. *Hulton*, no final do século dezoito já afirmava, segundo *Eicher (1969)* que montanhas são modeladas e finalmente destruídas por intemperismo e erosão fluvial. A formação das rochas geológicas podem ocorrer em 100.000 anos até 1 milhão de anos.

Como foi visto, a escala temporal na hidrologia é muito importante (efeito splash), Nesta pesquisa trabalharemos com a escala de segundos: efeito de salpico, que é o principal fator responsável pela erosão nas microparcelas em que predomina o escoamento difuso, e com a escala de minutos até dias: escoamento superficial, fator principal na erosão em bacias maiores que 1 ha.

3.4.2 Escala Espacial

Existem diferentes escalas espaciais com que se trabalha em hidrologia. Na escala pontual temos como exemplo os pluviômetros e os pluviógrafos, que medem a quantidade de chuva que cai exatamente no local onde o aparelho está instalado (a alguns metros de distância, a chuva que cai pode ser diferente). Por isso, a necessidade de, em uma bacia em estudo, colocarmos o maior número possível de pluviômetros e pluviógrafos. Quanto mais aparelhos bem monitorados, melhor será o conhecimento da distribuição espacial da chuva.

Já os simuladores de chuva, agem sobre pequenas parcelas, de 1 a 100 m² (figura 3.8).

Como indica a figura 3.8, uma chuva que cai sobre uma área de 1 m² a 5 km² pode ser considerada homogênea, segundo *Silveira (1982)*. Ou seja, supõe-se que a chuva cai com a mesma intensidade e duração em toda a área. Podemos estimar que em áreas maiores de 500 km², as chuvas ocorrem em parte da extensão da bacia, não ocorrendo em sua totalidade. Eventualmente as chuvas podem cair sobre toda a extensão da bacia em caso de áreas maiores que 500 km², dependendo das condições da bacia e do regime das chuvas.

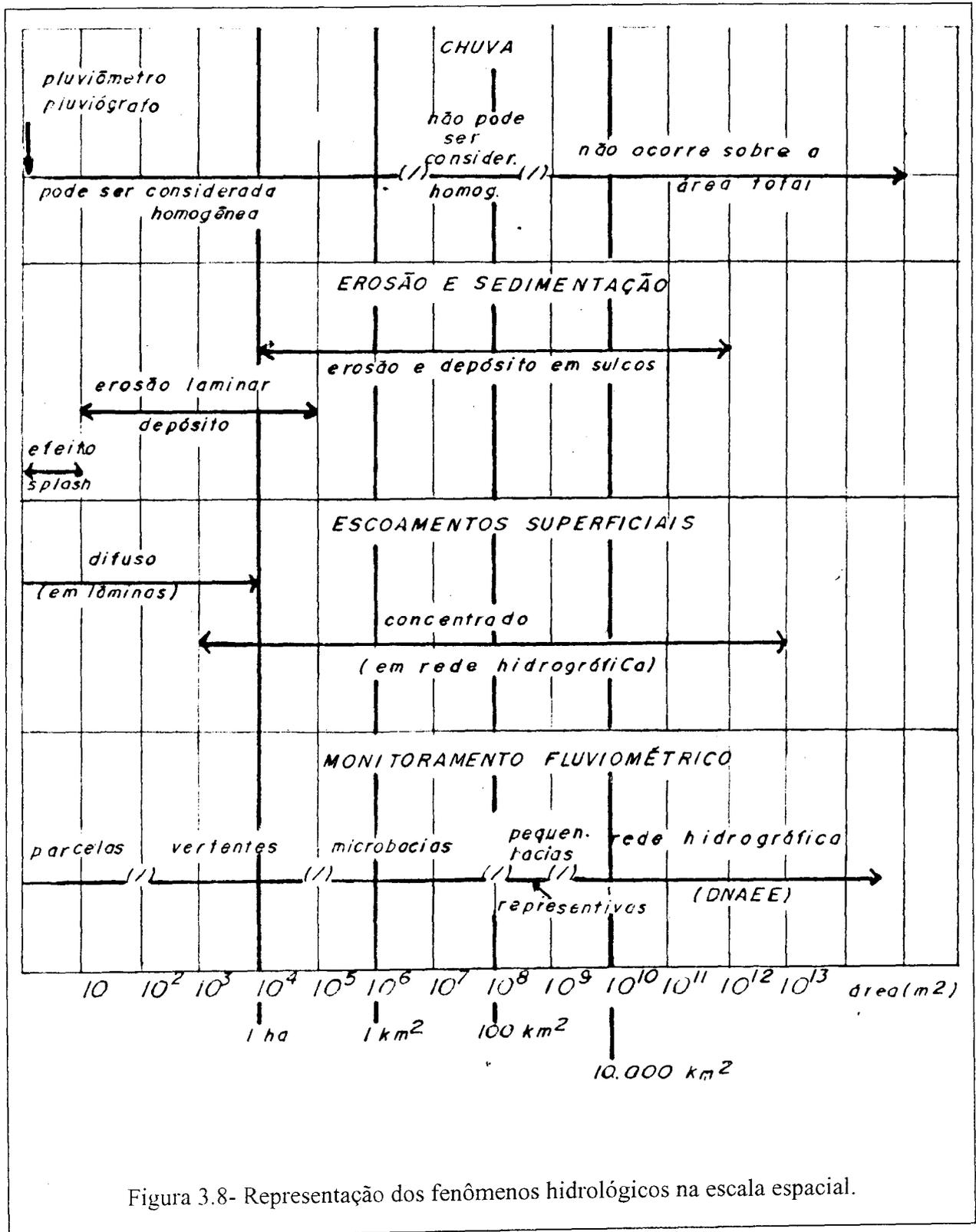


Figura 3.8- Representação dos fenômenos hidrológicos na escala espacial.

Analisando a distribuição espacial da erosão podemos dizer que em uma área de 1 a 10 m² o fator principal de erosão é o efeito de salpico, especialmente em solos recentemente trabalhados e descobertos ; em uma área de 10 m² a 1 ha, a erosão laminar assume importância maior ; para áreas de 1 ha a 10 ha ocorre uma sobreposição da erosão laminar e da erosão em sulcos e, em áreas maiores que 10 ha a erosão em canais predomina. Essas áreas podem variar de uma região para outra, de acordo com a geologia, o clima, etc.

Quanto ao monitoramento fluviométrico, podemos considerar que áreas de 1 a 100 m² são usadas como parcelas sob chuva simulada ou natural em pesquisas ; áreas de 100 m² a poucos hectares (entre 1 e 10) são consideradas vertentes ; áreas de 10 ha a 100 km² são as chamadas microbacias ; áreas entre 100 km² e 1.000 km² são chamadas pequenas bacias, e finalmente áreas maiores que 1.000 km² são consideradas redes hidrográficas, classificadas e monitoradas por órgãos federais (DNAEE) e/ou estaduais (IPAGRO).

Ferreira Filho et al. (1989) estudaram o efeito de escala no processo erosivo e de escoamento superficial provocado pela precipitação pluviométrica na bacia experimental de Tauá-CE. Os autores compararam a lâmina escoada em uma gleba de 1,09 ha com declividade de 5,2%, vertissolo coberto por caatinga nativa rala, com lâmina d'água de uma parcela de erosão de 100 m² com declividade de 5%, solo vertissolo e mesma cobertura vegetal, ambas situadas dentro de uma sub-bacia de 1 km². Eles concluíram que a lâmina escoada específica na parcela é bem maior que a lâmina escoada específica na microbacia, ou seja, quanto maior é a área, menor é a lâmina escoada específica.

Estudos de carga de sedimento transportado, feitos em vários rios no mundo, mostraram que ocorre uma perda de sedimentos de 13,3 a 66% entre as estações de jusante e montante de um mesmo rio. Em todos os casos as estações que captam água de bacias menores tem mais carga de sedimento em suspensão (t/ano) que em estações no mesmo rio que captam água de bacias maiores. Isto pode ser observado na tabela 3.3.

Um estudo feito no sudoeste dos Estados Unidos, na zona semiárida mostra a relação entre a erosão específica em metros cúbicos por quilômetro quadrado por ano e a área da bacia em quilômetro quadrado (figura 3.9). Podemos observar que quanto menor é a área da bacia, maior é a erosão específica.

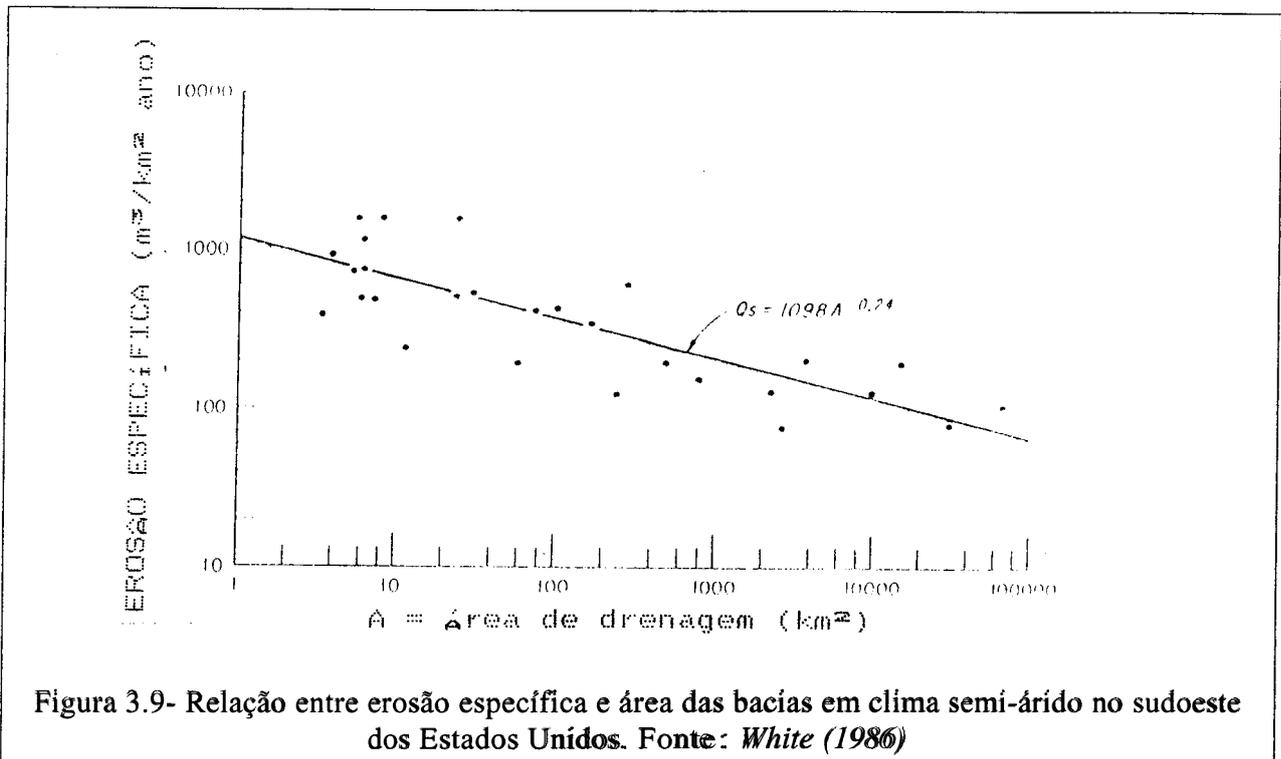


Figura 3.9- Relação entre erosão específica e área das bacias em clima semi-árido no sudoeste dos Estados Unidos. Fonte: White (1986)

Molinier et al. (1990), estudaram a bacia experimental de Sumé, no Estado da Paraíba. Para estudar a influência da escala os autores trabalharam em microparcels de 1 m², parcelas de 100 m² e glebas de 1 ha. Os resultados mostraram que tanto com solos nus quanto sob vegetação natural, a lâmina escoada diminui quando a superfície aumenta para uma mesma chuva e nas mesmas condições de umidade do solo. Uma explicação para este fenômeno é que a água da chuva que escoar sobre uma microparcela de 1 m², é toda colhida pela cuba que a registra. Sobre as parcelas maiores, a água da chuva que escoar pode se infiltrar antes de chegar à seção de medição, pois o caminho percorrido pela água é bem maior, oferecendo maior oportunidade da água se infiltrar, do que em pequenas parcelas.

Concluindo, este fenômeno, o chamado efeito de escala, não é bem conhecido pelos hidrólogos e por isso eles tem dificuldades em extrapolar resultados obtidos para pequenas bacias à superfícies maiores.

Tabela 3.3 - Perdas de sedimentos entre estações de jusante e montante ao longo dos rios (Fonte : Walling, 1983).

Rio	Estação	Área (km ²)	Carga de sedimento em suspensão (t/ano)	Perda entre as estações (%)
Nilo (Egito)	Kajnarty	1.850.000	137.700.000	17
	Cairo	3.000.000	111.000.000	
Wisla (Polonia)	Zawichost	50.543	1.990.000	41
	Plock	168.857	1.180.000	
Lech (Alemanha)	Fussen	1.422	329.433	42
	Feldheim	2.124	192.489	
Po (Itália)	Becca	30.170	4.374,650	13,3
	Piacenza	35.430	3.791.010	
MeNan (Tailandia)	Tha Pla	12.790	4.999.355	35
	Pitsannloke	25.491	3.252.201	
Atrak (Iran)	Shirin-Darrah	1.500	92.510	66
	Reza-Abad	5.430	31.406	
Nazus (México)	El Palmito	18.321	2.451.129	25
	Canon Fernard	33.468	1.813.094	

Nesta pesquisa, o efeito de escala hidro-sedimentológica é analisado. Para isto são estudadas uma microparcela de 1m², parcelas de 77m², uma vertente de 1ha, uma bacia de 1,10 km², uma bacia de 19,4 km² e a bacia do Potiribu de 563 km².

3.5 Síntese

Os resultados da revisão feita nos mostram que as expressões da produção de sedimentos de uma bacia hidrográfica, bem como as metodologias para determiná-las, variam bastante de acordo com o tamanho e as características da bacia, e sobretudo com os fenômenos e processos físicos que prevalecem em cada caso. Essa observação fica ilustrada pelo estudo do efeito de escala : nele ficou claro que o tipo de processo físico predominante pode definir as escalas espacial e temporal a serem usadas para estudar o problema a resolver.

As expressões da produção de sedimentos variam muito de um caso para o outro, e deparamo-nos com o problema da escolha do tipo de função de produção que melhor se adapta ao caso em pauta. Além do tipo de função, ainda é preciso determinar a forma dessa função.

Pouco se sabe sobre as características da função de produção. Esta dissertação propõe-se contribuir ao esclarecimento desse problema, pela coleta e interpretação de informações sobre as características das cargas sólidas, oriundas de bacias de vários tamanhos entre 1 m² e 500 km², e sobre os agentes erosivos que nelas atuam, no caso presente, as precipitações e mais precisamente chuvas isoladas.

Espera-se dos dados obtidos, que permitam elaborar expressões empíricas ou que permitam calibrar modelos conceituais já propostos, ou a serem propostos. Pretende-se alcançar esse objetivo para uma bacia representativa de um ambiente especialmente afetado pela erosão hídrica, no caso os campos de planalto do derrame basáltico sulriograndense. A bacia do rio Potiribu (563 km²), localizada na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul é a bacia estudada nesta pesquisa, por ser considerada representativa desse ambiente.

4. AREA E INSTALAÇÕES DE PESQUISA : A BACIA DO POTIRIBU

4.1 Introdução

A pesquisa está sendo executada, desde setembro de 1989, na região noroeste do Rio Grande do Sul, na bacia hidrográfica superior do rio Potiribu, afluente do rio Ijuí, formador do rio Uruguai. A bacia estende-se por 563 km² entre as cidades de Ijuí e Cruz Alta-RS, (figura 4.1) e o seu centro geográfico é constituído pelo município de Pejuçara. É considerada como típica dos campos do planalto que ocupam o topo do derrame basáltico sulriograndense.

Estudos da predisposição aos riscos de erosão em todo o Brasil (*Bordas et al.* 1988) mostraram que a parte ocidental do derrame basáltico está na quarta classe na escala de riscos, depois do oeste amazonense, de Minas Gerais e do divisor de águas entre a bacia do Prata e a Amazônia ; com uma produção específica de sedimentos que varia entre 75 e 100 toneladas por quilômetro quadrado por ano em bacias de 15.000 km².

De 1983 a 1987 foi feito o zoneamento de erosão potencial em 75% dos quase 300.000 km² do afloramento de basalto em território brasileiro, bem como uma classificação das bacias elementares da área. O resultado apontou 13 zonas físico-climáticas cuja hidro-sedimentologia pode ser inteiramente coberta pelo estudo de 5 bacias representativas e sete classes de bacias elementares. Foram localizadas 2 das 5 bacias em que a pesquisa deveria ser implantada : Forquetinha e Potiribu (*Borges e Bordas*, 1990).

A bacia do rio Forquetinha (463 km²) pode ser usada para representar a zona I2K2R5 (77.300 km²), figura 4.2, representando as encostas do basalto. Esta zona possui relevo moderado a íngreme, solos de média erodibilidade e chuvas com erosividade média dentro da região estudada. E a bacia do rio Potiribu (563 km²) nas imediações das cidades de Ijuí e Cruz Alta é a indicada para representar a zona I1K2R4 (28.100 km²), que é uma zona de planalto de relevo ondulado suave, com altitude média de 400 metros, solos mediantemente erodíveis, onde predomina o solo latossolo roxo distrófico (solo Santo Ângelo), e as chuvas de maior erosividade da região (figura 4.2).

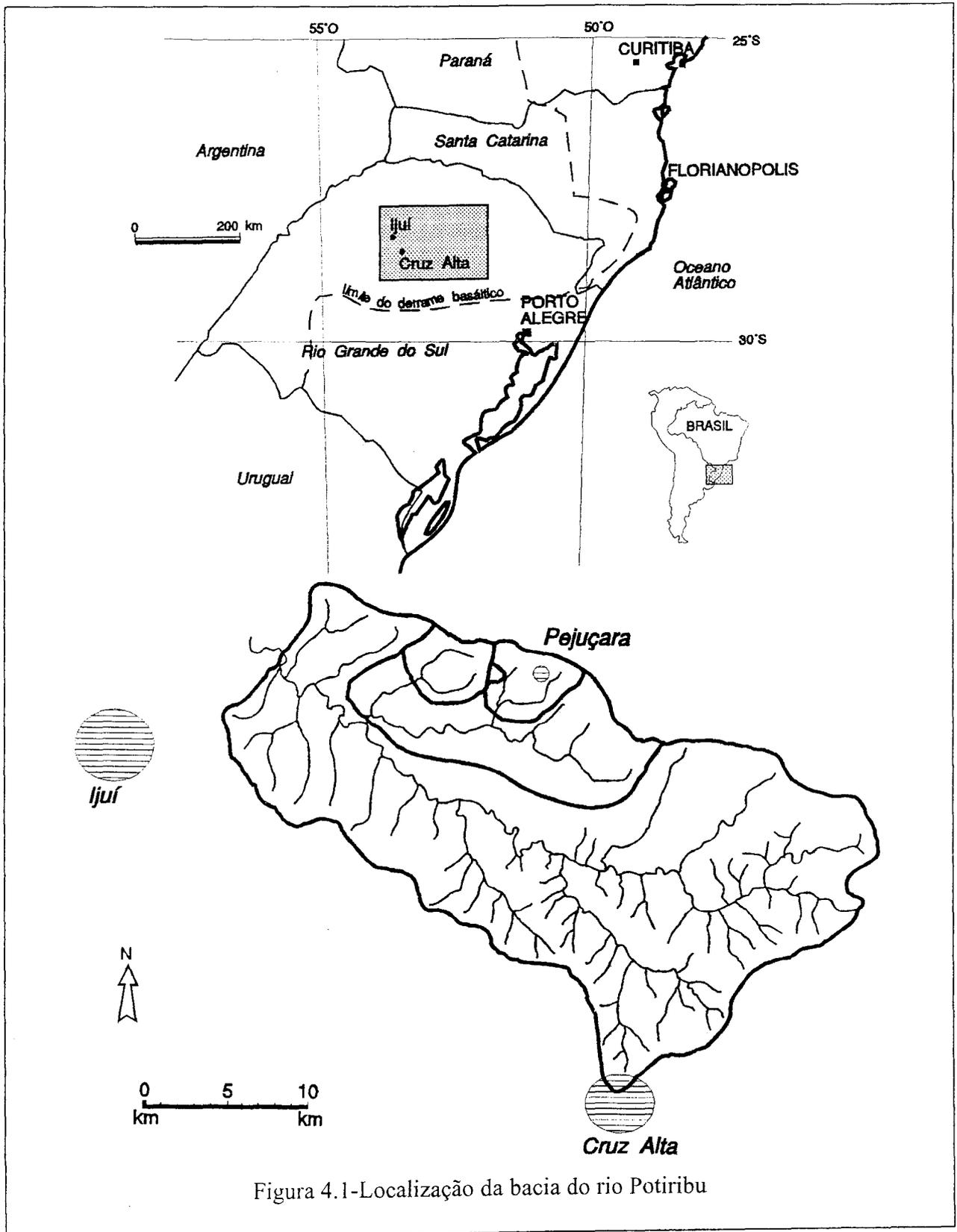
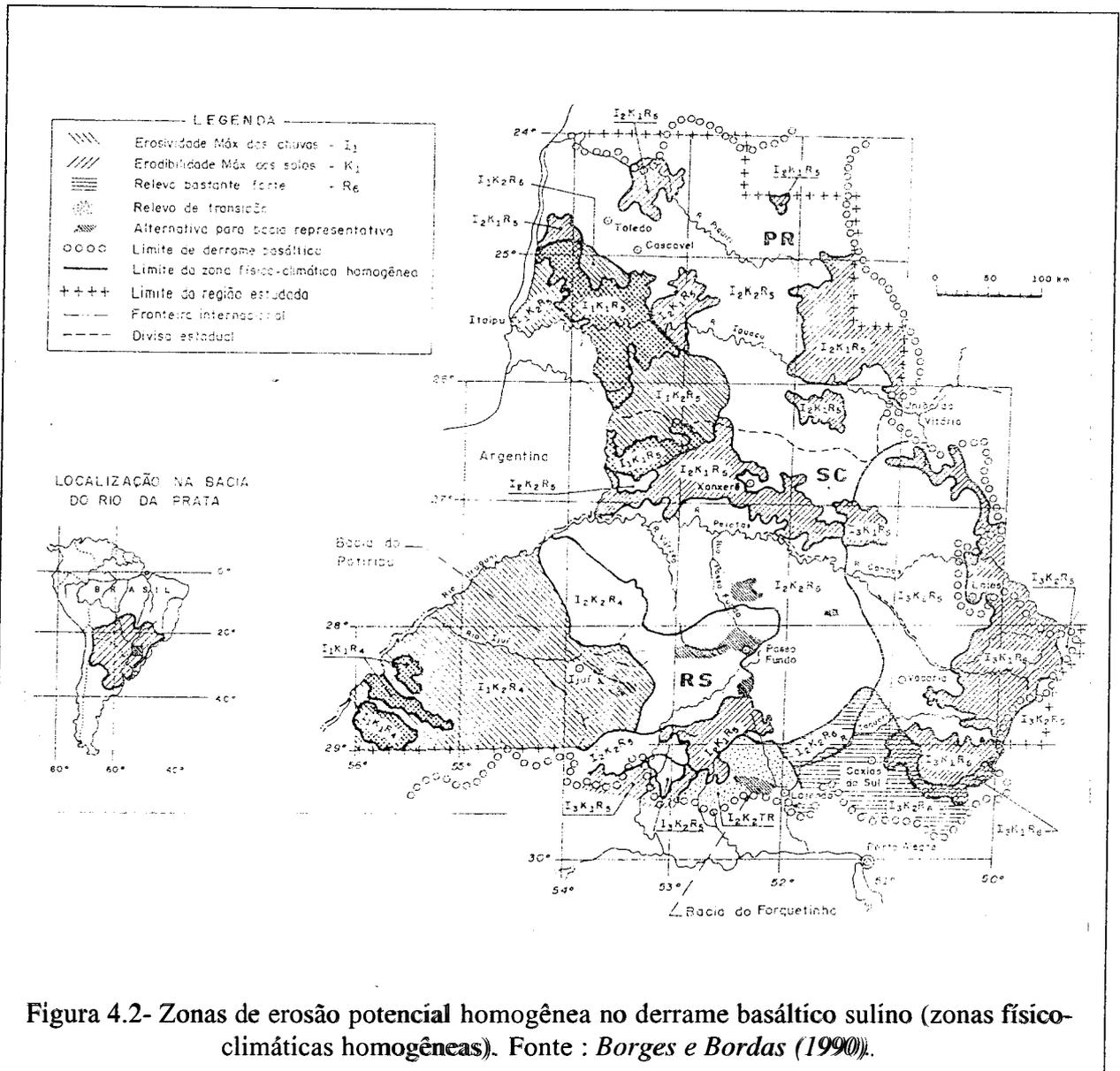


Figura 4.1-Localização da bacia do rio Potiribu



4.2 Características Gerais

A seguir são abordados os aspectos da região, destacando os que interferem no processo da erosão hídrica.

4.2.1. Climatologia

Segundo *Nimer(1988)*, o clima desta região é temperado, mesotérmico brando, superúmido, sem estação seca. Segundo o *Ipagro (1989)*, a temperatura média anual é de 20,5°C. Essa região sofre ondas de frio, existindo o perigo de geadas nos meses de junho e julho.

Dados colhidos na região de Ijuí pelo *IPAGRO (1989)*, Instituto de Pesquisas Agronômicas do Rio Grande do Sul, indicam que os meses em que ocorre maior radiação solar são os meses de outubro a março, tendo seu ápice em novembro, dezembro e janeiro, com média mensal de 16,09 ; 17,25 e 17,48 calorías por centímetro quadrado por mês, respectivamente, coincidindo com os máximos de evaporação, que tem média mensal de 150,3 ; 160,0 e 140,3 mm respectivamente.

Ainda segundo o *IPAGRO (1989)*, a umidade relativa média nesta região é de 69%. Nos meses de maior umidade relativa : maio, junho e julho, o solo está mais úmido, a radiação solar é mais fraca, não ocorre evaporação forte e por isso aumenta a probabilidade de ocorrer enchentes ao cair uma chuva forte. O solo por estar úmido não terá uma grande capacidade de infiltração, ocorrendo logo o escoamento superficial, podendo causar a enchente.

Chevallier e Castro (1991) fizeram uma homogenização da pluviometria da região e chegaram aos seguintes resultados :

A pluviometria média anual é de 1.710 mm. O resultado decenal seco é de 1.234 mm e o decenal úmido é de 2.264 mm.

A pluviografia diária apresenta um valor de 88,9 mm para uma recorrência anual e de 130 mm para uma recorrência decenal.

4.2.2 Erosividade das Chuvas : (Fator R)

A erosividade das chuvas, que é o produto da energia cinética de uma chuva pela sua máxima intensidade em 30 minutos, foi calculada por *Chevallier e Castro (1991)*, a partir de 16 anos de dados de chuvas da região. A erosividade média anual fica em torno de 500 (t.m.mm/ha h). A erosividade máxima anual observada é de 759 e a mínima de 258 (t.m * mm/ha h).

Os valores mensais da erosividade apresentam máximos no verão, justamente na época do plantio da soja, ou quando esta está ainda pequena. Este fato se traduz em prejuízo para a conservação dos solos.

A erosividade de um evento com uma recorrência anual é de 62, e com uma recorrência decenal é de 132 t.m.mm/ha.h.

Borges e Bordas (1990), usaram como índice de erosividade das chuvas, a precipitação máxima diária de cada mês, e encontraram para essa região uma precipitação máxima diária de 93 mm com recorrência anual.

4.2.3 Pedologia : (fator K)

Os solos predominantes desta região (figura 4.3) são classificados como Latossolo roxo distrófico (solo Santo Ângelo-SA), pelo *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul (1973)*. São solos profundos, de espessura maior que 200 cm, podendo atingir mais de 400 cm, bem drenados, friáveis, de coloração vermelha-escura.

Nesta região, encontram-se também os solos : Latossolo vermelho escuro distrófico, substrato basalto (solo Passo Fundo-PF); latossolo vermelho escuro distrófico, de textura média, substrato arenito (solo Cruz Alta-CA) e o litólico eutrófico, substrato basalto amigdalóide (solo Charrua-Ch).

A distribuição desses solos pela bacia do rio Potiribu é apresentada na figura 4.3

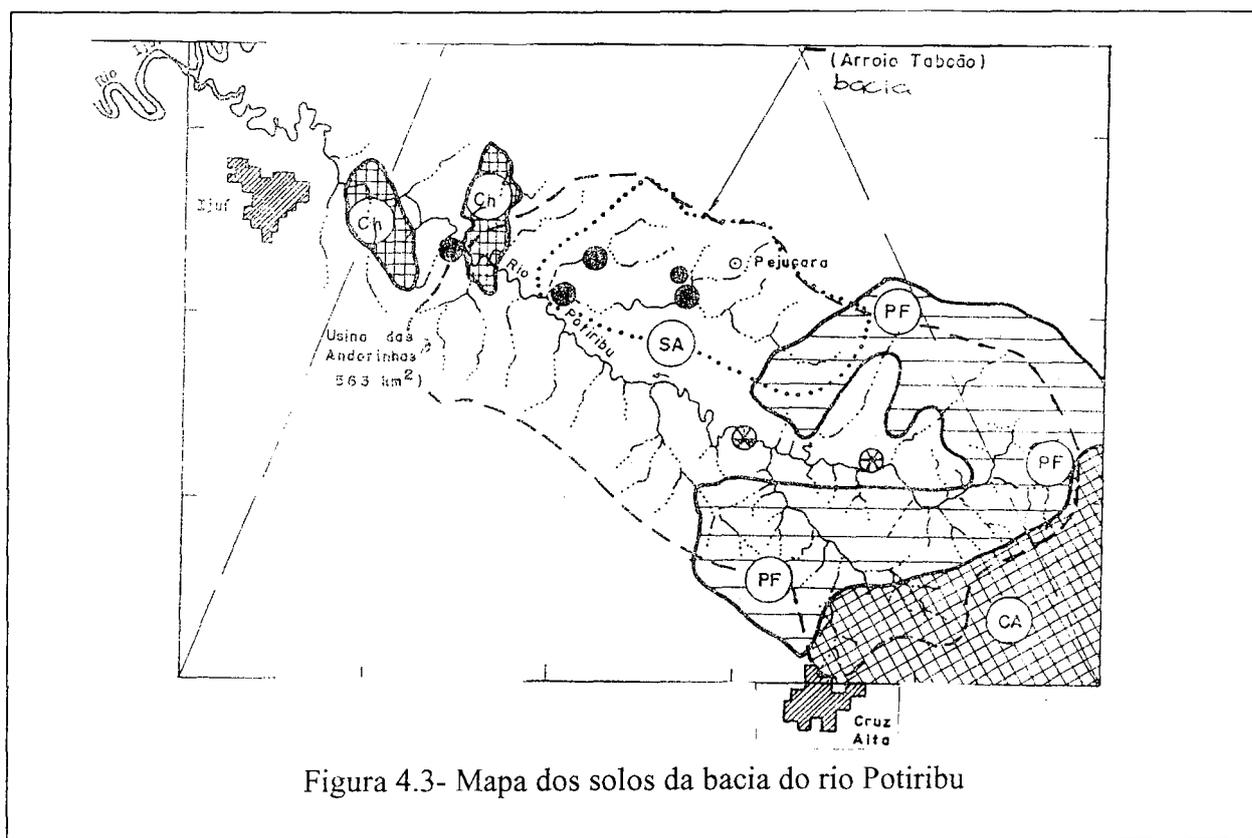


Figura 4.3- Mapa dos solos da bacia do rio Potiribu

Os solos predominantes desta região (solo Santo Ângelo) foram desenvolvidos a partir de rochas eruptivas basálticas e compreendem aproximadamente 60% da área do planalto basáltico sulino (figura 4.3), e 7,26% da área territorial do Estado do Rio Grande do Sul.

A textura deste solo é argilosa, com 70% de argila, 18% de silte (diâmetros compreendidos entre 0,05 e 0,002 mm), 7% de areia fina (diâmetros entre 0,2 e 0,05 mm) e 5% de areia grossa (diâmetros entre 2 e 0,2 mm), segundo o *Levantamento do reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul (1973)*.

