

Nota

SIMULADOR DE CHUVA TIPO EMPUXO COM BRAÇOS MOVIDOS HIDRAULICAMENTE: FABRICAÇÃO E CALIBRAÇÃO⁽¹⁾

Ildegardis Bertol⁽²⁾, Camilo Bertol⁽³⁾ & Fabrício Tondello Barbosa⁽⁴⁾

RESUMO

O uso de simuladores de chuva é fundamental em estudos de erosão hídrica pluvial. Com eles é possível controlar as condições experimentais, principalmente as características da chuva, e compreender melhor o processo erosivo do solo. Vários tipos de simulador de chuva foram desenvolvidos desde 1930 no mundo. Atualmente, o tipo Swanson é o mais utilizado. No entanto, um pequeno número desses simuladores está em pleno funcionamento no Brasil, devido ao alto grau de desgaste e às dificuldades de manutenção. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um novo modelo de simulador de chuva, construído predominantemente em alumínio, desprovido de motor para rotação dos braços e movido hidraulicamente por empuxo. O simulador de chuva movido hidraulicamente por empuxo mantém em geral as características do modelo Swanson, sobretudo aquelas relacionadas às características de chuva produzida, tendo sido minimizados seu excesso de peso e a necessidade de uso de um motor a gasolina para movimento dos braços, denominado “Tipo Empuxo”. Essas características tornaram o novo modelo mais leve, econômico, silencioso e de fácil manejo na área experimental do que o modelo Swanson, sendo possível deslocá-lo com apenas quatro pessoas. A intensidade da chuva correlacionou-se linear e positivamente com a pressão da água no manômetro.

Termos de indexação: erosão hídrica, chuva simulada, energia da água.

⁽¹⁾ Financiado com recursos do CNPq. Recebido para publicação em 24 de janeiro de 2012 e aceito em 19 de setembro de 2012.
⁽²⁾ Professor Associado, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Bairro Conta Dinheiro. CEP 88520-000 Lages (SC). Bolsista do CNPq. E-mail: a2ib@cav.udesc.br
⁽³⁾ Tecnólogo em Mecânica/Fabricação, Especialista em Gerenciamento de Projetos - C & B Representações Comerciais e Projetos Industriais Ltda. CEP 88508-370 Lages (SC). E-mail: cebrepro@brturbo.com.br
⁽⁴⁾ Professor Adjunto, UDESC. E-mail: a2ftb@cav.udesc.br

SUMMARY: RAINFALL SIMULATOR THRUST TYPE WITH HYDRAULICALLY MOVED ARMS: FABRICATION AND CALIBRATION

The use of rain simulators is fundamental to study rainfall erosion. They are used to monitor the experimental conditions, particularly the rain characteristics and to understand the soil erosion process better. Several types of rainfall simulators have been developed since 1930 around the world. Currently, the Swanson model is the most commonly used. However, a small number of these simulators is fully operational in Brazil, due to the high degree of wear and difficulties of maintenance. The purpose of this study was to develop a new rainfall simulator model, made mostly of aluminum, with no motor to rotate the booms and driven by hydraulic thrust. This "water thrust" rainfall simulator maintains the general features of the Swanson model, mainly those related to the characteristics of the rainfall produced, but with less weight, making the gasoline engine to move the booms superfluous. These properties make this new model lighter, economical, quiet and easier to move about in the experimental area than the model Swanson, since it can be dislocated by only four persons. The rainfall intensity was linearly and positively correlated with the water pressure of the manometer.

Index terms: water erosion, simulated rain, water energy.

INTRODUÇÃO

Vários pesquisadores têm estudado o fenômeno da erosão hídrica pluvial em todo o mundo, tendo obtido grande quantidade de dados - a maior parte deles sob chuva simulada, tanto em campo como em laboratório, mas a maioria sob condições de chuva natural.

