

---

## Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil

### *Development and validation of a portable rainfall simulator*

Renato Beppler Spohr<sup>1</sup>, Adão Leonel Mello Corcini<sup>2</sup>, Jardel Pellegrin<sup>3</sup>, Jeferson Borssa Bonfanti<sup>4</sup>,  
Maurício Frigo Dal Soto<sup>5</sup> e Tailan Cardoso<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Professor do Dpto de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) campus Frederico Westphalen. renatospohr@smail.ufsm.br

<sup>2</sup> Professor do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

<sup>3,4,5</sup> Alunos do curso Técnico em Agropecuária do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

<sup>6</sup> Aluno do curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, campus Frederico Westphalen, RS, Brasil

Recebido: 17/03/14 - Revisado: 14/05/14 - Aceito: 19/11/14

---

### **RESUMO**

*Simuladores de chuvas são equipamentos que permitem simular as condições típicas de chuvas naturais e para serem validados, devem produzir gotas de diâmetro médio similar àquelas da chuva natural, apresentar velocidade de impacto das gotas no solo o mais próximo possível da velocidade terminal das gotas de chuva, produzir precipitações com energia cinética próxima à da chuva natural e promover distribuição uniforme da precipitação sobre a parcela experimental em estudo. O objetivo deste trabalho é desenvolver, construir, calibrar e testar um pequeno simulador portátil de chuva. O simulador controla a intensidade de chuva por uma válvula solenoide acionada por um temporizador digital cíclico. A relação entre o tempo de abertura e fechamento da válvula solenoide permitiu simular chuvas que variaram de 63 a 106 mm/h. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen, Estatístico e Distribuição obtidos nos testes do simulador de chuvas foram considerados adequados e indicam haver uma boa uniformidade de distribuição das gotas produzidas. Observou-se uma relação muito próxima entre a energia cinética da gota da chuva produzida pelo simulador e a chuva natural. Dessa forma, o simulador de chuvas desenvolvido atende os requisitos técnicos estabelecido na literatura podendo ser utilizado em diversos trabalhos nas ciências agrárias e ambientais.*

**Palavras Chave:** Chuva efetiva. Escoamento superficial. Perdas de solo e água

### **ABSTRACT**

*The validation of the rainfall simulator should produce average drop diameter with impact velocity and kinetic energy of impact similar to drops in natural rainfall. The objective of this work is develop, build, calibrate and test a small portable rainfall simulator. The rainfall intensity is controlled with a solenoid valve and a cyclic digital timer. Close-open relation range of the solenoid valve can produce rainfalls between 63 and 106 mm/h. The Christiansen, Statistical and Uniformity coefficients were considered appropriate and with a good uniformity of water distribution. The agreement between simulated and natural rainfall kinetic energy was a good relationship. Thus, the rainfall simulator developed meets the technical requirements established in the literature and can be used in many agricultural and environmental sciences tasks.*

**Keywords:** Effective rainfall. Runoff. Soil and water losses

## INTRODUÇÃO

Estudos sobre o efeito das chuvas em atributos do solo são difíceis de serem realizados com chuva natural, pois não se tem controle sobre a duração, intensidade, distribuição e tipo de chuva. Uma alternativa que se apresenta é a utilização de simuladores de chuvas que permitem controlar as características das mesmas e têm a vantagem de poderem ser utilizados a qualquer tempo. Este tipo de equipamento já vem sendo utilizado em estudos de manejo de solos desde 1930 (HUDSON, 1993; SOUZA, 2004).

Como existem poucos fornecedores comerciais, os pesquisadores costumam construir seus próprios simuladores de chuva. No entanto, existe uma grande quantidade de documentação sobre a construção e ensaio de simuladores de chuva, por isso é mais prático analisar projetos anteriores em vez de começar do zero. Qualquer consideração sobre a adequação do uso de simuladores de chuvas começa por definir exatamente que informação é necessária. Por exemplo, em estudos de infiltração e do escoamento superficial não é necessário que as chuvas simuladas tenham exatamente as mesmas características da chuva natural. Em estudos envolvendo processos erosivos é importante que as características da chuva simulada sejam semelhantes às de uma chuva natural. O tamanho necessário das parcelas para os testes pode determinar o melhor tipo de simulador, por exemplo, pequenas parcelas podem ser adequadas para estudos sobre a erodibilidade quando são comparados diferentes tipos de cobertura do solo. Entretanto, para caracterização e manejo de uma bacia hidrográfica seriam necessárias parcelas maiores e representativas do local (HUDSON, 1993).

