

Desenvolvimento, Calibração e Validação de um Simulador de Chuvas aplicado a Estudos Hidrogeomorfológicos

Development, Calibration and Validation of a Rainfall Simulator used in Hydro Geomorphological Studies

Desarrollo, Calibración y Validación de un Simulador de Lluvia aplicado a Estudios Hidrogeomorfológicos

Jefferson Gomes Confessor¹

 <https://orcid.org/0000-0003-2337-4884>

Fábio Carvalho²

 <https://orcid.org/0000-0001-8656-1607>

Silvio Carlos Rodrigues³

 <https://orcid.org/0000-0002-5376-1773>

RESUMO: A ação das chuvas sobre a superfície pode gerar passivos, normalmente visualizados na forma de erosão, tornando-se necessário a compreensão deste processo em escalas pontuais para adoção de medidas de manejo assertivas. Simuladores de chuva surgem neste contexto como ferramentas capazes de replicar pluviosidades naturais de forma artificial, acelerando a produção de dados sobre a temática hidrogeomorfológica. Objetiva-se com este trabalho apresentar o desenvolvimento, calibração e validação de um simulador de chuvas, capaz de replicar eventos de alta intensidade (32 milímetros) semelhantes aos ocorrentes no ambiente de Cerrado da região de Uberlândia-MG. O simulador desenvolvido é capaz de replicar precipitações de modo contínuo sobre 4 parcelas de um metro quadrado cada, possui 4,6 metros de altura e utiliza-se de dois bicos de cone cheio (30WSQ) para replicar as precipitações. A uma pressão de 10 PSI, produziu para 30 minutos de simulação precipitações de 31,35 milímetros, com gotas de dois milímetros (d50), expondo correlação entre a energia cinética da chuva produzida e a natural de 99,0%, com coeficiente de distribuição de Christiansen de 86,83%. Por segmentar-se em partes, o equipamento pode ser utilizado em ambientes laboratoriais e de campo, se tornando uma ferramenta para contribuir com prospecção de dados hidrogeomorfológicos em diferentes ambientes.

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação artificial. Geomorfologia. Erosão de solos.

¹ Doutorando em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: jgconfessor01@gmail.com.

² Doutorado em Geografia pela Universidade Federal de Uberlândia. Professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia. E-mail: carvalhofabiogeo@gmail.com.

³ Doutorado em Geografia Física pela Universidade de São Paulo. Professor na Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: silgel@ufu.br.

ABSTRACT: *The rains actions on the surface can generate liabilities, normally can be visualized in the form of erosion, making it necessary to understand this process in point scales to adopt assertives management measures. Rain simulators appear in this context like tools capable to replicate natural rainfall artificially, accelerating the data production on the hidrogeomorphologic theme. The aims of this study is present the development, calibration and validation of a rainfall simulator, capable to replicate high intensity events (32 mm) similar those occurring in the Cerrado (savana) environment in Uberlândia-MG region. The developed simulator is capable to replicate rainfall continuously over 4 plots to 1m² each, it has 4.6 meters high and it uses 2 full cone nozzles (30WSQ) to replicate the rainfall. In a pressure to 10 PSI, it has produced for 30 minutes of simulation, precipitations to 31.35 mm, with drops to 2 mm (D50), exposing correlation between the kinetic energy of rain produced and the natural 99.0%, with Christiansen distribution coefficient to 86.83%. Therefore, to segment into parts, the equipment can be used in laboratory and field environments, becoming a tool to contribute to the prospecting to hidrogeomorphologic data in different environments.*

KEYWORDS: *Artificial precipitation. Hydro geomorphological study. Soil erosion.*