Os dados de erosão obtidos sob chuva natural são necessários porque são resultantes de eventos de chuva que representam as condições reais do clima da região (Hudson, 1995). No entanto, em razão da grande variação das características das chuvas em um ano e entre anos, necessita-se de um longo período de tempo para obtenção dos dados representativos das condições médias do clima de cada região (Wischmeier & Smith, 1978; Hudson, 1995). O longo período de tempo necessário para obter esses dados sob chuva natural exige persistência e uma grande equipe de pessoas treinadas, encarece o custo experimental e, não raramente, sofre com a descontinuidade, o que compromete a série histórica de dados necessária para que estes possam ser considerados confiáveis.

A chuva artificial produzida com simuladores de chuva de braços rotativos é atualmente uma alternativa adequada para obtenção de dados de erosão hídrica (Meyer, 1965; Cogo, 1981; Bertol, 1995; Barbosa, 2011) em parcela padronizada (3,5 m de largura x 11 m de comprimento, Wischmeier & Smith, 1978). Alguns autores utilizam também microssimuladores para pequenas parcelas (Benito Rueda et al., 2001; Alves Sobrinho et al., 2002). Os simuladores de chuva possibilitam a redução de trabalho e tempo necessário à obtenção dos resultados, e a eficiência da pesquisa é aumentada (Cassol & Guerra, 1978; Bertoni & Lombardi Neto, 2010), possibilitando ainda estudos mais detalhados do processo erosivo pela variação controlada da intensidade de chuva.

Vários tipos de simulador de chuva foram desenvolvidos no mundo desde 1930 (Meyer, 1958, 1960; Meyer & McCune, 1958; Swanson, 1965). Atualmente, o simulador de chuva do tipo Swanson (Swanson, 1965) é o mais utilizado, com poucos ainda em funcionamento no Brasil, pois foram construídos no século passado, entre as décadas de 1960 e 1970. O aparelho em si, além de grande, é extremamente pesado, já que praticamente toda a estrutura é construída em ferro maciço, com exceção dos braços, que são em aço galvanizado, sendo de difícil deslocamento na área experimental. Além disso, é necessário um motor a gasolina para acionar o movimento dos braços rotativos para a distribuição uniforme da chuva nas parcelas, bem como pelo menos seis pessoas para seu manejo durante o funcionamento (Bertol et al., 2010). Portanto, a modificação desse tipo de simulador é uma necessidade para a continuidade e aceleração das pesquisas em erosão hídrica pluvial no Brasil, visando melhorar as características da chuva e facilitar o manejo do simulador na área experimental.

O objetivo deste trabalho foi fabricar e calibrar um novo modelo de simulador de chuva de braços rotativos, mais leve e prático, utilizando-se predominantemente o alumínio como material e com a dispensa do uso do motor para acionamento de torre e braços.

MATERIAL E MÉTODOS

O simulador de chuva foi planejado entre maio de 2009 e janeiro de 2010, fabricado entre outubro de 2009 e abril de 2011 e calibrado em abril e maio de 2011, em Lages - SC.

A figura 1 apresenta desenhos esquemáticos do projeto, mostrando detalhes do simulador de chuva Tipo Empuxo, destacando o chassi, a torre e o

posicionamento dos braços. De modo geral, o novo simulador apresenta semelhanças com o tipo Swanson (Swanson, 1965), como o número de braços e aspersores; contudo, o projeto desenvolveu características particulares para facilitar a utilização e obter chuvas com intensidade e distribuição adequadas a estudos de erosão hídrica do solo.