O simulador de chuvas é considerado o método de determinação da infiltração de água no solo que melhor representa uma realidade local. Dessa forma, deve simular as condições típicas de chuvas naturais, como velocidade de impacto e distribuição do tamanho das gotas da chuva, intensidade de precipitação, ângulo de impacto das gotas e capacidade de reproduzir a intensidade e a duração das chuvas intensas (BRANDÃO; PRUSKI; SILVA, 2004).

Segundo Meyer e McCune (1958) citado por Montebeller et al. (2001) para os simuladores de chuva serem considerados equipamentos importantes, eles devem produzir gotas de diâmetro médio similar àquela da chuva natural, apresentar velocidade de impacto das gotas no solo o mais próximo possível da velocidade terminal das gotas de chuva, produzir precipitações com energia cinética próxima à da chuva natural e promover distribuição uniforme da precipitação sobre a parcela experimental em estudo. Por isso, para que um simulador seja considerado satisfatório, concluíram que o mesmo deve apresentar relação entre a energia cinética da precipitação simulada e aquela da chuva natural acima de 75%. Além disso, diversos pesquisadores consideram que valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) acima de 80% são aceitáveis para a uniformidade de distribuição em simuladores de chuva e infiltrômetros de aspersão. Segundo Alves Sobrinho, Ferreira e Pruski (2002), para que um simulador de chuvas seja considerado adequado, é necessário que ele: i) aplique água de modo contínuo na parcela experimental ou, no mínimo, execute duas

aplicações por segundo compondo, assim, uma aplicação não intermitente; ii) permita o uso de parcela experimental com área superior a 0,50 m<sup>2</sup>. Objetiva-se com esse trabalho desenvolver, construir, calibrar e testar um simulador de chuva pendular de pequenas dimensões.

## MATERIAL E MÉTODOS

O simulador de chuva consiste de uma armação metálica retangular apoiada sobre quatro pernas reguláveis para uma altura de 2,9 m sobre a superfície do solo (Figura 1). No centro da armação há um bico aspersor tipo Veejet, 80.100 da Spraying Systems Company que oscila movido por um braço



Figura 1 - Detalhe do simulador de chuva com bico pendular e estacionário e das calhas com espaço útil de 1,2 × 1,0 m, subdividido em três parcelas de 0,4 × 1,0 m instaladas sob o simulador de chuvas