Pombo et al. (1981) aplicaram o nomograma de Wischmeier et al. (1971) para solos do Rio Grande do Sul e encontram um K variando com a profundidade de 0,16 a 0,21 para o latossolo roxo (solo Santo Ângelo).

Segundo o *Instituto de Pesquisas Tecnológica do Estado de São Paulo (1987)*, baseado nos valores de *Bertoni e Lombardi Neto (1975 e 1985)*, os valores de K, da equação universal de perdas de solo, para os seguintes solos na região de São Paulo são :

Latossolo roxo	K = 0,12
Latossolo vermelho escuro substr. basalto	K = 0,15
Latossolo vermelho escuro substr. arenito	K = 0,17
Litólico	K = 0,54

Ponderando-se estes valores (na falta de valores de K para os solos da bacia do Rio Potiribu) espacialmente para cada sub-bacia (somatório da erodibilidade de cada solo vezes a área de cada solo) obtém-se respectivamente : 0,14 para as bacias do Taboão, Rincão e Donato e 0,13 para a bacia do Turcato.

4.2.4 Geomorfologia : (fator LS)

A altitude desta região é de 300 a 500 metros, possuindo relevo ondulado a suavemente ondulado, formado por elevações com centenas de metros de comprimento e declive que varia de 3 a 10%, podendo ocorrer, em relevo mais forte, no máximo com 15% de declive. A amplitude vertical das ondulações situa-se entre 50 e 100 metros.

Borges e Bordas (1990), utilizaram o desnível específico para classificar o relevo do derrame basáltico sulamericano, que segundo *Dubreuil e Guiscafre (1971)*, seria o parâmetro mais apto para caracterizar a topografia e a forma da bacia. O desnível específico é determinado pela seguinte expressão :

$$D_s = \frac{D\sqrt{A}}{L} = \frac{D \times 1,128}{C \times (1 + \sqrt{1 - (1,128/C)^2})}$$

Onde :

D= Desnível absoluto da bacia

L= comprimento do retângulo equivalente

A= Área da bacia

C= Coeficiente de compacidade (Gravelius) = $0,282P/\sqrt{A}$

P= perímetro da bacia

Segundo os autores o relevo dessa região, utilizando esse método, se classifica como moderado.

Risso e Chevallier (1991), calcularam o fator LS para as microbacias do rio Potiribu, utilizando o MNT (modelo numérico do terreno). Os autores encontraram os seguintes valores :

- 1) bacia do Donato : LS=2,5
- 2) bacia do Turcato : LS=2,3
- 3) bacia do Rincão : LS=2,2
- 4) bacia do Taboão : LS=2,3

4.2.5 Cobertura Vegetal : (fator C)

Esta região situa-se na região fisiográfica do planalto médio. Desde 1850, com a chegada dos imigrantes europeus a agricultura foi desenvolvida nesta região. Há aproximadamente 30 anos, a exploração vem sendo intensificada com o plantio da soja, chegando nos tempos atuais com uma agricultura totalmente mecanizada e o uso de pesticidas e fertilizantes.

As principais culturas da região são a soja e o milho como culturas de verão e o trigo e a aveia como culturas de inverno. Em uma parte menor da bacia é desenvolvida a pecuária.

Na maior parte da bacia, em geral os solos permanecem cobertos o ano inteiro seja com lavoura ou pastagem. O solo fica descoberto na época da colheita de uma safra e quase que imediatamente após já é plantada a próxima cultura, ficando pouco tempo sem cobertura.

O plantio das culturas de verão (soja e milho) ocorre em novembro e sua colheita em abril. As culturas de inverno (trigo e aveia), geralmente são plantadas em maio e colhidas em outubro.

A bacia do Potiribu não é totalmente rural. Na bacia do Turcato está localizada a cidade de Pejuçara que ocupa aproximadamente 10% de sua área (cerca de 200 ha de ocupação densa). Essa bacia é ocupada com agricultura na maior parte de sua extensão e com pecuária em uma

Essa bacia é ocupada com agricultura na maior parte de sua extensão e com pecuária em uma área menor. Na sub-bacia do Donato, que engloba a sub-bacia do Anfiteatro, a agricultura ocupa a totalidade da bacia. A parte Norte e Oeste da bacia de Andorinhas é ocupada com agricultura e a parte Sul e Leste é ocupada com pecuária.

Risso (1992), fez o cálculo do fator C anual, da equação universal de perdas de solo, para uso agrícola nessa região e obteve o valor de 0,242, conforme metodologia de *Bertoni e Lombardi Neto (1985)*, para estudos qualitativos da erosão na bacia do Taboão.

Para as outras coberturas os valores de C sugeridos por *Lombardi Neto (comunicação verbal, 1992)* variam de 0,80 a 0,95 para área urbana, 0,005 a 0,01 para pastagem e de 0,0001 a 0,001 para floresta. Ponderando estes valores (respectivamente, 0,8, 0,01 e 0,001) especialmente para as sub-bacias do rio Potiribu, obteve-se $C=0,154$ para a bacia do Taboão, $C=0,205$ para a bacia do Turcato, $C=0,147$ para a bacia do Rincão e $C=0,194$ para a bacia do Donato.

4.2.6 Práticas Conservacionistas : (fator P)

Quase todas os agricultores da região utilizam o terraço como técnica conservacionista. Estes terraços em geral são de base estreita e compostos de duas partes : um canal de seção convexa funcionando tanto em retenção como em escoamento da água da chuva e um camalhão de seção côncava, que serve como barreira para a água que escoar no canal não passar para o terraço seguinte.

Em geral os terraços tem 2 m de distância entre a primeira e última fileira de soja e 20 m entre um terraço e outro, variando de acordo com a declividade do terreno, com uma declividade da vertente de aproximadamente 15%. Os canais tem uma declividade de 1 a 3‰.

A manutenção dos terraços é feita normalmente a cada ano. Após a colheita geralmente é feita uma lavração e a semeadura da próxima cultura.

Os terraços desta região geralmente desaguam nas estradas ou no limite das terras vizinhas em sulcos que podem transformar em profundas voçorocas.

Segundo *Wischmeier (1975)*, para regiões terraceadas deve-se considerar o fator P igual a 0,5. Multiplicando-se o fator P nas áreas de lavoura, para cada bacia, obtem-se respectivamente como fator CP : 0,084 para a bacia do Taboão, 0,132 para a bacia do Turcato, 0,075 para a bacia do Rincão e 0,098 para a bacia do Donato.

4.2.7 Aspectos sócio-econômicos

A tabela 4.1 mostra algumas informações, segundo *RS, Secretaria da Fazenda (1987)*, sobre os municípios de Pejuçara, Ijuí e Cruz Alta, que compõem a bacia do rio Potiribu.

Tabela 4.1 - Aspectos sócio-econômicos de Pejuçara, Ijuí e Cruz Alta

	Pejuçara	Ijuí	Cruz Alta
Área (km ²)	444	1.008	2.557
pop. urbana	2.318	68.952	58.125
pop. rural	1.838	13.022	8.669
pop. total	4.134	81.974	66.794
Ár. col. soja (ha)	25.000	54.000	90.000
Ár. col. trigo (ha)	4.000	20.000	23.500
Ár. col. milho (ha)	1.800	8.000	5.000

Obs : A população foi estimada para o ano de 1990. A área colhida para as culturas de soja, trigo e milho correspondem ao ano de 1985. Não há dados sobre a área ocupada pao pastagem.

4.3 Monitoramento da Bacia

Nesta bacia foram identificadas e instrumentadas 6 sub-bacias : Anfiteatro, Donato, Turcato, Rincão, Taboão e Andorinhas. As características de cada sub-bacia estão apresentadas na tabela 4.2 e sua localização na figura 4.4. Foram também construídas quatro microparcelas de 1 m², uma para estudo da erosão sob chuva natural e as outras três, para estudo do escoamento e erosão sob chuva artificial. Também são abordados os resultados das parcelas do CTC (Centro de Treinamento da Cotrijuí), de 77 m².

Tabela 4.2 - Características das sub-bacias : Anfiteatro, Donato, Turcato, Rincão e Andorinhas (Fonte : Levantamento topográfico feito pelo IPH/UFRGS e mapas oficiais).

	Anfiteatro	Donato	Turcato	Rincão	Andorinhas
latititude		28°25'24"S	28°26'19"S	28°25'05"S	28°24'25"S
longitude		53°40'33"O	53°40'57"O	53°43'44"O	53°48'33"O
Área (km ²)	0,14	1,10	19,4	16,4	563,0
perímetro (km)	1,46	4,54	18,1	17,0	115,0
declividade (m/km)	103	47,4	20,2	20,4	4,0
comprimento de denagen. (km)	0,0	2,43	27,0	25,0	366,0
densidade de drenagem(km/km ²)	0,0	2,21	1,4	1,5	0,7

As sub-bacias são equipadas com linígrafos, pluviógrafos e pluviômetros, como mostra a tabela 4.3. A bacia é visitada mensalmente pelos técnicos do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) e pelos responsáveis pelo projeto, quando são colhidos os gráficos, inspecionados os aparelhos, feitas as medições de vazão e eventuais coletas de sedimentos. Fora as visitas rotineiras, foram feitas simulações de chuva, campanhas intensivas de medições de descarga e coleta de sedimentos.

Tabela 4.3- Características dos aparelhos

Cód.	Nome	Tipo	Data início	Observação
1	Donato	Lg	11/11/89	
2	Turcato	Lg	11/11/89	
3	Taboão	Lg	20/12/90	abandonado
4	Andorinhas	Lg	10/11/89	destruído
6	Rincão	Lg	02/02/91	destruído
7	Anfiteatro	Lg	23/07/92	
11	Donato Central	Pg Ms	29/11/89	
12	Baixa Donato	Pg Sm	07/11/89	transferido em 14
14	Baixa Donato	Pg Sm	14/12/90	
22	Alto Turcato	Pg Ms	10/11/89	
23	Pejuçara Cidade	Pg Dr	21/08/89	
25	Pejuçara leste	Pg Ms	22/05/90	
26	Baixo Turcato	Pg Dr	08/11/89	
31	Fazenda 3 Irmãos	Pg Sm	28/08/89	
33	Granja Sta Maria	Pg Sm	23/12/90	abandonado
37	Foz do Taboão	Pg Ms	09/01/91	
51	Alta Divisa	Pg Sm	28/08/89	
63	Central Rincão	Pg Ms	09/01/91	
13	Alto Donato	Pl	27/06/90	
21	Pejuçara Norte	Pl	06/09/89	
24	Turcato Central	Pl	08/11/89	abandonado
32	Baixo Taboão	Pl	11/12/90	
34	Alto Taboão	Pl	17/12/90	
35	Velha Estrada Cz Alta	Pl	17/12/90	
36	Granja Castaneiras	Pl	01/01/91	
52	Baixa Divisa	Pl	07/11/89	
61	Santa Lucia	Pl	11/11/89	
62	Gija Sta Catarina	Pl	23/12/90	abandonado

Legenda : Lg = linígrafo
 Pg Ms = pluviógrafo mensal
 Pg Sm = pluviógrafo semanal
 Pg Dr = pluviógrafo diário
 Pl = pluviômetro

4.3.1 Instrumentação e operação

Neste trabalho é estudada a produção de água e sedimento em várias escalas de bacias, compreendendo as bacias de primeiro tipo (aquelas em que predomina o escoamento difuso), e as bacias de segundo tipo (aquelas em que predomina o escoamento concentrado).

As escalas estudadas variam de 1 m² a 563 km², todas elas embutidas na bacia do rio Potiribu.

4.3.1.1 Bacias do primeiro tipo

- a) uma parcela de 1 m² sob chuva simulada e natural, localizada na sub-bacia do Anfiteatro. Nesta parcela pode-se estudar a erosão causada pelo impacto da gota da chuva no solo,
- b) parcelas de 77 m² localizadas no CTC (Centro de Treinamento da Cotrijuí), em Augusto Pestana, próximo a Ijuí.

4.3.1.2 Bacias do segundo tipo

- a) bacia do Anfiteatro (13,7 ha). Esta bacia é toda terraceada ;
- b) bacia do Donato (1,10 km²), que abrange a bacia do Anfiteatro ;
- c) bacia do Turcato (19,4 km²), que abrange a bacia do Donato ;
- d) bacia do Rincão (20,0 km²) ;
- e) bacia do Taboão (105 km²), que abrange as bacias do Turcato e Rincão ;
- f) bacia do Potiribu (563 km²), que abrange a bacia do Taboão.

4.3.2 Monitoramento das Chuvas

A precipitação na bacia do Potiribu é monitorada, utilizando para esse fim 9 pluviômetros e 11 pluviógrafos. A figura 4.4 mostra a distribuição dos aparelhos instalados na bacia.

4.3.3 Monitoramento do Escoamento

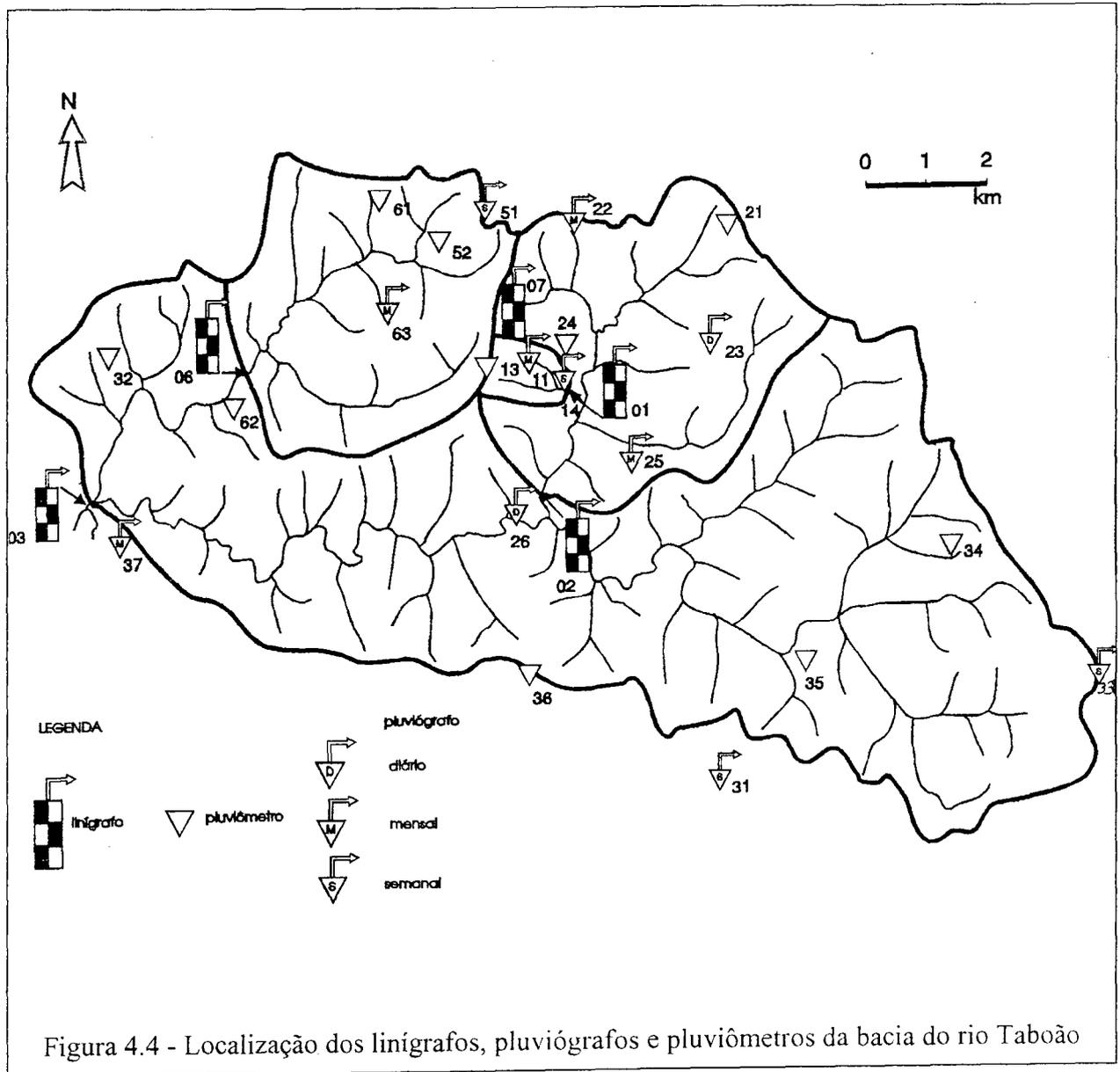
Foram instaladas 5 seções de medição ao longo do rio Potiribu e seus formadores e uma seção de medição na saída da bacia do Anfiteatro. A metodologia de estudo inicialmente prevista consistia em monitorar cada evento chuvoso em todas as seções. Isso não foi possível, devido ao número reduzido de pessoal no campo e falta de veículos adequados em número suficiente.

A seção de medição do Anfiteatro (figura 4.5) foi equipada com um linígrafo de bóia. Foram feitas obras na seção para evitar que o sedimento da estrada e das bacias vizinhas se misturasse com o sedimento da bacia do Anfiteatro.

A seção de medição do Donato (figura 4.5) foi equipada com um linígrafo de bóia. Foi feito um vertedor triangular e uma base com concreto, para estabilizar o leito do rio, já que este sofria constantes rebaixamentos e assoreamentos. As margens na seção de medição também foram estabilizadas utilizando para isso sacos de areia, telas de arame e muros.

As seções de medição de Turcato e Andorinhas (figura 4.6) foram equipadas com um linígrafo de bóia cada e um cabo teleférico para fazer as medições de vazão. Essas foram feitas a vau, quando

os níveis dos rios estavam baixos, utilizando micromolinete, e utilizando cabo teleférico, guincho e molinete quando o nível estava alto.



4.3.4 Monitoramento dos Sedimentos

4.3.4.1 Considerações preliminares

Para medir o volume e o tipo de sedimentos em suspensão que são produzidos nas bacias vertentes por uma chuva, é necessário, além do conhecimento dos volumes de água que passam pela seção ao longo da onda de cheia, conhecer as concentrações em sedimentos tanto durante a subida da enchente quanto na sua descida, pois a concentração do sedimento varia com o passar da onda de cheia.

Para determinar a concentração do sedimento é preciso coletar amostras de água para diversas alturas da onda de cheia. A partir das mesmas poderá ser calculado o volume de sedimentos através da vazão obtida pela curva-chave para cada bacia.

Obtem-se assim, para pontos discretos da onda de cheia, o volume de sedimentos.

Extrapolando para os intervalos intermediários dos pontos discretos a vazão sólida do sedimento, podemos determinar o peso do sedimento produzido por uma chuva sobre a bacia vertente.

As técnicas de medição de sedimento variam de acordo com a escala das parcelas e bacias.

A medição do arraste estava prevista nesta pesquisa, porém não foi feita, devido a falta de verbas para a aquisição do aparelho.

4.3.4.2 Estudo da produção de sedimentos sob chuva artificial (microparcela de 1 m²).

Conforme foi visto, no item 3.4 "efeito de escala", o principal responsável pela erosão hídrica numa escala de 1 metro quadrado é o efeito do salpico (splash). Para estudar este efeito, a perda de solo da microparcela foi medida de maneira pontual, ao longo do tempo.

Para este fim, foram instaladas 3 microparcelas, lado a lado, afastadas de aproximadamente 2 metros e limitadas por quadros metálicos de 1 m x 1 m. As amostras de sedimentos foram colhidas apenas na parcela do meio (parcela B), enquanto as outras duas parcelas foram usadas para fiscalizar se os dados da parcela B eram corretos, visto que essa sofreu várias interrupções no escoamento quando as amostras eram colhidas, aproximadamente de 5 em 5 minutos. Essas foram implantadas na bacia do Anfiteatro. A declividade desta parcela foi de 10,9% na primeira campanha e de 12,0% na segunda campanha.

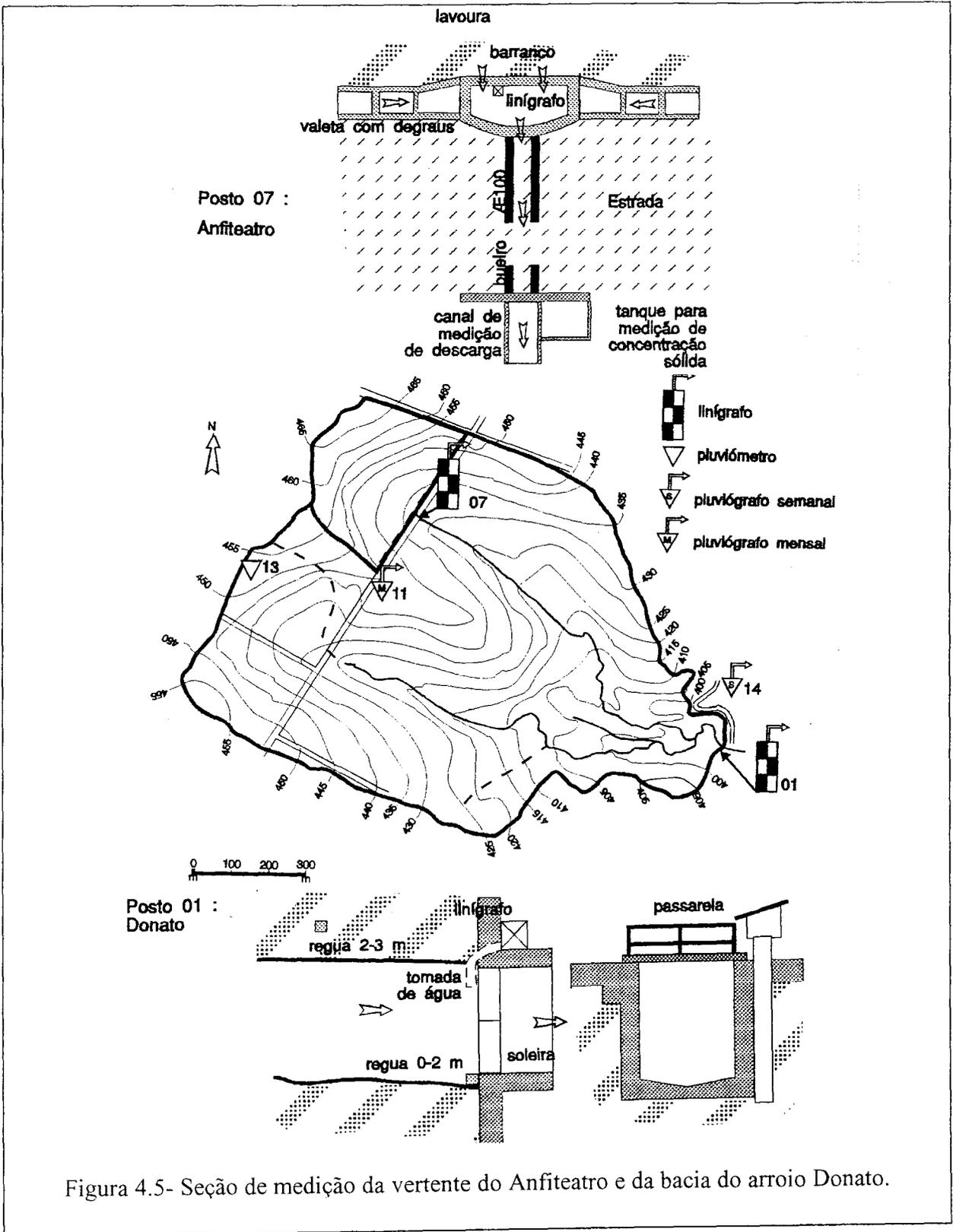


Figura 4.5- Seção de medição da vertente do Anfi-teatro e da bacia do arroio Donato.

Para realizar as medições na parcela de 1 m² de solo, esta foi isolada por um quadro metálico vazado cravado 5 cm no solo. No lado que recebe o fluxo de escoamento superficial há pequenos furos (que devem estar posicionados ao nível do terreno) pelos quais a água atinge uma calha coletora que reúne todo o fluxo e o remete, por um tubo, à cuba do linígrafo. A cuba é um recipiente metálico enterrado no solo cuja finalidade é permitir a leitura do volume escoado superficialmente, ao longo do tempo, por um linígrafo de bóia especial. Com uma boca retangular de 1.000 cm² (40 x 25 cm), cada centímetro de subida do nível d'água na cuba representa na realidade um milímetro de escoamento superficial na parcela de solo de 1 m².

Ao longo do ensaio, são colhidas várias amostras do material escoado diretamente do cano, por meio de garrafas, sendo anotado o momento exato da retirada da amostra e o volume da garrafa, para corrigir o registro do escoamento. São colhidas três amostras de água no tonel que abastece o simulador de chuvas em cada ensaio para fazer as correções necessárias ao cálculo das concentrações de sedimento. As concentrações de sedimentos dessas três garrafas são analisadas em laboratório, e é feita uma média da concentração de sedimentos dessas garrafas, subtraindo dessa média a concentração de cada amostra colhida no tonel durante a simulação. Esse procedimento tem de ser usado, pois a água que abastece o simulador de chuvas é retirada de um arroio, próximo ao local da simulação de chuvas, e já tem uma concentração de sedimentos inicial.

Para determinar o perfil de umidade, três conjuntos de quatro amostras de solo são colhidos antes do início de cada chuva, com auxílio de trado, em lugares próximos a cada parcela. Essas amostras são coletadas para quatro profundidades padrões (0/10 cm, 20/30 cm, 40/50 cm e 60/70 cm) em locais diferentes, situados ao lado da parcela (lado esquerdo superior, lado esquerdo inferior, lado direito superior e lado direito inferior). Estas amostras são pesadas úmidas e secas em estufa a 105 graus durante 24 horas, antes de serem novamente pesadas. A diferença entre o peso úmido e o peso seco dá a umidade do solo por unidade de peso. Para cada profundidade temos três valores de umidade do solo. O método adotado foi o de tomar como umidade do solo o valor médio obtido para cada profundidade. Para obter a umidade por unidade de volume multiplica-se a umidade do solo por unidade de peso pela densidade aparente do solo, previamente medida pelo método dos cilindros.

Em cada simulação de chuva são coletados o registro das lâminas escoadas superficialmente, pelo linígrafo, as lâminas precipitadas pelo simulador (calibradas) ao longo do tempo, o perfil de umidade na parcela, logo antes do ensaio, e as garrafas com amostras de sedimento.

Como já dito, o simulador de chuva usado (figura 4.7), foi desenvolvido por *Asseline e Valentin (1978)* e permite gerar precipitações com intensidades variáveis sobre uma parcela alvo de 1 m² de solo.

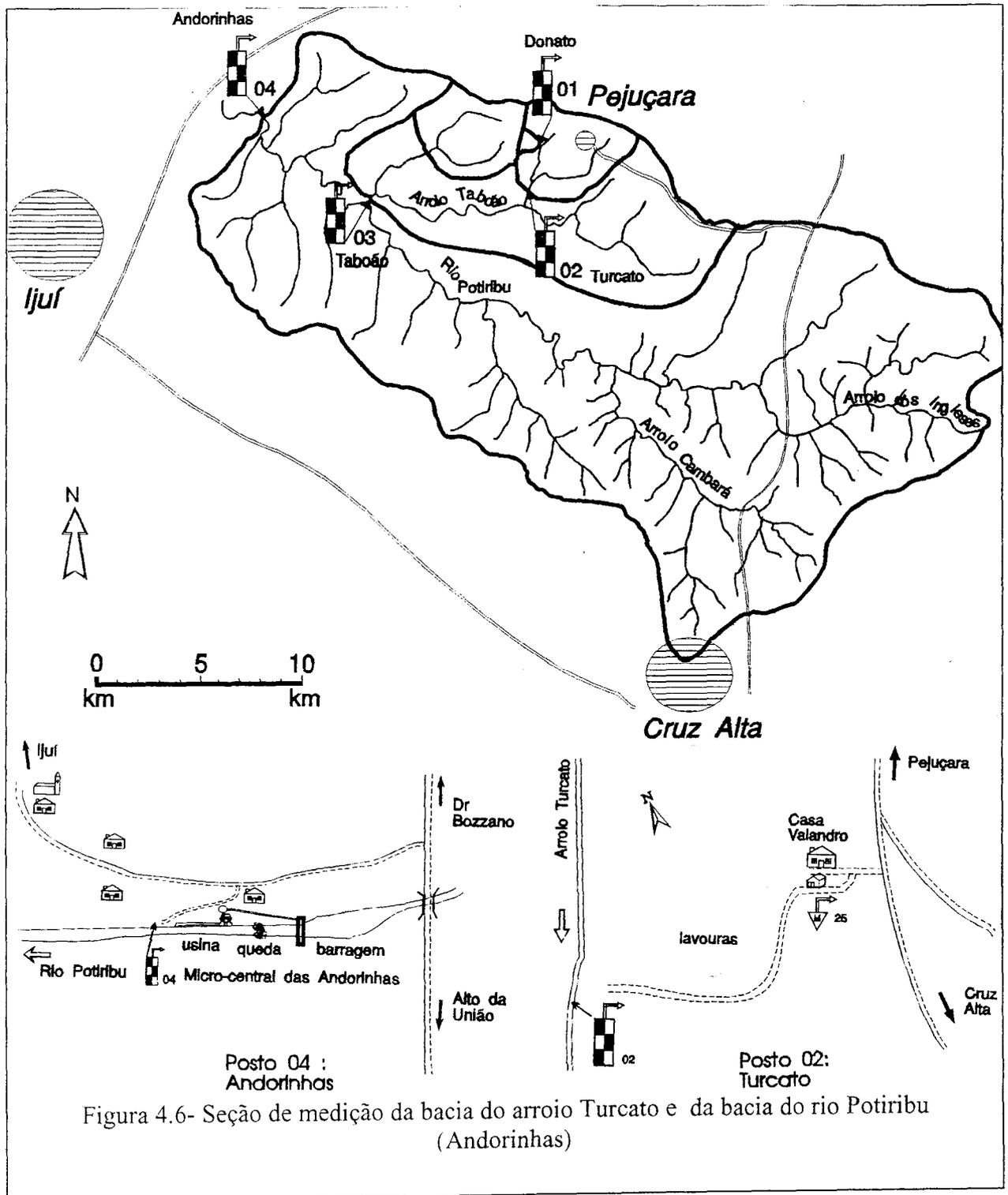


Figura 4.6- Seção de medição da bacia do arroio Turcato e da bacia do rio Potiribu (Andorinhas)

Silveira e Chevallier (1991), descrevem assim o seu funcionamento :

"A chuva é simulada por bombeamento de uma vazão constante até um aspersor fixado a um braço, cujo movimento pendular define a magnitude da superfície molhada. Quanto maior o ângulo do movimento pendular maior a superfície irrigada e menor a quantidade de água que precipita dentro da parcela-alvo de 1 m². As intensidades alcançadas ficam na faixa de 30 a 150 mm/h.

Na versão atual do simulador é utilizado um dispositivo de aspersão especialmente projetado para gerar com precisão mecânica o movimento pendular. O controle é feito por microprocessadores eletrônicos, eliminando os problemas inerentes ao sistema puramente mecânico dos aparelhos iniciais que utilizavam motores análogos aos de limpadores de parabrisa. Nos aparelhos atuais as mudanças de ângulo, isto é, das intensidades de precipitação, são praticamente instantâneas, podendo inclusive serem programadas a priori. É possível estabelecer até 10 ângulos e respectivas durações no funcionamento automático.

Para realizar a simulação de chuva no campo o dispositivo de aspersão é fixado no topo de uma torre metálica, com a forma de um tronco de pirâmide, de aproximadamente 4 m de altura. As quatro faces laterais da torre são cobertas com tecido resistente para minimizar ao máximo o efeito do vento sobre o jato do aspersor. O circuito hidráulico empregado é composto de uma bomba elétrica, alimentada por mangueiras e um tonel de água, que bombeia através de outro conjunto de mangueiras até o aspersor. Dois manômetros, um colocado logo a jusante da bomba elétrica e outro no alto da torre, servem para controlar a pressão, que deve ser constante e compatível com a vazão do aspersor. A energia para a bomba elétrica é fornecida por um gerador à gasolina.

O dispositivo pendular de aspersão no topo da torre é conectado por um cabo elétrico a uma maleta onde estão alojados os microprocessadores eletrônicos e o teclado de controle e programação. A energia para este sistema eletrônico é obtida de uma bateria de automóvel.

O linígrafo registra o escoamento acumulado na cuba num tambor cilíndrico cuja rotação é produzida por um mecanismo de relojoaria de alta velocidade (6,4 mm por minuto), com uma redução de 1:1. A declividade do diagrama registrado no papel dá a intensidade do escoamento superficial."