Alguns detalhes do aparelho podem ser vistos na figura 2. O simulador desenvolvido contém um chassi construído em aço, sobre quatro rodas na sua base. Sobre o chassi está erguida uma torre de alumínio, por onde a água é impulsionada até os braços situados acima. Os braços, em número de 10, têm 7,5 m de comprimento cada um e são construídos em alumínio. Os braços estão radialmente distribuídos na horizontal, presos à torre por engate rápido. Os braços são sustentados por cabos de aço inoxidável para evitar o encurvamento devido à carga da água gerada dentro dos braços quando o aparelho estiver em operação. Um cabo de aço inoxidável também interliga os braços radialmente, de modo a evitar o deslocamento horizontal deles quando o simulador se encontrar em movimento operacional. Em cada braço estão dispostos três registros tipo de gaveta, em aço inoxidável. Cada registro sustenta um aspersor tipo S.S.CO. VEEJET 80/100, em aço inox, rosqueado verticalmente, de modo que o leque fique paralelo à extensão do braço. Os registros e aspersores, em número de 30, estão distribuídos nos braços de maneira que formam uma espiral concêntrica perfeita no conjunto dos braços. Alternativamente, os 30 registros com os aspersores VEEJET 80/100 podem ser substituídos por outros 30 registros contendo aspersores de menor vazão para produzir chuvas de baixa intensidade. Na extremidade de quatro braços, dispostos em dois pares radialmente opostos, como os de número 1, 2, 6 e 7, está colocado um registro com um aspersor igual aos demais, de modo que o leque de água esteja disposto em ângulo de 30° para baixo e para fora, com o objetivo de provocar o empuxo e movimentar a torre e os braços. Assim, a

torre e os braços do simulador movimentam-se na velocidade média de 2,5 voltas min^{-1} na pressão de 6,6 psi, no sentido anti-horário, por meio do empuxo ocasionado pela água que sai dos quatro aspersores situados na extremidade dos braços. Detalhes do aparelho em funcionamento podem ser vistos na figura 2.

Foram instalados dois manômetros: um posicionado em um dos braços do simulador, a uma distância de 0,5 m da torre, e outro posicionado na tubulação que conduz a água até o simulador de chuva, a 5 m de distância do centro do simulador e a 0,3 m acima do nível do terreno.

Para o suprimento de água, proveniente de uma fonte próxima ao local, foi utilizado um conjunto motobomba, constituído de motor Honda modelo GX 390 com 13 CV e bomba Hidrojet JET modelo DC 660/18, para captar a água, e uma tubulação de PVC de engate rápido, cujos tubos continham diâmetro de 75 mm e 6 m de comprimento cada um, para conduzir a água ao simulador.

A calibração do simulador fez-se em uma área de terreno plano, com o uso de 40 pluviômetros (área de 53,85 cm^2 cada um) distribuídos na superfície do solo. A área útil de calibração tinha uma superfície equivalente a duas parcelas, com 11 m de comprimento e 3,5 m de largura cada uma, uma em cada lado do simulador. A distância entre as parcelas era de 3,5 m, de modo que o simulador estivesse posicionado na faixa central entre as duas. Foram colocados 20 pluviômetros em cada parcela, distribuídos em quatro linhas longitudinais distanciadas 0,875 m uma da outra, com cinco pluviômetros em cada linha distanciados 2,2 m um do outro, de modo que cada pluviômetro representasse uma área de amostragem de 1,925 m^2 . Foram realizadas quatro chuvas com 15 aspersores abertos e quatro com 30 aspersores abertos, com duração de 45 min cada uma, separadas por um intervalo de tempo mínimo necessário para a leitura dos pluviômetros. A primeira chuva foi aplicada sob