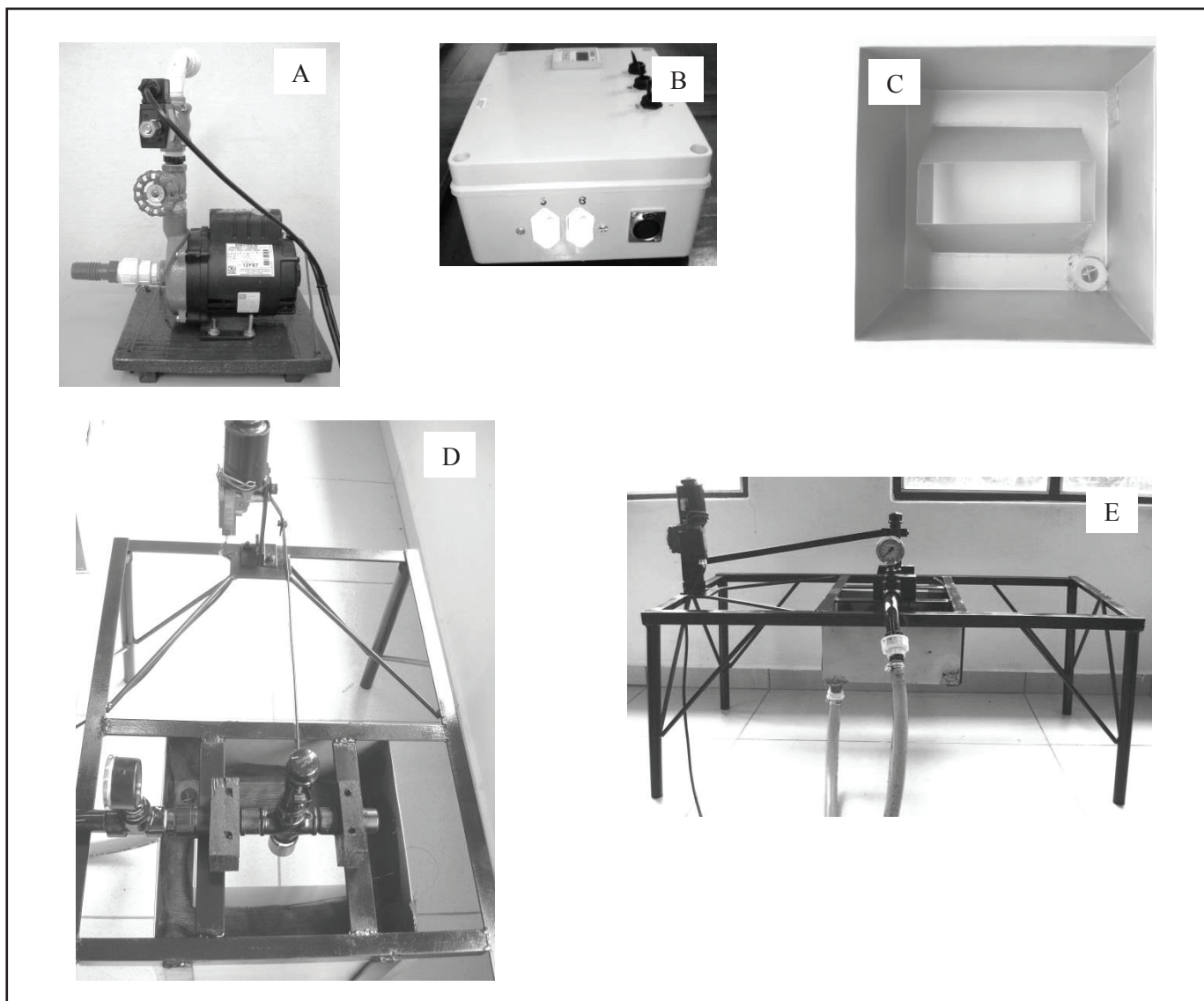


Figura 2 - Detalhe da moto bomba (A) e da válvula solenoide controlada por um temporizador digital cíclico instalado em uma caixa de termoplástico (B), da calha de recolhimento do excesso de água com abertura para passagem da água do bico aspersor (C), do detalhe do bico aspersor e do motor elétrico responsável pela oscilação do bico (D) e da estrutura principal do simulador de chuvas (E)

mecânico acionado por um motor de 12 volts (Figuras 2E e 2D). Em funcionamento, esse bico oscila sobre uma área útil de 1,2 m<sup>2</sup> (1,0 × 1,2 m) a uma frequência de 24 ou 48 oscilações por minuto (Figura 1). A intensidade de chuva é controlada por uma válvula solenoide (Figura 2A) acionada por um temporizador digital cíclico (Figura 2B). A relação entre o tempo de abertura e fechamento da válvula solenoide permite simular chuvas que variam de 63 a 106 mm/h. O temporizador digital e as tomadas de energia (para a motobomba, para o motor de 12 volts e para a válvula solenoide) foram montadas em uma caixa de passagem em termoplástico com chave individual para cada tomada de energia (Figura 2B). Parte da água utilizada retorna ao reservatório a partir de uma calha de recolhimento instalada 5 cm abaixo do bico (Figura 2C). Essa calha possui uma abertura de 7,5 cm por onde o jato de água passa em direção a superfície do solo. A água é conduzida de um reservatório de 70 litros para o bico aspersor através de mangueira flexível de 20 mm de diâmetro

(<sup>3</sup>/<sub>4</sub> de polegada) e utilizando-se uma motobomba (Figura 2A) de 367 W (½ CV). A motobomba é alimentada por um gerador de eletricidade capaz de produzir 1200 W.

A calibração do simulador de chuva foi realizada coletando-se a precipitação pluvial em diferentes intensidades de chuvas. Foram utilizados 72 coletores dispostos sob o simulador de chuvas, espaçados em 20 cm formando uma malha de coletores de 1,6 x 1,4 m. O tempo de aplicação de água foi de 10 minutos, sendo que as pressões utilizadas foram de 20, 30 e 40 kPa. Ao final de cada teste, os copos com os volumes de água coletados eram pesados em uma balança digital com precisão e resolução de 1 g. Em cada teste, a intensidade média de precipitação de água foi determinada pela relação entre a lâmina média de água obtida nos coletores e o tempo de aplicação. Foram calculados o CUC, o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) e o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) para cada intensidade testada (BERNARDO, 2008).

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{n \times \bar{X}} \right), \quad (1)$$

$$CUD = 100 \frac{\bar{x}_{25}}{\bar{X}}, \quad (2)$$

$$CUE = 100 \left[ 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)\bar{X}^2}} \right], \quad (3)$$

onde:  $X_i$  é a precipitação observada em cada coletor,  $\bar{X}$  é a média das precipitações,  $n$  é o número de coletores,  $\bar{x}_{25}$  é a média de 25% do total de coletores com as menores precipitações.

