

INTENSIDADES E UNIFORMIDADES DE DISTRIBUIÇÃO DE PRECIPITAÇÕES PRODUZIDAS POR UM SIMULADOR DE CHUVAS ROTATIVO*

Osvaldo Ferreira Valente
Blanor Torres Loureiro
Laede Maffia de Oliveira
Telmo Carvalho Alves da Silva**

1. INTRODUÇÃO

Há, no mundo atual, grande preocupação com a conservação dos recursos naturais. A política de negligência aplicada a tais recursos, especificamente os renováveis, trouxe, como era para se esperar, o seu continuo depauperamento, provocando a necessidade de uma atuação energética no sentido de sanar os danos já causados e prevenir para que, no futuro, as ações sejam racionais.

Dentre os diversos recursos naturais, o solo destaca-se como de grande importância para a humanidade. Dando condições ao desenvolvimento da vegetação, ele está contribuindo para a manutenção da cadeia alimentar da qual o homem faz parte. Conservar tal recurso é, portanto, condição de sobrevivência do homem na superfície da terra.

Conservar o solo seria usá-lo racionalmente, respeitando sua capacidade produtiva. O que não se tem feito no Brasil com a intensidade desejada.

Segundo MAGNANINI (4), o uso inteligente e perene do solo pelo agricultor é sempre mais econômico do que o abuso visando lucro imediato e fácil. Isto porque, segundo o mesmo autor, o solo é o maior capital gerador de dividendos para o agricultor, não havendo razão, portanto, para que ele destrua sua maior fonte de renda.

A diminuição da capacidade útil das represas brasileiras, em forma acelerada, pela deposição de partículas sólidas, já está preocupando as empresas produtoras de eletricidade. Tais empresas representam uma força econômica, e as preocupações poderão gerar medidas mais urgentes para a conservação dos nossos solos.

Vários autores têm estudado o fenômeno da erosão hidráulica, sendo já bastante conhecida a mecânica de retirada e transporte das partículas sólidas do solo.

MEYER E WISCHMEIR (5) descrevem o processo de erosão hidráulica como sendo constituído de quatro fases a saber: retirada de partículas pelo impacto das gotas de chuva, transporte pela atuação das próprias gotas, retirada de par-

* Parte da tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa pelo primeiro autor, como um dos requisitos para a obtenção do grau de "Magister Scientiae" em Engenharia Agrícola. Projeto nº 4.855 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

Recebido para publicação em 21-11-1975.

** Respectivamente, Auxiliares de Ensino os dois primeiros e Professores Adjuntos os dois últimos.

ticulas pelo efeito do escoamento superficial e transporte pelo escoamento superficial.

Segundo FREE (3), o impacto das gotas constitui a causa da retirada das partículas em maior proporção, enquanto que o escoamento superficial exerce maior influência no transporte dessas partículas. O referido autor trabalhou com solos em pequenos recipientes, não dando muita condição para a formação de escoamentos superficiais mais intensos, o que não parece, entretanto, prejudicar as conclusões tiradas sobre os efeitos de impacto e escoamento superficial.

EKERN (2) discute o poder erosivo das chuvas, dizendo ser o mesmo função da intensidade, duração, tamanho das gotas e quadrado da velocidade de queda. O mesmo autor, em seu trabalho, relata que uma chuva $8^{\circ} \cdot h^{-1}$ ($203,2 \text{ mm. } h^{-1}$) e com duração de 5 min pode remover e transportar $1,6 \text{ kg. } m^{-2}$ de areia fina.

A intensidade parece ser fator de importância fundamental na função de EKERN, pois, segundo REMENIERAS (8), quanto maior for a intensidade maior será o tamanho das gotas e maior a velocidade de queda.

Talvez seja esta a razão porque WISCHMEIER (12) pôde afirmar que o poder erosivo da chuva é função de sua intensidade e da energia cinética da gota. Ao produto da intensidade pela energia cinética o autor dá o nome de índice erosivo.

A necessidade, então, de se conhecer o comportamento do solo em relação ao poder erosivo das precipitações levou diversos autores a pesquisarem métodos e técnicas apropriadas a tais estudos.

BERTONI (1) descreve o trabalho feito em parcelas experimentais, com tanques coletores. Apresenta os vários métodos para medição da enxurrada, fazendo descrição minuciosa do processo de coleta de uma fração aliquota, com exemplo de utilização para estudos de práticas conservacionistas em cafezal. Trabalho com características semelhantes vem sendo realizado utilizando-se as precipitações naturais, na antiga Estação de Conservação do Solo, pelo Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Este tipo de montagem, entretanto, serve mais ao estudo de tratamento realizados no solo como cobertura morta, adubação verde etc, em tempo relativamente longo. Cita-se, como exemplo, o trabalho feito por SILVA e VIEIRA (9), com a finalidade de estudar a influência da adubação verde intercalar e do manejo da palhada sobre as perdas por erosão na cultura do milho. Tal trabalho foi realizado abrangendo os anos agrícolas de 1966/67 até 1971/72, onde a precipitação é apenas medida, sem possibilidades de controle de intensidade.

Para possibilitar estudos em tempos mais curtos e para maior controle das intensidades de precipitação, diversos autores têm procurado método de simulação de chuvas, artificializando o processo.