RESUMEN: *La acción de la lluvia puede generar pasivos, normalmente vistos en forma de erosión, siendo necesario comprender este proceso a escalas específicas para la adopción de medidas de manejo asertivo. Los simuladores de lluvia aparecen como herramientas capaces de replicar artificialmente la lluvia natural, acelerando la producción de datos. El objetivo de este trabajo es presentar el desarrollo, calibración y validación de un simulador de lluvia, capaz de replicar eventos de alta intensidad (32 mm) similares a los que ocurren en el ambiente Cerrado de la región de Uberlândia-MG. El simulador es capaz de replicar la lluvia de forma continua en 4 parcelas de 1m², tiene 4,6 metros de altura y utiliza 2 boquillas de cono lleno (30WSQ) para replicar la lluvia. A una presión de 10 PSI produjo, durante 30 minutos de simulación, una precipitación de 31,35 mm, con gotas de 2 mm (d50), exponiendo correlación entre la energía cinética de la lluvia producida y la natural del 99,0%, con coeficiente de distribución de Christiansen del 86,83%. Al estar segmentado en partes, el equipo puede ser utilizado en ambientes de laboratorio y de campo, convirtiéndose en una herramienta para contribuir a la prospección de datos hidrogeomorfológicos en diferentes ambientes.*

PALABRAS CLAVE: *Precipitación artificial. Estudio hidrogeomorfológico. Erosión del suelo.*

INTRODUÇÃO

Nos ambientes de clima tropical, a água líquida se faz presente em grandes volumes precipitados anualmente, tendo forte correlação com a ocorrência de processos erosivos, sendo considerada o principal agente ativo que intervém nos processos de erosão dos solos (MEHL *et al.*, 2001).

Os elementos envolvidos nessa dinâmica, no geral, demonstram equilíbrio, entretanto, a atividade da ação antrópica passou a atuar de forma a desequilibrar esse sistema, promovendo formas mais acentuadas de degradação e perda de solos (DUTRA; ELMIRO; GARCIA, 2020; NUNES; CASTRO, 2021), gerando a possibilidade de promover a insustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010),

ocasionando passivos ambientais e aumentando os custos de produção (HERNANI *et al.*, 2002).

A compreensão da dinâmica erosiva se mostra relevante (COULTHARD; HANCOCK; LOWRY, 2012) e, para tal, torna-se necessário a adoção de métodos investigativos que visam o levantamento de informações necessárias para adoção de medidas de manejo com intuito de mitigar e/ou evitar futuros passivos, garantindo a sustentabilidade ambiental dos sistemas de produções.

Dados de erosão oriundos de chuvas naturais são importantes, visto que são resultantes dos eventos pluviométricos que representam as condições climáticas de cada região (HUDSON, 1995). Entretanto, a precipitação expõe grande variação em suas características (volume, intensidade e espacialidade), seja no próprio ano ou entre anos, demandando um grande período para obtenção de dados representativos das condições climáticas de cada região (HUDSON, 1995; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Aliado a isso, para obtenção de dados erosivos sob chuva natural, necessita-se de um grande período, uma vez que os experimentos se limitam a ocorrência das precipitações e suas características próprias, não havendo a possibilidade de repetição dos testes sob condições de precipitações semelhantes, encarecendo o custo experimental devido à esporadicidade dos eventos, podendo o projeto vir a sofrer com a descontinuidade (BERTOL; BERTOL; BARBOSA, 2012).

Simuladores de chuvas surgem nesse contexto com objetivo de replicar a ação das precipitações naturais de forma artificial (FARIA JÚNIOR *et al.*, 2013), sendo calibrados para que apresentem características de precipitações condizentes com a realidade, induzindo a formação de processos da forma mais fidedigna possível ao natural (CONFESSOR; RODRIGUES, 2018).

Para que isso ocorra, a utilização de simuladores de chuvas em estudos hidrogeomorfológicos devem atender os seguintes critérios: 1 – possuir capacidade de simular chuvas de modo contínuo; 2 – expor relação entre a energia cinética da chuva simulada e a chuva natural superior a 75%; 3 – o raio de ação útil da área molhada deve cobrir uma área acima de 0,50 metros quadrados; 4 – apresentar coeficiente de uniformidade superior a 80% (CHRISTIANSEN, 1942); e 5 – produzir gotas de diâmetro médio similar ao de chuvas naturais (ALVES SOBRINHO *et al.*, 2002; TOSSELL *et al.*, 1987).