Na determinação do diâmetro médio volumétrico de gotas foi utilizado o método da farinha, descrito por Oliveira (1991) citado por Montebeller et al. (2001). Este método consiste na exposição de recipientes contendo farinha de trigo por 3 a 4 segundos sob as gotas da chuva formada pelo bico aspersor do simulador de chuva posicionado a 2,9 m de altura. Para cada determinação foram utilizadas três bandejas com farinha de trigo, que foram passadas sob o jato de gotas pulverizadas pelo bico, a 0,22 m da superfície do solo, para evitar respingos. Dessa forma há a formação de grânulos de farinha que foram secos ao ar por 24 horas. Depois de secados ao ar os grânulos foram separados por peneiramento, utilizando-se as peneiras 4,75; 2; 1; 0,85; 0,42 e 0,25mm e depois secos em estufa por 24h (105 – 110 °C) sendo, então pesados em balança eletrônica analítica com precisão de 0,0001 g, obtendo-se a massa média dos grânulos. Os testes foram realizados com o bico submetido às pressões de 20, 25, 30, 35 e 40 kPa. A pressão foi medida a 0,10 m da saída do bocal, utilizando-se um manômetro antivibrante preenchido com glicerina, provido de mostrador de 50 mm e escala de 0 a 100kPa.

A contagem do número de grânulos por peneira foi realizada utilizando-se fotografias digitais. Os grânulos na cor branca foram distribuídos sobre um tecido preto fosco que proporcionava alto contraste na imagem. As fotografias obtidas foram processadas no programa ArcGIS (ESRI, 2011) utilizando-se a ferramenta de classificação não supervisionada e a partir disso obteve-se o número de grânulos por peneira. Utilizando a relação entre massa de grânulo e diâmetro de gota estabelecido por Conceição (2002) foi possível determinar a diâmetro médio de gota por peneira.

O volume de água por peneira foi calculado multiplicando-se o número de gotas ou grânulos pelo volume da gota relativo a cada peneira. A partir da acumulação do volume de água por peneira em relação ao número médio de gotas retidas em cada peneira, estabeleceu-se a relação entre o volume de água acumulado e o diâmetro médio de gota retida em cada peneira, sendo possível determinar-se o  $D_{50}$ , ou seja, o diâmetro médio apresentado por 50% das gotas. De posse do  $D_{50}$  obtido para cada pressão de serviço, foi possível calcular energia de impacto sobre o solo da precipitação simulada, velocidade das gotas e a energia cinética da chuva conforme descrito por Alves Sobrinho, Ferreira e Pruski (2002) e utilizando-se o programa computacional

Enerchuva desenvolvido por Alves Sobrinho (1997).

O teste a campo do simulador de chuva foi conduzida em um solo classificado como Latossolo Vermelho distroférrico (STRECK, 2008). O tempo do início de escoamento superficial foi determinado quando um filete contínuo de água começou a escoar na calha coletora e a superfície do solo apresentou encharcamento. Durante as avaliações, as coletas dos volumes de água escoados foram realizadas em intervalos de cinco minutos. O volume de escoamento superficial foi medido até tornar-se constante ou até o tempo máximo de 120 minutos. A taxa de infiltração de água no solo foi obtida pela diferença entre a taxa de escoamento superficial e a taxa constante de aplicação da precipitação. A declividade dos locais foi determinada em cada ensaio, com a utilização de um nível de mangueira. A umidade inicial do solo, antes de cada chuva simulada, foi determinada a partir da coleta de amostras deformadas da camada superficial do solo (0 a 10 cm). A determinação da umidade volumétrica correspondente à capacidade de campo foi determinada coletando-se amostras indeformadas de solo 24 horas após uma chuva de 60 mm. A determinação da umidade volumétrica foi realizada utilizando-se metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Os resultados de escoamento superficial no solo obtidos através do simulador de chuva foram ajustados com a utilização da equação derivada do modelo matemático determinado por Smith (equação 4), conforme descrito por Carlesso et al. (2011):

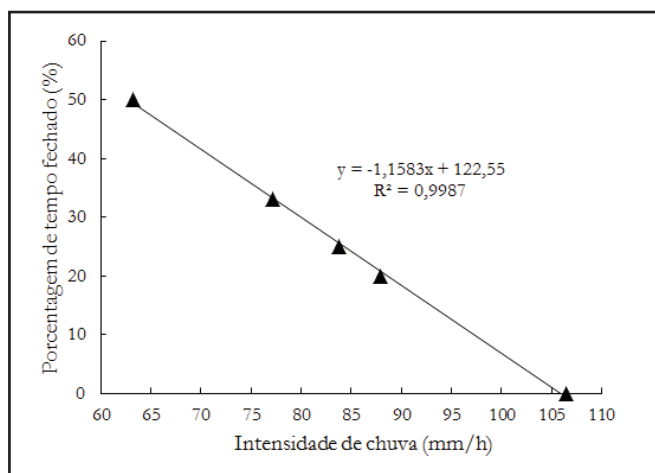
$$e = e_c \left\{ 1 - \left( \frac{t_e}{t} \right)^b \right\} \text{ para } t > t_e, \quad (4)$$