SMITH (10) relata que o estudo de simuladores de chuva começou mais ou menos em 1930. Daí, até os dias atuais, segundo o referido autor, eles evoluíram desde a utilização de latas perfuradas e movidas manualmente sobre pequenas áreas, até aos sofisticados sistemas de controle eletrônico.

PARR E BERTRAND (7) fazem uma revisão de literatura sobre simuladores de chuvas, citando não somente sua grande variedade como também os resultados obtidos com tais simuladores. Comentam ainda os autores, em sua revisão, que tais simuladores são mais apropriados aos estudos de poder erosivo, mas podendo, também serem utilizados em estudos de infiltração de água no solo. A diferença, segundo eles, está na intensidade de precipitação. Enquanto o poder erosivo é estudado com mais perfeição com intensidades altas, a capacidade de infiltração é melhor determinada com intensidades baixas.

Os autores comentam, ainda, o fato de que os simuladores modernos são muito mais aperfeiçoados em razão dos maiores conhecimentos adquiridos nos últimos anos, a respeito das características das precipitações naturais.

SMITH (10) chama a atenção para o fato de que a construção de qualquer simulador deve levar em conta o tamanho das gotas produzidas, a distribuição, a velocidade de queda, a possível influência do vento e possibilidade de variação das intensidades das precipitações produzidas.

Mech, citado por SMITH (10), apresenta como limitações maiores dos simuladores o alto custo de construção e operação, a necessidade de pronto suprimento d'água, às vezes em grande quantidade, e o pequeno tamanho da área de trabalho.

Como que rebatendo as limitações de Mech, Swanson, ainda citado por SMITH (10), descreve um simulador de chuvas rotativo, de baixo custo inicial, necessitando de apenas 30 min para ser instalado e operar.

Em outro trabalho, SWANSON *et alii* (11) enumeram as características desejáveis do simulador de chuvas rotativo como sendo: aproximação das condições naturais de tamanho e velocidade de gotas, influência mínima do vento, médias e altas intensidades de precipitação, capacidade de reproduzir intensidade desejadas, distribuição bastante uniforme e adaptabilidade a tamanhos e formas desejadas de parcelas de trabalho.

O autor descreve o simulador como formado de tubos dispostos radialmente, girados por um motor, e todo o conjunto montado em plataforma móvel.

O presente trabalho tem como objetivo básico estudar o comportamento de um simulador de chuvas rotativo, buscando determinar os seus parâmetros de trabalho para futuros estudos de conservação de solos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em área de experimentação do Laboratório de Hidráulica da Universidade Federal de Viçosa.

O simulador de chuvas rotativo, conforme modelo da Universidade de Nebraska, foi construído por meio de financiamento do antigo Conselho Nacional de Pesquisas, atual Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

O simulador, que se vê na Figura 1, é constituído de uma plataforma móvel, de um motor estacionário de dois tempos e 8 C.V., de um eixo vertical em forma de tubo e de 10 outros tubos dispostos radialmente.

A plataforma móvel permite que todo o conjunto seja facilmente transportado para diversas áreas de trabalho.

O conjunto pode girar nos dois sentidos por meio do sistema de reversão da transmissão, conforme a Figura 2, podendo a velocidade de rotação ser alterada pela maior ou menor aceleração do motor. No presente trabalho foi adotada a rotação de 7 r.p.m. Foi a mínima para a qual se conseguiu uma velocidade constante, apesar de a aconselhada estar em torno de 4 a 5 r.p.m., de acordo com SWANSON *et alii* (11).

A distribuição teórica dos leques de precipitação independe do sentido de rotação, em consequência da disposição simétrica dos bicos. Neste trabalho o sentido utilizado foi sempre o dextrógero.

Os tubos radiais, de 2" (50,8 mm) de diâmetro, são colocados em torno do eixo-tubo vertical pelo tipo engate rápido, facilitando a sua retirada para transporte. São suportados por cabos de aços presos à ponta do eixo, que permitem regulagem de comprimento para manter os tubos radiais nivelados. Há, também, cabos de aços horizontais, ligando os tubos para manter o seu espaçamento.

Em cada tubo radial, que está a uma altura média de 2,50 m do solo, estão colocados 3 bicos pulverizadores, número 80/100, perfazendo o total de 30 bicos, em todo o conjunto. Os bicos estão dispostos alternadamente nos tubos radiais, para formarem espirais concéntricas opostas, de acordo com o esquema da Figura 3. Em 20 bicos foram instalados registros de globo de 1/2" (12,7 mm), permitindo que se façam combinações de espirais concéntricas opostas para números variáveis de bicos abertos. No Quadro 1 estão as combinações utilizadas no trabalho, notando-se que os bicos 3a e 8a não pertencem a nenhuma espiral, mas estão colocados em sentidos opostos para manter o balanceamento do conjunto.

O Quadro 1 permite notar, ainda, que apenas os bicos das espirais opostas I, em número de 10, não possuem registros para fechamento.

Utilizou-se, para fornecer água ao simulador, um conjunto moto-bomba, auto-escorvante, de 12,5 C.V. instalado junto à represa próxima ao Laboratório de Hidráulica. A ligação foi feita por meio de tubos de aço zinkado de engate rápido, de 3 1/2" (88,9 mm) de diâmetro e 6,0 m de comprimento.

Para controle de pressão foi utilizado um manômetro de Bourdon, com graduação em libras por polegada quadrada (psi), colocado a 12,00 m do mangote do simulador.