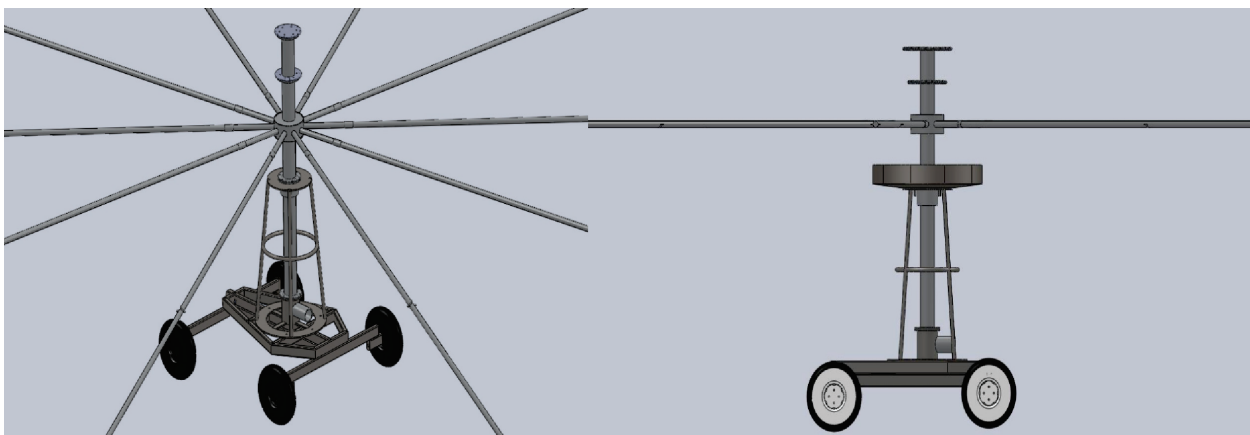


Figura 1. Desenhos esquemáticos que fazem parte do projeto, mostrando detalhes do simulador de chuva movido hidraulicamente por empuxo.



Figura 2. Simulador de chuva movido por empuxo em operação, durante um teste preliminar antecedente à calibração. Esquerda: detalhe de um aspersor utilizado para empuxo; direita: simulador funcionando com 30 registros abertos.

pressão de 5,3 psi; a segunda, de 6,6 psi; a terceira, de 7,9 psi; e a quarta, de 10,6 psi. Esses valores de pressões, verificadas no manômetro instalado no braço do simulador, foram correspondentes às pressões de 10, 12,5, 15 e 20 psi registradas no manômetro posicionado na tubulação que conduz a água até o simulador, para as respectivas chuvas.

Os valores de intensidade da chuva simulada foram correlacionados com os valores de pressão exercida pela água no manômetro, tanto com os 15 quanto com os 30 registros abertos, utilizando o modelo $y = a + bx$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O novo simulador de chuva denomina-se “Tipo Empuxo” e apresenta peso total de 1.022 kg, incluindo a base de aço e a torre e braços de alumínio; portanto, cerca de 500 kg menos do que o modelo Swanson, o que se constitui numa efetiva vantagem daquele em relação a este.

O movimento rotativo da torre e braços do simulador de chuva opera movido hidráulicamente, por empuxo, a velocidade variável, de acordo com a necessidade de vazão de chuva requerida pelo trabalho de pesquisa a ser realizado. A velocidade de giro dos braços varia desde 1,5 até 3 voltas min^{-1} , conforme a pressão de trabalho utilizada na calibração do aparelho, a qual é controlada por manômetros quando o aparelho se encontra em operação.

Os braços são sustentados verticalmente por apenas dois cabos, sendo um com 6,5 m de comprimento e fixado a 2,5 m da extremidade dos braços e na torre e o outro com 3,5 m de comprimento e fixado a 4,5 m da extremidade dos braços e na torre. Ambos os cabos estão presos nos braços na sua parte de cima.

Radialmente, apenas um cabo, interligando os braços a 2,5 m de sua extremidade, faz a estabilização horizontal destes. A altura dos aspersores do simulador é de 2,5 m em relação ao nível do terreno, quando o aparelho está nivelado.

As gotas de chuva produzidas pelos aspersores são exatamente iguais às produzidas pelo simulador Swanson em termos de diâmetro e de energia cinética, já que o modelo dos bicos aspersores e a pressão da água nos manômetros são os mesmos. Do mesmo modo, a distribuição das gotas resultantes dos aspersores distribuídos em espiral e orientados em leque é igual à do modelo Swanson, cobrindo satisfatoriamente a área das parcelas experimentais.