onde,  $e$  é a taxa de escoamento superficial em um tempot (mm/h);  $e_c$  é a taxa constante de escoamento superficial (mm/h);  $t_e$  é o tempo de início de escoamento da água sobre a superfície do solo (minutos);  $t$  é o tempo após o início do escoamento (minutos) e  $b$  é o parâmetro de ajuste do modelo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, após a montagem do simulador de chuva foram realizados os testes de uniformidade de distribuição e intensidade de precipitação utilizando-se diferentes pressões de serviço (20,30 e 40 kPa) e diferente número de oscilações do bico VeeJet 80-100 (24 e 48 oscilações/min). Observou-se que o número de oscilações provocou uma variação em torno de 3 % na intensidade de precipitação. A utilização de diferentes pressões de serviço 20, 30 e 40 kPa provocaram intensidade de precipitação de 95, 108 e 115 mm/h, respectivamente. A variação na pressão de serviço gerou uma variação máxima de aproximadamente 17,3 % na intensidade de precipitação. Essa amplitude na intensidade é pequena para ser utilizada em testes de campo com simulador de chuvas, neste sentido optou-se pela utilização de uma válvula solenoide para controle e automação da passagem de água para o bico aspersor do simulador de chuvas. Dessa forma, o controle da intensidade de precipitação passou a ser realizado pela variação de tempo de abertura e fechamento da válvula solenoide posicionada na saída da moto bomba responsável pelo recalque da água do reservatório até o

bico aspersor. Essa relação foi estabelecida fixando-se o tempo de fechamento em 2,5 segundos e o tempo de abertura em 2,5; 5; 7,5 e 10 segundos, respectivamente, 50%, 33, 25 e 20% do tempo fechado (Figura 3). A pressão foi mantida em 30 kPa e o controle de tempo foi realizado com um temporizador digital cíclico. Quando a válvula solenoide permanecia aberta ininterruptamente, a intensidade de precipitação produzida era de 106 mm/h. Assim, foi possível produzir uma intensidade de precipitação que varia de 63 a 106 mm/h. Com esta amplitude de intensidade de precipitação é possível simular uma gama maior de eventos de chuva tornando os testes mais próximos das condições de chuva natural.



**Figura 3 - Relação entre a intensidade de precipitação e a porcentagem de tempo em que a válvula solenoide permanece fechada**

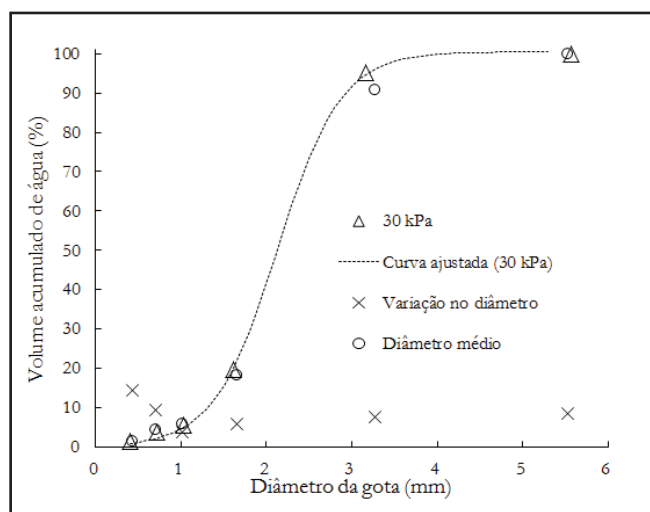
Utilizando-se de diferentes intensidades de precipitação foram realizados os testes de uniformidade de distribuição de água em uma parcela útil de 1,4 x 1,6 m. Utilizando-se uma chuva simulada de 106 mm/h (valor médio), observou-se um maior volume de água depositado na região central da área ocupada com os coletores, com valores superiores a 145 mm/h e nas extremidades esses valores chegam a 32 mm/h. Nessa condição, utilizando-se os valores dos 72 coletores, o CUC foi de 74,4%. Este valor é considerado baixo, pois segundo a literatura deve-se utilizar como critério valores superiores a 80%. Diante disso adotou-se a alternativa de reduzir a área a ser utilizada sob o simulador de chuva para uma parcela útil de 1,0 x 1,2 m. Os resultados de CUC, CUE e CUD melhoraram significativamente (Tabela 1). Observa-se que todos os coeficientes aumentaram na medida em que houve um incremento na intensidade de precipitação. Os valores do CUE e CUD foram ligeiramente menores que os valores do CUC. Segundo Bernardo (2008) que propôs expressões para relacionar os coeficientes, os valores de CUE e CUD mantém uma relação com o CUC, devendo ficar acima de 75 e 68%, respectivamente, para a uniformidade de distribuição ser considerada satisfatória. Rezende (1992) afirma que o fato do CUD ser sempre menor que o CUC é inerente às variáveis das equações utilizadas na determinação desses coeficientes, pois no cálculo de CUD consideram-se apenas 25% da área que recebeu menos água.