A razão desta distância foi para que o manômetro ficasse fora da área de precipitação, facilitando o controle da pressão durante o trabalho. O simulador trouxe, de fábrica, dois manômetros colocados em dois dos tubos radiais, mas de leitura impraticável durante o trabalho, em virtude da rotação e embacamento do mostrador.

O controle de pressão foi feito por meio de um registro de gaveta colocado a 18,00 m do mangote do simulador ou a 6,00 m do manômetro. A colocação do registro assim distante do manômetro foi para possibilitar certo equilíbrio do flu-

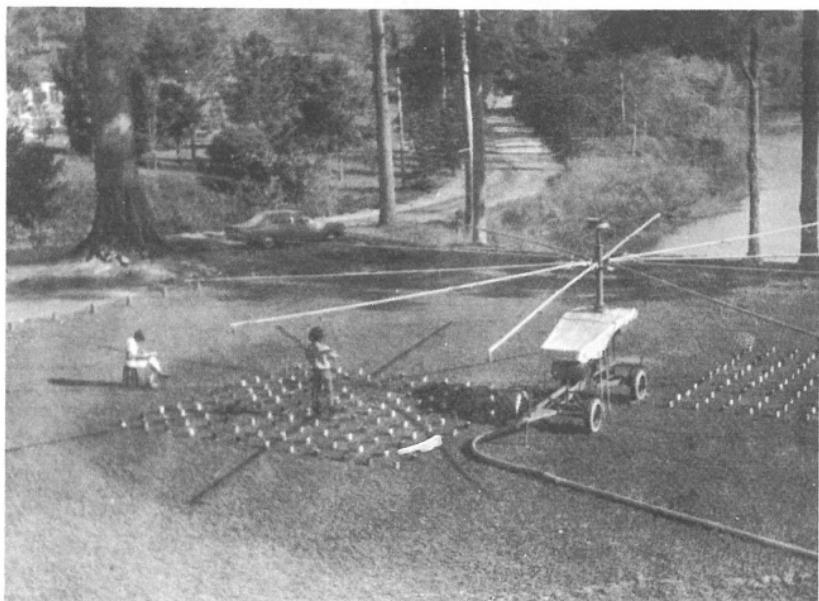


FIGURA 1 - Vista geral do simulador de chuvas rotativo

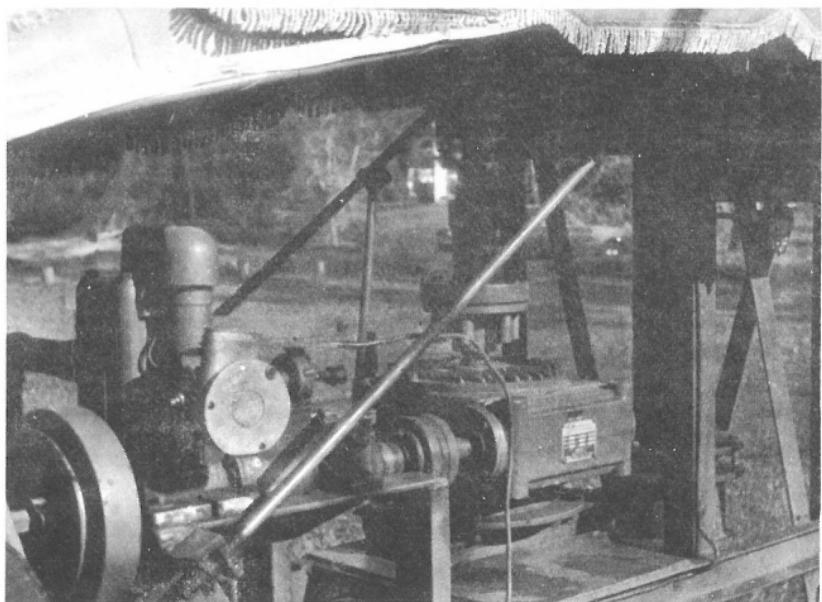


FIGURA 2 - Aspecto do motor estacionário de dois tempos e da transmissão.