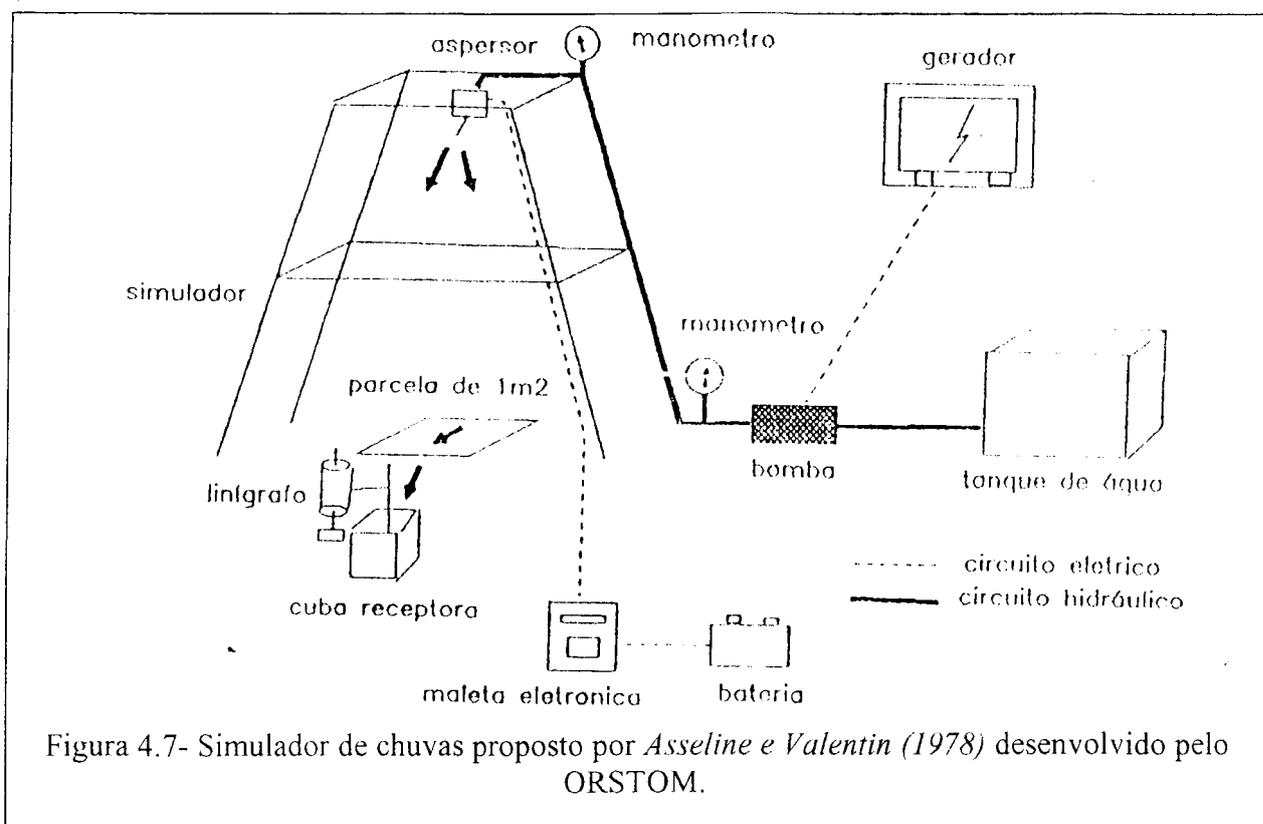
Para as simulações definiu-se que a lâmina precipitada deveria ser da ordem de grandeza da precipitação diária de recorrência anual. De acordo com o estudo de Chevallier e Castro (1991), este valor situa-se em torno de 80 mm.

Foi adotada, então a seguinte sequência com uma duração total de 75 minutos : 60 mm/h em 20 minutos, 100 mm/h em 10 minutos, 80 mm/h em 10 minutos, 60 mm/h em 15 minutos e

40 mm/h nos últimos 20 minutos. Esta sequência de intensidades é apenas indicativa porque o simulador de chuvas trabalha com ângulos de varredura do jato do aspersor, devendo-se buscar a correspondência entre estes ângulos e as intensidades de precipitação. Entretanto estas relações sofrem influências locais, como o vento na hora do experimento (que age mesmo com as proteções laterais) e os constantes deslocamentos e recolocações da torre sobre as parcelas. Por isso, sistematicamente, a cada ensaio, deve-se calibrar as relações entre ângulos do simulador e intensidades das precipitações aspergidas. Esta calibração é feita sobrepondo ao quadro de 1 m² da parcela um outro quadro, só que impermeável, de modo que tudo que precipita sobre a parcela vai para a cuba e é registrado pelo linígrafo.

A erosividade das chuvas simuladas foi calculada para a sequência de chuvas padrão e situa-se em torno de 88 t.m.mm/ha h. Esse valor é bem alto em relação as chuvas naturais da região e corresponde a um período de recorrência de 2 anos, segundo estudo feito por *Chevallier e Castro (1991)*.

Foram realizadas 2 campanhas de simulação de chuva. A primeira campanha foi feita de 29/05/1991 a 01/06/1991. Nessa época a aveia estava com uma altura média de 8 cm. A campanha ocorreu 1 semana após o plantio da aveia, estando as parcelas com aproximadamente 5% de cobertura vegetal. No preparo do solo foi usado o subsolador com uma profundidade de 50 cm aproximadamente, e logo após foi feito o plantio. A chuva antecedente neste mês ocorreu nos dias 21 a 23, com uma precipitação de 17 mm, ou seja 6 dias antes da simulação de chuva.



A segunda campanha teve lugar de 27/08/1991 a 30/08/1991. Nesta época a aveia estava com uma altura média de 50 cm. A campanha ocorreu 14 semanas após o plantio, estando as parcelas com aproximadamente 80% de cobertura vegetal. A chuva antecedente neste mês ocorreu nos dias 4 a 6 de junho, ou seja 21 dias antes desta campanha.

Em cada campanha foram feitas 4 simulações de chuvas com 5 intensidades para cada parcela. Geralmente eram feitas 3 simulações por dia, uma em cada parcela, tendo um intervalo de aproximadamente 24 horas para ocorrer a simulação seguinte na mesma parcela. Após cada simulação as parcelas eram cobertas por lonas, com um esquema permitindo a circulação do ar, para protegê-las de eventuais chuvas naturais que pudessem ocorrer.

4.3.4.3. Estudo da produção de sedimentos sob chuva natural em parcelas nas quais o escoamento difuso predomina : microparcela, parcela e vertente

A técnica de medição de sedimentos escolhida nos casos das parcelas e das vertentes, nas quais predomina o escoamento difuso e a erosão laminar (erosão não concentrada em canais), é a medição da concentração média dos sedimentos erodidos durante uma chuva. Os próximos itens descrevem o procedimento para a microparcela de 1 m², sob chuva natural, as parcelas do Centro de Treinamento da Cotrijuí (CTC) e para a sub-bacia do Anfiteatro.

a) Estudo da produção de sedimentos na microparcela de 1 m² sob efeito de chuva natural

Para estudar a produção de sedimento com chuva natural, foi instalada uma microparcela de 1 m² perto das parcelas de chuvas artificiais. Nesta parcela está acoplado um cano por onde a água que não infiltra esco e é recolhida em um galão de 40 litros fixo no chão, protegido da chuva com uma tampa de madeira. Este galão é graduado de litro em litro. Após a chuva, o observador anota o volume escoado, a data e colhe três amostras do material escoado após agitar o galão. O material então é jogado fora e o galão é limpo e colocado novamente no local.

b) Estudo da produção de sedimentos nas parcelas do CTC (77 m²)

As dez parcelas localizadas no centro de treinamento da Cotrijuí, foram instaladas pela Cotrijuí e pelo IPRNR- Secretaria da Agricultura do Rio Grande do Sul. Essas parcelas tem 77 m² de área (22,5 m de comprimento x 3,4 m de largura), 7,5% de declividade e são tratadas com diferentes preparos de solo (convencional, mínimo e plantio direto) e diferentes culturas. Próximo as parcelas está localizado um pluviógrafo.

As parcelas são dispostas no sentido da declividade do terreno, uma ao lado da outra. A água da chuva que esco superficialmente em cada parcela, é transportada até uma cuba onde lá é depositada. Esta cuba é ligada a outra cuba, com um sistema de repartição de amostra, que capta a sétima parte da amostra, após a primeira cuba ter enchido.

Após cada chuva, um operador da Cotrijuí faz a coleta das amostras para análise de sedimentos, mede o volume de água escoado e limpa as cubas. A coleta das amostras é feita com garrafas, após a água é retirada e o sedimento depositado no fundo da cuba é retirado para pesagem.

A parcela número cinco permanece sempre descoberta e com preparo convencional. Quando há formação de crosta superficial nas parcelas, estas são desmanchadas manualmente com enxada. A ocupação e preparo de cada parcela é mostrada na tabela 5.6.

c) Estudo da produção de sedimentos na vertente do Anfiteatro (A=13,7 ha)

A bacia do Anfiteatro tem uma área de 13,7 ha e é toda terraceada. Os terraços jogam a água que não infiltra para uma valeta na estrada e essas águas escoam por um bueiro. Foram feitas diversas adaptações na bacia para permitir este estudo :

- A jusante do bueiro foi instalada uma caixa d'água de 1000 litros. Esta caixa d'água recolhe parte da água escoada por intermédio de uma mangueira cuja tomada é localizada no fundo do bueiro. O objetivo é de desviar uma parte da água que escoava pelo bueiro para a caixa d'água. Após as chuvas, o observador homogeniza a água dentro da caixa d'água e colhe amostras para serem analisadas em laboratório. A caixa d'água é então esvaziada com a ajuda de uma motobomba, e limpa ;
- Instalação de um linígrafo em um local onde as águas de todos os terraços desaguam (jusante do bueiro) ;
- Colocação de pedras na valeta ao longo da estrada para estabilizar as margens e evitar erosões ;
- A montante e a jusante do linígrafo foram feitos degraus na valeta para provocar o depósito dos sedimentos de granulometria maior ;
- O bueiro antigo foi trocado por um maior para evitar de haver transbordamento da água por cima da estrada ;
- A jusante do bueiro as valetas de onde escoavam as águas provenientes de outras sub-bacias, que não o Anfiteatro, foram desviadas, para garantir que toda a água que passe no bueiro provenha das vertentes ;
- Foi feito um canal com seção retangular e fundo triangular à jusante do bueiro, para fazer as medições de vazão.

4.3.4.4 Estudo da produção de sedimentos nas bacias nas quais predomina o escoamento concentrado : bacia do Donato, Turcato e Andorinhas

Em cada uma dessas bacias há um linígrafo instalado que registra os níveis d'água do rio. A seção de medição de cada bacia encontra-se próxima ao linígrafo.

Nessas bacias, a coleta de sedimentos é feita de maneira pontual, ou seja a concentração de sedimentos é medida em várias verticais da seção transversal dos rios, e à várias profundidades em cada vertical.

As coletas de sedimentos são feitas com o auxílio de um amostrador de sedimento. O amostrador deve colher amostras na subida e descida da cheia em no mínimo três pontos de uma vertical, em amostras pontuais, ou em toda a vertical de maneira integrada, para obtermos amostras representativas. As amostras devem também ser tiradas em no mínimo três pontos da seção : margem esquerda, meio do rio e margem direita, totalizando nove pontos para cada nível do rio. Na prática, esses pontos não são medidos com rigor : dependendo das condições de campo as coletas podem ser feitas num maior ou menor número de pontos.

O ideal para a coleta de sedimentos seria um amostrador automático que permanecesse no campo e entrasse em funcionamento com o início da subida do rio. O amostrador colheria várias garrafas de maneira pontual ou integrada, em vários níveis do rio na subida e descida da cheia. Um amostrador desse tipo está sendo projetado no Instituto de Pesquisas Hidráulicas, mas como não havia no momento da pesquisa um já pronto atendendo as condições desejadas, optou-se pelo uso de um amostrador manual proposto por *Castro et al. (1991)*, (anexo 1), que consiste em um aparelho composto por uma haste e garrafas acopladas a ela perpendicularmente ao longo de todo o seu comprimento, podendo serem fixadas de 5 em 5 cm. Essas garrafas possuem tampas com dois bicos, um para entrada de água e um para saída de ar.

A coleta de sedimentos durante uma cheia foi feita fixando uma ou mais garrafas desse amostrador, na haste do molinete. Com auxílio do cabo teleférico e guincho, as garrafas são colocadas na posição desejada e é feita a coleta. Esta coleta foi feita durante um intervalo de tempo de tal modo que não enchesse a garrafa, para evitar que ocorra recirculação da amostra, ou seja um enriquecimento artificial da concentração de sedimentos. Este intervalo de tempo era testado no momento da coleta, no campo.

Para obter-se a concentração média foi feita a média aritmética, para cada nível, das medições.

4.3.5 Operação

Os dados de campo foram obtidos por uma equipe do IPH/UFRGS.

Desde setembro de 1989 a bacia é vistoriada mensalmente, sendo obedecidas normas de manutenção e de coleta de dados.

Em maio, junho e julho de 1991 foi feita uma campanha intensiva com o objetivo de levantar as curvas-chaves e colher dados de sedimentos para cada bacia estudada. Ficava no local, permanentemente uma equipe e ao cair uma chuva, ela se deslocava para as seções de medição para fazer medição de vazão e coleta de sedimentos simultaneamente. A coleta de sedimentos foi feita, em geral, em 3 pontos no rio : margem esquerda, meio do rio e margem direita, e em 3 profundidades : fundo do rio (10 cm do fundo), meio e superfície (5 cm da superfície).

Após cada chuva era feita a coleta de sedimentos da microparcela de 1m² e do Anfiteatro, na caixa d'água, homogenizando a caixa coletora e retirando 3 amostras.

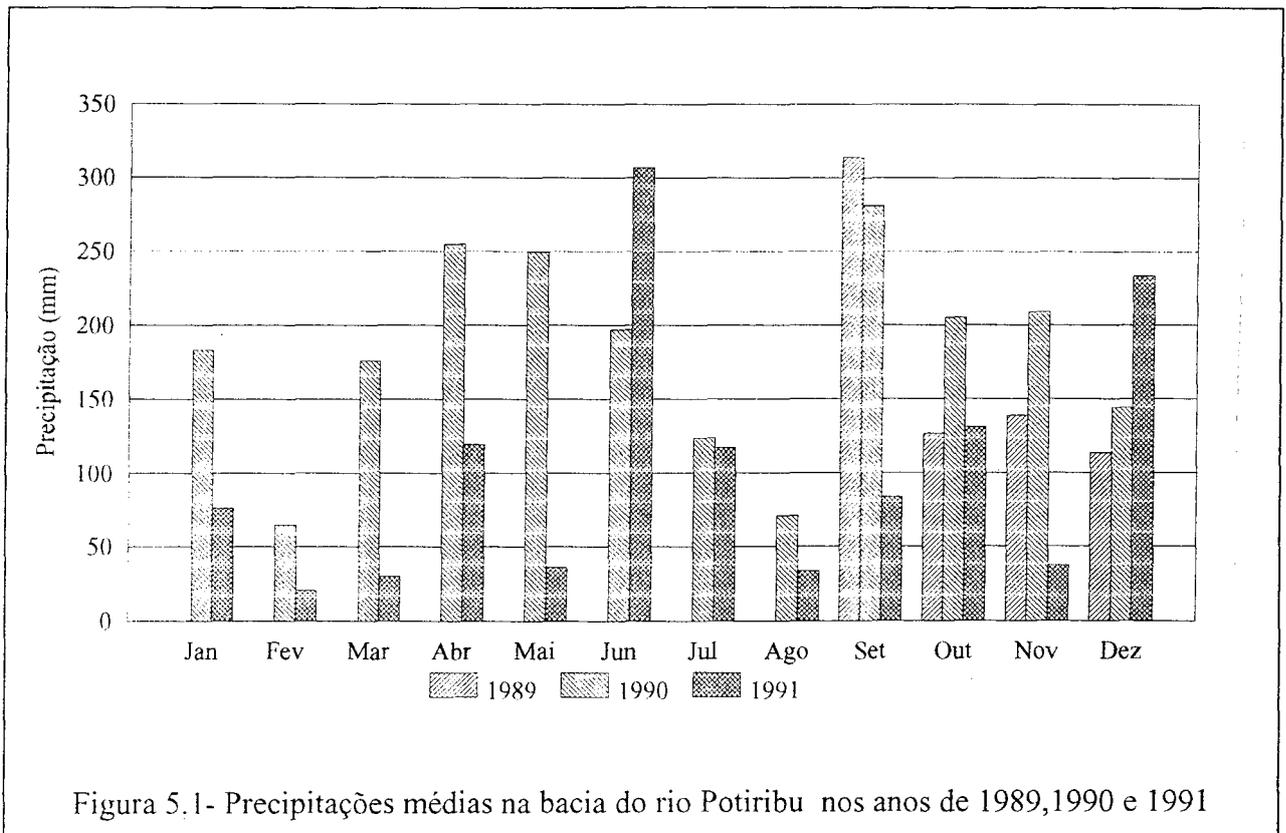
4.3.6 Análise dos sedimentos

Uma parte das amostras coletadas foi analisada no laboratório de Sedimentos do IPH, onde se estabeleceu a concentração de sedimentos em gramas por litro pelo método de evaporação com correção para sólidos dissolvidos, e pelo método de filtragem rápida (ver anexo 1). Outra parte foi analisada no laboratório montado em Pejuçara, em uma sala emprestada pela prefeitura, com balança de precisão e estufa cedidas pela UNIJUÍ, vidrarias do laboratório de sedimentologia do IPH e equipamentos comprados pelo Projeto Potiribu.

5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

5.1 Precipitações

A pluviometria desta região, segundo *Chevallier e Castro (1991)*, apresenta em média uma distribuição homogênea com aproximadamente 120 mm de precipitação mensal, mas a pluviometria interanual é bastante variada, chegando a ter um ano úmido e o ano sub-sequente seco, como foi o caso dos anos de 1990 e 1991 (figura 5.1 e tabela 5.1).



Na região palco do estudo, o ano de 1990 foi um ano úmido (total anual de 2159 mm) e as fortes chuvas do verão causaram um atraso na colheita da soja em 1991. Devido a essa demora, alguns agricultores atrasaram o plantio do trigo e do milho, e outros nem chegaram a plantar, deixando o solo descoberto, ou plantaram aveia apenas para usar como adubo verde, como foi o caso na bacia do Anfiteatro.

Tabela 5.1- Distribuição da precipitação mensal do ano de 1991, registrada nos pluviógrafos da bacia do rio Potiribu.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PG11					35,2	303,9	110,9	30,5	75,6			168,9
PM13		19,0	21,3		34,4	332,8	113,2	33,0	75,5	122,5	24,0	186,8
PG14	70,5		20,6				106,3					195,9
PM21	83,9	15,9	43,3		41,4	288,1	97,8	33,5	83,3	128,9	35,6	
PG22					43,3		103,0	34,4	78,2	141,3	33,6	
PG23		25,4	31,3	110,0	37,3	319,9	100,8	35,1	53,5	75,9	27,9	177,2
PG26		23,4	29,7	127,7	34,9	338,4	118,2	33,4	82,4	121,3	39,9	217,5
PG31			40,6	71,4	29,3	278,1	130,9		75,7		46,4	221,6
PM32			25,5	133,7			127,2	39,3	82,1	136,8	44,0	223,5
PM34			57,5		35,0	278,2	136,3	15,3	90,7	127,9	47,8	242,4
PM35	77,4		40,2	126,2			134,8		88,9	144,6	51,3	256,3
PM36			41,0						92,5		44,5	267,0
PG37		30,2	18,2	112,6	40,2	315,3	160,0	44,9	43,4	14,3	18,9	115,2
PG51	71,1	21,1	24,8	108,5	31,6	266,6	91,2	19,0	71,9	137,8	28,9	176,0
PM52	78,8	22,9	24,2	127,5	41,6	330,6	94,6	32,2	84,6		37,9	189,9
PM61	72,9	31,7	21,7	122,6	35,5	300,4	72,1	27,7	74,4	147,7		257,2
PM62		29,0			36,4	326,4	125,8	36,6	84,4	152,6	22,5	215,6
PG63		3,4	15,2	150,6			133,4	39,1	70,9	47,3	49,4	158,0
Média	75,8	22,2	30,3	119,1	36,6	306,6	115,1	32,4	76,9	115,3	36,8	204,3

PG : pluviógrafo PM : pluviômetro

A média é a média aritmética dos valores de cada mês, excluindo os postos em lacuna.

Já o ano de 1991 foi um ano seco (total anual de 1225,3mm). Esta seca dificultou o trabalho de coleta dos dados, como a medição de vazão para o traçado das curvas-chaves e a coleta de sedimentos nos vários postos. Este ano em particular, apresentou uma distribuição mensal média de precipitação bastante heterogênea, com uma precipitação média mensal de 102 mm, uma precipitação mínima mensal de 22,2 mm em fevereiro e uma precipitação máxima mensal de 306,6 mm em junho.

5.2 Erosividade

A erosividade média anual das chuvas desta região, segundo *Chevallier e Castro (1991)*, é de 504 (t.m.mm/ha h). Os autores utilizaram para este cálculo 16 anos de dados do posto de Ijuí-Ípagro (Instituto de Pesquisas Agrônômicas).

A erosividade de uma chuva é o produto entre a energia cinética da chuva e a sua máxima intensidade em 30 minutos. Os valores da erosividade foram calculados pelos autores através de programas de computação desenvolvidos no ORSTOM e no IPH/UFRGS.

Na tabela 5.2 são apresentados os valores de erosividade (t.m.mm/ha h) para os eventos de 1991, calculados para 6 pluviógrafos.

Tabela 5.2- Erosividade mensal das chuvas de 1991 (pluviógrafos 11,14,22,23,26 e 37)

Pluv	Jan	Fev	Mar	Abr	Ma	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
11	-	-	-	-	1,8	89,2	15,0	5,1	11,3	-	-	26,0
14	10,6	-	0,1	-	-	-	10,5	-	-	-	-	25,9
22	-	-	-	-	3,9	-	11,5	10,1	13,7	-	0,9	-
23	-	6,2	2,1	23,7	2,7	78,0	10,5	10,6	-	-	-	-
26	-	3,8	2,8	25,3	1,4	130,6	16,4	5,1	13,9	25,1	2,3	54,9
37	-	1,6	0,5	10,9	1,7	111,7	30,1	6,0	3,4	-	-	54,2
Med	10,6	3,9	1,4	20,0	2,3	102,4	15,7	7,4	10,6	25,1	1,6	40,3
Total anual												241,3

As erosividades das chuvas em 1991 são bastante heterogêneas, tendo a máxima erosividade ocorrida em junho e a mínima em março. Apresentam uma média mensal de 20,1 e um total anual de 241,3 (t.m.mm/ha h), valor esse inferior ao calculado para esta região, que se situa em torno de 500.

Analisando a figura 5.2, que apresenta a distribuição da erosividade média durante 16 anos ao longo do ano e a erosividade média ao longo do ano de 1991 ; podemos notar que a erosividade ocorrida no ano de 1991 é bastante inferior à média das erosividades, com exceção do mês de junho, no qual o ano de 1991 apresenta um valor de 102 enquanto a erosividade média deste mês é de 49.

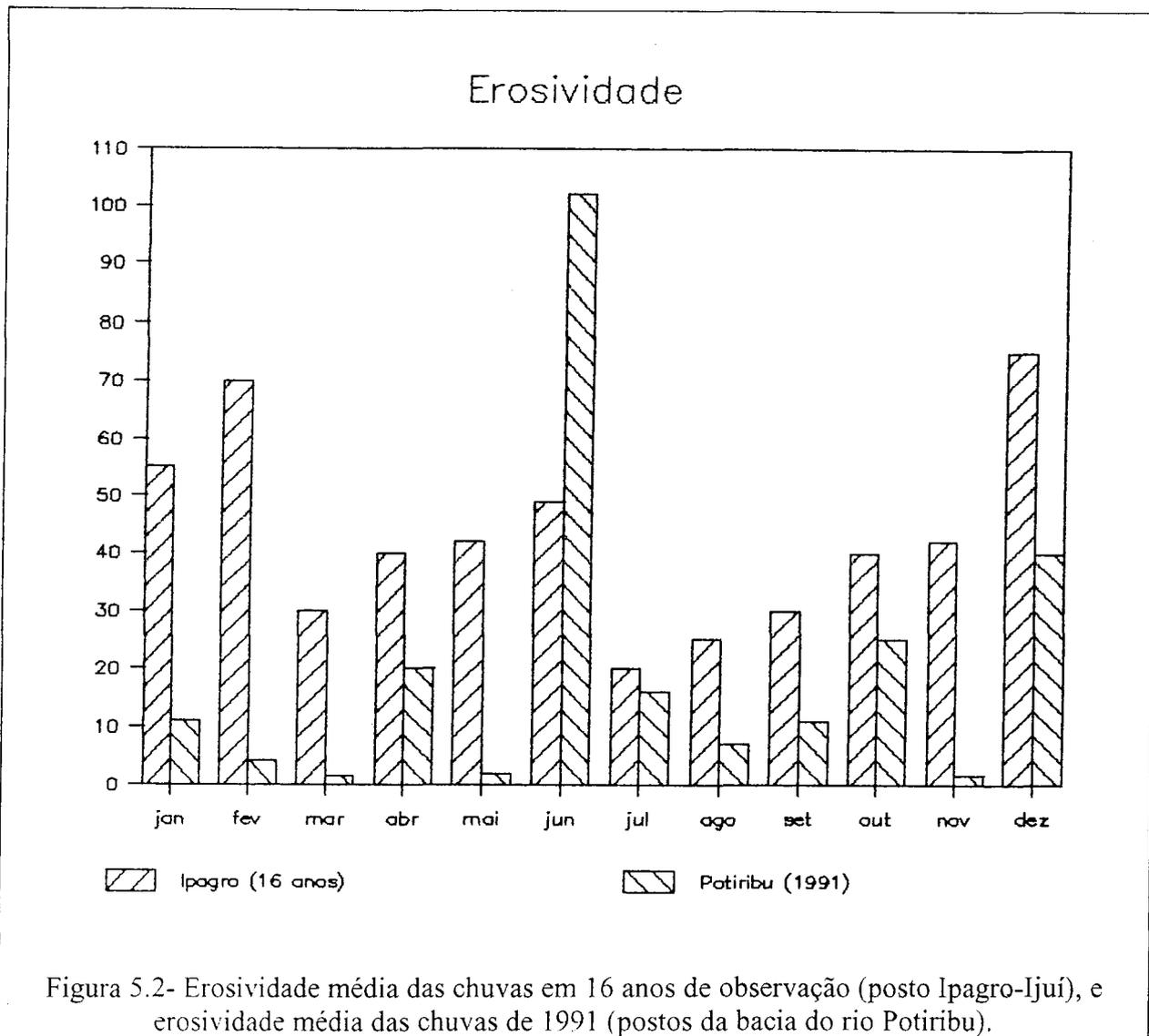
Neste mês de junho ocorreram duas chuvas de alta erosividade, justamente quando o solo estava com uma baixa cobertura vegetal, aproximadamente duas semanas após o plantio da aveia. A aveia estava com uma altura média de 9 cm e cobria de 5 a 10% da área.

5.3 Hidrologia e Sedimentologia

Os dados a seguir analisados dizem respeito aos meses de junho e julho de 1991, quando foi feita uma campanha intensiva de coleta de sedimentos e medição de vazão.

5.3.1 Estudo da produção de sedimentos e água sob chuva artificial (microparcela de 1 m²)

A tabela 5.3 apresenta os resultados das 2 campanhas de simulação de chuva realizadas no Anfiteatro



Comparando a primeira campanha de simulação de chuva com a segunda, observa-se que os coeficientes de escoamento, e em geral também as perdas de solo, são maiores na segunda campanha que na primeira, o que contraria o que se podia esperar, visto que na segunda campanha o solo estava com uma cobertura de 80% e na primeira somente com 5%. Aparentemente a cobertura maior da aveia na segunda campanha não diminuiu o impacto da gota da chuva no solo.

Tabela 5.3-Resultados da Simulação de Chuva

Ens.	Prec. (mm)	Umidade				Escoamento superficial		Concentração média			Perda se solo média			Perda de solo total		
		0/10 cm	20/30 cm	40/50 cm	60/70 cm	total	coef.	trans.	dep.	total	trans.	dep.	total	trans.	dep.	total
		(mm)				(mm)	(%)	(g/l)			(g/mm de chuva)			(g)		
1B1	78.3	24.4	36.5	41.6	38.3	0.4	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1B2	86.8	35.3	40.9	42.1	39.2	18.2	21.1	0.83	0.71	1.54	0.17	0.15	0.32	15.05	13.01	28.06
1B3	89.9	36.6	42.1	41.4	39.1	33.4	37.2	1.43	1.08	2.26	0.53	0.41	0.94	47.79	36.13	83.92
1B4	88.9	37.7	42.9	42.8	39.6	40.4	45.4	1.28	0.68	1.96	0.58	0.31	0.89	51.58	27.57	79.15
2B1	82.2	19.2	30.3	32.3	29.7	28.9	35.2	1.01	0.63	1.64	0.36	0.22	0.58	29.24	18.12	47.36
2B2	88.2	37.7	43.4	40.9	34.9	52.6	59.6	0.67	0.82	1.48	0.41	0.48	0.89	35.22	42.71	77.93
2B3	88.7	34.2	38.7	39.1	39.3	56.6	63.8	0.68	0.23	0.91	0.43	0.15	0.58	38.57	13.19	51.76
2B4	85.5	32.8	39.5	38.9	37.8	57.8	67.6	1.61	0.76	2.37	1.09	0.52	1.61	93.17	44.07	137.2

Já que os teores de umidade no solo são praticamente idênticos no início da primeira chuva nas duas campanhas, uma possível explicação para esse aumento parece residir no fato que, o solo havia sido trabalhado com o subsolador, até aproximadamente 50 cm de profundidade poucos dias antes da primeira campanha (uma semana). Este trabalho deixou o solo descompactado e mais poroso. Quando a chuva caiu no solo, ela não encontrou resistência para infiltrar, de modo que escoou menos água superficialmente e que se perdeu menos solo que na segunda campanha, cujo solo tinha sido trabalhado há mais tempo (14 semanas).

Olhando agora em detalhe a tabela 5.3, pode-se notar que não há grande diferença de umidade no solo entre a aplicação de duas chuvas consecutivas, exceto entre a primeira e segunda chuva. A menor umidade no início da primeira chuva faz com que parte da água precipitada se infiltre e ocupe os poros do solo, causando um escoamento superficial menor que na segunda chuva. Esse aumento do escoamento na segunda chuva causa um aumento na produção de sedimento.

Nas outras chuvas não há grande variação de umidade. Não há saturação do solo, ou seja o solo tem uma boa drenagem. Observa-se também que o escoamento superficial nas duas campanhas é sempre crescente após a aplicação de cada chuva. Uma explicação para estas observações é que pode ter ocorrido a formação do selo superficial. Dessa maneira, mesmo sem o solo estar saturado, o escoamento superficial cresce com a aplicação de cada chuva.