**Tabela 1 - Resultados dos índices estatísticos para diferentes intensidades de precipitação (IP)**

IP (mm/h)	CUC (%)	CUE (%)	CUD (%)
63	82,1	77,6	75,3
77	81,6	76,9	71,7
84	81,2	76,5	74,3
88	80,3	75,3	71,8
106	84,6	80,7	76,6

Os resultados de diâmetro médio de gota ( $D_{50}$ ) variaram pouco em função das diferentes pressões utilizadas, ou seja, para 20, 25, 30, 35 e 40 kPa os valores foram de 2,7; 2,1; 2,1; 2,3 e 2,4 mm, respectivamente. Estes resultados indicam não haver grande influência da variação de pressão no diâmetro médio de gota uma vez que, a diferença de 20 kPa, entre a maior e a menor pressão utilizada, representa pouco para um bico com abertura grande (6,2 mm) e que segundo o fabricante, pode operar a pressões que variam de 30 a 3500 kPa. Estes resultados estão muito próximos aos citados por Carvalho et al. (2012), Cerdà, Ibáñez e Calvo (1997), Hudson (1993) e Meyer e Harmon (1979).

Na figura 4 é apresentada a média do volume de água acumulado para os diâmetros de gota e a variação relativa de diâmetro ocorrida nas cinco pressões testadas. Adicionalmente, é apresentado o diâmetro de gota apenas para a pressão de 30 kPa. Observa-se a pequena variação dos valores do diâmetro de gota para a pressão de 30 kPa em relação à média da cinco pressões testadas. O desvio padrão para as cinco pressões testadas foi maior para os maiores diâmetros uma vez que, este indicador usa valores absolutos no cálculo. Porém, em termos relativos, a maior variação (provocado pela mudança na pressão), 15%, ocorreu no diâmetro da primeira peneira (0,25 mm) que resultou em um diâmetro médio de gota de 0,43 mm. Para as demais peneiras, o efeito da variação da pressão no diâmetro de gota



**Figura 4 - Relação entre diâmetro de gota e volume acumulado para a pressão de 30 kPa, para a média e a variação relativa no diâmetro em função das cinco pressões testadas (20, 25, 30, 35 e 40 kPa)**

provocou variações inferiores a 10%. Isto comprova o reduzido efeito de diferentes pressões (de 20 para 40 kPa) no diâmetro de gota. Neste caso, a variação de pressão (de 20 a 40 kPa) não afetam o diâmetro médio de gota do simulador de chuvas. Isto é importante, pois garante que pequenas oscilações na pressão, que normalmente ocorrem, não causarão efeitos significativos nas características da chuva, como o diâmetro médio, velocidade e energia cinética da gota.

A relação entre a energia cinética da chuva produzida pelo simulador e a energia cinética da chuva natural (Figura 5), correspondeu a valores acima de 84% para a pressão de 30 kPa. Na medida em que há uma redução na intensidade de precipitação, há um incremento na relação entre as energias cinéticas, chegando ao valor máximo de 88,5% para uma intensidade de 63 mm/h. Estes resultados podem ainda ser melhores na medida em que há um aumento na pressão, uma vez que haverá um incremento na intensidade da precipitação e conseqüentemente a relação entre as energias cinéticas (simulador / chuva natural) pode ultrapassar os 100% (Figura 5). Na figura 6 observa-se (exceto para a pressão de 20 kPa) um incremento na relação entre as

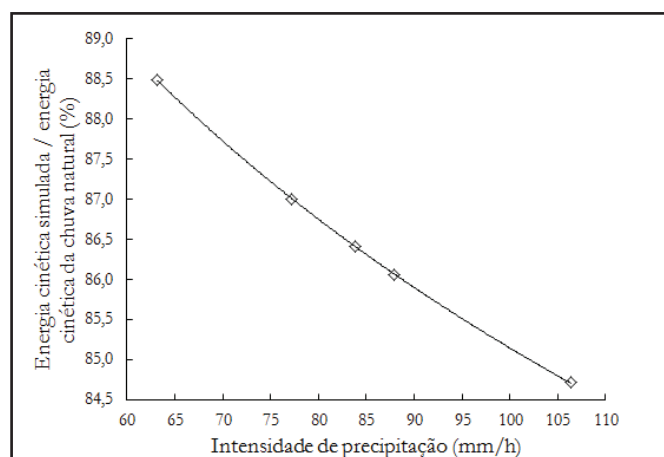


Figura 5 - Relação entre a energia cinética da gota produzida pelo simulador de chuvas a uma pressão de 30 kPa e a energia cinética da chuva natural em diferentes intensidades de precipitação