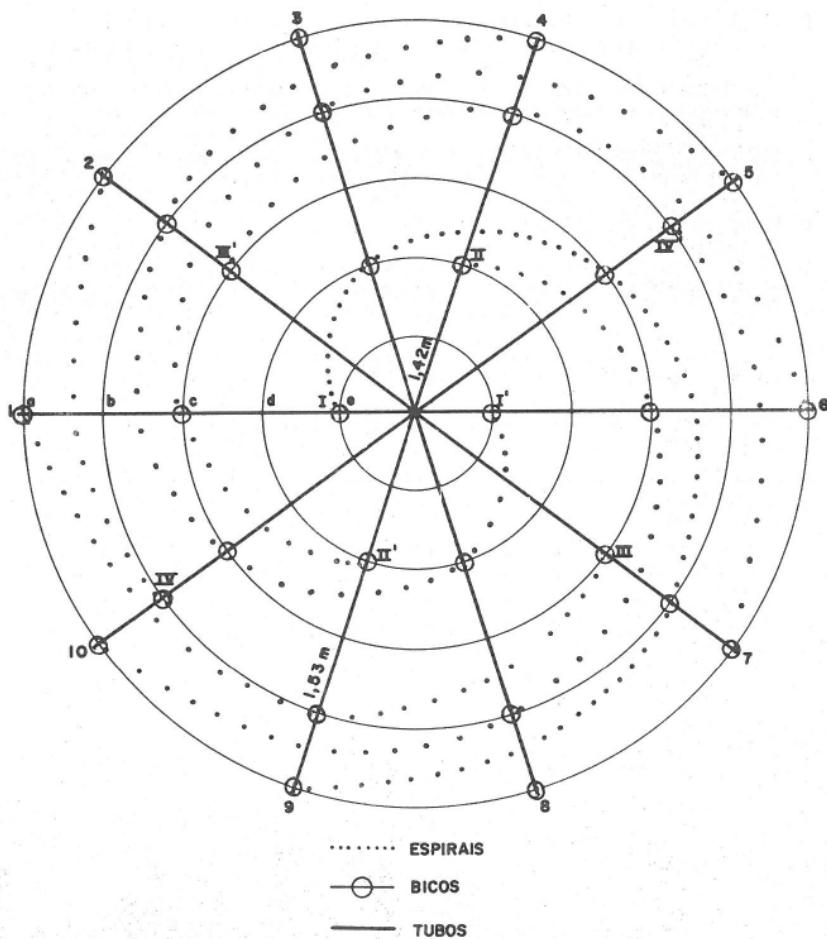


FIGURA 3 - Distribuição de bicos em espirais concêntricas opostas

xo, apôs estrangulamentos para se conseguir as pressões pequenas. Caso contrário, a turbulência faria o ponteiro do manômetro ficar vibrando intensamente, impossibilitando a leitura da pressão de trabalho.

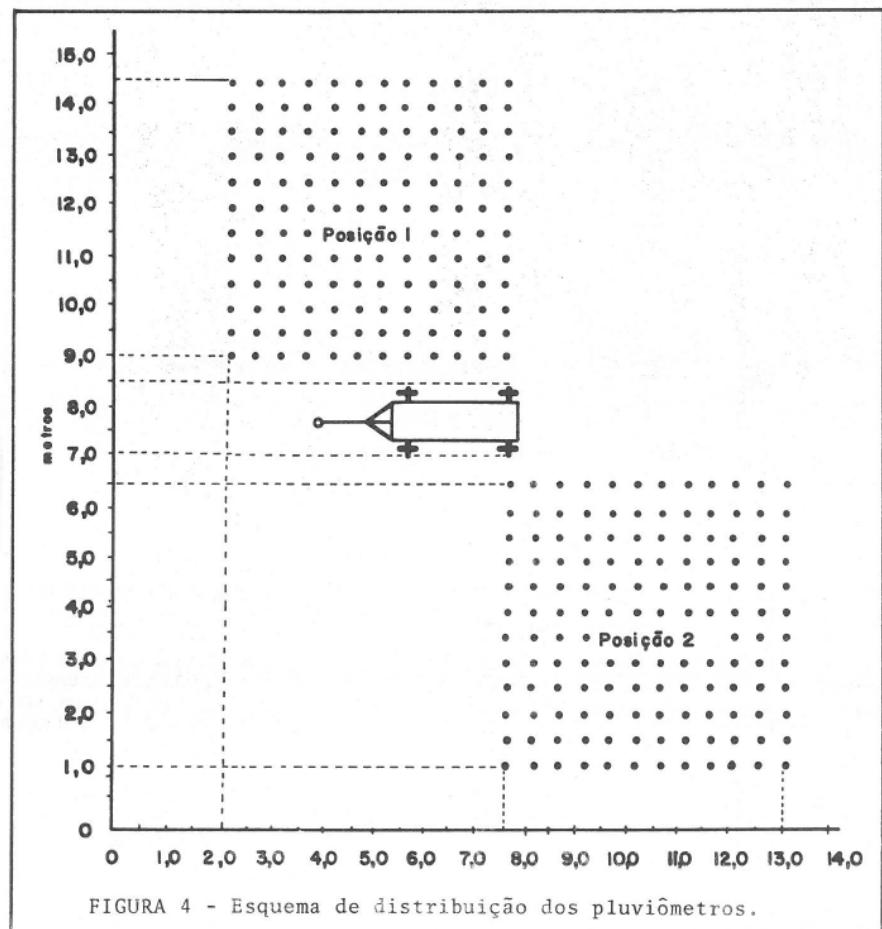
As precipitações foram determinadas com a utilização de 288 latas de óleo, de um litro (funcionando como pluviômetro), colocadas sobre o solo, com espaçamento de 0,5 m. e distribuídas em dois conjuntos diametralmente opostos, conforme as Figuras 1 e 4. Depois de cada período de precipitação, o volume d'água recolhido pelos pluviômetros era medido em proveta graduada em centímetros cúbicos.

Dados meteorológicos foram obtidos para controlar possíveis variações durante os trabalhos, como a ação de vento, por exemplo. Para a obtenção foram instalados um anemoscópio, um anemômetro totalizador e um abrigo com psicrómetro. Além disso, era observado o estado de nebulosidade durante a operação.

Os tempos de operação variaram de 10 a 15 minutos, conforme a combinação pressão/número de bicos abertos.