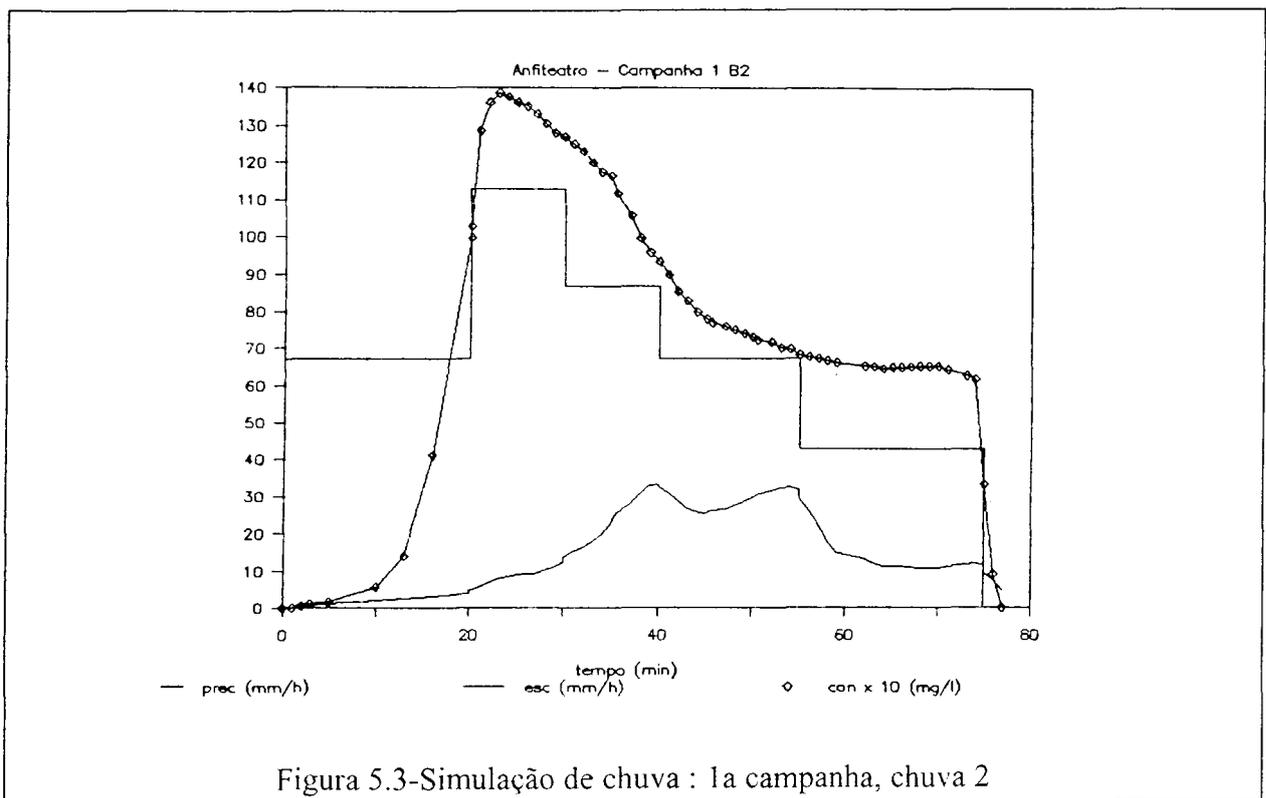
A formação deste selo superficial resulta do impacto da gota da chuva no solo ; as partículas finas desagregadas, acomodam-se nos poros do solo, formando uma camada superficial, chamada selo superficial ("structural crust").

Analisando a perda de solo média (g/mm chuva), nota-se que o material transportado até a cuba, aumenta com a aplicação de cada chuva. Este aumento poderia ser explicado, também pela formação do selo superficial, que ao impedir a infiltração da água, aumenta o escoamento superficial e a capacidade de transporte dos sedimentos desagregados pela gota da chuva.

Já o depósito do material na calha da parcela, pode aumentar ou diminuir com a aplicação de cada chuva. Uma hipótese que explicaria esse fenômeno pode ser formulada: O sedimento depositado na calha não é constituído apenas por aquele que é desagregado pela gota da chuva e erodido pelo próprio escoamento superficial, e a seguir transportado até a calha. Ele pode também provir de agregados, que estavam inicialmente localizados próximos a calha e desmoronaram e caíram na calha, mesmo sem terem sido totalmente desagregados. Uma maneira de esclarecer este ponto consistiria em analisar a granulometria do material transportado até a cuba e a do material depositado na calha. Assim, poderíamos saber se se trata de material desagregado ou não.

Devido a este depósito, a perda de solo total, também não cresce regularmente com as chuvas sucessivamente aplicadas.

Por fim examinar-se-á detalhadamente os escoamentos obtidos para cada simulação de chuva apresentadas nas figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 e 5.9 que mostram a precipitação (mm/h), o escoamento superficial (mm/h) e a concentração de sedimentos ao longo do tempo em cada simulação de chuva, nas duas campanhas de simulação.



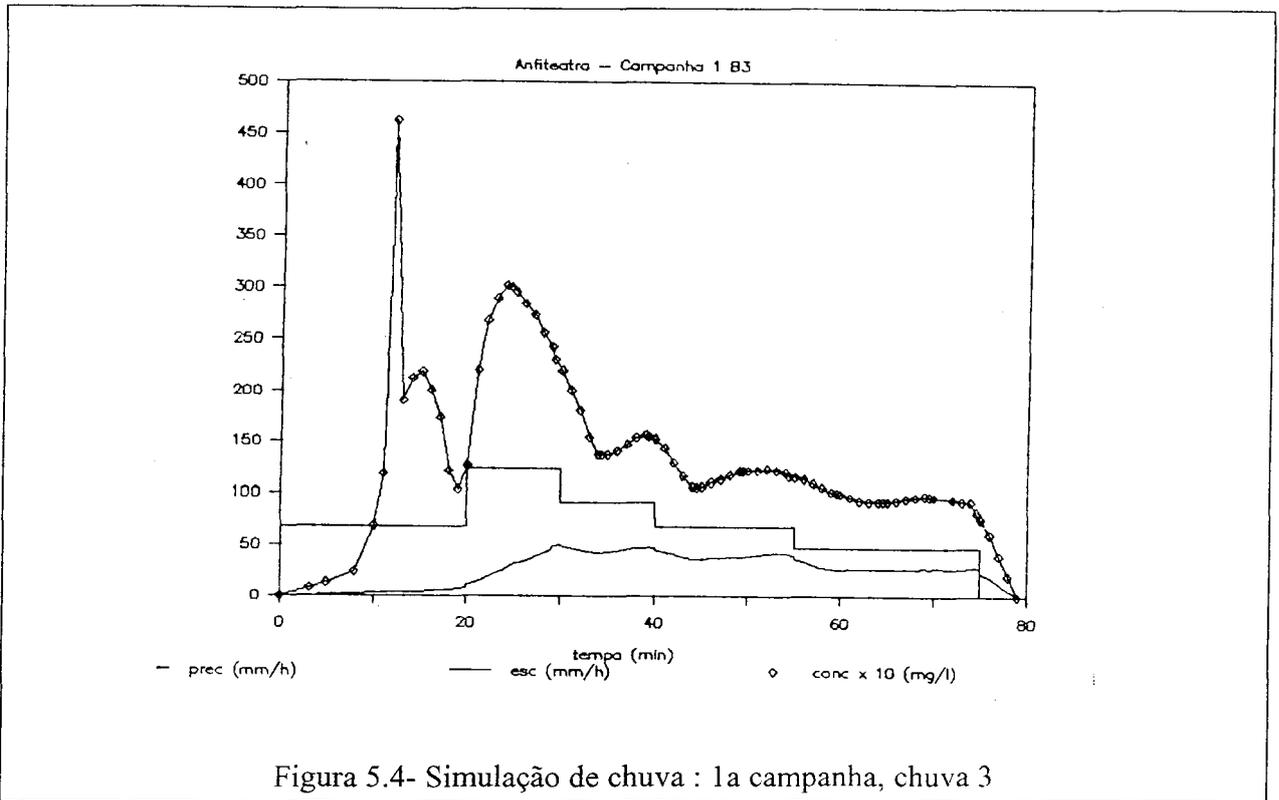


Figura 5.4- Simulação de chuva : 1a campanha, chuva 3

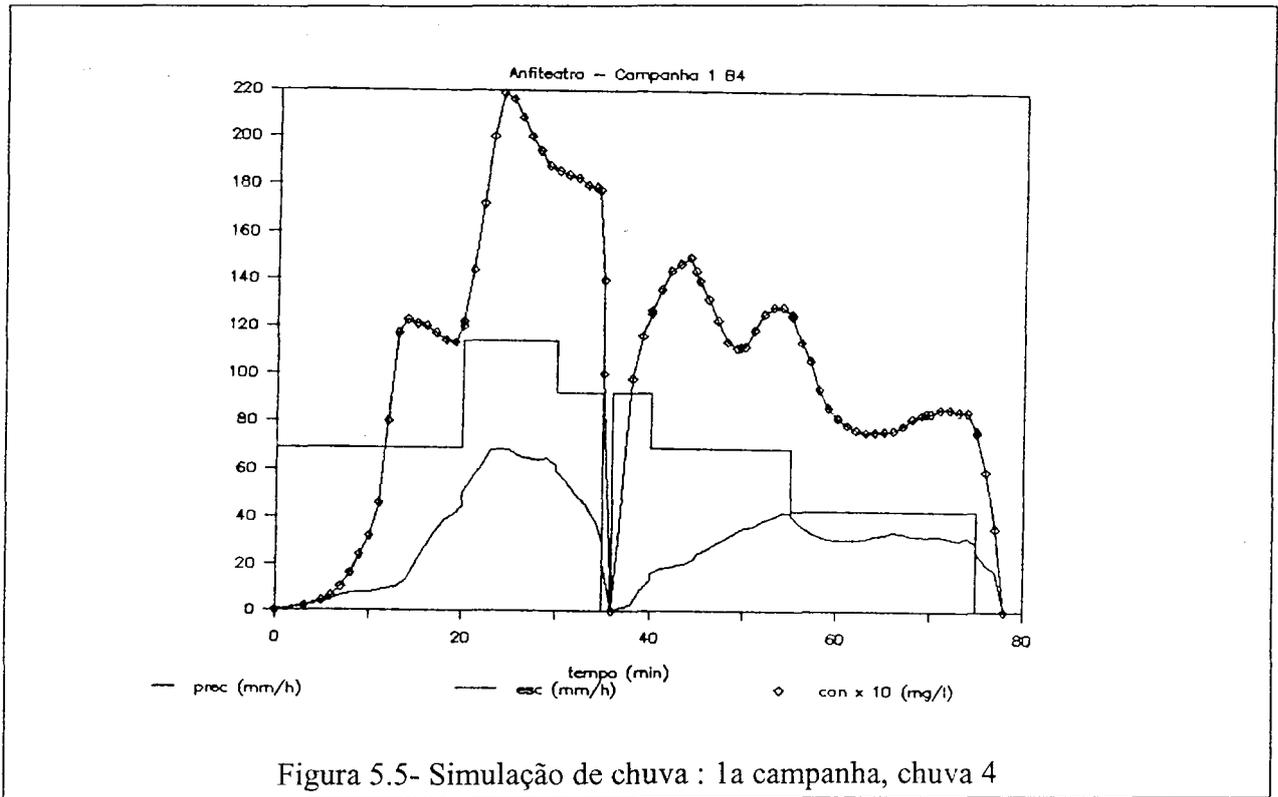


Figura 5.5- Simulação de chuva : 1a campanha, chuva 4

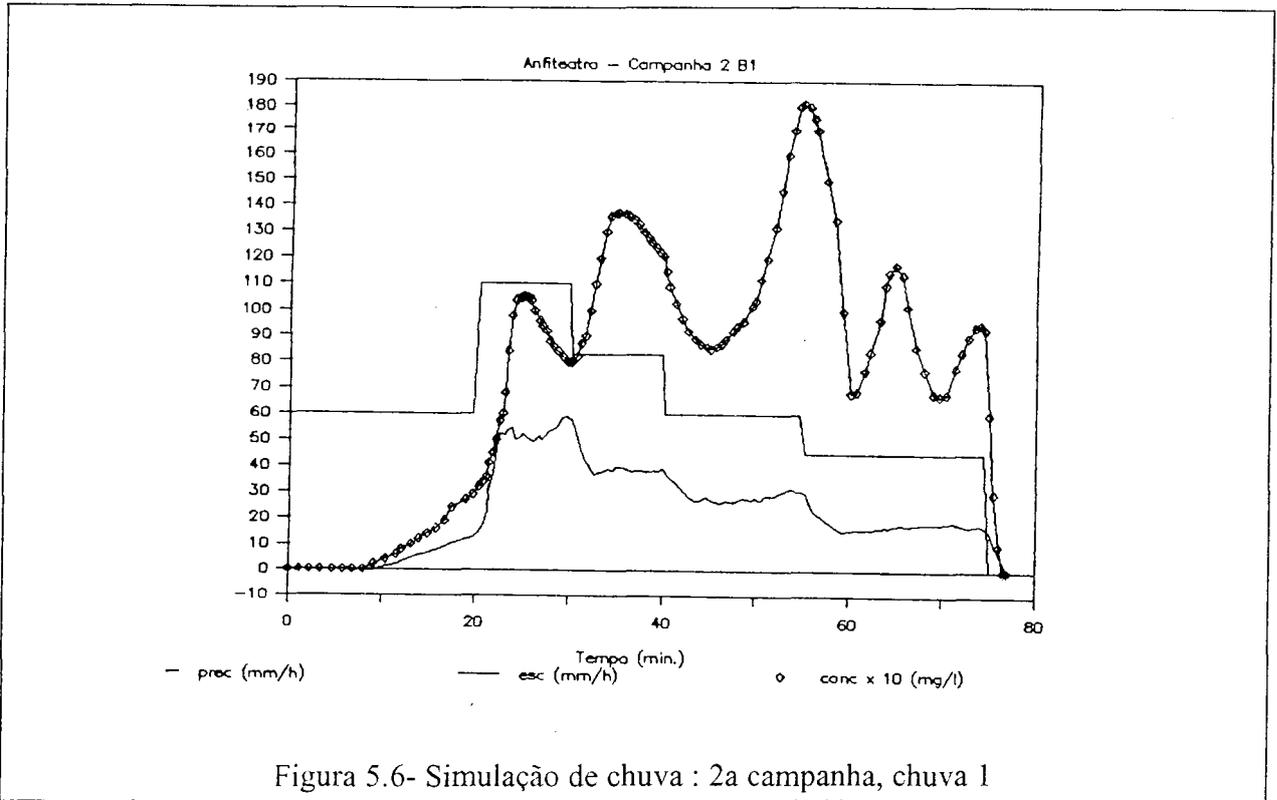


Figura 5.6- Simulação de chuva : 2a campanha, chuva 1

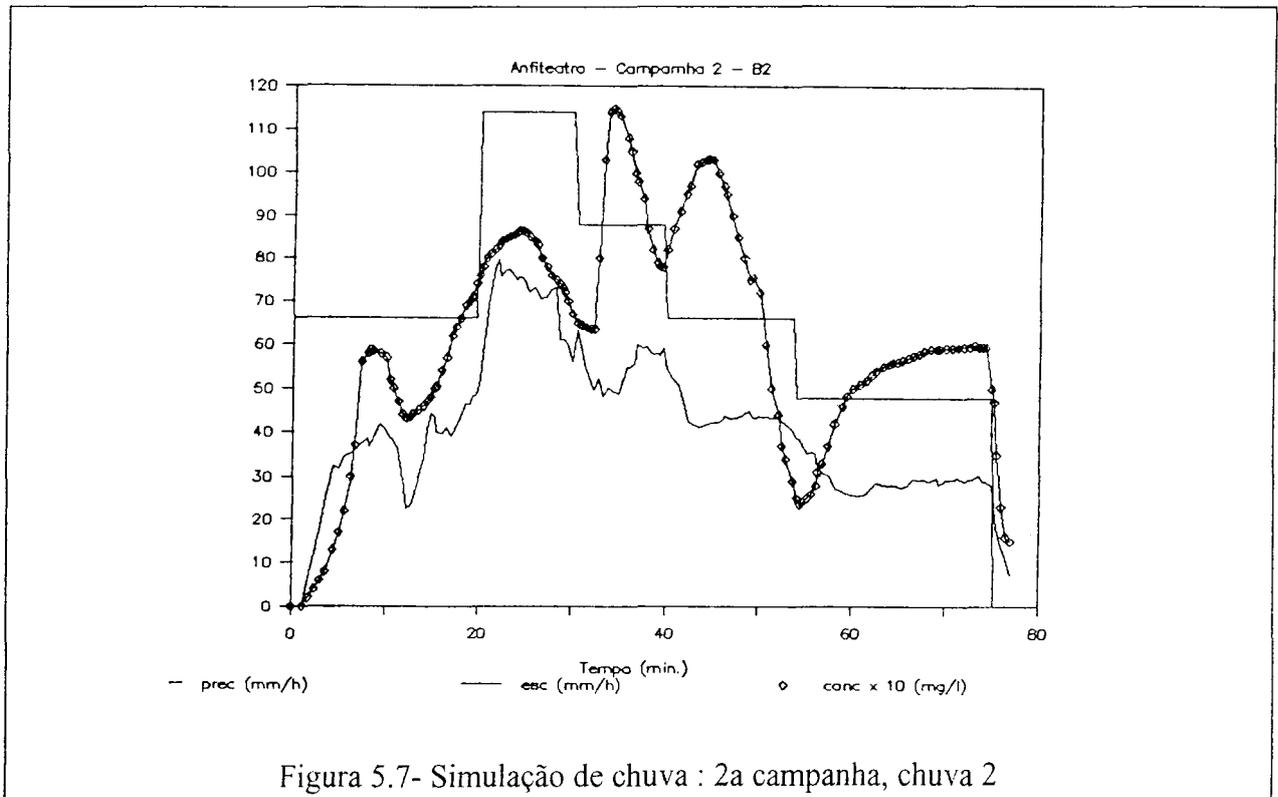


Figura 5.7- Simulação de chuva : 2a campanha, chuva 2

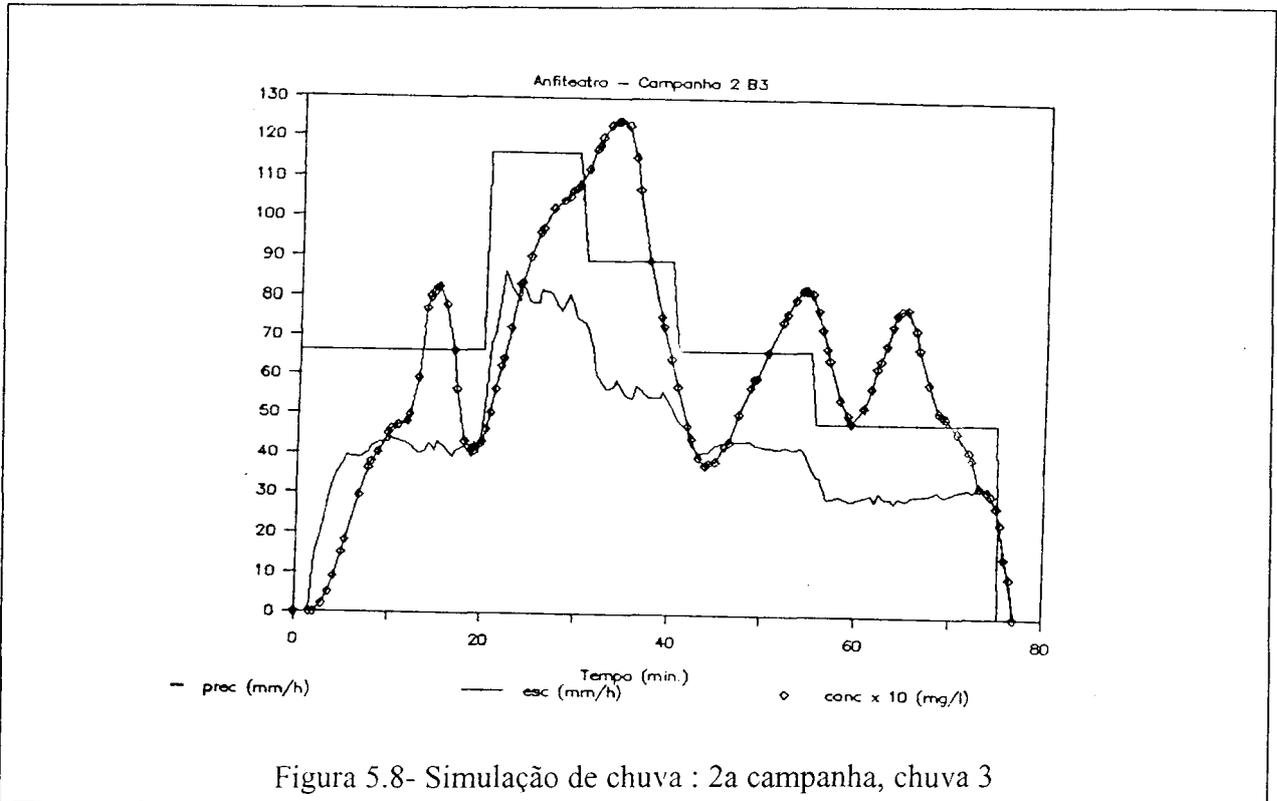


Figura 5.8- Simulação de chuva : 2a campanha, chuva 3

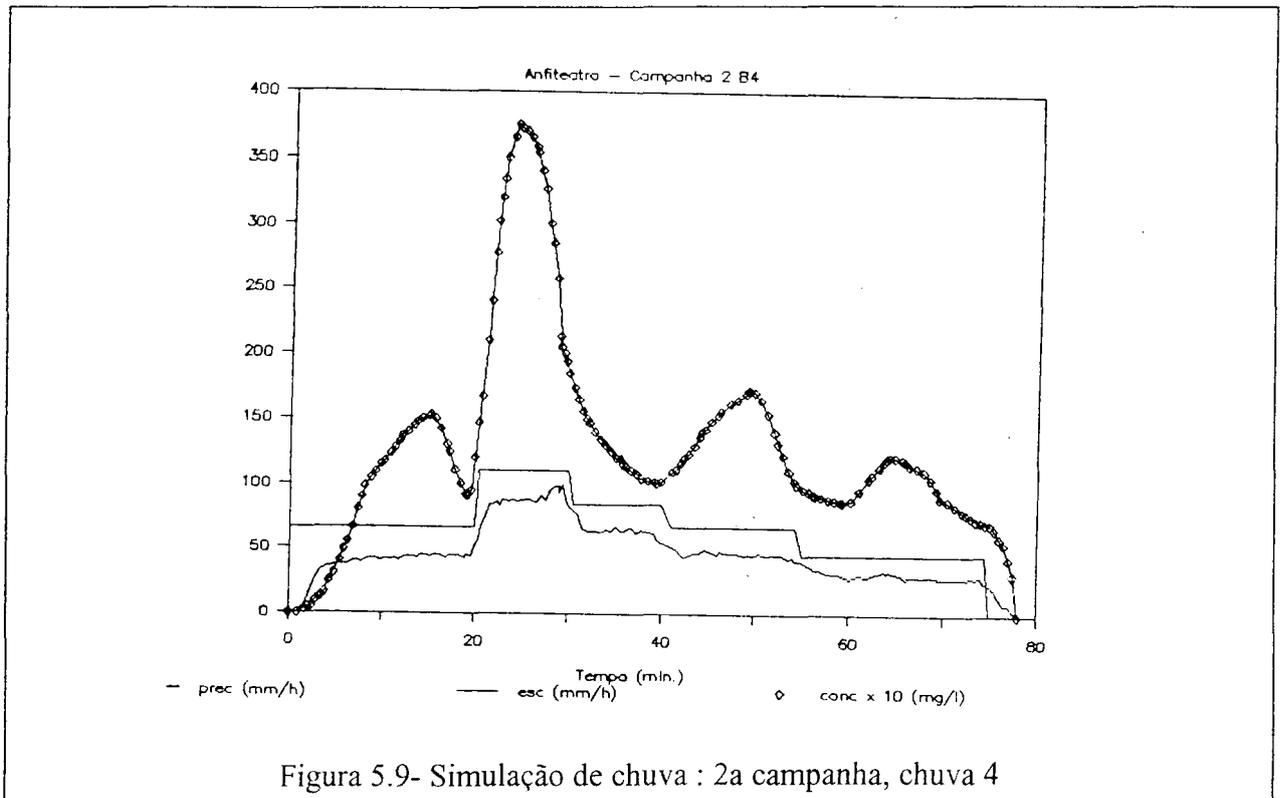


Figura 5.9- Simulação de chuva : 2a campanha, chuva 4

Analisando esses gráficos observamos em todos os ensaios, com exceção de 1B3 (figura 5.4) e de 2B1 (figura 5.6), que o pico de concentração de sedimentos coincide com a maior intensidade de chuva aplicada ou ocorre logo após esta.

Em geral, quando a intensidade da chuva diminui, a concentração de sedimentos também diminui, mas a variação da concentração de sedimentos ao longo do tempo apresenta uma série de altos e baixos, que se assemelham a ondas. Esta sucessão de picos da concentração de sedimentos ao longo do tempo pode encontrar uma explicação no desmoronamento dos microrelevos, no decorrer do ensaio. Cada vez que ocorre um desmoronamento, o sedimento é transportado até a cuba e é colhida uma amostra com este material; a seguir o transporte de sedimentos é menor e as amostras colhidas apresentam menores concentrações de sedimentos; quando ocorre um novo desmoronamento, novamente é colhida uma amostra com muito sedimento. Esta forma de ondas se observa em todos os ensaios, com exceção de 1B2 (figura 5.3), talvez por ter sido a primeira vez nesta campanha a ocorrer escoamento superficial, este não foi muito significativo e não perturbou os microrelevos.

Outra explicação possível para esse fenômeno é que essas ondas sejam associadas aos picos de escoamento e as variações das intensidades de chuvas. Havendo disponibilidade de material de fundo (solo desagregado), há uma tendência desse material aumentar com a continuidade da precipitação, se esta tem um pico, provavelmente ocorra um pico também na concentração, se a precipitação diminui, provavelmente também diminua a concentração. Esta acompanha também o regime de escoamento, ou seja, havendo disponibilidade de material quanto mais escoamento superficial ocorrer, mais concentração de sedimentos, pois mais material ele transporta. Talvez a dúvida pudesse ser sanada se fosse aplicada uma chuva de maior duração e mesma intensidade, para comparar a concentração de sedimentos com as intensidades da chuva e os escoamentos.

O escoamento superficial acompanha a forma das intensidades de chuva (quando a intensidade aumenta, o escoamento também aumenta e quando a intensidade diminui, o escoamento também diminui) e apresenta uma forma bem mais estável que a concentração de sedimentos.

Observando-se a figura 5.5, observa-se uma interrupção aos 37 minutos aproximadamente. Essa interrupção ocorreu devido a problemas técnicos durante a simulação (entrou água no local onde a cuba estava instalada e a cuba boiou, a simulação foi interrompida e após os reparos, foi recomeçada).

5.3.2 Estudo da produção de sedimentos e água sob chuva natural em parcelas nas quais o escoamento difuso predomina : microparcela, parcela e vertente

a) Estudo da produção de sedimentos na microparcela de 1 m² sob chuva natural

A tabela 5.4 apresenta a precipitação e a erosividade ocorrida nos meses junho e julho, o número de dias entre duas chuvas (chuvas antecedentes), a perda de solo total, o volume total de água escoada superficialmente (perda de água), e a perda de solo e água por milímetro de chuva para cada evento monitorado.

Tabela 5.4- Microparcela sob chuva natural

Data	Prec. (mm)	R	Chuva antec. (dias)	Perdas			
				solo (g)	água (l)	solo (g/mm)	água (l/mm)
04 a 06/06	149,9	49,5	12	x	x	x	x
16 a 18/06	107,0	16,1	10	137	52	1,28	0,49
27/06	45,6	23,5	9	119	43	2,61	0,94
10/07	21,7	2,7	13	15	6	0,70	0,28
21/07	35,2	2,9	11	6	7	0,17	0,20

Nessa tabela não são apresentados os valores das perdas de solo e água causadas pela chuva do dia 04 a 06 de junho, pois a parcela ainda não havia sido instalada nestas datas.

Pelos valores da tabela 5.4, as maiores perdas de solo ocorreram nos dias 16 a 18, e 27 de junho. Analisando as chuvas registradas pelo pluviógrafo 11, pluviógrafo mais próximo da microparcela, verifica-se que caiu uma chuva de 107 mm entre os dias 16 e 18 de junho. No dia 17 de junho foi feita uma coleta da água escoada da microparcela e no dia 19 de junho foi feita outra. A perda de solo total causada por esta chuva (16 a 18 de junho), foi de 137 gramas e o volume de água total escoado foi de 52 litros.

A chuva do dia 27 de junho foi de 45,6 mm e causou uma perda de solo de 119 gramas e um volume escoado de 43 litros, ou seja 94% da água precipitada foi escoada.

A chuva dos dias 16 a 18 de junho foi mais alta que a chuva do dia 27 de junho (mais que duas vezes), no entanto, a perda de solo por milímetro de chuva e a perda de água por milímetro de chuva da primeira foi menor que da segunda. A perda de solo da primeira chuva foi de 1,28 g/mm chuva e o escoamento de 0,49 l/mm de chuva, enquanto que a perda de solo da segunda foi de 2,61 g/mm chuva e a perda de água de 0,94 l/mm chuva, ou seja, a maior chuva (16 a 18 de junho) causou uma perda de solo e água por milímetro de chuva inferior à da menor chuva (27 de junho).

Nem a cobertura vegetal nem a umidade inicial do solo tiveram influência significativa pois as chuvas ocorreram com apenas 10 dias de diferença não havendo muita variação na cobertura, e o número de chuvas antecedentes nos dois casos é quase o mesmo, não diferenciando a umidade inicial do solo. Podemos concluir que o fator que contribui, nestes eventos, para uma maior perda de solo e perda de água por milímetro de chuva é a erosividade das chuvas, que na primeira foi de 16,1 e na segunda de 23,5. Na chuva de erosividade maior, ocorreu uma perda de solo e água por milímetro de chuva também maior. A erosividade das chuvas contribui no processo de desagregação do solo (efeito splash) e no arraste do sedimento já desagregado tanto pelas gotas da chuva, como pelo próprio escoamento superficial. O preparo do solo também pode ter influenciado, ou seja nas chuvas dos dias 04 a 06 de junho e 16 a 18 de junho como fazia menos tempo que o solo havia sido revolvido ocorreu uma maior infiltração. Já na chuva do dia 27 de junho, a infiltração foi menor, talvez devido ao solo não estar tão poroso.

Nessa tabela pode-se notar que em geral, quanto maior é a erosividade, maiores são as perdas de água e solo.

Comparando as duas chuvas ocorridas em junho com as duas ocorridas em julho, observa-se que a perda de solo e água por milímetro de chuva é maior nas chuvas de junho. Isto pode ser explicado pelo fato das erosividades das chuvas de junho serem maiores que as das chuvas de julho. Além disso, em julho a cobertura vegetal estava maior que em junho ; este fato também pode contribuir para explicar a diferença nas perdas de solo e água nestes dois meses.

b) Estudo da produção de sedimentos e água na parcela de 77 m² do CTC (Centro de Treinamento da Cotrijui)

Na tabela 5.5 são apresentados algumas características dos eventos de junho, registrados no pluviógrafo do CTC.

Tabela 5.5- Precipitações registradas no pluviógrafo do CTC (dados cedidos pelo IPRNR-Secretaria de Agricultura do RS), chuvas antecedentes e índice de erosividade.

Data	Chuv antec (dias)	Prec Total (mm)	R
03, 04 e 05 de junho	12	22,9	2
17 e 18 de junho	12	41,7	8
27 de junho	9	30,1	9
9 e 10 de julho	12	21,8	4

A tabela 5.6 mostra as perdas de solo e água em kg/ha e l/ha para três eventos chuvosos ocorridos em junho e julho de 91 para as 10 parcelas do CTC .e da Secretaria da Agronomia do Rio Grande do Sul.

Tabela 5.6- Perdas de água e solo das parcelas do CTC

Parcela	Perda solo (kg/ha)			Perda água (l/ha)		
	evento 1	evento 2	evento3	evento 1	evento 2	evento 3
1	0,9	860,8	5,9	816,1	82.142,9	6.342,0
2	0,5	1.050,9	0,7	431,9	54.103,9	5.623,3
3	0	21,5	12,0	0	21.526,8	6.025,0
4	9,5	30,5	11,3	10.949,2	43.810,3	5.438,5
5	294,8	1.227,6	28,6	177.596,6	198.622,9	10.473,3
6	10,3	375,0	12,9	9.957,3	114.648,5	8.913,4
7	8,5	2,7	1,7	6.803,7	8.066,9	995,6
8	9,9	7,8	2,4	9.564,8	9.379,2	2.037,5
9	0,8	1,1	0	636,3	1.658,7	0
0	16,6	21,7	27,1	14.577,5	28.419,2	9.285,8

Fonte : dados cedidos pelo IPRNR-Secretaria da Agricultura do RS

Parcela 1 - trigo - preparo convencional

Parcela 2 - trigo - preparo convencional

Parcela 3 - trigo - cultivo mínimo

Parcela 4 - aveia - preparo convencional

Parcela 5 - solo descoberto - preparo convencional

Parcela 6 - trigo - preparo convencional

Parcela 7 - Trigo - plantio direto

Parcela 8 - aveia - plantio direto

Parcela 9 - ciratro e setária - preparo convencional

Parcela 10 - alfafa - preparo convencional

Evento 1 - chuva dos dias 4 e 5 de junho (25 dias após o plantio)

Evento 2 - Chuva dos dias 17, 18 e 19 de junho (38 dias após o plantio)

Evento 3 - Chuvas dos dias 27 de junho (48 dias após o plantio) e 10 de julho (61 dias após o plantio).