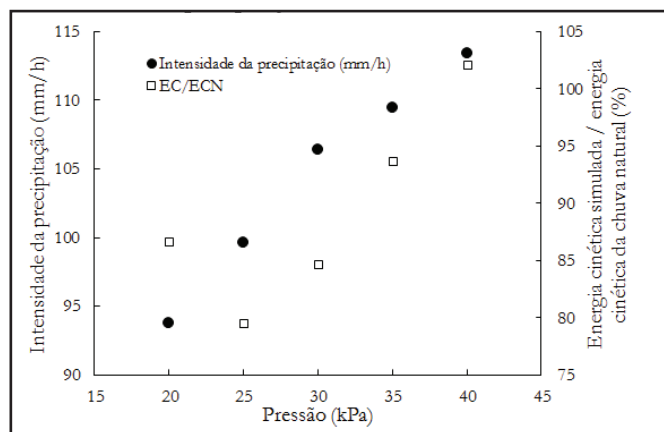


Figura 6 - Relação entre a energia cinética da gota produzida pelo simulador de chuvas e a energia cinética da chuva natural (EC/ECN) e intensidade da precipitação sob diferentes pressões de serviço

energias cinéticas a medida em que se aumenta a pressão, chegando a 102% com uma pressão de 40 kPa e uma intensidade de precipitação de 113 mm/h. Os resultados da figura 6 estão muito próximos aos encontrados por Alves Sobrinho et al. (2002) que desenvolveu um simulador de chuvas com características construtivas diferentes, porém com o mesmo modelo de bico aspersor sob uma pressão de 32,7 kPa. Com este resultado o simulador de chuvas atende e supera o critério de que a relação entre a energia cinética do simulador de chuvas e a energia natural deva estar acima de 75%.

No teste a campo o solo apresentou uma umidade inicial de 0,24 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> e a superfície do solo encontrava-se completamente coberta com aproximadamente 4000 kg/ha de resíduo vegetal de trigo. Nesta condição foi realizada uma chuva simulada de 88 mm/h para uniformizar a umidade da superfície do solo e observar o tempo de início do escoamento superficial nesta condição. Observou-se que o início do escoamento superficial ocorreu aproximadamente 15 minutos após o início da chuva. Cinco horas após a primeira chuva, com a umidade do solo em 0,54 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> realizou-se a segunda chuva simulada com a mesma intensidade (Figura 7). Nesta condição, a umidade inicial encontrava-se acima dos valores de capacidade de campo (0,48 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>). A chuva foi realizada durante 70 minutos quando se observou que os valores do escoamento superficial haviam estabilizado. Na segunda chuva, o tempo de início do escoamento superficial foi reduzido para 5 minutos. Estes resultados são decorrentes do fato da chuva antecedente ter aumentado a umidade do solo e reduzido a taxa inicial de infiltração provocando dessa forma uma significativa redução no início do escoamento superficial. Observa-se na figura 7 que o solo do local apresentou valores elevados de escoamento superficial e conseqüentemente reduzidos valores de infiltração de água. Considerando os valores finais o solo do local apresenta uma taxa de infiltração de aproximadamente 6 mm/h. Este baixo valor pode estar relacionado à elevada densidade do solo (1,38 g/cm<sup>3</sup>), com elevado teor de argila (acima de 50%) indicando se tratar de um solo compactado. A declividade do local (8,5%) também pode ter contribuído para as elevadas perdas de água por escoamento superficial.

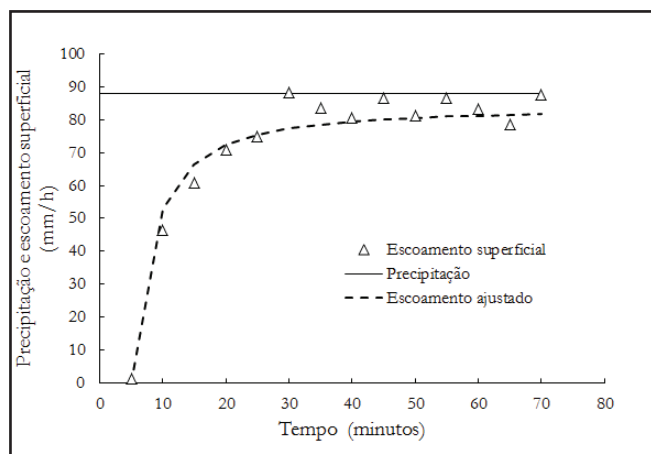


Figura 7 - Escoamento superficial observado, intensidade da precipitação e curva de escoamento superficial ajustada em função da duração da precipitação