Cada operação era realizada na seguinte rotina:

- a) Fixação de número de bicos abertos pelo controle dos registros;
- b) Colocação do conjunto em funcionamento, simulador e motobomba e regulagem da pressão pela abertura e fechamento do registro de linha;
- c) Verificação do número de rotação por minuto, com a ajuda do cronômetro e observação de um tubo raio com um indicador na ponta;
- d) Colocação dos pluviômetros em posição de trabalho, após o desligamento da bomba;
- e) Colocação do conjunto em funcionamento;
- f) Verificação da pressão, rotação e execução de leituras no anemoscópio (a cada 5 min) no anemômetro (a cada 5 min) e no psicrômetro (na metade do tempo de operação) e anotações do estado de nebulosidade;
- g) Terminado o tempo de funcionamento, o registro de linha era fechado com a máxima ligereza de tempo;
- h) Medição do conteúdo de cada lata com utilização da proveta.



QUADRO 1 - Combinacões de bicos abertos/fechados e espirais de trabalho

| Número de bicos abertos | Bicos fechados* | Espirais de trabalho |
|-------------------------------|---|-------------------------|
| 30 | | I II III IV |
| 26 | 2a 5b 7a 10b | I II III |
| 22 | 1c 3b 4d 5a | II III IV |
| 18 | 2a 5a 7a 1a 3b 5b | I III |
| 14 | 2a 5a 8a 10a 3b 4b | I IV |
| 10 | 1a 2a 3a 5a 6a 7a 8a 10a 3b 4b 5b 8b 9b 10b 1c 2c 6c 7c 4d 9d | I |

(*) - Os números e letras representam, respectivamente, tubos raios e circunferências concêntricas.

Foram estudados os efeitos do número de bicos abertos, da pressão e da posição sobre as intensidades de precipitação e coeficientes de uniformidade.

Os tratamentos foram dispostos no esquema de parcelas sub-subdivididas, com o número de bicos abertos na parcela, pressões na subparcela e posições na sub-subparcela, no delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições.

As intensidades de precipitação foram calculadas dividindo-se a média dos volumes das latas pela sua área seccional. Os coeficientes de uniformidade foram calculados usando-se a fórmula de Christiansen para estudos de aspersores, de acordo com PAIR *et alii* (6).

$$C.U. = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{m}|}{\bar{m} n} \right)$$

onde C.U. é o coeficiente de uniformidade em %, $|x_i - \bar{m}|$ é o desvio absoluto em relação à média, \bar{m} a média e n o número de pluviômetros usados. Os coeficientes de uniformidade foram calculados com os próprios volumes em centímetros cúbicos obtidos durante os testes.

Foram usados os seguintes tratamentos:

1 — Número de bicos abertos

- . 30 bicos abertos
- . 26 bicos abertos
- . 22 bicos abertos
- . 18 bicos abertos
- . 14 bicos abertos
- . 10 bicos abertos

2 — Pressões

- . 20 psi (1,40 Kg. cm⁻²)
- . 15 psi (1,05 Kg. cm⁻²)
- . 10 psi (0,70 Kg. cm⁻²)

3 — Posição

- . Posição 1
- . Posição 2

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Coeficientes de Uniformidade

Os coeficientes de uniformidade, para as diversas combinações testadas, foram calculados utilizando-se os dados contidos nas áreas hachuradas da Figura 5.

Os coeficientes de uniformidade decrescem da combinação maior pressão maior número de bicos abertos. Tal diminuição, entretanto, não ocorreu gradativamente, em razão da maior ou menor superposição dos leques de precipitação. Quanto menor for a pressão, menor será a abertura dos leques e menor a sua su-

perposição para um determinado número de bicos abertos, provocando pequenas faixas de precipitações concentradas, com prejuízos para os coeficientes de uniformidade. O mesmo problema de superposição foi observado quando se variou número de bicos abertos para uma dada pressão.

A escolha da região de trabalho para o cálculo dos coeficientes de uniformidade foi feita de determinações preliminares dos dados dos testes, optando-se pelas áreas hachuradas da Figura 5, que representavam valores médios para as diversas combinações. Na realidade, cada combinação tem sua própria região ótima, porém difícil de ser perfeitamente delimitada. Apesar de pequenas variações das áreas ideais para as utilizadas, tais alterações parecem explicar o fato de os coeficientes das combinações de 22 e 18 bicos abertos terem apresentado valores maiores do que os das de 30 a 26 bicos abertos.

A análise de variância mostrou que os valores de F para número de bicos e pressão foram significativos ao nível de 5% de probabilidade. Também foram significativas, ao mesmo nível, as interações número de bicos abertos x pressão e pressão x posição.

O valor de F para posição não foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, assim como o valor de F para a interação tripla número de bicos abertos x pressão x posição.

Os coeficientes de variação apresentam valores baixos, indicando boa precisão na realização do trabalho.

Como a interação tripla não deu resultado significativo, foram decompostas as interações duplas, estudando-se o efeito de posição dentro de pressão e de pressão dentro de número de bicos abertos.