Todas as parcelas foram plantadas no dia 10 de maio de 1991.

Nas parcelas 1,2,3, 6 e 7 é plantado trigo como cultura de inverno e soja como cultura de verão).

Nas parcelas 4 e 8 é plantada aveia como cultura de inverno e milho como cultura de verão.

O preparo convencional é feito com uma aração, utilizando o arado de discos à uma profundidade de 15 cm, e após uma ou duas gradagens, utilizando arado de discos à uma profundidade de 10 cm.

O cultivo mínimo é feito com uma gradagem, utilizando o arado de discos à uma profundidade de 10 cm, e no plantio direto é usado a semeadeira que abre sulcos de 5 cm de profundidade e 2 cm de largura, nos quais ela coloca as sementes. A semeadeira é usada em cima da resteva da cultura anterior.

Observando-se as tabelas 5.5 e 5.6 nota-se que em geral as maiores perdas de solo e água ocorrem no preparo convencional, depois no cultivo mínimo enquanto as menores perdas de solo e água ocorrem para o plantio direto, como era de se esperar, conforme bibliografia consultada.

A erosividade da chuva do dia 27 de junho é a maior de todas, mas torna-se difícil comparar os valores de perda de solo e água, pois a coleta das amostras dos dias 27 de junho e 10 de julho foi feita com as duas chuvas acumuladas. Provavelmente a chuva do dia 27 de junho tenha causado uma perda de solo e água maior que a do dia 10 de julho, devido a sua maior erosividade, mas infelizmente não podemos afirmá-lo.

Observa-se que as maiores perdas tanto de solo, quanto de água foram causadas pela chuva do dia 17 e 18 de junho, embora a erosividade da mesma seja menor que a do dia 27 de junho. Essa observação parece ser difícil de explicar, pois provavelmente não é devido a menor cobertura do dia 17 de junho que as perdas de solo e água causada por este evento foram maiores, pois em 10 dias a diferença de cobertura não é significativa a este ponto. Talvez o preparo do solo tenha agido no primeiro evento, como o solo ainda estava poroso, a água infiltrou mais e teve uma menor perda de água e solo, como foi verificado na simulação de chuva, mas acontece justamente o contrário. Comparando as umidades iniciais, também fica contraditório, pois no dia 27 de junho o solo estava mais úmido, levando em conta os dias antecedentes, e teria dado uma perda de solo e água maior, fato que não aconteceu.

Comparando o evento dos dias 3, 4 e 5 de junho com o evento dos dias 27 de junho e 10 de julho, observa-se que ocorre uma maior perda de solo e água no primeiro evento, mesmo com uma erosividade de chuva inferior a do dia 10 de julho. Uma explicação seria o efeito da cobertura vegetal, que nos dias 27 de junho e 10 de julho, estava maior que nos dias em que ocorreu o primeiro evento.

Comparando as erosividades calculadas a partir dos dados registrados no pluviógrafo localizado no CTC, com as erosividades calculadas para as chuvas registradas na bacia do rio Potiribu, nota-se que as chuvas dessa bacia são bem mais erosivas que as chuvas registradas no CTC. No evento dos dias 16 a 18 de junho, a erosividade das chuvas da bacia do Potiribu é de 16,1 enquanto que das chuvas do CTC é de 8. O evento do dia 27 de junho, enquanto as chuvas da bacia do Potiribu apresentam erosividade de 23,5 as chuvas do CTC tem erosividade de 9. Apenas no evento do dia 10 de julho, a chuva do CTC ($R=4$) apresenta maior erosividade que a bacia do Potiribu ($R=2,7$).

c) Estudo da produção de água e sedimentos na vertente do Anfiteatro (13,17 ha)

A tabela 5.7 mostra a precipitação total, a erosividade de cada evento, o número de dias de chuvas antecedentes, a concentração média de sedimentos no Anfiteatro, e a concentração média por milímetro de chuva. Os dados de precipitação foram retirados dos registros do pluviógrafo 11.

Tabela 5.7- Precipitação, erosividade, chuvas antecedentes e concentração média de sedimentos no Anfiteatro dos eventos de julho e setembro de 1991.

Data	Prec. (mm)	R	Chuva anterior (dias)	Concentração média (mg/l)	Concentração média/mm de chuva (mg/l mm)
21-22/07	11,8	2,88	3	417	35,2
31/07	40,2	9,32	7	1.915	7,6
17-18/09	28,5	5,40	2	1.053	36,9

Observando a tabela 5.7 como não há muita diferença na umidade inicial do solo e o preparo do solo é o mesmo, podemos dizer que o fator que mais poderia explicar a perda de solo seria a erosividade da chuva, não influenciando muito a cobertura vegetal. A maior concentração média de sedimentos por milímetro de chuva ocorreu no dia 31 de julho justamente no dia em que ocorreu a maior erosividade. A segunda maior concentração média de sedimentos por milímetro de chuva ocorreu nos dias 17 e 18 de setembro. Nesta época a cobertura vegetal já estava bem superior a do dia 22 de julho, mesmo assim as perdas de solo são maiores, devido a maior erosividade.

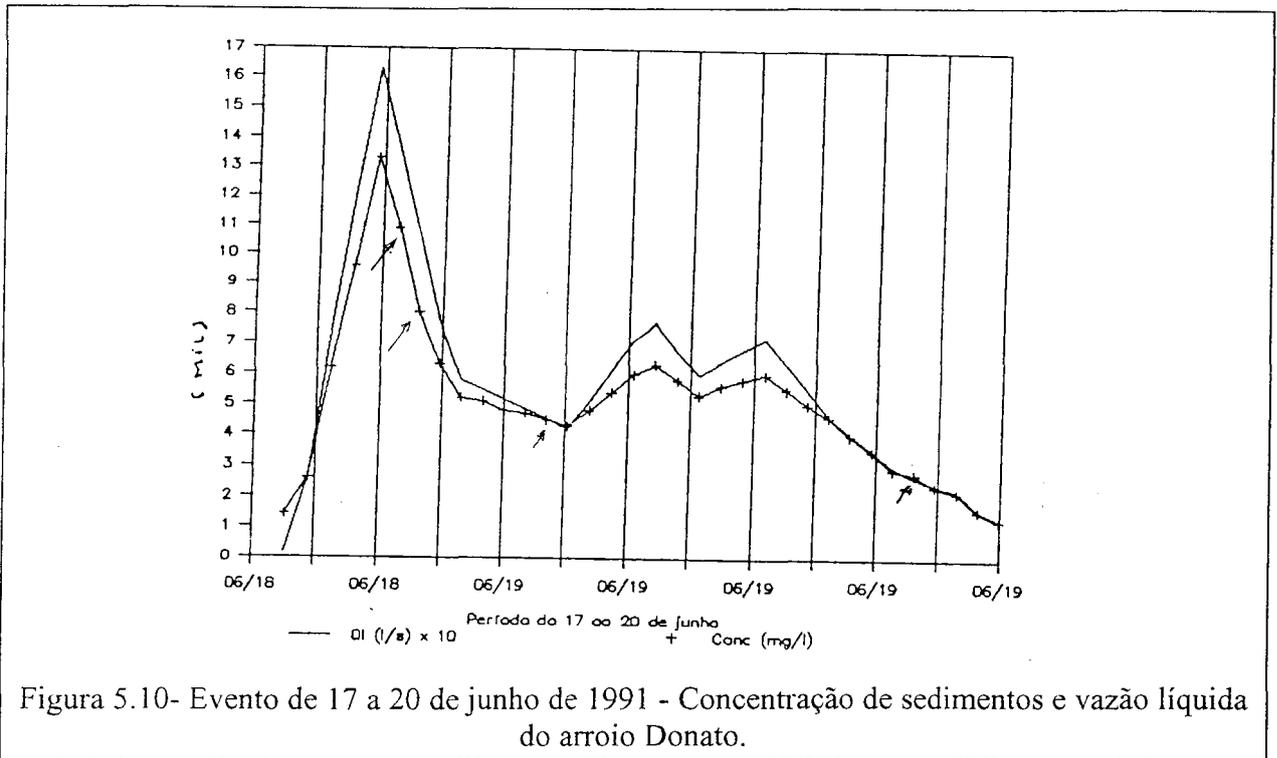
5.3.3 Estudo da produção de sedimentos nas bacias em que predomina o escoamento concentrado : bacia do Donato, Turcato e Andorinhas

a) Bacia do Donato

Na bacia do Donato foi monitorado o evento dos dias 17 a 20 de junho de 91.

A figura 5.10 mostra a concentração de sedimentos e o escoamento superficial ao longo do tempo e a figura 5.11 mostra a descarga líquida dos arroios Donato e Turcato e a precipitação registrada no pluviógrafo 26.

Os pontos de concentração de sedimentos destacados nesta figura, são os pontos medidos no campo. Os outros pontos foram interpolados e extrapolados em relação a descarga líquida e aos pontos de concentração medidos.



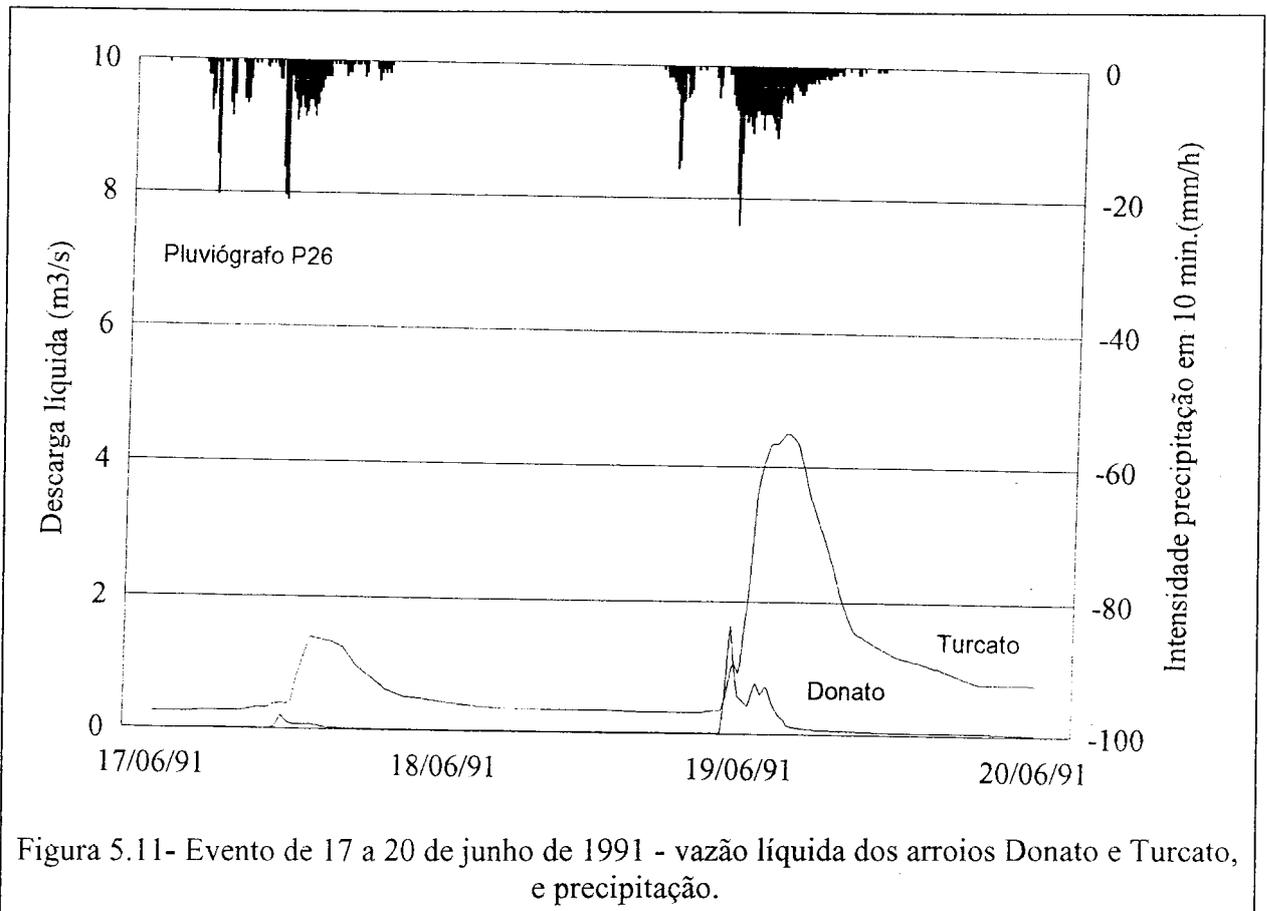
A perda de solo total do evento (sedimento em suspensão) foi calculada a partir de uma integração do produto da concentração de sedimentos (mg/l) e da descarga líquida (l/s) ao longo do tempo (s). A perda de solo estimada que esse evento causou é de 0,38 t/ha.

A chuva ocorreu nos dias 16 a 19 de junho, como mostra a figura 5.11, com uma precipitação total de 115 mm e uma erosividade de 21,13. O pico máximo de chuva ocorreu no dia 18 de junho às 22h50 com uma intensidade de 24 mm/h. Este pico causou um pico máximo na vazão líquida de 1.630 l/s e uma concentração de sedimentos máxima estimada de 13,3 g/l, neste mesmo dia às 23h00.

A vazão líquida começou a subir as 22h20 e subiu rapidamente atingindo seu pico máximo em 50 minutos.

b) Bacia do Turcato

Na bacia do Turcato foi monitorado o evento dos dias 4 a 10 de junho. A figura 5.12 mostra a concentração de sedimentos e o escoamento superficial ao longo do tempo.



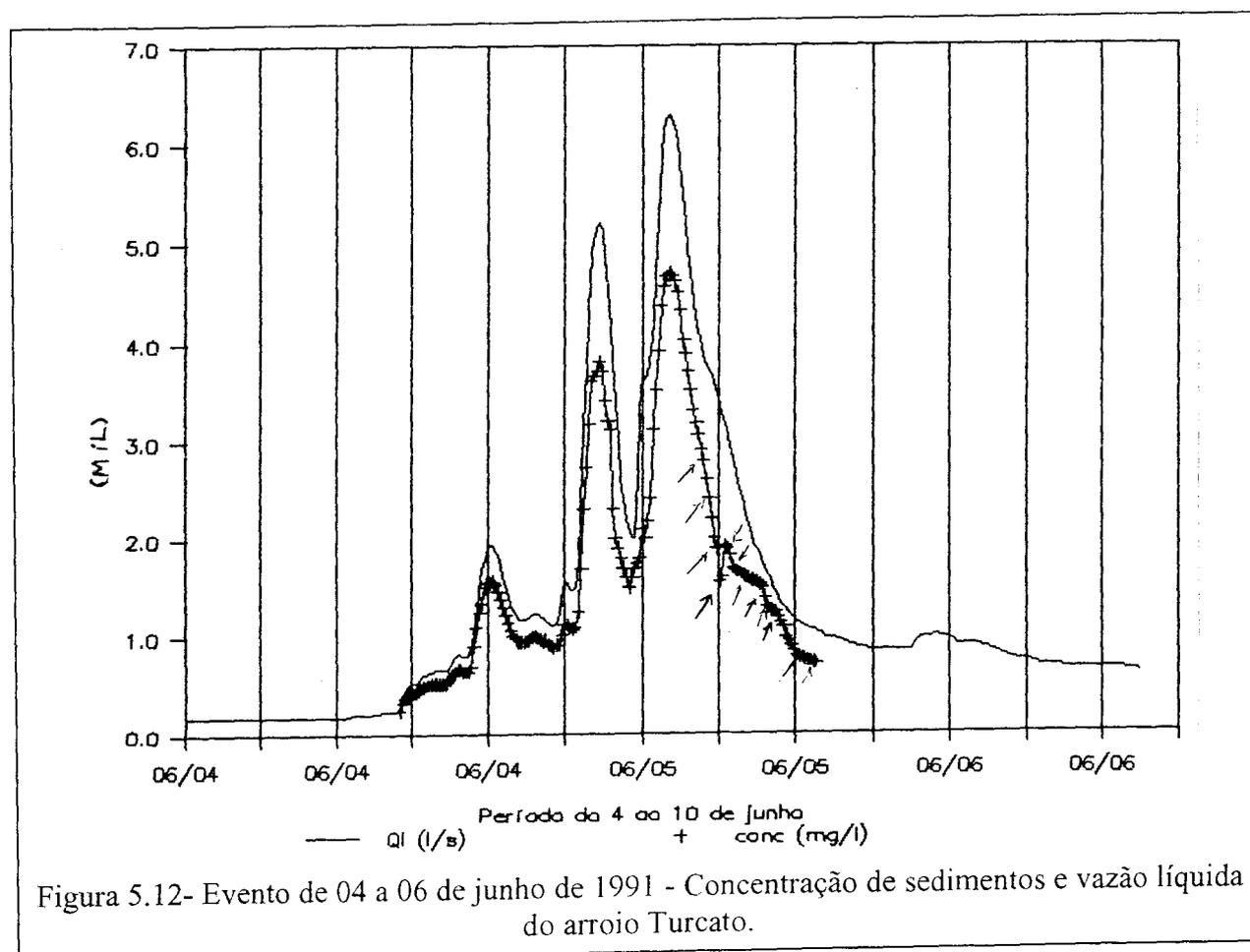
Os pontos destacados nesta figura, também são os pontos medidos no campo, enquanto que os outros são pontos interpolados e extrapolados como no caso da bacia do Donato e na bacia de Andorinhas.

A perda de solo total do evento (material em suspensão) foi calculada a partir de uma integração do produto da concentração de sedimentos (mg/l) e da descarga líquida (l/s) ao longo do tempo (s). A perda de solo estimada que este evento causou é de 0,15 t/ha.

A chuva ocorreu nos dias 4 e 5 de junho, com uma precipitação total de 184,4 mm e uma erosividade de 96,45 (dados calculados a partir dos registros do pluviógrafo 26). Esta chuva, como mostra a figura 5.13, teve vários picos. Os dois picos mais altos ocorreram no dia 5 de junho. O primeiro pico ocorreu às 00h40 com uma intensidade de 63 mm/h. Este pico causou um pico na vazão líquida de 5.190 l/s e uma concentração de sedimentos estimada de 3,8 g/l às 02h10 deste mesmo dia, ou seja, uma hora e meia após o pico da chuva. O segundo pico de chuva ocorreu às 05h30 neste mesmo dia com uma intensidade de 54,6 mm/h. Após este pico

ocorreu uma descarga líquida máxima de 6.280 l/s e uma concentração de sedimentos máxima estimada de 4,69 g/l às 06h30, ou seja, uma hora após este pico de chuva.

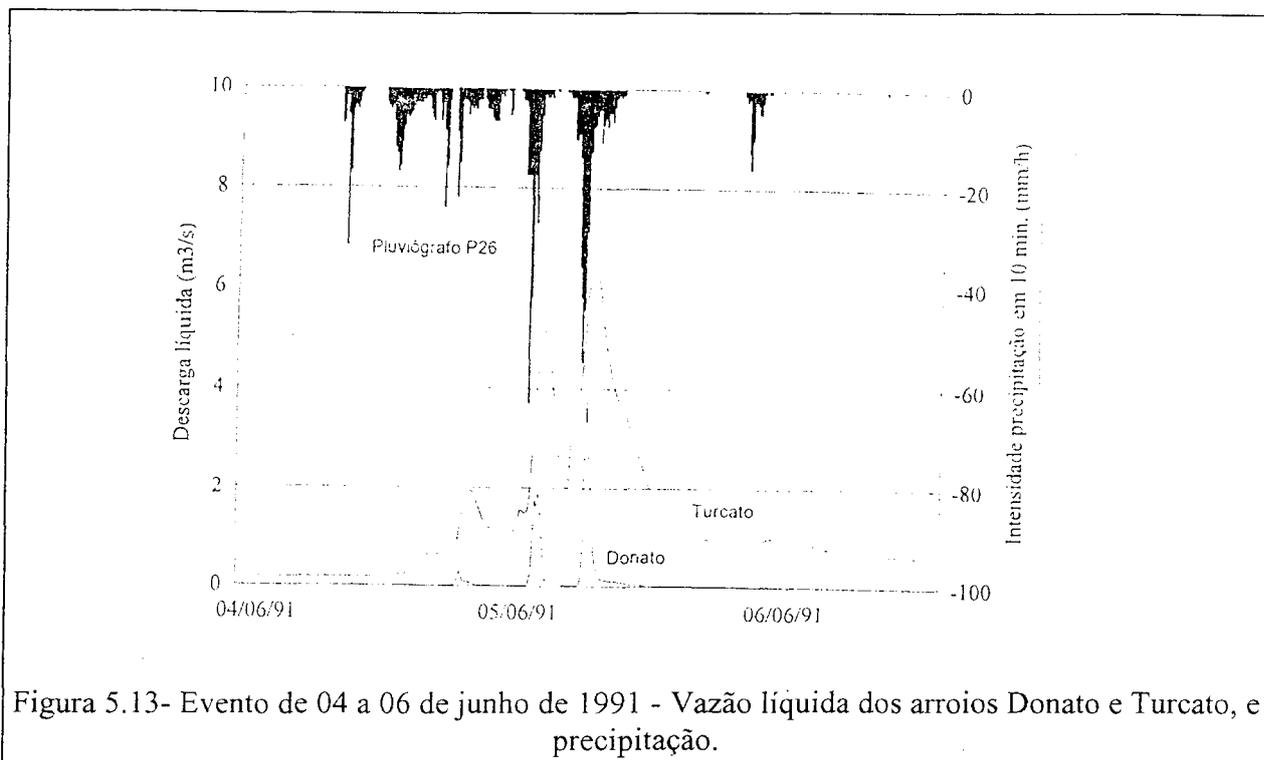
Observando-se a figura 5.13 (evento de 4 a 6 de junho), nota-se que os picos de vazão líquida dos arroios Donato e Turcato ocorrem sincronizados, ou quase sincronizados no evento dos dias 17 a 20 de junho (figura 5.11).



c) Bacia de Andorinhas

Na bacia de Andorinhas foi monitorado o evento dos dias 4 a 10 de junho. A figura 5.14 mostra a concentração de sedimentos e o escoamento superficial ao longo do tempo. A perda de solo estimada que este evento causou e de 0,07 ton/ha.

O pico máximo de descarga líquida ocorreu no dia 5 de junho às 11h50 com uma vazão de 59,9 m³/s e uma concentração de sedimentos máxima estimada de 0,52 g/l, como resposta ao pico



máximo da chuva do dia 5 de junho ocorrido as 00h40 com uma intensidade de 63 mm/h. O pico da descarga líquida ocorreu 11h10 após o pico máximo da chuva. Após este pico de vazão, o rio Potiribu diminuiu sua vazão e depois tornou a subir, em consequência do segundo maior pico da chuva de 54,6 mm/h, ocorrido as 05h30 do dia 5 de junho; diminuindo então, até a vazão constante de 9,5 m³/s (figura 5.14).

A tabela 5.8 apresenta algumas características dos 2 eventos nas 3 sub-bacias estudadas (Donato, Turcato e Andorinhas).

Tabela 5.8- Resultados dos dois eventos de junho de 1991 nas sub-bacias do Donato, Turcato e Andorinhas

Data	Prec (mm)	R	Donato		Turcato		Andorinhas	
			conc. méd. (g/l)	perda solo (t/ha)	conc. méd. (g/l)	perda solo (t/ha)	conc. méd. (g/l)	perda solo (t/ha)
04 a 06	184	96,5	x	x	2,15	0,15	0,18	0,07
16 a 20	115	21,1	5,28	0,38	x	x	x	x

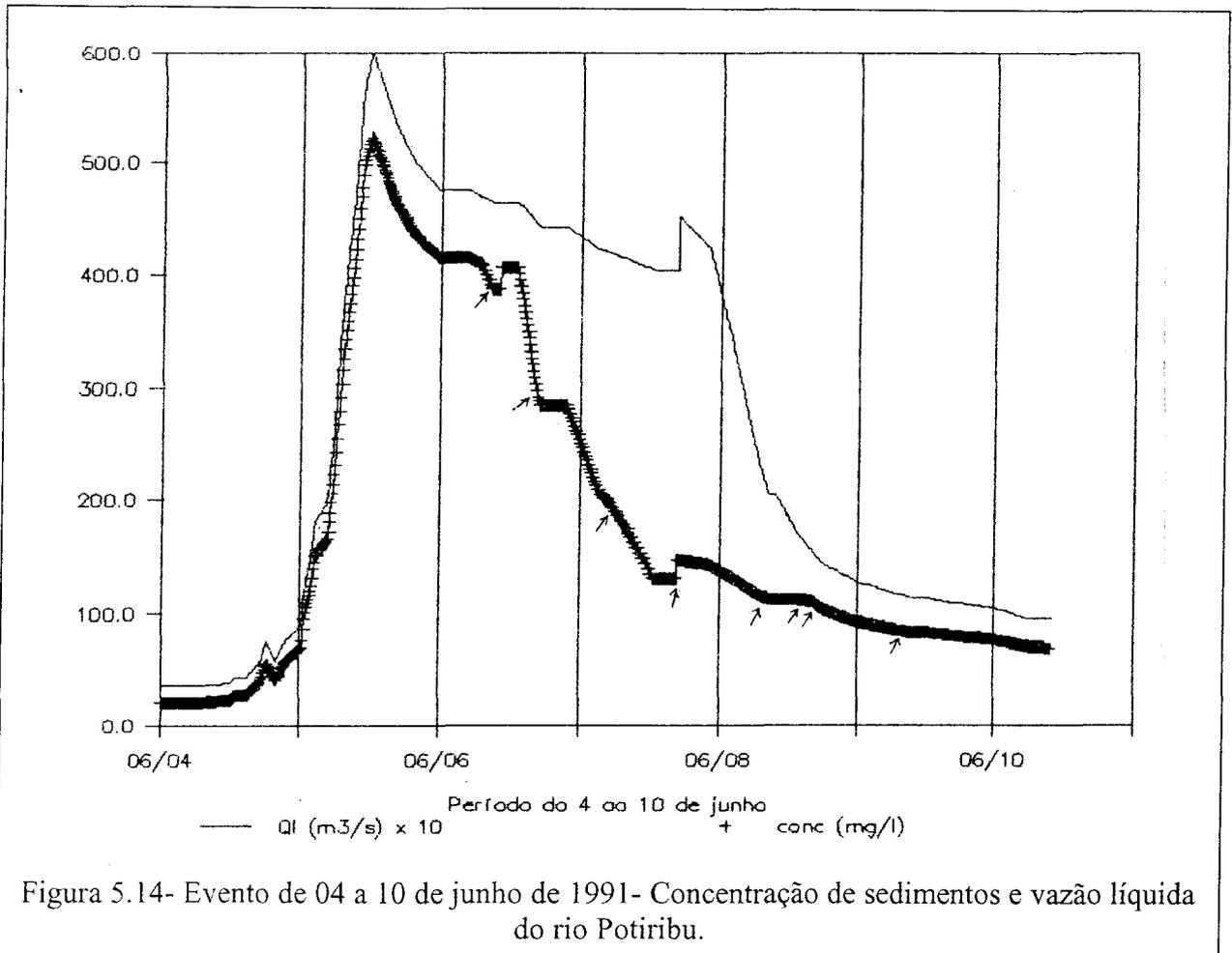


Figura 5.14- Evento de 04 a 10 de junho de 1991- Concentração de sedimentos e vazão líquida do rio Potiribu.

Observando a tabela 5.8 e comparando as concentrações médias nos drenos das bacias do Turcato e de Andorinhas (rio Potiribu), causadas pela mesma chuva, do dia 4 e 5 de junho, nota-se que a maior concentração de sedimentos ocorre no arroio Turcato. A erosão específica (t/ha) é de 0,15 para a bacia do arroio Turcato e de 0,07 para a bacia do rio Potiribu, causada pela mesma chuva de 84,3 mm e uma erosividade de 22,2 (t.m.mm/ha h). Como foi visto no item efeito de escala, as bacias maiores tem uma menor erosão específica (toneladas/ha), pois estas tem caminhos maiores para os sedimentos percorrerem e estes tem maiores condições de depósitos, enquanto que nas bacias menores os sedimentos são transportados e chegam mais rápido na saída da bacia.

Comparando agora os dois eventos, a bacia do arroio Donato (1,1 km²), mesmo com uma precipitação e erosividade menor, obteve maior concentração média de sedimentos (5,28 g/l) e maior erosão específica : 0,38 t/ha.

Uma observação importante é que a chuva do dia 5 de junho causou um desmoronamento de uma parte da voçoroca localizada na bacia do Donato. Isto significa que a chuva seguinte que ocorreu nos dias 18 e 19 de junho, transportou sedimentos provenientes da voçoroca para o arroio Donato, aumentando assim sua concentração de sedimentos e erosão específica. Também é importante lembrar que os dois eventos ocorreram quando a cobertura vegetal estava pequena (um mês após o plantio aproximadamente) e, em algumas áreas, não havia cobertura, pois alguns agricultores não fizeram o plantio devido ao atraso da colheita da cultura anterior (soja).

Os resultados confirmam o que foi visto na revisão sobre efeito de escala : a erosão específica tem uma relação inversa com a área da bacia, isto é, quanto maior a área da bacia, menor a erosão específica (t/ha), pois os sedimentos tem um caminho maior a percorrer nas bacias maiores até encontrarem a saída da bacia, depositando-se nas depressões desta.

6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve por objetivos identificar funções de produção de sedimento e estudar os processos físicos envolvidos nas perdas de solo e água nas várias escalas estudadas.

Infelizmente, devido a situação econômica do projeto e a seca do ano de 1991 não foi possível colher dados suficientes para identificar as funções de produção.

Através desse trabalho pode-se ter apenas uma idéia da erosão específica para eventos isolados e da concentração de sedimentos nas diferentes escalas das bacias, além de encontrar alguns resultados sobre os processos físicos. Foram acompanhados apenas três hidrogramas, para 2 eventos diferentes de erosividades 49,5 e 16,1 (t.m mm/ha h)). Devido aos poucos dados, somente hipóteses puderam ser formuladas e há necessidade de estudos complementares.

As concentrações médias calculadas para cada um dos eventos (tabela 5.8), foram de 5.280 mg/l para o arroio Donato, 2.150 mg/l para o arroio Turcato e de 180 mg/l para o rio Potiribu.

A erosão específica estimada para o evento do dia 17 de junho é de 0,38 t/ha para a bacia do Donato, e para o evento dos dias 4 a 6 de junho é de 0,15 t/ha para a bacia do Turcato e de 0,07 t/ha para a bacia de Andorinhas. Observa-se que a maior erosão específica corresponde a menor bacia, conforme foi visto na revisão bibliográfica. Este fenômeno é explicado pela maior possibilidade de depósito que as maiores bacias oferecem, chegando menos sedimentos à saída.

Do estudo dos processos físicos que influenciam a erosão podemos dizer que :

1) O estudo da microparcela de 1 m² sob chuva artificial, operada com a mesma erosividade, permitiu verificar que os fenômenos que influenciaram nas perdas de solo e água se referem :

- ao preparo do solo : A primeira campanha foi realizada uma semana após o preparo do solo. O solo havia sido revolvido com o subsolador a uma profundidade de até 50 cm. Isto o deixou descompactado e poroso, infiltrou então mais água, escoou menos e houve menos perdas de água e solo que na segunda campanha, na qual o solo não estava tão descompactado e poroso.
- a umidade do solo : Tanto na primeira campanha como na segunda, a água da primeira chuva que caiu sobre a parcela, se infiltrou rapidamente, o que fez com que o escoamento superficial fosse bem menor que nas chuvas subsequentes. Nas outras chuvas a umidade do solo não variou muito, ou seja, o solo drenou bem a água infiltrada, e o escoamento superficial sempre cresceu com o número de chuvas aplicadas.
- ao selamento superficial : A hipótese do selamento superficial é sustentada pelo fato de não haver grande variação de umidade no solo nas chuvas 2, 3 e 4 das duas campanhas,

enquanto o escoamento superficial aumentava em cada aplicação de chuva. Isto leva a crer na formação de um selamento superficial que dificulta a infiltração da água no solo, e aumenta o escoamento superficial e a perda de solo. Esse encrostamento se observa frequentemente nas lavouras após a ocorrência de chuvas naturais intensas.