A utilização de simuladores de chuva em trabalhos de campo esbarra muitas vezes na dificuldade de transporte para locais distantes. No caso do simulador desenvolvido obteve-se um equipamento leve e desmontável que facilmente pode ser acondicionado e transportado em um veículo de passeio. A sua estrutura metálica pesa em torno de 50 kg. Incluindo o gerador de eletricidade, motobomba, calhas, reservatório de 70 litros e acessórios, o peso não ultrapassa os 100 kg. Em relação a operação do simulador de chuvas é necessário pelo menos três pessoas. Outro aspecto de extrema importância é o efeito negativo do vento na uniformidade de distribuição da precipitação. Dessa forma é recomendável a utilização de quebra-vento próximo ao simulador. Nesse caso utilizou-se uma lona de nylon de 3,0 × 4,0 m mantida apoiada e esticada em uma estrutura de bambu. É importante ressaltar que nos locais onde será utilizado o simulador de chuvas deve haver uma fonte de água de fácil acesso. Dessa forma é possível utilizar o simulador de chuvas nas mais diversas condições e locais.

## CONCLUSÕES

O simulador de chuvas apresentou um desempenho satisfatório e atende os critérios de validação estabelecidos na literatura, ou seja, CUC maior que 80%, uma relação entre energia cinética da chuva simulada versus chuva naturais maior que 75% e parcela útil maior que 0,5 m<sup>2</sup>.

O diâmetro médio de gota ( $D_{50}$ ) produzida pelo simulador de chuvas foi de 2,3 mm e variou pouco em função das diferentes pressões utilizadas nos testes.

A utilização de uma válvula solenoide associada a um temporizador digital cíclico para o controle e a automação da passagem de água para o bico aspersor do simulador de chuvas mostrou-se eficiente e possibilitou a regulagem de diferentes intensidades da chuva.

O simulador de chuvas desenvolvido é de fácil construção, manutenção e operação. Ainda, de peso reduzido, desmontável e de fácil transporte permitindo o seu uso em diferentes locais e para diferentes propósitos.

## AGRADECIMENTO

Ao CNPq e a Vale SA pelo financiamento do projeto e concessão de bolsas através da Chamada CNPq/VALE S.A. N° 05/2012 – Forma-Engenhariaprocesso 454765/2012-6.

## REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, T. *Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil*. 1997. 85 p. Tese (Doutorado) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.

ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P. A.; PRUSKI, F. F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6, n. 2, p. 337-344, 2002.

BERNARDO, S. *Manual de Irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2008.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. P.; SILVA, D. D. *Infiltração da água no solo*. 2. ed. Viçosa: UFV, 2004.

CARLESSO, R.; SPOHR, R. B.; ELTZ, F. L. F.; FLORES, C. H. Runoff estimation in southern Brazil based on Smith's modified model and the Curve Number Method. *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 6, p. 1020-1026, Apr. 2011.

CARVALHO, M. F.; TARQUI, J. L. Z.; SILVA, V. S. LOBO, B. R. H. Avaliação do Funcionamento de um Simulador de Chuva Pelo Método da Farinha. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 17, n. 3, p. 115-124, jul./out. 2012.

CERDÀ, A.; IBÁÑEZ, S.; CALVO, A. Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. *Soil Technology*, v. 11, n. 2, p. 163-170, June 1997.

CONCEIÇÃO, M. A. F. *Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento*. 2002. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2002.

EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. 2 ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

ESRI. *ArcGIS Desktop*: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2011.

HUDSON, N. W. *Field measurement of soil erosion and runoff*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1993. (FAO soils bulletin, 68).

MEYER, L. D.; HARMON, W. C. Multiple intensity rainfall simulator for erosion research on row sideslopes. *Transactions of the ASAE*, v. 22, n. 1, p. 100-103, 1979.

MONTEBELLER, C. A.; CARVALHO, D. F.; ALVES SOBRINHO, T.; NUNES A. C. S.; RUBIO, E. Avaliação hidráulica de um simulador de chuvas pendular. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 5, n. 1, p. 1-5, jan./apr.2001.

REZENDE, R. *Desempenho de um sistema de irrigação pivô-central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo*. 1992. 86 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1992.

SOUZA, M. D. *Desenvolvimento e utilização de um simulador de chuvas para estudos de atributos físicos e químicos do solo relacionados a impactos ambientais*. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 37).

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO L. F. S. *Solos do Rio Grande do Sul*. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Emater, 2008.