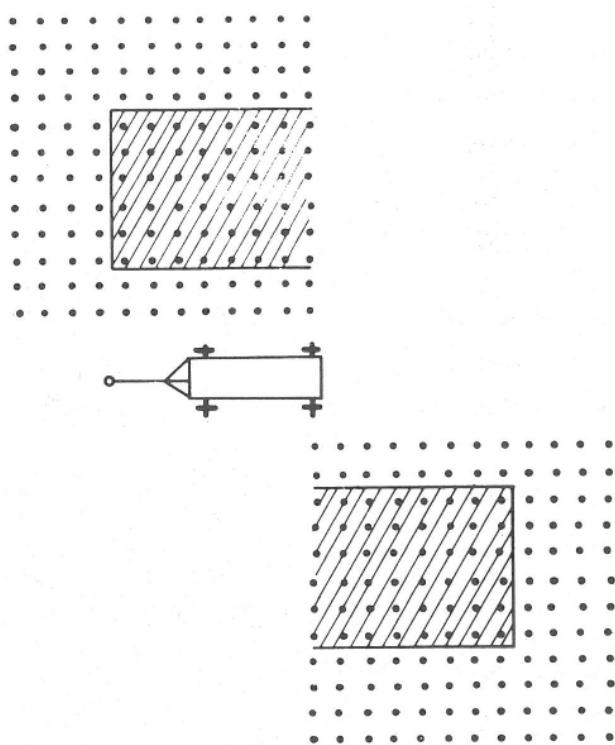


FIGURA 5 - Áreas de trabalho utilizadas para o cálculo dos coeficientes de uniformidade e intensidades de precipitação.

As análises de variância das decomposições encontram-se relacionadas nos Quadros 2 e 3.

No estudo do efeito de posição dentro de pressão o teste de F foi suficiente, pois a comparação foi feita entre dois tratamentos apenas. Já no estudo do efeito da pressão dentro de número de bicos abertos, foi necessário aplicar o teste de Tukey, para comparação de médias, como se vê no Quadro 4.

O exame do Quadro 2 mostra que houve significância do efeito de posição dentro da pressão 20 e dentro da pressão 10, ambas ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 2 - Análise de variância do efeito de posição dentro de pressões

| Fontes de variação | Graus de liberdade | Soma de quadrados | Quadrado médio | F |
|------------------------|--------------------|-------------------|----------------|----------|
| Posição d. de P_{20} | 1 | 2,52 | 5,52 | 7,25* |
| Posição d. de P_{15} | 1 | 5,15 | 2,15 | 2,82 n.s |
| Posição d. de P_{10} | 1 | 3,42 | 3,42 | 4,50* |
| Erro (c) | 54 | 41,11 | 0,76 | |

(*) - significativo ao nível de 5% de probabilidade

(n.s.) - não significativo

Para a pressão 20, a posição 2 teve melhor média de coeficientes, enquanto que para a pressão 10 a posição 1 foi melhor. Isto pode ser explicado pela declividade do solo onde foi localizado o simulador. Os tubos raios giravam a uma altura de 2,30 m em relação ao centro da área de trabalho na posição 1, e a 2,60 m em relação ao centro da área correspondente na posição 2. Na pressão de 20 psi, os leques tiveram maior superposição na posição 2. Eles permaneceram formados e foram interceptados pelo plano do solo a maior distância dos bicos, daí a maior superposição. Já na posição 1 ocorreu o inverso, os leques foram interceptados a menor distância dos bicos, com menor superposição. Na pressão de 10 psi, os resultados foram diferentes pela tendência dos leques em se desfazerem, em consequência da baixa pressão. Daí, quanto menor for a distância do plano do solo em relação ao bico, maior será a possibilidade de intercepção de um leque ainda formado, com melhor superposição. Tais variações foram observadas apenas nos dois extremos, não ocorrendo para a pressão de 15 psi.

Este problema terá efeito nas utilizações do simulador em estudos de arraste de partículas. As áreas trabalhadas terão declive, às vezes acentuados, fazendo com que haja variação dos coeficientes de uniformidade ao longo das parcelas. O efeito, entretanto, não será muito prejudicial à uniformidade, desde que não se utilizem parcelas muito alongadas no sentido do declive.

As significâncias do Quadro 3 foram provocadas pelas variações de superposição causadas pelas três pressões utilizadas, resultando médias variáveis para os coeficientes de uniformidade, conforme o Quadro 4. Apenas as variações de pressão dentro de 26 e 10 bicos abertos não apresentaram resultados significativos, sugerindo, possivelmente, que as áreas de trabalho ficaram muito próximas das ideais para tais combinações.

Com relação à influência dos fatores meteorológicos, apenas velocidade de vento foi analisada com mais cuidado, em razão de sua indiscutível capacidade para provocar alterações na queda das gotas de chuva. Temperatura, umidade relativa e nebulosidade foram tomadas apenas como precaução para evitar ex-

tremos.

No caso de simulador, foi observada uma tendência de os leques de precipitação se desfazerem para velocidade de vento em torno de 10 km.h⁻¹.

A velocidade de 10 km.h⁻¹ pode ser considerada apenas como valor médio máximo para as diversas pressões, não devendo ser admitida com o simulador. Em pressões altas, os leques resistiram velocidades maiores do que em pressões baixas, ocorrendo, entretanto, a formação de nevoeiro deslocando-se com o vento, em pressões de 20 psi. Isto em consequência da maior pulverização das gotas em pressões altas.