A cobertura vegetal não teve tanta influência como se esperava, mas o seu estudo ficou mascarado pelo efeito do preparo do solo, que foi muito diferente nas duas campanhas.

2) A parcela de 1 m² sob chuva natural, permitiu comparar ao longo dos meses de junho e julho as perdas de água e solo. A umidade inicial do solo, expressa em dias de chuva antecedentes, varia pouco em todos os eventos. Essas observações sugerem que as perdas de solo e de água crescem com o aumento da erosividade.

3) A parcela do CTC permitiu confirmar que o preparo do solo influi de maneira significativa nas perdas de solo e água. O preparo que menos protege o solo é o convencional, seguido do cultivo mínimo. O plantio direto é aquele que mais o protege.

Analisando os dados do Anfiteatro confirma-se a importância da erosividade das chuvas, pois mesmo no caso em que a cobertura vegetal estava maior (17 e 18 de setembro) ocorreram perdas de solo maior que quando a cobertura estava menor (21/07), devido a maior erosividade no evento de setembro.

Os resultados confirmam alguns comportamentos já conhecidos como a influência da erosividade e das práticas agrícolas, e sugerem que outros fatores sejam levados em conta, como a umidade do solo, a rugosidade do solo e o selo superficial.

O simulador de chuvas demonstrou-se eficiente no estudo da produção de sedimentos e água para esse tipo de solo (latossolo roxo distrófico) e deve continuar sendo usado para permitir a coleta de mais dados e para um estudo mais detalhado dos processos físicos. Seria importante verificar se a energia cinética das chuvas simuladas correspondem à energia cinética das chuvas naturais da região. O acompanhamento da granulometria dos sedimentos em suspensão na rede de drenagem das bacia e na simulação de chuvas também seria útil.

É importante a manutenção da rede hidrológica e a continuação da pesquisa, com o objetivo de determinar as funções de produção e de estudar com mais detalhes os processos físicos envolvidos na erosão. Sugere-se concentrar os esforços nos processos físicos, usando para isso as três escalas menores : microparcela, parcela e vertente da bacia do Anfiteatro.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, L. E. S. B. 1980. *Contribuição à previsão da capacidade de transporte por arraste em canal a fundo fixo*. Porto Alegre: UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 107f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- ARNOLD, J. G., WILLIAMS, J.R. 1985. Validation of SWRRB a simulator for water resources in rural basins. In: COMMITTEE ON WATERSHED MANAGEMENT. *Proceedings*. Denver: Irrigation and Drainage Division/ASCE, p.107-114.
- ARNOLDUS, H. M. J. 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *Assessing soil degradation*. FAO Soils Bulletin, n. 34, p.39-42.
- ASSELIN, J., VALENTIN, C. 1978. Construction et mise au point d'un infiltrômetro à aspersion. *Cah. ORSTOM, série Hydrologie*, Paris, v. 15, n. 4, p.321-350.
- BEASLEY, D. B., HUGGINS, L. F. 1981. *ANSWERS: User's manual*. Chicago: U.S. Environmental Protection Agency. 54p.
- BERTONI, J. et al. 1975. Equação de perda de solo. *Boletim Técnico IAC*. Campinas, n.21
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. 1975. Erodibilidade dos solos paulistas. *Boletim Técnico IAC* n.27, Campinas.
- BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F. 1985. *Conservação do solo*. Piracicaba: Livro ceres. 392p.
- BERTRAND, A. R., PARR, J. 1961. Design and operation of the Purdue sprinkling infiltrômetro. *Purdue University Agric. Expt. Stn Res. Bull.* n 723.
- BORDAS, M. P. 1991. Engenharia de Sedimentos no Brasil. *Anais do Curso Seminário sobre los problemas de cantidad y calidad del agua*. Universidad Autónoma del Estado de Mexico. Toluca - México - México - junho de 1991.
- BORDAS, M. P., BORGES, A. L., MEDEIROS, P. 1988. Puissance hydraulique et dépôt de sediments em eaux courantes. In PORTO ALEGRE SYMPOSIUM, 1988. *Sediment Budgets*. Wallingford: IAHS. 591p. p.21-33. (International Association of Hydrological Sciences. Publication n.174)
- BORDAS, M. P., LANNA, A. E., SEMMELMAN, F. R. 1988. Evaluation des risques d'érosion et de sédimentation au Brésil à partir de bilans sédimentologiques élémentaires. Sediments budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposim, december 1988). IAHS Publ. n. 174.
- BORDAS, M. P., SILVESTRINI, J. H. 1992. Threshold of sediment deposition in medium stream power flow. In: CHENGDU SYMPOSIUM, 1992. *Erosion, debris, flows and environment in mountain regions*. Wallingford: IAHS. 485p. p.3-13.
- BORGES, A. L. 1987. *Determinação da capacidade máxima de transporte por arraste de um escoamento sobre fundo móvel*. Porto Alegre: UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 166f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

- BORGES, A. L., BORDAS, M. P. 1990. *Escolha de Bacias Representativas e experimentais para estudo da erosão no planalto basáltico sulamericano*. Porto Alegre : IPH/UFRGS/ 7f. Trabalho apresentado no 8. Congresso Brasileiro e Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do solo, 1990, Londrina.
- CASSOL, E. A. 1986. *Erosão do solo - Influência do Uso Agrícola, do Manejo e Preparo do Solo*. Porto Alegre : Secretaria da Agricultura. 40p.(IPRNR. n.15)
- CASSOL et al. 1987. *Efeito do manejo do solo e de culturas sobre a erosão hídrica sob chuva artificial em latossolo roxo : resultados dos experimentos realizados no CTC-COTRIJUI*. Augusto Pestana. p.17-19.
- CASTRO, N. M. R., CHEVALLIER, P., SANCHEZ Y VACAS, A. 1991. Um método manual simples para coletar e tratar amostras de sedimentos em suspensão em pequenos rios. In : ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 1., 1991, Ouro Preto. *Anais*. Ouro Preto. p.70-72.
- CHEVALLIER, P., CASTRO, N. M. R. 1991. As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil). In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro : ABRH/APRH. 4v. v.3, p.183-192.
- CICCACCI, S., FREDI, P., LUPA PALMIERI, E, 1977. *Rapporti fra trasporto solido e parametri climatici e geomorfici in alcuni bacini idrografici Italiani. Misura del trasporto solido al fondo nei corsi d'acqua : problemi per una modellistica matematica*. Firenze, Instituto di Ingegneria Civile, p. C4.1-C4.16.
- COGO, N. P. 1975. *Introdução à conservação de solos e o estudo de erosão*. Porto Alegre : Faculdade de Agronomia da UFRGS.. 77f (apostila AGR 318).
- COSTA, A. F. 1974. *Contribuição à previsão de depósito de sedimentos em canal a fundo fixo*. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 103f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- DUBREUIL, P., GUISCAFRE, J. 1971. La planification du réseau hydrométrique minimal. *Cahiers ORSTOM*. Série Hydrologie, Paris, v.8, n.2
- EICHER, D.L. 1969. *Tempo geológico*. São Paulo : Edgard Blücher. 172p.
- ELLISON, W. D. 1947. Soil erosion studies : Soil detachment hazard by raindrop splash. *Agricultural Engineering*, Saint Joseph., v.28, p.197-201.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. 1976. *Control of water pollution from cropland*. Washington. v.2, 187p.
- FERREIRA FILHO, W. M., CADIER, E., MARTINS JÔNIO, C. 1989. Avaliação de escoamento e erosão na bacia experimental de Tauá-CE. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 8., 1989, Foz do Iguaçu. *Anais*. São Paulo : ABRH. v.2, p.460-471.
- FOURNIER, F. 1960. *Climat et erosion*. Paris, P.U.F., 201 p.
- FOSTER, G. R., LANE, L. J. (comp.) 1987. *User requirements : USDA-Water Erosion Prediction Project (WEPP)*. W. Lafayette : USDA-Agricultural Research Service. 43p.

- GARCIA, A. 1983. *Contribuição à previsão da capacidade de transporte em canais a fundo fixo e móvel*. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 191f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- GILBERT, K. G. 1917 The transportation of debris by running water. *Geological Survey Professional Paper*, Washington, n.86, p.1-263.
- GOLDENFUM, J. A. 1991. *Simulação hidrossedimentológica em pequenas bacias rurais*. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 113f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- GOLUBEV, G. N. 1982. Soil erosion and agriculture in the world : an assessment and hydrological implications. In : EXETER SYMPOSIUM, 1982. *Recent developments in the explanation and prediction of erosion and sediment yield*. Paris : IAHS. 430 p. p.261-268. (International Association of Hydrological Sciences. Publication n.137).
- HADLEY, R. F., LAL,R., ONSSTAD, C. A., WALLING, D. E., YAIR, A. 1985. *Recent developments in erosion and sediment yield studies*. Paris : UNESCO. 127p.
- HADLEY, R. F., SHOWN, L. M. 1976. Relation of erosion to sediment yield. In : FEDERAL INTER-AGENCY SEDIMENTATION CONFERENCE, 3., 1976. *Proceedings*. Washington : Water Resources Council. p.1.1132-1.1132.
- HADLEY, R. F., SCHUMM, S. A. 1961. Sediment sources and drainage-bassin characteristics in upper cheyenne river basin. U.S. Geol. Survey Water-Supply. Paper 151-B, p. 137-197.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. 1987. *Orientação para o combate a erosão no Estado de São Paulo*. v. 3. Bacia do Peixe-Parapanema.
- IPAGRO 1989. Atlas agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 102 p.
- KAUARK LEITE, L. A. 1986. *Contribution de la modélisation à l'étude des pollutions diffuses d'origine agricole : Étude comparative des principaux modeles evaluant l'impact de ces pollutions sur les eaux superficielles continentales*. Paris : CERGRENE. 51 p.
- KLEMES, V. 1983. Conceptualization and scale in hydrology. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v. 65, p.1-23.
- LAL, R. 1976. *Soil erosion problems on an alfisol in western Nigeria and their control*. International Institutes of Tropical Agriculture Monograph n. 1. Ibadan, IITA.
- LEPRUN, J. C. 1981. *A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro : balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa*. Recife : SUDENE. 107 p.
- LEVANTAMENTO de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. 1973. Recife : Divisão de Pesquisa Pedológica do Ministério da Agricultura. 431 p.
- MACHADO, J. A. 1976. *Efeito do sistema convencional de cultivo na capacidade de infiltração de água no solo*. Santa Maria : UFSM-Centro de Ciências Rurais. 135 f. Diss. Mestr. Agronomia.
- MEDEIROS, P. A. 1986. *Efeito de rugosidade de fundo sobre a formação de depósitos em canal de fundo fixo rugoso*. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 143.f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.

- MEYER, L. D. 1965. Symposium on simulation of rainfall for soil erosion research. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v.8, p.63-75.
- MEYER, L. D., McCUNE, D. L. 1958. Rainfall simulator for runoff plots. *Agricultural Engineering*, Saint Joseph, v. 39, p.644-648.
- MEYER, L. D., WISCHMEIER, W. H. 1969. Mathematical Simulation of the Process of Soil Erosion by Water. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v. 12, n.6, p.754-758, 762.
- MOLINIER, M., LEPRUN, J. C., AUDRY, P. 1990. Effet d'echelle observé sur le ruissellement dans le Nordeste brésilien. In: SEMINFOR-4, 1990. *Le transfert d'echelle*. Bondy: ORSTOM. p.33-41.
- MOU, J. and MENG, Q. 1980. *Sediment delivery ratio as used in the computation of the watershed sediment yield*. Chinese Society of Hidraulic Engeneering.
- NIMER, E. 1988. *Climatologia do Brasil*. 2a edição. Rio de Janeiro: IBGE. p.195-264.
- NOVAK, P., NALLURI, C. 1975. Sediment transport in smooth fixed bed channels. *Journal of the Hidraulics Division. American society of Civil Engineers*, New York, v. 101, n.9, p.1139-1154, Sept.
- NOVAK, P., NALLURI, C. 1978. Sewer design for no-deposition. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, London, v. 65, n.2, p.669-674.
- NOVAK, P., NALLURI, C. 1984. Incipient motion of sediment particles over fixed beds. *Journal of Hidraulic Research*, Delft, v. 22, n.3, p.181-197.
- OLSON, T. C., WISCHMEIER, W. H. 1963. Soil erodibility evaluations for soil on the runoff and erosion stations. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 27, p.590-592.
- PEDROLI, R. 1963. *Transporto di materiale solido in canali a fondo fisso e liscio*. Zurigo: Scuola Plitecnica Federale. 178f. Tesi di Dottore Scienze Techniche.
- PIEST, R. F., KRAMER, L. A., HEINEMANN, H. G. 1975. Sediment movement from loessial watersheds. In: PRESENT and Prospective Tecnology for Predicting Sediment Yields and Sources. U.S. Dep. Agric. p.130-141. (ARS-S-40).
- POMBO, L.C.A., GIANLUPPI, D., KLAMT, E. 1981. Determinação do fator K de solos do Rio Grande do Sul através de características físicas, químicas e microbiológicas. In: III Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo. 1981. Recife. *Anais*. p. 220-235.
- RENFRO, G. W. 1975. Use of erosion equations and sediment-delivery ratios for predicting sediment yield. In: PRESENT and Prospective Tecnology for Predicting Sediment Yields and Sources. U.S. Dep. Agric. p.33-45. (ARS-S-40).
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura. 1983. *Manual de Conservação do solo e água*. Porto Alegre. 228 p.
- RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Fazenda. 1987. *Relatório sobre dados sócio-econômicos de Cruz Alta, Ijuí e Pejuçara*. Porto Alegre. (não publicado).
- RISSO, A., CHEVALLIER, P. 1991. Uso de um modelo numérico do terreno para a obtenção dos parâmetros topográficos da equação universal de perda do solo modificada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro: ABRH/APRH. 4.v. v.1, p.487-496.

- RISSO, A. 1992. *Obtenção de parâmetros da função produção de sedimentos, utilizando sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas*. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. Diss. Mestr. Engenharia Civil. (título provisório - a publicar).
- ROEHL, J. E. 1962. Sediment source areas, delivery ratio and influencing morphological factors. In : BARTI SYMPOSIUM, 1962. p.202-213. (International Association of Hydrological Sciences. Publication n.59).
- SEIXAS, B. L. 1984. *Fundamentos do manejo e da conservação do solo*. Salvador : UFBA. 304 p.
- SEMMELMANN, F. R., CHEVALLIER, P., ALCÂNTARA, W., SILVEIRA, A. 1991. Determinação da energia cinética de chuvas simuladas. In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro : ABRH/APRH. 4 v. v.1, p.89-97.
- SILVEIRA, A., CHEVALLIER, P. 1991. Primeiros resultados sobre infiltração em solo cultivado usando simulação de chuva (Bacia do Rio Potiribu-RS). In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro : ABRH/APRH. LIV. v. 1, p.213-221.
- SILVEIRA, G. L. 1982. *Erosão do solo na encosta do planalto basáltico no Rio Grande do Sul*: representatividade dos parâmetros envolvidos na produção de sedimentos. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 151 f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- SILVESTRINI, J. H. 1991. *Relação entre a capacidade de transporte por arraste e o depósito de fundo fixo rugoso*. Porto Alegre : UFRGS-Curso de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento. 102f. Diss. Mestr. Engenharia Civil.
- SOKOLOVSKII, D. L. 1968. *Rechnoi Stok : Osnovy Teorii i Metodiki Raschetov*. Leningrad : Gidrometeorologischeskoe Izdatelstvo.
- STAPLES, R. R. 1938. *Report on run-off and soil erosion tests at Mpapwa in semi-arid Tanganyika*. Tanganyika : Dept. Vet. Sci. Anim. Husb.
- SWANSON, N. P. 1965. Rotating boom rainfall simulator. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, v.8, p.71-72.
- TOEBES, C., OURYVAEV, V. (ed.) 1970. *Les bassins représentatifs et expérimentaux*. Paris : UNESCO. 380p.
- VANONI, V. (ed.) 1977. *Sedimentation engineering*. New York : ASCE. 745 p.
- WALLING, D. E. 1983. The sediment delivery problem. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.65, p.209-237.
- WHITE, W. R. (ed.) 1986. *Problèmes d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants*. Paris : UNESCO. 161 p.
- WILLIAMS, J. R. 1975. *Sediment routing for agricultural watersheds*. Water Resources Bulletin. American Water Resources Association. 10, 1975, vol.2, n.5, p.965-974.

- WILLIAMS, J. R. 1977. Sediment delivery ratios determined with sediment and runoff models. In : PARIS SYMPOSIUM, 1977. *Erosion and solid matter transport in inland waters*. Wallingford : IAHS. 352p. p.168-179.
- WILLIAMS, J. R., BERNDT, H. D. 1972. Sediment yield computed with universal equation. *Journal of the Hydraulics Division. American Society of Civil Engineers*, New York, v.98, n.12, p.2087-2099.
- WILLIAMS, J. R., BERNDT, H. D. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. *Transactions of the ASAE*, Saint Joseph, p.1100-1104.
- WISCHMEIER, W. H. 1959. A rainfall erosion index for a universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 23, p.246-249.
- WISCHMEIER, W. H. 1975. *Estimating the soil loss equation's cover and management factor for undisturbed areas*. In : PRESENT and Prospective Technology for Predicting Sediment Yields and Sources. U.S. Dep. Agric., p.118-124 (ARS-S-40).
- WISCHMEIER, W.H., MANNERING, J.V. 1969. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 31, n.1, p.131-137.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. 1978. *Predicting rainfall erosion losses : a guide to conservation planning*. Washington : Department of Agriculture. 61p. (Agriculture Handbook, 537).
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. 1960. *A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning*. In : INTERNATIONAL CONGRESS SOIL SCIENCE, 7., Madison. v.1, p.418-425.
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss. *Transactions American Geophysical Union*, Washington, D.C., v.39, n.2, p.285-291.
- WISCHMEIER, W.H., JOHNSON, C.B., CROSS, B.V. 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of Soil and Water Conservation*. Baltimore, v.26, p.189-193.
- ZANCHI, C. 1979. Problemi relativi alla simulazione della pioggia e caratteristiche di alcuni simulatori di pioggia per lo studio dell'erosione idrometeorica. *Annali. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, Firenze, v.10, p.113-150.
- ZANCHI, C., BAZZOFFI, P., D'EGIDIO, G., NISTRÌ, L. 1983. A new rainfall simulator, with improved characteristics, for field erosion studies. *Annali. Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, Firenze, v.14, p.259-276.

ANEXOS

1. CASTRO, N. M. R., CHEVALLIER, P., SANCHEZ Y VACAS, A. 1991. Um método manual simples para coletar e tratar amostras de sedimentos em suspensão em pequenos rios. In : ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 1., 1991, Ouro Preto. *Anais*. Ouro Preto. p.70-72.
2. CHEVALLIER, P., CASTRO, N. M. R. 1991. As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS-Brasil). In : SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 9., 1991, Rio de Janeiro. *Anais*. Rio de Janeiro : ABRH/APRH. 4v. v.3, p.183-192.
3. CASTRO, N.M.R., CHEVALLIER, P., SILVEIRA A.L.L. 1992. Agriculture on the Brazilian Basaltic Plateau. Cultivation Practices and Soil Conservation : First Results of the Potiribu. Project. International Symposium "Farm Lands Erosion in Temperate Plains Environments and Hills. Saint-Cloud, Paris, France (25-29 May 1992). A ser publicado.

UM METODO MANUAL SIMPLES PARA COLETAR E TRATAR AMOSTRAS DE
SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM PEQUENOS RIOS

SIMPLE MANUAL SAMPLING AND PROCESSING METHOD FOR SUSPENDED
SEDIMENTS IN SMALL RIVERS

NILZA MARIA CASTRO

Aluna de Mestrado

PIERRE CHEVALLIER

Chargé de Recherche ORSTOM (França), Consultor

AGUSTIN SANCHEZ Y VACAS

Geógrafo

Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 530
90001 - Porto Alegre - RS

RESUMO -- Este trabalho apresenta um amostrador simples de sedimentos em suspensão. Com este dispositivo, o operador coleta ao mesmo tempo várias amostras pontuais numa vertical da seção de um pequeno rio, ficando de pé ou a partir de uma passarela. O processamento das amostras é feito rapidamente pelo processo de filtração a vácuo, seguida de secagem curta e pesagem. O método de processamento é comparado ao método tradicional de filtração por gravidade e secagem longa. Finalizando, são apresentados perfis verticais de concentração de sedimentos obtidos em uma seção das bacias estudadas no quadro do "Projeto Potiribu" (planalto basáltico sulbrasileiro).

ABSTRACT -- This study presents a simple suspended sediment sampler. Using this device, the operator collects several point samples simultaneously, on a vertical of the section of a small river from a standing position or from a bridge. Sample processing is rapidly performed using the vacuum filtration process, followed by quick drying and weighing. The processing method is compared to the traditional method of gravity filtration and long drying. Finally, some vertical sediment concentration profiles obtained in a section of the basins studied in the "Potiribu Project" are presented (South Brazilian basalt plateau).

INTRODUÇÃO

A utilização dos solos para a agricultura e o desmatamento modificam o equilíbrio existente entre formação do solo e erosão (solo formado = solo erodido) e pode em poucos dias ou meses produzir erosão que em condições naturais levariam séculos para ocorrer.

O solo erodido é transportado pelo vento e principalmente pela água da chuva, através do escoamento superficial, para os rios. Uma parte deste sedimento é depositada nos rios e outra parte é transportada ao longo deles. Este transporte se dá por arraste ou por suspensão. Os sedimentos são transportados pelos rios e quando encontram obstáculos, como barragens, são depositados a montante deles, assoreando-os.

O conhecimento da descarga sólida no rio é de fundamental importância para verificação de técnicas de conservação de solo e dimensionamento de obras hidráulicas. Para medir estas descargas sólidas opera-se amostragens da água carregada em várias condições de escoamento.

No caso de sedimentos em suspensão, há dois tipos de amostradores: automático e manual. Os amostradores automáticos têm um elevado custo de instalação, operação e manutenção, dificultando a operação de uma rede. Em lugares onde os recursos financeiros são limitados, a coleta de amostras geralmente é feita com amostradores manuais.

Este trabalho apresenta uma proposta de um amostrador de sedimento manual simples que colhe amostras pontuais em várias profundidades ao mesmo tempo. É apresentado também um método de análise de amostras, utilizando filtragem rápida. Este método é comparado ao método tradicional de evaporação.

Finalizando são apresentados alguns perfis verticais de concentração de sedimento, utilizando o amostrador manual, obtidas em bacias estudadas no quadro no "Projeto Potiribu" (planalto basáltico sulbrasileiro).

METODOLOGIA

Amostrador

O amostrador de sedimentos, inspirado de um modelo russo (segundo Colombani, 1987) é formado por uma haste vertical onde estão fixadas um número variável de garrafas com meio litro de volume, presas perpendicularmente a ela (figura 1). Estas garrafas tem nas tampas 2 tubos de cobre (diâmetro : 5 mm), um para entrada de água e outro para saída de ar.

Nos tubos para saída de ar estão acopladas mangueiras com a saída acima do nível do rio. O objetivo das mangueiras é de evitar a entrada da amostra antes delas estarem colocadas na posição desejada.

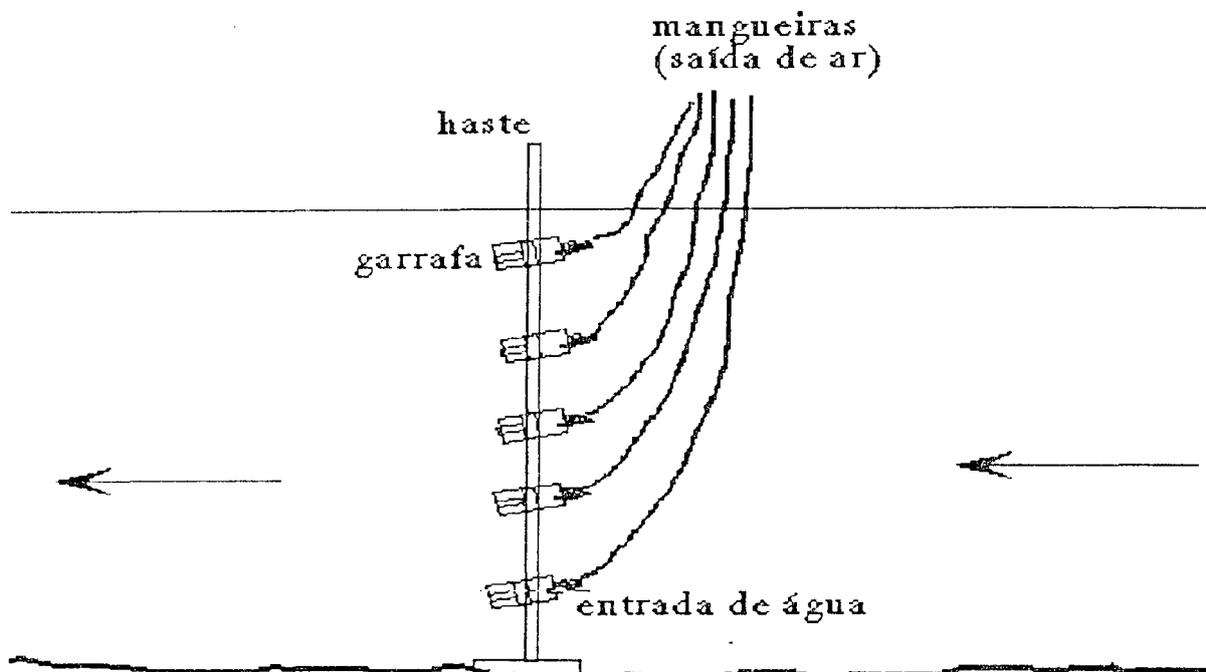


Figura 1 : Amostrador manual

O operador deve tapar a saída de ar das mangueiras ao mergulhar a haste com as garrafas, destapando quando a haste estiver acomodada, liberando a saída de ar e permitindo a entrada da água.

Após o tempo necessário (avaliado num ensaio anterior) para o enchimento das garrafas, elas são retiradas da haste e novas garrafas são colocadas, aproveitando sempre as mesmas tampas com os tubos de cobre e as mangueiras. As garrafas devem ser devidamente numeradas, indicando o nome do posto, posição da vertical e profundidade da coleta.

Deve-se montar também uma caderneta de campo indicando o dia e hora da coleta, o nome do posto, o nome do operador, a largura da seção medida, a posição de cada vertical, a profundidade correspondente a cada número registrado na garrafa e a margem que a coleta começou.

E preciso associar uma medição de vazão com molinete, medindo as velocidades nos mesmos pontos de coleta, pois de nada adianta sabermos a concentração de sedimentos se não soubermos a vazão.

Este amostrador permite a coleta de amostras ao longo do rio em um intervalo de tempo relativamente curto.

Processamento das amostras

A análise da concentração de sedimentos é feita através de filtração rápida, utilizando uma membrana de celulose como filtro, segundo o método proposto por Melo, Summerhayes e Toner (1975).

O sistema de filtração utilizado é de marca "Sartorius", que consiste de funis de filtração e bomba de vácuo (figura 2). Os filtros utilizados são de marca "Milipore", eles tem um diâmetro de 37mm e poros de 45 microns.

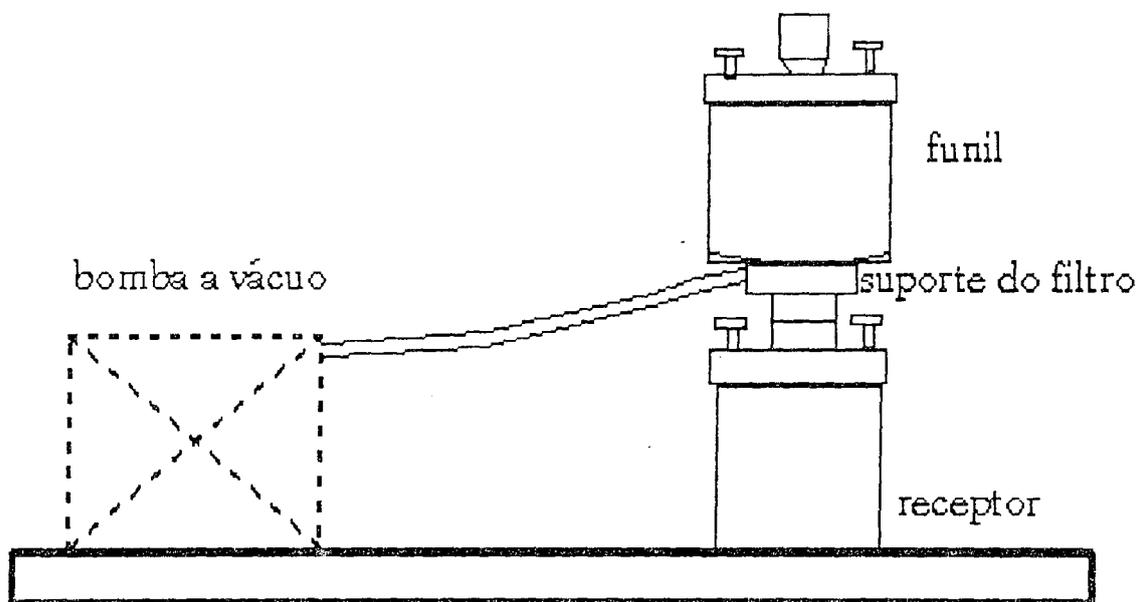


Figura 2 : Sistema de filtração

Cada membrana deve ser colocada dentro de um porta filtro e ir à estufa a 105°C por aproximadamente 2 hs para tirar a umidade. A membrana e o porta filtro são colocados no dessecador após a secagem por aproximadamente 1 hora para esfriarem e então serão pesados em uma balança de precisão do décimo de miligrama

Cada porta filtro deve ser numerado antes de ser levado à estufa, para evaporar a umidade da tinta e não haver interferência na pesagem. Os pesos de cada conjunto de filtro e porta filtro devem ser anotados em caderneta. Após a pesagem o filtro deve ser colocado, com o auxílio de uma

pinça, no suporte de filtro. E medido então o volume de cada garrafa utilizando uma proveta. A amostra deve ser despejada no funil e a proveta deve ser lavada com água destilada, deionizada e filtrada, colocando-se a água da lavagem também no funil para filtrar. E então ligada a bomba a vácuo.

Deve-se lavar o funil também com esta água no final da filtração antes da retirada do filtro. Quando toda a água for filtrada desliga-se a bomba, retira-se o filtro com o auxílio de uma pinça e coloca-se no mesmo porta filtro que foi tarado junto com o filtro. Este procedimento é feito em todas as garrafas.

Após a filtração, os conjuntos de porta filtros e filtros são levados a estufa por 12 h, após são colocados no dessecador por 1h e são novamente pesados. Os pesos devem ser anotados ao lado de suas respectivas taras.

A concentração de sedimentos é dada pela diferença dos pesos dos filtros após e antes da filtração, dividindo pelo volume de filtração.

Calcula-se a concentração de sedimentos em mg/l. Conhecendo-se a vazão no momento da coleta de amostras, obtém-se a descarga sólida que passa pelo rio naquela seção (g/s).

TESTES DO METODO DE FILTRAGEM RAPIDA

Foram feitos vários testes para verificar a eficiência do método de filtração rápida.

Primeiro teste

Foram fabricadas amostras de água e sedimento (argila) em laboratório com uma concentração conhecida e processadas através do método de filtração e do método de evaporação. No primeiro teste foram fabricados 10 litros de amostra com 10 concentrações de argila, 1 litro para cada concentração conhecida. Foi feita a separação de 500 ml para filtração, e de 500 ml para evaporação.

Dos 500 ml de filtração, foram divididos em 5 frascos de 100ml cada um. Dos 500 ml de evaporação foi extraído uma amostra de 250 ml.

A divisão foi feita após a mistura manual da amostra. Os resultados são descritos na tabela 1.

Como pode-se observar a filtração subestimou os valores, enquanto a evaporação superestimou-os. Isso, provavelmente ocorre devido a repartição das amostras. A evaporação superestimou os valores pois primeiro foi retirado 500 ml de

amostra para a filtração e parte do sedimento que pertenceria a estes 500 ml se depositou no recipiente original, durante o processo da repartição, aumentando assim a concentração de sedimentos no frasco em que foi feita a evaporação e diminuindo no frasco em que foi feita a filtração.