A área de molhamento do solo coberta pelo simulador de chuva Tipo Empuxo é de 314,16 m^2 , ou seja, 38 % maior do que a área molhada pelo simulador Swanson, que é de 226,98 m^2 . Isso é uma importante vantagem em relação ao modelo Swanson, pois a ampliação da área molhada ao redor das duas parcelas experimentais, de 38 m^2 cada uma (11 x 3,5 m), distanciadas 3,5 m uma da outra, torna mais confiáveis os dados de escoamento superficial e de infiltração de água no solo, especialmente quando essas variáveis hidráulicas se encontram em equilíbrio, sob taxa constante. O aumento da área molhada é decorrente do efeito dos quatro aspersores colocados nas extremidades dos quatro braços, destinados a produzir o empuxo e movimentar o conjunto da torre e braços do simulador. É importante esclarecer que o jato de água desses aspersores não interfere diretamente na intensidade da chuva que precipita dentro da área das parcelas, devido à angulação dos referidos aspersores. Em razão do aumento da área molhada ocasionado pelos aspersores de empuxo, é necessário aumentar a distância entre os blocos de duas parcelas para cerca de 5 m um do outro, para evitar que o jato de água aplicado em um bloco

interfira em uma das parcelas do bloco ao lado. No modelo Swanson essa distância mínima é de 4 m.

A calibração do simulador indicou que a distribuição da intensidade da chuva dentro da área experimental é satisfatória, com coeficiente de variação (CV) da ordem de 6 %. O CV de intensidade da chuva mostrou-se semelhante ao de outros modelos de braços rotativos, como o encontrado por Valente (1975), por exemplo. O simulador Tipo Empuxo produz chuva de várias intensidades, distribuídas da seguinte forma, de acordo com as pressões registradas no manômetro colocado no braço do simulador: (1) com registros abertos em 15 aspersores em espiral: 50,5 mm h⁻¹ com pressão de 5,3 psi no manômetro, 61,3 mm h⁻¹ com pressão de 6,6 psi, 70,4 mm h⁻¹ com pressão de 7,9 psi e 88,0 mm h⁻¹ com pressão de 10,6 psi; e (2) com registros abertos em 30 aspersores em espiral: 103,9 mm h⁻¹ com pressão de 5,3 psi, 124,1 mm h⁻¹ com pressão de 6,6 psi, 138,1 mm h⁻¹ com pressão de 7,9 psi e 166,5 mm h⁻¹ com pressão de 10,6 psi. Os valores de intensidade da chuva simulada tiveram correlação linear e positiva com os valores de pressão exercida pela água no manômetro, tanto com os 15 quanto com os 30 registros abertos (Figura 3), demonstrando que houve satisfatória resposta do equipamento em relação às duas variáveis correlacionadas. Cassol & Guerra (1978) obtiveram correlação semelhante entre essas variáveis ao calibrarem um simulador de chuva tipo Swanson.

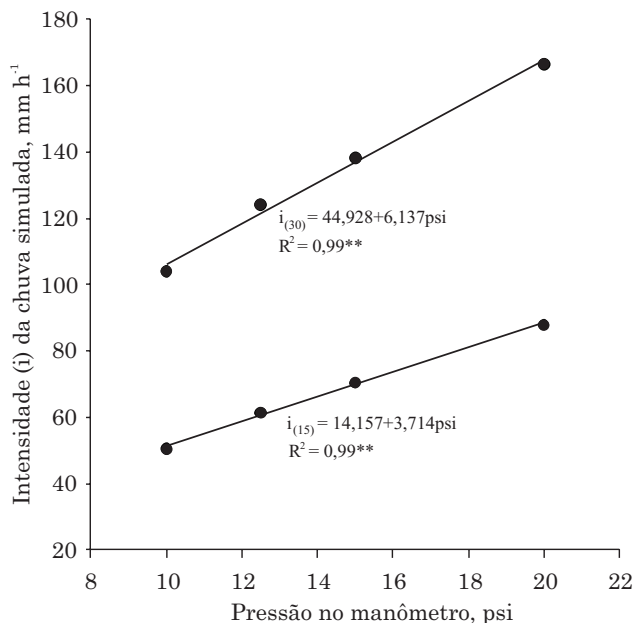


Figura 3. Relação entre a intensidade da chuva simulada com 15 registros abertos (i_{15}) e com 30 registros abertos (i_{30}) e a pressão da água observada no manômetro (psi) situado em um dos braços a 50 cm de distância da torre.