Não ocorre muita variação no coeficiente de uniformidade e na intensidade de precipitação quando a velocidade aumenta e diminui rapidamente, desde que

QUADRO 3 - Análise de variância do efeito de pressões dentro de números de bicos abertos

| Fontes de variação | Graus de liberdade | Soma de quadrados | Quadrado médio | F |
|-----------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------|
| Pressões d. B ₃₀ | 2 | 118,15 | 29,07 | 44,41 ** |
| Pressões d. B ₂₆ | 2 | 6,60 | 3,30 | 2,48 n.s. |
| Pressões d. B ₂₂ | 2 | 111,63 | 55,81 | 41,86 ** |
| Pressões d. B ₁₈ | 2 | 159,03 | 79,51 | 59,78 ** |
| Pressões d. B ₁₄ | 2 | 54,66 | 27,33 | 20,54 ** |
| Pressões d. B ₁₀ | 2 | 1,29 | 0,64 | 0,48 n.s. |
| Erro (b) | 36 | 47,91 | 1,33 | |

(**) - Significativo ao nível de 1% de probabilidade

(n.s.) - não significativo

QUADRO 4 - Comparação de médias de pressões dentro de número de bicos abertos

| Número de bicos abertos | Médias* | | |
|-------------------------|---------|---------|---------|
| | 20 psi | 15 psi | 10 psi |
| 30 | 95,41 a | 92,86 b | 89,98 c |
| 22 | 94,51 a | 92,16 b | 89,23 c |
| 18 | 95,79 a | 95,06 a | 90,00 b |
| 14 | 89,11 a | 89,22 a | 85,97 b |

(*) - as médias, na mesma linha, seguidas pela mesma letra, não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey (d.m.s. = 1,41).

o tempo de alteração seja praticamente insignificante em relação ao tempo total de funcionamento.

3.2. *Intensidades de Precipitação*

As intensidades de precipitação para as diversas combinações testadas, foram calculadas utilizando-se os dados contidos nas áreas hachuradas da Figura 5.

O primeiro problema apresentado foi manter uma pressão realmente constante durante o tempo de funcionamento. Como foi explicado, a pressão era regulada, o conjunto era desligado para colocação dos pluviômetros em posição de trabalho, e depois era novamente ligado para inicio de teste. Logo que começava a sair água nos bicos, começava-se, também, a contar o tempo. Isto já provocava um erro na intensidade de precipitação posteriormente calculada, visto que a pressão demorava um pouco a atingir o valor regulado, às vezes nem atingia realmente, necessitando de ligeira correção pela abertura do registro de linha. Tal fato ocorria, principalmente, nas pressões de 10 psi com 10 bicos abertos.

Outro fato observado foi a oscilação no ponteiro do manômetro nas pressões de 10 psi com 10 bicos abertos, dificultando a regulagem do valor desejado. Tal fato pode ser explicado pela necessidade de se estrangular muito o fluxo pelo fechamento do registro, provocando forte turbulência na água que acabava afetando o manômetro.

No final da operação, após fechado o registro, os bicos ainda continuavam a soltar água, às vezes até durante um minuto, nas pressões de 20 psi, com 30 bicos abertos, apesar deste tempo não estar mais sendo contado. Esta pode ter sido outra causa de erro nas intensidades de precipitação calculadas.

Outra dificuldade encontrada foi o controle da velocidade de rotação do simulador. Procurou-se mantê-la em 7 r.p.m., mas não foi possível evitar pequenas oscilações durante os testes. Isto pode justificar também as variações nas taxas de precipitação de um teste para outro.

A dificuldade no controle da rotação está no fato de que há uma aceleração do movimento, fazendo com que, em determinado momento, o motor passasse a funcionar como freio. Esta frenagem altera a rotação em alguns casos e faz vibrar todo o conjunto.

Todos estes problemas apresentados parecem justificar o fato de muitos simuladores de chuva utilizarem pluviômetros durante os testes para estudos de arraste de partículas (11).

Não foi feita decomposição da interação significativa, por não haver interesse, já que a escolha de uma taxa ou outra ficará na dependência ou na aceitação de um determinado coeficiente de uniformidade.

Apenas merece comentário o fato de a posição ter dado efeito significativo ao nível de 5% de probabilidade com média da posição 2 maior do que da posição 1. Isto foi provocado pela grande superposição de leques nas combinações de pressão elevadas e maior número de bicos abertos, fazendo com que os pluviômetros fossem atingidos por diversos leques em seus movimentos giratórios.

Quanto à influência dos fatores meteorológicos, são válidos os mesmos comentários feitos para coeficientes de uniformidade.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo estudar o comportamento do simulador de chuvas rotativo, de acordo com o modelo da Universidade de Nebraska.

Foram determinados os coeficientes de uniformidade e as intensidades de precipitação para as diversas combinações de pressão e número de bicos, visando a obter informações úteis para futuras utilizações do simulador em trabalhos de conservação de solo, principalmente em estudos de arraste de partículas.

Os resultados desta calibração permitiram a confecção da tabela do Quadro 5 com valores médios para as áreas de trabalho determinadas como melhores, conforme a Figura 6.

Os testes executados permitiram, também, observações sobre o comportamento do simulador em vários aspectos, podendo-se concluir que:

1. O simulador em estudo apresenta boa uniformidade de distribuição de pre-

cipitação nas áreas de trabalho;

2. As intensidades de precipitação são elevadas, porém de acordo com as comumente utilizadas em estudos de arraste de particulais;

3. As intensidades de precipitação são dificeis de se controlar somente com fixação de pressão e número de bicos abertos, indicando a necessidade de sua medição durante os estudos aplicados à conservação de solos. Esta medição, possivelmente, deverá ser feita com três pluviômetros de 25 mm de largura, colocados transversalmente sobre cada área de trabalho;

4. A velocidade do vento exerce influência no comportamento dos leques de precipitação formados pelos bicos, devendo os trabalhos serem feitos apenas quando as médias para cada 5 min forem inferiores a $2,2 \text{ Km.h}^{-1}$;

5. Em estudos onde as parcelas do trabalho estiverem em declives fortes, aconselha-se reduzir ao mínimo possível o seu comprimento no sentido de declive, a fim de não prejudicar muito a uniformidade de distribuição da precipitação ao longo delas.