Concentração conhecida (mg/l)	Filtração média (mg/l)	erro (%)	Evaporação (mg/l)	erro (%)
5,6	21,0	272,3	26,9	377,3
11,6	24,4	110,0	15,4	32,8
20,0	19,9	0,8	19,5	2,5
50,1	38,2	23,9	68,8	37,3
100,0	74,1	25,9	132,6	32,5
200,1	163,4	18,4	264,2	32,0
500,4	398,0	20,5	668,8	33,7
1000,3	830,3	17,0	1294,2	29,4
2000,3	1707,6	14,6	2618,0	30,9
5000,5	4260,3	14,8	6597,4	31,9

Tabela 1 : Primeiro teste. Concentração conhecida de sedimentos : métodos de filtração e evaporação.

Segundo teste

Com base nestes primeiros resultados, foi feito um segundo teste, não repartindo a amostra. Foram fabricadas 17 amostras, 9 amostras com 100 ml cada uma de água e concentrações de argila diferentes para filtração e 8 amostras com 250 ml cada uma para evaporação. Os resultados do segundo teste são apresentados na tabela 2.

Concentração conhecida (mg/l)	Filtração (mg/l)	Erro (%)	Concentração conhecida (mg/l)	Evaporação (mg/l)	Erro (%)
13,5	2,9	78,5	21,3	38,3	79,8
51,0	35,9	29,6	59,0	51,3	19,1
94,0	77,0	18,1	122,7	145,6	18,7
193,1	177,8	7,9	243,3	267,2	9,8
481,9	467,6	3,0	486,6	480,7	1,2
964,7	992,8	2,9	1211,8	1259,4	3,9
1930,8	1923,9	0,4	2428,5	2424,0	0,2
4814,6	4814,0	0,0	4853,8	4770,7	1,7

Tabela 2 : Segundo teste. Concentração de sedimentos : método de filtração e evaporação

Os resultados do segundo teste apresentaram-se melhores que os resultados do primeiro teste. Para o método da evaporação o erro variou entre 79,8% a 0,2%. O método de

filtragem para concentrações muito pequenas de sedimentos apresenta erro de até 78,5% e sua precisão vai aumentando conforme aumenta a concentração, caindo o erro para 0,01% para uma concentração de 4818,6 mg/l. O método de evaporação também apresenta um erro significativo quando a concentração é muito pequena.

A diferença entre o erro dos métodos de filtragem e de evaporação não é muito significativa.

Terceiro teste

Foi feito um terceiro teste de filtragem, deixando desta vez os filtros para secarem na estufa por 24 horas, após a filtragem. Os resultados estão apresentados na tabela 3.

Concentração conhecida (mg/l)	Filtragem (mg/l)	Erro (%)
4,0	3,5	12,5
7,8	6,9	11,5
43,5	44,6	2,5
104,5	101,6	2,8
193,4	189,8	1,9
477,8	461,7	3,4
958,2	932,5	2,7
1954,2	1912,7	2,1
4877,3	4828,3	1,0

Tabela 3 : Terceiro teste. Concentração de sedimentos : método de filtragem

Observando-se a tabela 3, nota-se que os resultados da filtragem apresentaram-se melhores que no segundo teste. O maior erro foi de 12,5% para uma concentração de 4,0 mg/l, reduzindo para 1,00% para uma concentração de 4787,3 mg/l.

EXEMPLO DE PERFIS MEDIDOS NO CAMPO

Na tabela 4 são apresentados os resultados de uma medição realizada no decorrer do dia 7 de junho de 1991, na seção de medição do Rio Potiribu em Andorinhas (área de drenagem de 563 km²). Uma medição de vazão, efetuada alguns minutos antes, deu uma descarga líquida de 43,1 m³/s.

Os operadores usaram o amostrador em três verticais situadas a 6, 18,4 e 30,4 m da margem direita numa seção regular de 32,4 m de largura com fundo rochoso. O amostrador foi equipado com três garafas a 10, 40 e 90 cm de altura.

Profundidade (cm)	Vertical 1 6,0 m	Vertical 2 18,4 m	Vertical 3 30,4 m
10	131,6	132,5	139,1
40	127,0	124,6	140,1
90	131,2	125,3	124,1

Tabela 4 : Concentrações (mg/l) medidas na seção do Rio Potiribu em Andorinhas, dia 7 de junho de 1991

Se observa a grande homogeneidade da distribuição dos sedimentos no resultado obtido, devido a influência do leito rochoso e de uma queda de aproximadamente 15 metros, 200 m a montante, permitindo uma boa mistura dos sedimentos. Em média, a concentração é de 130,6 mg/l, o que dá uma descarga sólida, neste exemplo, de 10,0 g/s.km².

CONCLUSÃO

O amostrador manual de sedimentos em suspensão apresentado só pode ser usado em rios com pequena profundidade em relação com o comprimento limitado da haste de amostragem.

Este amostrador nos dá uma estimativa do sedimento em suspensão que há no rio, não esquecendo que de nada adianta a coleta de amostras se não soubermos a vazão do rio no momento da coleta.

Analizando os resultados, tanto o método de evaporação como o método de filtração aumentam sua precisão a medida que o peso de sedimentos aumenta. Tomando todos os cuidados necessários, o método de filtração rápida apresentará bons resultados, com a vantagem de ser mais rápido que o método de evaporação.

AGRADECIMENTOS

Os autores querem agradecer os técnicos do Laboratório de Sedimentometria do IPH-UFRGS, Bruno Rocha e Marino Godoy, que ajudaram no processamento das amostras, e, também, o Professor Frantz Semmelmann que autorizou o uso do equipamento do laboratório.

REFERENCIAS

COLOMBANI, J. (1987), Transferts de matières solides dans le cycle de l'eau. Cours à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suisse).

MELO, U. de, SUMMERHAYES, C.P., TONER L.G. (1975), Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar. B. téc. Petrobrás, 18 (3/4), p. 115-127, Rio de Janeiro.

AS PRECIPITAÇÕES NA REGIÃO DE CRUZ ALTA E IJUÍ
(RS-BRASIL)

PRECIPITATIONS IN THE REGION OF CRUZ ALTA AND IJUÍ
(RS-BRASIL)

PIERRE CHEVALLIER

Chargé de Recherche ORSTOM (França), Consultor

NILZA MARIA CASTRO

Aluna de Mestrado

Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Caixa Postal 530
90001 - Porto Alegre - RS

RESUMO -- Os autores propõem uma análise da pluviometria da região de Cruz Alta e Ijuí (planalto basáltico sulbrasileiro). Depois de uma crítica usando o método do vetor regional, as principais características estatísticas das pluviometrias anuais, mensais e diárias são estabelecidas. A seguir, é realizada uma análise mais detalhada dos eventos chuvosos, baseada nos registros pluviográficos do posto de Ijuí, incluindo a relação intensidade-duração-frequência, estudo da forma e da ocorrência dos eventos chuvosos e análise estatística do índice de erosividade de Wischmeier.

ABSTRACT -- The authors propose an analysis of rainfall measurements in the region of Cruz Alta and Ijuí. Using data criticized with the Regional Vector Method, the main statistical characteristics of annual, monthly and daily rainfall gauging are established. Next a fine analysis of the rainfall events is performed, based on the Ijuí station records, including the computation of the intensity-duration-frequency relation, the study of shape and occurrence of the events, and the study of the Wischmeier Erosivity Index.

INTRODUÇÃO

O Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul iniciou um trabalho de pesquisa junto ao Instituto Francês de Pesquisa Científica para o Desenvolvimento em Cooperação (ORSTOM) no âmbito de um acordo com o CNPq. O objetivo deste trabalho é estudar os comportamentos hidro-sedimentológicos no planalto basáltico do Sul do Brasil, em relação a ocupação agrícola dos solos (cultura intensiva de trigo e soja). Diversas ferramentas são consideradas para esta abordagem, tais como a simulação de chuva, o estabelecimento de um sistema de informação geográfica ou a modelação matemática chuva-vazão-descarga sólida.

Este estudo, que trata do conjunto da região do planalto basáltico, é baseado em uma zona geográfica considerada representativa e reconhecida como o resultado de uma abordagem metodológica sistemática (Borges e Bordas, 1988). A entidade escolhida é a bacia hidrográfica do Rio Potiribu em Andorinhas, cujo centro geográfico é constituído pelo Município de Pejuçara, a uma distância mais ou menos igual dos centros populacionais importantes de Cruz Alta, Ijuí e Panambi (Rio Grande do Sul).

Antes de qualquer estudo sofisticado, é necessário avaliar os principais elementos regionais. Neste trabalho tratamos de analisar a parte da climatologia, referente as precipitações, principal elemento de entrada no sistema hidrodinâmico.

ANALISE REGIONAL

Homogenização

Antes de qualquer trabalho sobre dados regionalizados de pluviometria é necessário controlar a sua qualidade e possivelmente corrigí-los. Esta homogenização é geralmente realizada sobre séries de totais pluviométricos anuais, representando as grandes evoluções climáticas, independentes de fenômenos sazonais. Hiez (1977) propôs uma ferramenta de análise potente denominada "Método do Vector Regional", recentemente adaptada a uma aplicação prática com um microcomputador (Cochonneau, Hiez e Séchet, 1991).

Na região de Cruz Alta e Ijuí, o vetor regional foi aplicado a 143 postos pertencentes a nove graus quadrados centrados na zona de estudo (entre 27°S e 30°S e entre 52°O e 55°O). A crítica permitiu eliminar quatro postos por terem valores de qualidade excessivamente dúbia. As correções e reconstituições permitiram estabelecer valores de precipitação anual média no período de 1945 a 1985. O mapa de isoietas assim obtido é apresentado na figura 1. Este resultado pode ser comparado àqueles obtidos por Crespo (1982), IBGE (1986) e IPAGRO (1989). São encontradas quase as mesmas tendências, embora a resolução dos três mapas seja muito mais grosseira (sobretudo aquelas do IBGE e do IPAGRO).

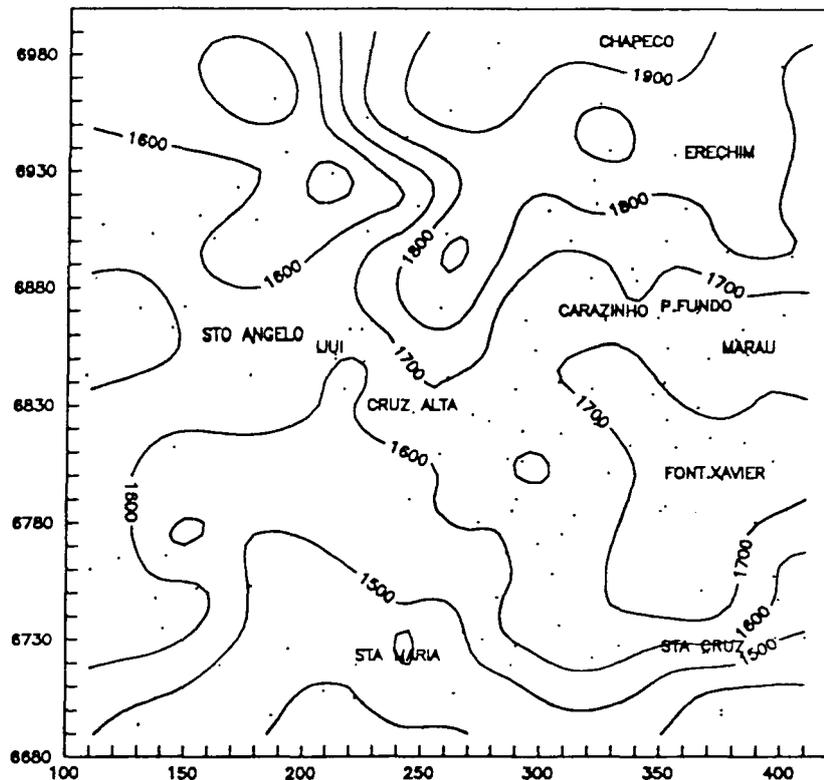


Figura 1 : Região de Cruz Alta e Ijuí. Mapa de isoietas. As coordenadas são em km Lambert e os limites correspondem aproximadamente a : 27°S/30°S - 52°/55°O.

A zona de interesse aparece no centro da figura ; observa-se uma pluviometria média de 1700 mm. Para uma abordagem estatística regional, preferimos escolher postos cuja duração de observação seja mais longa possível e cujos dados são considerados bons segundo o vetor regional. Destacaram-se três postos : Cruz Alta, Santo Angelo e Santa Clara do Ingai. Os resultados obtidos nas análises para os três postos foram quase idênticos. Por isso apresenta-se a seguir somente os resultados do posto de Cruz Alta, o mais próximo da zona estudada.

Pluviometria anual e mensal

Nas análises estatísticas realizadas a seguir, buscou-se a melhor distribuição entre uma dezena (Lebel e Boyer, 1989) para amostra de dados, utilizando, seja um teste X^2 , seja o teste proposto por Brunet Moret (1978).

Os resultados assim obtidos são apresentados na tabela 1 para os valores anuais (31 anos tratados) e na figura 2 para os valores mensais (em média 35 valores por mês foram tratados). Em todos os casos foi escolhido uma distribuição única, chamada "das fugas" (Ribstein, 1983), que deu o melhor ajustamento.

Recorrência (anos)										
secos										
100	50	20	10	5	média	5	10	20	50	úmidos
100	50	20	10	5	2	5	10	20	50	100
Precipitação anual (mm)										
902	984	1112	1234	1389	1710	2065	2264	2436	2635	2774

Tabela 1 : Pluviometria anual (Cruz Alta)

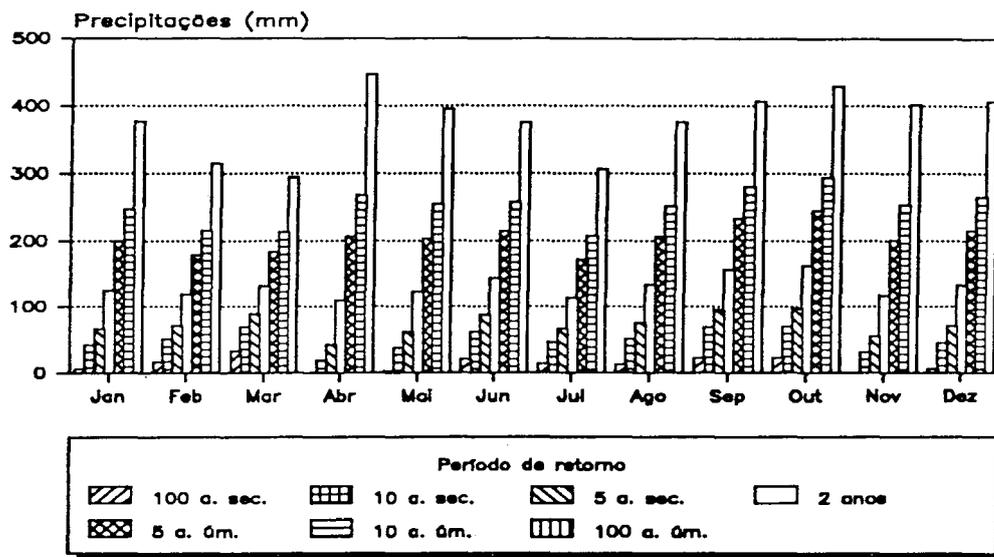


Figura 2 : Pluviometria mensal (Cruz Alta)

Observa-se a notável homogeneidade média da distribuição mensal das precipitações, devido ao regime de circulação atmosférica bastante regular ligado principalmente às passagens de frentes frias vindas do Sul.

Pluviometria diária

Recorrência (anos)	1	2	3	5	10	20	50	100
Precipitação diária (mm)	88,9	101,8	109,1	118,3	130,5	142,6	158,3	169,1

Tabela 2 : Pluviometria diária (Cruz Alta)

A análise dos dados de pluviometria diária no posto escolhido também foi realizada no mesmo princípio. O melhor resultado foi obtido com uma distribuição de Goodrich truncada. Foram tratados 37,44 anos com 5 146 dias de precipitação não nula ; a soleira de truncatura escolhida era 36,5 mm. Os valores obtidos após ajuste para períodos de retorno padrão estão na tabela 2.

CARACTERISTICAS DOS EVENTOS CHUVOSOS NO POSTO DE IJUI-IPAGRO

Generalidades

A série pluviográfica do posto Ijuí-IPAGRO está marcada por numerosas lacunas, devido ao mau funcionamento ocasional do aparelho e, às vezes, à ausência de diagramas durante períodos prolongados. A amostra final obtida, colocando ponta a ponta todos os períodos de observações, abrange uma duração de 21,73 anos entre 1963 e 1968. Os eventos chuvosos foram individualizados utilizando um critério de separação muito amplo: intensidade inferior a 0,5 mm durante uma hora. Este critério foi escolhido para privilegiar o evento chuvoso completo e não dividi-lo em sub-eventos no caso em que comporte diversos picos de intensidade, separados por períodos mais ou menos longos de intensidades mais fracas. Foi assim obtida uma amostra de 3 522 eventos chuvosos.

Intensidade-duração-frequência

Para cada um dos eventos chuvosos individualizados foram procuradas as intensidades máximas em 5, 10, 15, 30, 60, 120 e 180 minutos para todos eventos cuja precipitação total é superior ou igual a 20 mm. Essas intensidades foram, a seguir, ajustadas sobre uma distribuição de Goodrich para estabelecer a tabela 3 das intensidades para duração escolhidas e recorrências estatísticas compreendidas entre 1 e 50 anos.

Recorrência (anos)	em	em						
	5 mn	10 mn	15 mn	30 mn	60 mn	90 mn	120 mn	180 mn
1	114,8	89,4	76,9	68,0	56,3	23,2	17,8	14,4
2	129,7	101,2	87,2	77,5	64,7	27,1	20,4	16,4
3	135,7	105,9	91,4	81,3	68,2	28,8	21,5	17,3
5	147,7	115,5	99,9	89,1	75,3	32,2	23,8	18,9
10	160,3	125,6	108,9	97,4	82,9	36,0	26,2	20,7
20	172,3	135,2	117,5	105,4	90,2	39,8	28,6	22,4
50	187,3	147,3	128,4	115,5	99,6	44,8	31,6	24,6

Tabela 3 : Intensidades em mm/h para durações e períodos de retorno fixados (Ijuí-IPagro)

Pode-se observar uma diferença notável com os resultados obtidos por Denardin e al. (1980) para o posto de Cruz Alta. Mas estes autores utilizaram dados já elaborados, sem voltar aos diagramas originais e a comparação dos resultados de vários outros postos permite exprimir algumas dúvidas a respeito dos valores finais.

Observa-se que estas intensidades refletem o regime principalmente frontal das precipitações com valores relativamente moderados em comparação aquilo que pode ser observado em climas com regime mais diferenciado (como nas regiões mais ao norte do Brasil, por exemplo).

Forma dos eventos chuvosos

Foi extraído da amostra inicial 310 eventos chuvosos de altura superior ou igual a 20 mm, eliminando todos os casos complexos com picos múltiplos. A seguir e depois de uma discretização em intervalo constante de 10 minutos, seis hietogramas médios foram estabelecidos levando em conta (figura 3) : (i) todos os eventos ; (ii) os eventos cuja precipitação é superior a 50 mm ; (iii) os eventos de verão (16/12 a 15/03) ; (iv) os eventos de outono (16/04 a 15/06) ; (v) os eventos de inverno (16/06 a 15/09) ; (vi) os eventos de primavera (16/09 a 15/12).

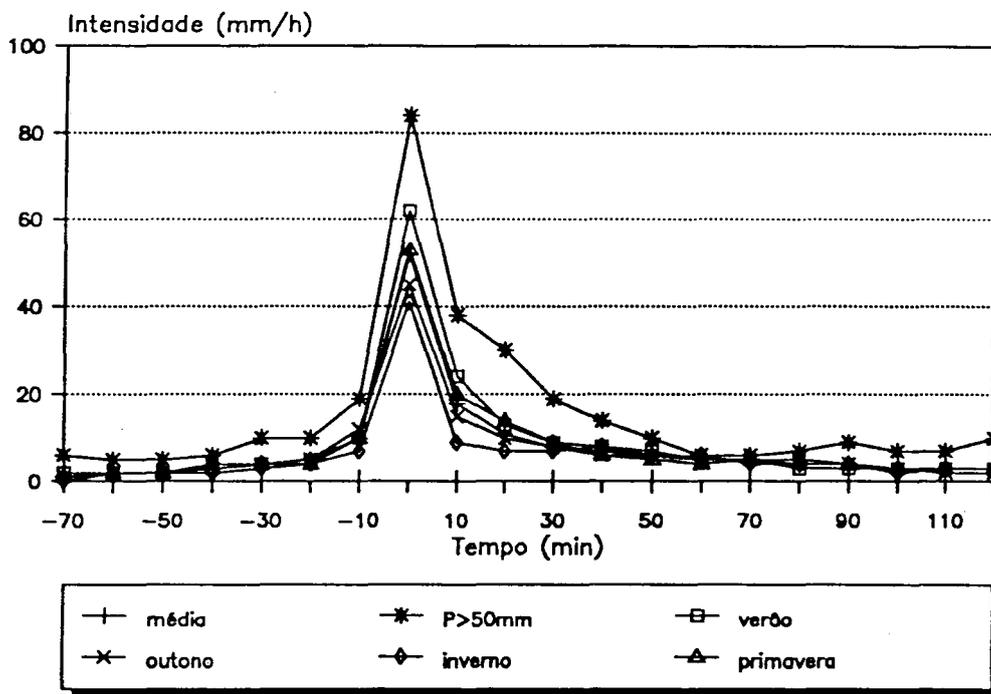


Figura 3 : Forma média dos eventos chuvosos (Ijuí-Ipagro)

Pode-se notar que os eventos chuvosos apresentando o maior volume de precipitação ($P > 50$ mm) têm uma duração um pouco maior que a média, mas possuem intensidades máximas muito superiores (+ 62% em 10 minutos e + 76% em 30 minutos). Além disso, observa-se que na primavera e no verão os eventos chuvosos são em média mais curtos e mais intensos que no outono e no inverno, mas as diferenças continuam pequenas (10% para a duração e 10/20% para a intensidade).

Ocorrência diária dos eventos chuvosos

Para avaliar a ocorrência diária dos eventos chuvosos foi utilizada a amostra completa de 3 522 eventos. Uma análise

preliminar mostrou que os eventos iniciam com uma ligeira preferência para as horas diurnas (56% entre 6 e 18 horas). Na amostra de trabalho foram contados até 8 eventos chuvosos no decorrer de um mesmo dia (entre 0 e 24 horas). Esse número cotidiano foi relacionado à precipitação total diária (tabela 4).

número de eventos chuvosos	precipitação diária (mm)						total
	0.5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	>50	
1	76,2	44,8	41,0	31,7	44	30,9	58,5
2	21,2	36,0	36,1	34,1	26,2	30,9	26,9
3	4,9	11,3	16,5	19,0	17,9	25,2	9,7
4	1,0	5,0	4,8	11,9	10,7	8,1	3,8
>= 5	0,3	2,5	1,6	3,2	1,2	4,8	1,3

Tabela 4 : Número de eventos chuvosos por dia, função da precipitação diária, em % de ocorrência (Ijuí-Ipagro)

Para cerca de 60% dos dias de chuva observa-se apenas um único evento chuvoso, 25% com dois, 10% para três eventos e 5% para mais de 4 eventos chuvosos cotidianos. A proporção do número de dias de chuva com um único evento chuvoso é bem superior no caso de um total diário inferior a 10 mm, e, neste caso, praticamente nunca há mais de três eventos. Ao contrário, se o total for superior a 10 mm, em mais da metade dos casos há pelo menos dois eventos chuvosos e a proporção com três ou mais eventos está longe de ser desprezível.

Um estudo complementar mostrou também que os eventos chuvosos únicos ocorrem mais frequentemente durante os meses de verão (dezembro a março) e os eventos chuvosos múltiplos durante os meses de inverno (junho a setembro).

Erosividade das chuvas

A partir das correlações obtidas entre as perdas em terras medidas sobre parcelas experimentais e diferentes características das chuvas, Wischmeier e Smith (1958) encontraram o fator $R = E \times I30$ que é o valor do produto da energia cinética de cada chuva unitária pela sua intensidade máxima em 30 minutos. A soma dos resultados de todas as chuvas de um mês dá a erosividade mensal, assim como a soma dos resultados de todas as chuvas de um ano dá a erosividade anual.

Adota-se o método descrito por Leprun (1981) para o cálculo desta grandeza R, cuja unidade é compatível com o sistema internacional.

Para o cálculo dos valores anuais e mensais foram usados 16 anos do posto de Ijuí-Ipagro, com menos de 5% de lacuna (se houver lacuna, o resultado é corrigido proporcionalmente à duração da lacuna). A tabela 5 e a figura 4 apresentam valores característicos obtidos: a série é curta demais para calcular uma verdadeira distribuição estatística.

Índice de erosividade anual R				
	Máximo	Média	Mediana	Mínimo
	759	504	468	258

Tabela 5 : Valores característicos anuais do índice de erosividade (16 anos de observação em Ijuí-Ipagro)

Como pode-se observar os meses de maior erosividade das chuvas são no verão, o que confirma os resultados obtidos anteriormente com as formas de chuva, devido a uma ocorrência de eventos convectivos somente nesta época do ano.

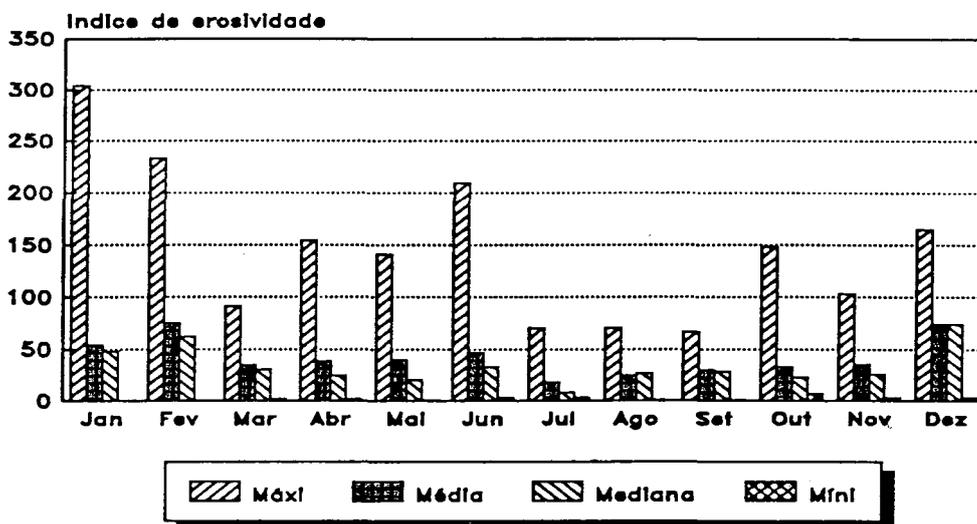


Figura 4 : Valores característicos mensais do índice de erosividade (Ijuí-Ipagro)

Uma estatística foi estabelecida a partir dos 500 maiores índices de erosividade para um único evento chuvoso. Observa-se uma distribuição log-normal cujos resultados característicos são apresentados na tabela 6.

Período de retorno	1 ano	2 anos	3 anos	5 anos	10 anos	20 anos
Índice de erosividade	62	83	95	111	132	153

Tabela 6 : Valor do índice de erosividade de um evento chuvoso para alguns períodos de retorno (16 anos de observação em Ijuí-Ipagro)

CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste artigo estão constituindo um exemplo de uma análise da pluviometria e da pluviografia registradas durante uma longa duração, anteriormente a um estudo específico dos processos hidrológicos numa dada região. O volume de dados a ser processados para obter resultados fundamentais numa futura utilização pode parecer enorme, mas este trabalho mostra que ainda sofreu falhas. As dificuldades encontradas e a comparação com resultados de outras fontes provam, mais uma vez, a necessidade de uma rede permanente de observação cuidadosamente monitorada e de uma gestão, uma crítica e uma interpretação dos dados disponíveis rigorosas.

AGRADECIMENTOS

Este artigo resulta de um trabalho feito com uma enorme quantidade de dados de observação. Uma parte importante da obtenção e processamento dos dados pluviográficos foi realizada graças a Jorge A. Lautert e Alexandre D.S. Wood, estagiários do IPH-UFRGS. Os dados pluviométricos foram fornecidos pelo 1º Distrito do DNAEE-DCRH em Porto Alegre, pela CEEE, pelo DEPRC e pelo INEMET ; os diagramas de pluviografia foram emprestados pelo IPAGRO a partir das observações realizadas no Centro de Treinamento da Cotrijuí (Augusto Pestana-RS). Os autores também querem agradecer a ajuda substancial do Professor C.E. Tucci e da Professora H.L. Hofmann, ambos do IPH-UFRGS.

REFERENCIAS

- BORGES, A.L., BORDAS, M.P. (1988), Choix de bassins représentatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur le plateau basaltique sudaméricain. Sediment Budget (Proceedings of the Porto Alegre Symposium), IAHS Publ. 174. p. 161-169.
- BRUNET MORET, Y. (1978), Recherche d'un test d'ajustement. Cahiers ORSTOM, sér. Hydrologie, 15 (3), p. 261-280.
- COCHONNEAU, G., HIEZ G., SECHET P. (1991), MVR - Progiciel de mise en oeuvre de la méthode du vecteur régional. Version 1.3. ORSTOM, Brasília.
- CRESPO, C.E.J., (1982), Regionalização de vazão máxima do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Tese de Mestrado IPH-UFRGS, Porto Alegre. 83 p. + 23 tab. + 19 fig. + an.
- DENARDIN, J.E., FREITAS, P.L., WÜNSCHE, W.A., WENDT, W (1980), Características fundamentais da chuva no Brasil. 1. Rio Grande do Sul. Pesq. Agropec., Brasília, 15(4), p. 419-421.
- HIEZ G. (1977), L'homogénéité des données pluviométriques. Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie, 14 (2), p. 129-172.

- IBGE (1986), Levantamento de recursos naturais, volume 33. Projeto Radam Brasil. 792 p. + mapas.
- IPAGRO (1990), Atlas agroclimático. Estado do Rio Grande do Sul. Vol. 3., mapa 232.
- LEBEL, T., BOYER, J.F., (1989), DIXLOIS, un ensemble de programmes Fortran 77 pour l'ajustement des lois statistiques et leur représentation graphique. Notice OVNIH #3, ORSTOM, Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier.
- LEPRUN, J.C. (1981), A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro. Recursos de solos, 15, SUDENE, Recife.
- RIBSTEIN, P. (1983), Loi des fuites. Cahiers ORSTOM, sér. Hydrol., 20 (2).
- WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. (1958), Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. Union, 39, p. 285-291.

AGRICULTURE ON THE BRAZILIAN BASALTIC PLATEAU
Cultivation practices and soil conservation : first results of the
Potiribu Project

Nilza M. dos R. CASTRO
Pierre CHEVALLIER
André L.L. da SILVEIRA

Institute of Hydraulic Research
Convention IPH-ORSTOM-CNPq (Brazil-France)
Federal University of Rio Grande do Sul
C.P. 530, 90001-970 Porto Alegre RS, Brazil.

SUMMARY

Over the last twenty years soya bean semi-monoculture has developed on the Brazilian basaltic plateau (states of Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul), causing serious soil degradation problems : linear erosion, compaction, increased solid loads in watercourses and deposition in reservoirs, besides changes in hydrological regimes. After a brief description of the environment, the authors present the first hydrosedimentological results of a research project to measure agricultural impact on the environment in this region. Observations performed in 1 m² plots, under simulated and natural rainfall and hydrological events for two catchment sizes (110 ha and 19.4 km²) are analysed.

RESUME

Agriculture sur le plateau basaltique brésilien. Pratiques culturales et conservation des sols : premiers résultats du Projet Potiribu

Une quasi-monoculture du soja s'est installée sur le plateau basaltique brésilien (Etats du Paraná, de Santa Catarina et du Rio Grande do Sul) depuis une vingtaine d'années, entraînant de sérieux problèmes de dégradation des sols : érosion linéaire, compaction, augmentation des charges solides dans les cours d'eau et du dépôt dans les retenues, altération des régimes hydrologiques. Après une description sommaire du milieu naturel, les auteurs présentent les premiers résultats hydro-sédimentologiques d'un projet de recherche dont l'objectif est de mesurer l'impact de l'agriculture sur l'environnement de cette région. Des observations réalisées sur des parcelles de 1 m² sous pluies simulées et naturelles, ainsi que des événements hydrologiques pour deux tailles de bassins versants (110 ha et 19,4 km²) sont analysés.