CONCLUSÕES

1. O simulador de chuva é movido hidráulicamente por empuxo e, por isso, denomina-se “Tipo Empuxo”; ele mantém em geral as características do modelo Swanson, principalmente aquelas relacionadas à chuva produzida, tendo sido minimizado seu excesso de peso e eliminada a necessidade de uso de um motor a gasolina para movimento dos braços. Essas novas características tornaram o novo modelo Tipo Empuxo mais leve, econômico, silencioso e de fácil manejo na área experimental do que o antigo modelo Swanson, sendo possível deslocá-lo na área experimental com apenas quatro pessoas.

2. A intensidade da chuva correlacionou-se linear e positivamente com a pressão da água no manômetro.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelos recursos financeiros concedidos para a fabricação do simulador (Edital Universal 14/2009-9; Processo 473982/2009-9) e pela Bolsa PQ do primeiro autor. À Tornearia Santa Paulina Ltda. – ME, pela construção do simulador.

LITERATURA CITADA

- ALVES SOBRINHO, T.; FERREIRA, P.A. & PRUSKI, F.F. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. R. Bras. Eng. Agric. Amb., 6:337-344, 2002.
- BARBOSA, F.T. Comprimento crítico de declive relacionado à erosão hídrica, em diferentes tipos e doses de resíduo em duas direções de semeadura direta. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2011. 99p. (Tese de Doutorado)
- BENITO RUEDA, E.; BLAS, E.; SANTIAGO, J.L. & VARELA, M.E. Descripción y puesta a punto de un simulador de lluvia de campo para estudios de escorrentia superficial y erosión hídrica del suelo. Cad. Lab. Xeol. Laxe, 26:220-221, 2001.
- BERTOL, I. Comprimento crítico de declive para preparos conservacionistas de solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 185p. (Tese de Doutorado)
- BERTOL, I.; VIDAL VÁZQUEZ, E.; PAZ GONZÁLEZ, A.; COGO, N.P.; LUCIANO, R.V. & FABIAN, E.L. Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. R. Bras. Ci. Solo, 34:245-252, 2010.
- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7.ed. São Paulo, Ícone, 2010. 355p.

- CASSOL, E.A. & GUERRA, M. Calibração do primeiro aparelho simulador de chuvas de braços rotativos do estado do Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., Passo Fundo, 1978. Anais... Passo Fundo, 1978. p.29-39.
- COGO, N.P. Effect of residue cover, tillage-induced roughness and slope length on erosion and related parameters. West Lafayette, Purdue University, 1981. 344p. (Tese de Doutorado)
- HUDSON, N.W. Soil conservation. 3.ed. New York, Cornell University Press, 1995. 392p.
- MEYER, L.D. An investigation of methods for simulating rainfall on standard runoff plots and a study of the drops size, velocity, and kinetic energy of selected spray nozzles. Washington, Eastern Soil and Water Management Branch, SWC, Agricultural Research Service/USDA, 1958. 86p. (Special Report, 81)
- MEYER, L.D. Use of the rainulator for runoff plot research. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 24:319-322, 1960.
- MEYER, L.D. Simulation of rainfall for soil erosion research. Trans. ASAE, 8:63-65, 1965.
- MEYER, L.D. & McCUNE, D.L. Rainfall simulator for runoff plots. Agric. Eng., 39:644-648, 1958.
- SWANSON, N.P. Rotating-boom rainfall simulator. Am. Soc. Agric. Eng., 8:72-72, 1965.
- VALENTE, O.F. Intensidade e uniformidade de distribuição de precipitações produzidas por um simulador de chuvas rotativo. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1975. 36p. (Tese de Doutorado)
- WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses. Washington, USDA, 1978. (Agricultural Research Service Handbook, 537)