5. SUMMARY

This study was carried out at the Federal University of Viçosa to evaluate the operation of a rotating rainfall simulator similar to the model used at the University of Nebraska. Uniformity coefficients and precipitation rates were

QUADRO 5 - Valores médios de coeficientes de uniformidade e intensidades de precipitação

| Bicos abertos | Pressões | | Coeficientes de uniformidade | Intensidades de precipitação (mm/h) |
|---------------|----------|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| | Psi | Kg/cm ² | | |
| 30 | 20 | 1,4 | 95 | 178 |
| | 15 | 1,0 | 93 | 142 |
| | 10 | 0,7 | 90 | 108 |
| 26 | 20 | 1,4 | 91 | 173 |
| | 15 | 1,0 | 91 | 142 |
| | 10 | 0,7 | 90 | 108 |
| 22 | 20 | 1,4 | 94 | 122 |
| | 15 | 1,0 | 92 | 100 |
| | 10 | 0,7 | 89 | 70 |
| 18 | 20 | 1,4 | 96 | 122 |
| | 15 | 1,0 | 95 | 93 |
| | 10 | 0,7 | 90 | 66 |
| 14 | 20 | 1,4 | 89 | 87 |
| | 15 | 1,0 | 89 | 70 |
| | 10 | 0,7 | 86 | 50 |
| 10 | 20 | 1,4 | 80 | 77 |
| | 15 | 1,0 | 80 | 66 |
| | 10 | 0,7 | 81 | 47 |

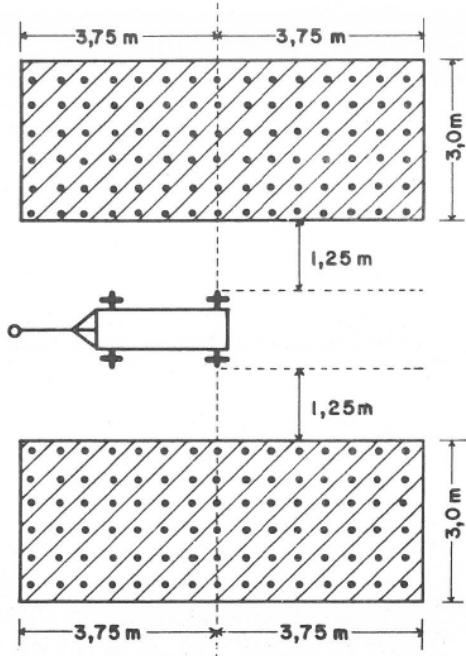


FIGURA 6 - Áreas para localização das parcelas de trabalho.

determined for several combinations of nozzles. These results may be useful in future rainfall simulator research applied to soil conservation, principally concerning small particle erosion.

Results indicated that the simulator provides uniform rainfall distribution under adopted test conditions. As wind velocities had a pronounced effect on nozzle spray, data was only collected during wind velocities of less than 2.2 km/hr. Rainfall intensities proved somewhat higher than those normally used in small particle erosin tests and were difficult to control simply by varying the number of nozzles and nozzle pressure. This suggests the necessity to measure actual intensities during soil conservation related tests. Where studies are carried out on steep inclines, it is advisable to orient the study plots with the smallest dimension of each in the direction of the incline to maintain uniform rainfall distribution.

6. LITERATURA CITADA

1. BERTONI, J. Sistemas coletores para determinação de perdas por erosão. *Bragantia*, 9(4):147-155. 1949.
2. EKERN, P.C. Raindrop impact as a force initiating soil erosion. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 15:7-10. 1950.
3. FREE, G.R. Soil movement by raindrops. *Agric. Eng.* 33(8):491-494. 1952.
4. MAGNANINI, A. Conservação dos solos. *Boletim Informativo da Fundação Brasileira de Conservação da Natureza*. 2:9-11. 1967.
5. MEYER, L.D. & WISCHMETER, W.H. Mathematical simulation of the process of soil erosion by water. *Trans. of the ASAE*. 12(6):200-206. 1969.

6. PAIR, C.H., HINZ, W.W., REID, C. & FROST, K.R. *Sprinkler irrigation*. 3 ed. Washington D.C., Sprinkler Irrigation Association, 1969. 444 p.
7. PARR, J.F. & BERTRAND, A.R. Water infiltration into soils. *Adv. in Agronomy*. 12:311-358. 1960.
8. REMENIERAS, G. *L'hydrologie de l'ingenieur*. Paris, Editions Eyrolles, 1970. 456 p.
9. SILVA, T.C. & VIEIRA, C. Influência da adubaçāo verde intercalar e do manejo da palhada sobre as perdas por erosāo na cultura do milho. *Rev. Ceres*. 19(106):416-423. 1972.
10. SMITH, D.D. Rainfall simulation. *Agric. Eng.* 45(11):618-619. 1964.
11. SWANSON, N.P., DEDRICK, A.R., HAY, D.R. & DUDECK, A.E. *Protecting steep construction slopes against water erosion*. Lincoln, Northern Plains Branch, Soil and Water Conservation Research Division, 1967. 51 p. (Progress Report 2).
12. WISCHMETER, W.H. A rainfall erosion index for use in a universal soil-loss equation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23(3):246-249. 1959.