LIST OF TABLES

- Table 1 : Mean granulometry and location of the main soil types
- Table 2 : Simulated rainfall results on plot B (1 m²)
- Table 3 : Natural rainfall results on plot D (1 m²)
- Table 4 : Results of two storms in the Donato and Turcato catchments

LIST OF FIGURES

- Figure 1 : Study zone location
- Figure 2 : Mean monthly rainfall (mm)
- Figure 3 : River Potiribu catchment at Andorinhas power plant
- Figure 4 : Event of June 4 and 5, 1991
- Figure 5 : Event of June 18 and 19, 1991

INTRODUCTION

The South American basaltic plateau covers a large part of three states in the South of Brazil (Paraná, Santa Catarina and Rio Grande do Sul). These regions have been used for agriculture for several decades, following immigration (mainly German and Italian) to a region formerly used for intermittent cattle breeding.

Complete forest felling, farming without attention to good cultivation practices, the systematic and abusive use of chemicals in agriculture soon led to serious soil and water conservation and quality problems. Recently, however, authorities, cooperatives and farmers have become aware of these problems and have attempted to protect this extremely cultivated region which makes a major contribution to the Brazilian economy.

In 1989, a research project began to study the impact of agriculture on the environment, with cooperation between the Institute of Hydraulic Research of the Federal University of Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS) in Porto Alegre and the French Institute of Scientific Research for Development in Cooperation (ORSTOM).

THE ENVIRONMENT

The geographical environment

BORGES et BORDAS (1988) study a large 230,000 km² area in Brazil, covering the eastern half of the states of Paraná and Santa Catarina and the northern half of the state of Rio Grande do Sul, located approximately between the 24th and 30th parallels South and between the 50th and 55th meridians West (Fig. 1). The authors distinguish homogeneous physical-climatic zones in this region based on three criteria (rain erosivity, soil erodibility and relief) and two zones critical for soil conservation : a marked relief (mean slope greater than 50%), on the border of the plateau, and another with moderate relief (mean slope between 10% and 20%).

Figure 1

A group of catchments belonging to the first zone had been studied at the end of the seventies and had shown the important role played by rainfall in soil losses (SILVEIRA, 1982). Agriculture in this area consists mainly of cattle breeding and small-scale farming, often on steep slopes (mainly maize, soya beans, black beans, vineyards). Properties are small, several dozen hectares at most.

The catchment of the River Potiribu was chosen to study the second area, which is extremely planted. It is a tributary of the River Uruguay and enters the Atlantic Ocean through the Plata Estuary together with the River Paraná. Two medium-size towns (population approximately 100,000 each), Ijuí and Cruz Alta, are nearby. The research project benefits from the support of powerful agricultural cooperatives in the region (Cotrijuí and Cotricruz), local municipal authorities (especially in the county of Pejuçara) and the University of Ijuí.

Geology and soils

The substratum consists of continental basaltic flows in approximately horizontal layers (*trapp*), about fifteen meters thick, separated sometimes by *inter-trapp* sand or sandstone lenses (IBGE, 1986). These formations are 130 to 140 million years old (Lower Cretaceous, Upper Jurassic).

Soils in the Potiribu catchment are mainly *dark red* or *violet latosols* and *structured violet soils* (*latossolos vermelhos escuros ou roxos, terra roxa estruturada*), according to the Brazilian classification. Rich in clay, they are always well structured and are not hydromorphic (CARVALHO et al., 1990). Table 1 shows mean granulometry. Soils are often deep, up to 6 meters and more. In cultivated areas they form *structural crusts* (according to the name give by CASENAVE and VALENTIN, 1988), with small aggregates which adhere to the lumps resulting from ploughing which break up with time.

Table 1

Climate

NIMER (1988) describe the climate in this region as *humid temperate*. There is no dry season.

According to IPAGRO (1989), mean minimum monthly temperature at Cruz Alta is 14°C during the coldest month (July) and the mean maximum is above 24°C during the warmest month (January), but the extreme temperatures are often below 0°C or above 35°C. Relative humidity throughout the year ranges from 65% in December to 80% in June. Mean evaporation is between 2.3 mm/day in June and 4.2 mm/day in December for an annual total close to 1,200 mm.

The rainfall regime is regulated by the confrontation between the cold, dry polar anticyclone and the warm, humid South Atlantic anticyclone. Frontal discontinuity, which is active all year long, is regularly shifted from south to north, causing generally long storms of moderate intensity. This special circulation creates a local rainfall regime with practically uniform distribution throughout the year (NIMER, 1988).

Mean annual rainfall in the region is 1,700 mm, with monthly means between 120 and 150 mm (CHEVALLIER and CASTRO, 1991). However, marked irregularities occur both between and within years, as shown by observations made since 1989 (Fig. 2). Daily precipitation with an annual return period is 88.9 mm.

Figure 2

The detailed study of storm events observed for 16 years at Ijuí shows an intensity of 115 mm/h in 5 minutes and 68 mm/h in 30 minutes with an annual return period. The Wischmeier erosivity index has a mean value of 468 I.S.u. and a value of 62 I.S.u. for a single event which occurs with annual frequency.

Agricultural activity and conservationist measures

Most of the area is used for crops and cattles. A few some small stands of the original forest remain, usually close to roads or on property limits. Riparian forests remain where streams are deeply marked ; they disappear when the talweg widens or has a large flood zone.

Cattle breeding is practiced in areas inappropriate for mechanized agriculture : steep slopes, boggy areas, shallow or excessively eroded soils.

Soya beans have been grown almost in monoculture for the last twenty years. Brazil is the second world producer and soya bean exports play an important role in repaying the foreign debt. The crop is sown in November and harvested in April-May. It undergoes several agrochemical treatments (fertilizer, fungicides, pesticides) during growth, and heavy machinery is required for soil preparation and harvesting. The present tendency among some producers, related to economic conditions for soya bean trading, is eventually to replace this crop with maize, which has a similar crop cycle. Twice-yearly cropping is less underspread, and depends more on the farmers' finances than on agricultural factors. The second crop is usually wheat or oats, and the latter is often ploughed back into the soil as green fertilizer. Sowing take place between May and July and harvesting just before soya bean planting in November.

The crop stands are medium to large ; rarely less than 10 ha, often over several hundred hectares. All agricultural work is performed by machines. Fertilising by air is done only by the farmers with the largest cultivated stands. Irrigation is not practiced and the use of crop rotations and fallow periods is disappearing.

As this heavy agriculture developed on agriculturally rich and mechanically fragile soils, many problems of erosion arose as shown by the onset of deep gullies (*voçorocas*) in the path of concentrated surface flows and by the soil compaction which reduces infiltration capacity. Since the intensive development of soya bean crops on the basaltic plateau, a significant increase in the solid load in rivers, accelerated sedimentation in reservoirs and more severe floods or low flows have been observed.

Farmers have adopted two measures to counteract these effects :

- Construction of strips separated by banks (*terraços*) whenever the slope is greater than 5%. These follow contour lines and their width, 10 to 30 m, depends on the slope. The strips are separated by an embankment, 50 to 80 cm high (*murundus*) and approximately 2 m wide. A furrow, to help infiltration on the one hand and drain excess surface runoff on the other, is dug immediatly above the embankment. Often a row of maize is planted on the crest to ensure stability. These structures are made anew each year by farmers using special machinery. If they breack stet unexpectedly during the crop cycle, they are immediately repaired.
- reduction in the number of operations required to work the soil and the use of more appropriate machinery (disk plough, rotavator,...). The cooperatives try to promote the *direct sowing* technique for soya beans after the spring harvest, without reworking the soil.

These anti-erosion measures are accompanied by increased agro-chemical treatment, to counter what is believed to be a loss in yield..

Finally, the cooperatives try to encourage greater diversification in the production of oleaginous plants (particularly colza and sunflower), but this has not been very successful.

MATERIALS AND METHODS

The device used to estimate runoff and soil erosion related to agricultural practices, yields estimates appropriate for different space and time scales affected. Two such estimates may be distinguished : for small plots, giving attention mainly to production processes, and those carried out on basic geomorphological units, i.e. small catchments. The construction of the device has been described elsewhere ; in this paper we discuss only some observations which we consider significant.

Rainfall simulation and natural rainfall micro-plot

A detailed study of surface hydrodynamics and the tendency to erosion is performed using the small rainfall simulator built by ORSTOM (ASSELINE and VALENTIN, 1978). This device, which is now well-known, simulates rainfall events of intensities ranging between 30 and 150 mm/h on a 1 m² plot. For our study it will be used on an agricultural plot which has been banked against erosion, with a mean slope of 10 to 12%, strictly following the crop calendar described above (SILVEIRA and CHEVALLIER, 1991).

A group of three 1 m² plot (A, B and C) receives a serie of four storms at different seasons of the agricultural year. Two campaigns have already been carried out : at the beginning and end of the spring cycle, on oats, respectively one week (5% cover) and fourteen weeks (80% cover) after sowing. The simulated storm is based on the typical hyetogram with one-year return period : a total of 90 mm in 75 minutes, maximum intensity 100 mm/h during 10 minutes. It is repeated four times during four consecutive days.

Soil humidity is measured up to 80 cm depth by sampling before each storm. Surface runoff intensity is recorded continuously at the outflow from the plot. Runoff is systematically sampled on one (B plot) of the three plots every two or three minutes to analyse the solid load. The solid particles deposited in the collection system are gathered and weighed at the end of each experiment.

A fourth 1 m² plot (D plot) installed at the same site is connected to a 60 liter tank : it is examined after each natural storm, and thus the runoff production and solid load under natural conditions as a function of the type of storm, and of soil status and plant development, may be evaluated.

Catchments

The River Potiribu catchment (Fig.3), the natural frame of our study, is controlled a few kilometers east of Ijuí by a natural waterfall with a small hydropower plant above which the drainage area is 563 km².

Figure 3

During this stage of the study, two embedded sub-basins are studied, the Turcato catchment (19.4 km²) and the Donato catchment (110 ha). The small Donato catchment is completely cultivated and banked. About 60% of the Turcato catchment is cultivated ; of the remainder, 25% is grazing land or saturated flood zones (25%) and 15% is the town of Pejuçara (population approximately 2,500).

These catchments are equipped with limnometric stations which allow continuous measurement of water levels. Flows and solid discharges are often measured, if possible during floods. The River Potiribu catchment is equipped with a network of 9 raingauges and 11 rainrecorders to measure precipitation.

FIRST RESULTS

Rainfall simulation and natural rainfall micro-plot

Table 2 shows the main results obtained for the eight storm events simulated on plot B during the two campaigns carried out between May 29 and June 1, 1991, and between August 26 and September 2, 1991. The mean slope of the plot is 11%.

Table 2

During the first period the soil had just been ploughed with a disk plough, the oats had been sown one week before, and the average height of vegetation was only a few centimeters with average cover of approximately 5% of the plot area. The previous natural rains had occurred 15 mm, 8 days before, and 19 mm, 17 days before.

During the second series of measurements, 14 weeks later, the oats were between 50 and 80 cm high, covering 80% of the area. The soil had not been worked mechanically between the two periods. The last heavy rain had occurred 22 days before (28 mm).

This Table calls for some comments :

1. Continuous increase in runoff is observed during a campaign on the one hand, and higher mean value of this runoff during the second campaign, on the other. This shows the important role played by soil, to the detriment of plants, since greater plant cover should logically lead the opposite results. Two effects are combined : the vertical linear structure of oats, with little interception of rain, and progressive compaction of the

soil which is initially cultivated, due to the effect of rain and its own weight.

2. Internal vertical drainage is very rapid : after the first rainfall in each of the campaign, when a dry water profile is refilled, variations in the 80 cm depth soil stocks are very small between two storms. In other words, rainfall is drained off in less than 24 hours, at a depth greater than 80 cm, since the effect of renewed evapotranspiration (2 to 4 mm/day) is small. Several small inconsistencies in the water balance will be noted in Table 2 due to different methods for measuring variables.
3. Soil losses captured in the suspended load at the outflow of the plot and related to the rainfall volume increase during the first campaign : they are almost stable, except in the case of the last storm which is suspicious, during the second campaign, since it has a lower value than the maximum value of the first campaign. This observation is consistent with the process mentioned in the first comment regarding progressive soil compaction during the crop cycle.

Table 3 shows the measurements performed in plot D, which is identical to the rain simulation plots and was observed under several natural rainfall events between June and September, 1991, i.e., during one period of the oats crop cycle after that observed under simulated rainfall. This type of experiment is subject to errors in measurement, and only orders of magnitude of the results should be taken into account. It is especially noted that observed values, both in terms of liquid and solid flow, are slightly higher than those recorded under simulated rainfalls, but are still of the same order of magnitude. This is explained by the fact that, under the conditions in the region studied, it is likely that the kinetic energy of natural rainfall is higher than that supplied by the rainfall simulator : this hypothesis is suggested by a partial study performed in the laboratory (SEMMELMANN et al., 1991), but is yet to be confirmed under natural conditions.

Table 3

Catchments

We will comment on the results observed in the Turcato and Donato catchments during two rainfall events which occurred on June, 4 and 5, 1991 (Fig. 4), and June, 18 and 19, 1991 (Fig. 5). This period is immediately after the rainfall simulation and partially corresponds to observation of the plot under natural rainfall. Some of the features of these two events are shown in Table 4.

Figure 4 Figure 5 Table 4

This Table allows several observations :

1. For relatively heavy storms, of the order of magnitude of simulated rains, the rapid runoff coefficients are moderate, and distinctly lower for the Turcato catchment.
2. Mean concentrations of suspended material observed in the water course, on the other hand, are very high, greater than those observed in plots. This means that the solid load continues to increase initially with diffuse flow on the hillslope and then concentrated in gullies and water courses.

It is particularly visible in the Donato catchment which has no saturated areas and is only farmed with banking.

3. Soil loss values are also very high. For purposes of comparison, BORDAS et al. (1988) present a mean value of 0.95 t/ha.year, observed in large catchments (between 1,000 and 10,000 km²) cultivated in this region. The mean concentrations (of the order of 0.2 to 0.4 g/l for a very average-sized flood) observed in the River Potiribu catchment at Andorinhas (563 km²) might mean that the value proposed based on a mean concentration of 0.1 g/l by BORDAS et al. may have been underestimated.

CONCLUSION

The study described in this article is still in progress and many observations are not yet available or cannot yet be used, especially those concerning the granulometry of moving particles and their physico-chemical qualities. The main goal here is to call attention to soil conservation problems in an intensively farmed environment, using modern methods, on fragile soils and under very humid climate conditions considering that is a temperate region. It seems to us particularly useful to study this situation, on the one hand to try to solve locally generated problems, and on the other because it may soon and speedily run into situations of large crop environments as found in less critical regions such as Europe.

AKNOWLEDGMENTS

This paper was translated into English by Professor Hedy L. HOFFMANN and revised by Professor Robin T. CLARKE of the Hydraulic Research Institute of the Federal University of Rio Grande do Sul in Porto Alegre (Brazil).

REFERENCES

- ASSELIN J., VALENTIN C. (1978). Construction et mise au point d'un infiltrômetre à aspersion. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol XV, n°4 : 321-350.
- BORDAS M.P., LANNA A.E., SEMMELMANN F.R. (1988). Evaluation des risques d'érosion et de sédimentation au Brésil à partir de bilans sédimentologiques élémentaires. Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium, December 1988). IAHS Publ. no. 174.
- BORGES A.L. de O., BORDAS M.P. (1988). Choix de bassins représentatifs et expérimentaux pour l'étude de l'érosion sur le plateau basaltique sudaméricain. Sediment Budgets (Proceedings of the Porto Alegre Symposium, December 1988). IAHS Publ. no. 174.
- CARVALHO A.P. de, ABRÃO P.U.R., FASOLO P.J., PÖTTER R.O. (1990). Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do Arroio Taboão (Pejuçara/Ijuí-RS). Multigr., 41 p. + map 1:25 000).
- CASENAVE A., VALENTIN C. (1988). Les états de surfaces de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM, coll. Didactiques, 230 p.

- CHEVALLIER P., CASTRO N.M. dos R. (1991). As precipitações na região de Cruz Alta e Ijuí (RS - Brasil). Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Rio de Janeiro, 10 a 14 nov 1991). Vol. III, pp. 183-192.
- IBGE (1986). Levantamento de recursos naturais, volume 33. Folha SH22 Porto Alegre e parte das folhas SH21 Uruguaiana e SI22 Lagoa Mirim. Projeto Radam Brasil. 792 p. + maps.
- IPAGRO (1989). Atlas agroclimático. Rede meteorológica. Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 3 volumes.
- NIMER E. (1988). Climatologia do Brasil. 2a edição. IBGE, Rio de Janeiro. pp. 195-264.
- SEMMELMANN F.R., CHEVALLIER P., ALCÂNTARA W. de, SILVEIRA A.L.L. da (1991). Determinação da energia cinética de chuvas simuladas. Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Rio de Janeiro, 10 a 14 nov 1991). Vol. I, pp. 89-97.
- SILVEIRA G.L. da (1982). Erosão do solo na encosta do planalto basáltico no Rio Grande do Sul. Representatividade dos parâmetros envolvidos na produção de sedimentos. Dissertação de mestrado. IPH-UFRGS.
- SILVEIRA A.L.L. da, CHEVALLIER P. (1991). Primeiros resultados sobre infiltração em solo cultivado usando simulação de chuvas (Bacia do Rio Potiribu - RS). Anais do IX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Rio de Janeiro, 10 a 14 nov 1991). Vol. I, pp. 213-221.

Table 1 : Mean granulometry and location of the main soil types

Name	depth (cm)	medium sand (%)	fine sand (%)	silt (%)	clay (%)	location
<i>latossolo roxo</i>	0-80	10	8	22	60	Top and mid- hillslope
<i>latossolo vermelho escuro</i>	0-80	15	15	20	50	Top of the hillslope
<i>terra roxa estruturada</i>	0-20 20-120	13 5	16 7	21 16	50 72	Mid-hillslope

Table 2 : Simulated rainfall results on plot B (1 m²)

Campaign/ storm	Rainfall (mm)	Humidity for 80 cm depth (mm)	Variation for 80 cm depth (mm)	Runoff volume (mm)	Runoff coeffi- cient (%)	Conc. (suspen- sion) (g/l)	Total conc. (g/l)	Soil loss (suspen- sion) (g/mm of rain)	Total soil loss (g/mm of rain)
1 / 1	78,3	276	-	0,4	0,5	-	-	-	-
1 / 2	86,8	315	39	18,2	21	0,83	1,54	0,17	0,32
1 / 3	89,9	318	3	33,4	37	1,43	2,26	0,53	0,58
1 / 4	88,9	326	8	40,4	45	1,28	1,96	0,58	0,89
2 / 1	82,2	236	-	28,9	35	1,01	1,64	0,36	0,58
2 / 2	88,2	308	71	52,6	60	0,67	1,48	0,40	0,88
2 / 3	88,7	303	-5	56,6	64	0,68	0,91	0,43	0,58
2 / 4	85,3	300	-3	57,8	68	1,61	2,37	1,09	1,60

Table 3 : Natural rainfall results on plot D(1 m²)

Date	Rainfall (mm)	Erosivity (S.I.unit)	Runoff volume (mm)	Runoff coefficient (%)	Total concentr. (g/l)	Total soil loss (g/mm of rainfall)
06,17,91	35,1	4,68	11	31	2,79	0,86
06,18,91	57,6	10,7	41	71	2,60	1,85
06,27,91	45,6	20,4	43	94	2,77	2,60
07,10,91	15,8	2,09	6	38	2,57	0,98
07,21,91	28,5	1,31	7	25	0,87	0,22
09,18,91	36,9	4,55	13	36	0,65	0,23

Table 4 : Results of two storms in the Donato and Turcato catchments

Date /catchment	Rainfall (mm)	Erosivity (S.I.unit)	Runoff volume (mm)	Runoff coeffi- cient (%)	Mean concentr. (g/l)	Total soil loss (g/m ² . mm rain)	Total soil loss (t/ha)
06,04-05,91 /Donato	74,6	22,2	12,4	17	-	-	-
06,04-05,91 /Turcato	74,6	22,2	5,91	8	2,15	0,20	0,15
06,18-19,91 /Donato	50,3	10,7	7,19	14	5,28	0,76	0,38
06,18-19,91 /Turcato	50,3	10,7	3,46	7	-	-	-

Figure 1 : Study zone location

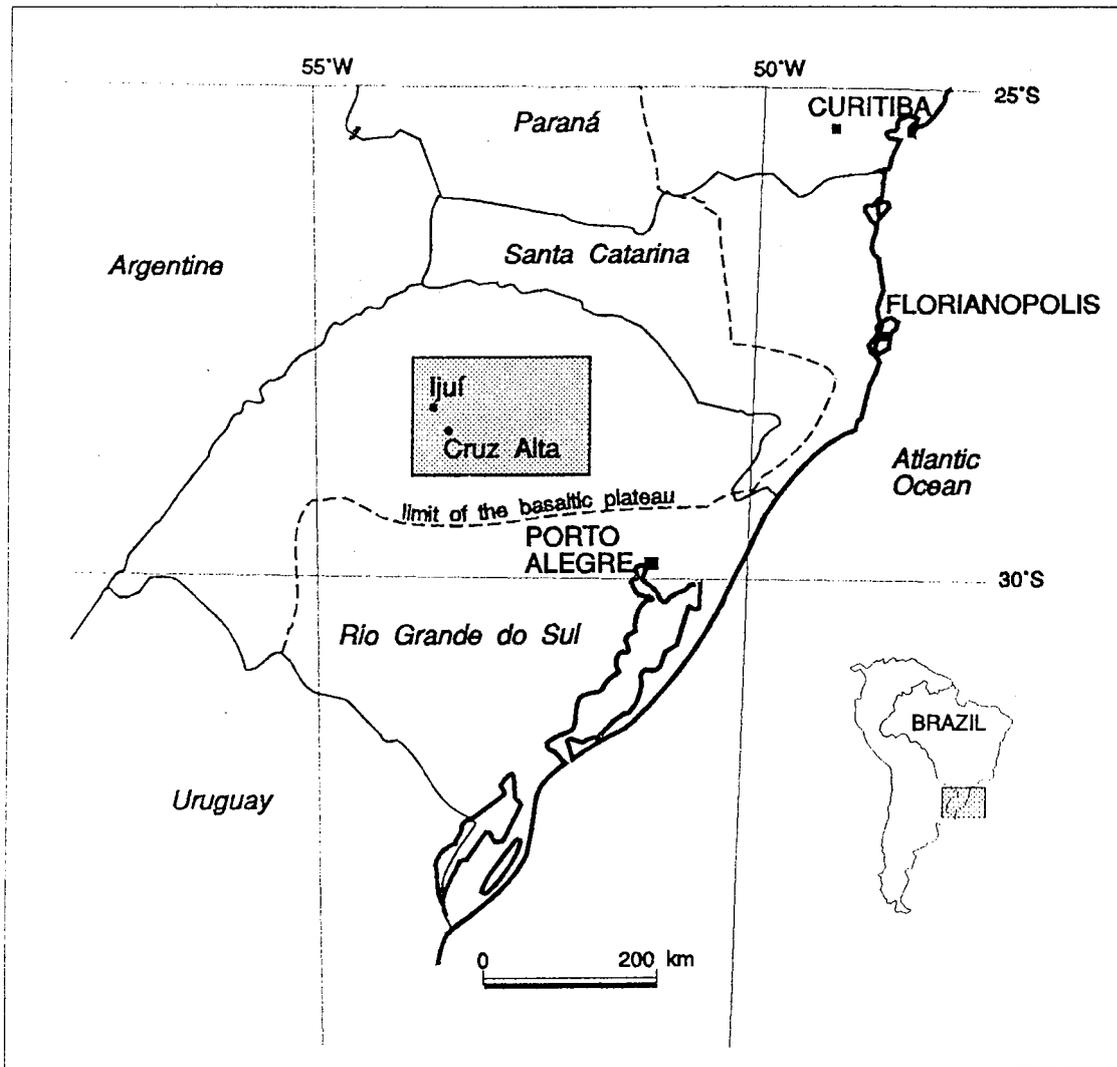


Figure 2 : Mean monthly rainfall (mm)

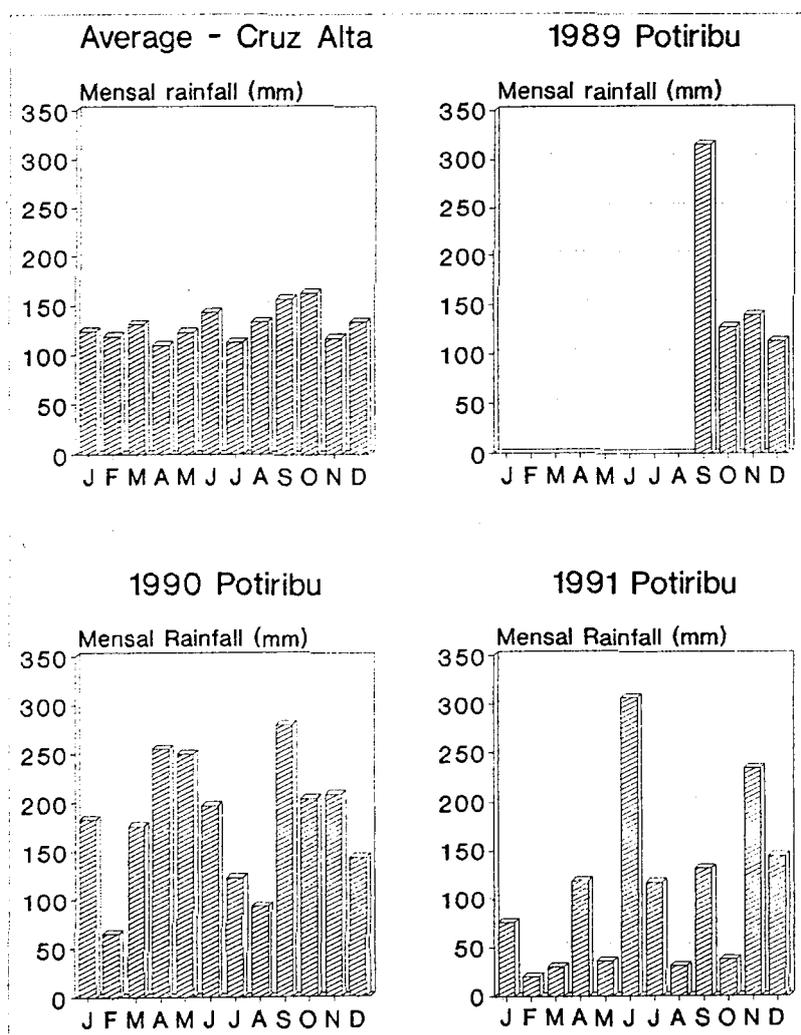


Figure 3 : River Potiribu catchment at Andorinhas power plant

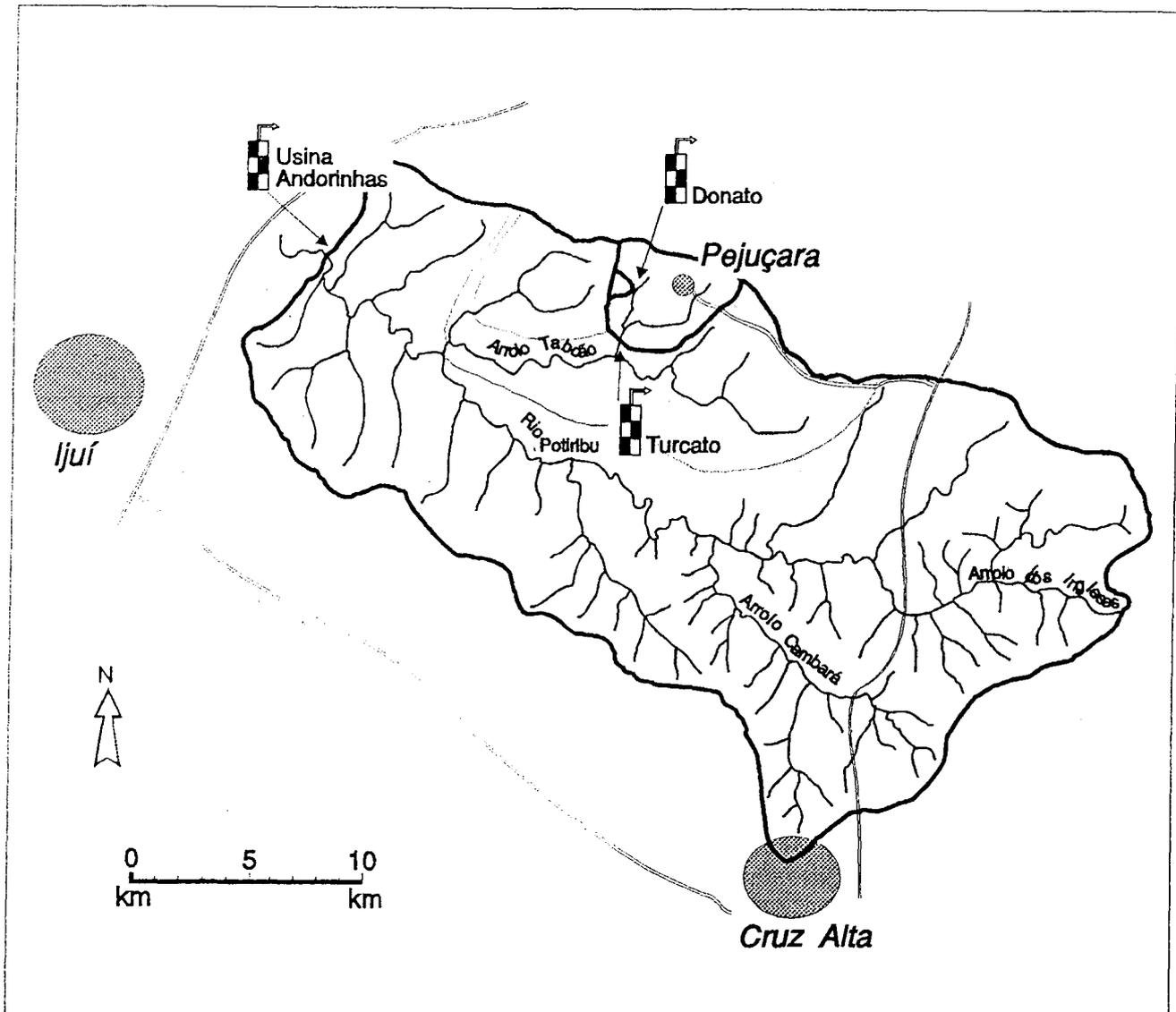


Figure 4 : Event of June 4 and 5, 1991

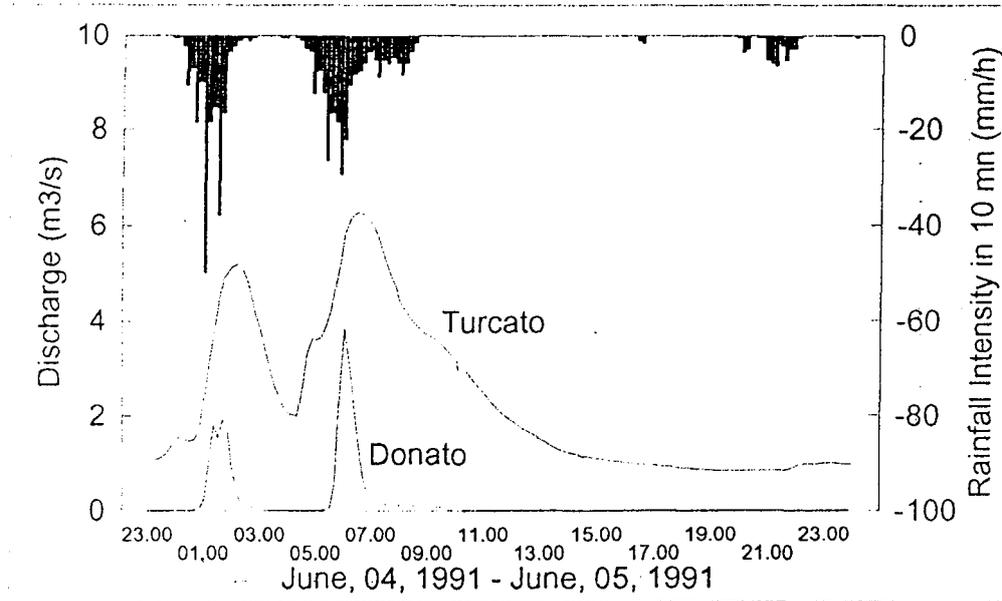


Figure 5 : Event of June 18 and 19, 1991