Depois de calibrados, estes equipamentos permitem a aplicação de várias intensidades de precipitações em diferentes tipologias de terrenos e usos da terra, com possibilidade de replicá-las sob condições de características semelhantes (CONFESSOR, 2019), ofertando a oportunidade para que o pesquisador possa produzir dados primários sem a necessidade de esperar eventos naturais, tornando-se amplamente utilizados em

estudos que envolvam a dinâmica hídrica (CARVALHO; RODRIGUES, 2021; CARVALHO; CONFESSOR; RODRIGUES, 2020; CERDÀ; IBÁÑEZ; CALVO, 1997; CONFESSOR; SILVA; RODRIGUES, 2021; MHASKE; PATHAKA; BASAKB, 2019; MILLER, 1987; VIDALETTI *et al.*, 2021).

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento e a calibração de um simulador de chuvas, capaz de replicar eventos de chuvas naturais de alta intensidade, gerando precipitações de características replicáveis, apresentando mobilidade para que possa ser utilizado no campo sob diferentes situações de uso da terra, cobertura vegetal, solos e inclinação, garantindo ambiente necessário para produção de dados de infiltração, escoamento superficial e perda de solos.

CARACTERIZAÇÃO DAS PRECIPITAÇÕES NATURAIS

A construção deste modelo de simulador de chuvas surgiu com o intuito de replicar precipitações naturais apresentadas em ambientes de Cerrado, mais especificadamente precipitações de altos volumes ocorrentes na região de Uberlândia – MG, possibilitando sua utilização em estudos que envolvam a compreensão da dinâmica hidrogeomorfológica local. Entretanto, ressalta-se que seu uso não se limita apenas para a região, podendo estender-se para demais localidades em que suas características se expressem úteis.

Para tal, realizou-se a caracterização das precipitações da região, utilizando-se de dados de uma estação meteorológica automática vinculada ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (Código INMET – A507), situada na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), a qual expõe dados de hora em hora. Por meio da estação foi possível captar uma série de dados sem falhas ao longo de um período de nove anos, de 2009 a 2017, sendo que, apesar de possuir dados de períodos anteriores, as informações não apresentaram o detalhe necessário para esta pesquisa, sendo adotado este intervalo de tempo.

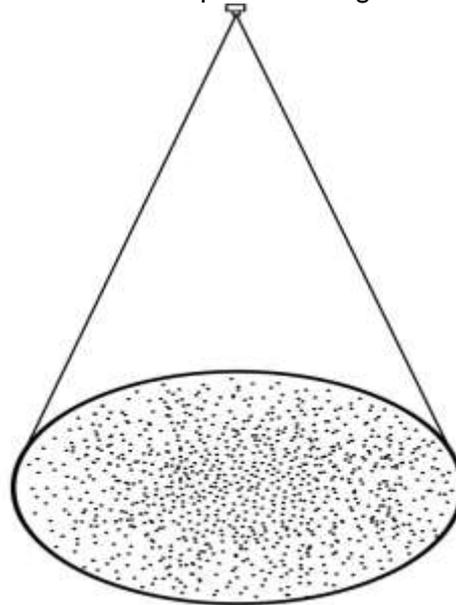
A estação meteorológica expõe dados dos volumes precipitados de hora em hora, de maneira a não se tornar possível o conhecimento real da intensidade de cada evento chuvoso, visto que o volume precipitado pode ocorrer em uma fração desse tempo. Dessa maneira, utilizou-se como duração das precipitações a serem simuladas o tempo de 30 minutos, como apresentado em Confessor (2019).

CONSTRUÇÃO DO SIMULADOR DE CHUVAS

Para replicar precipitações naturais de forma artificial, utilizou-se o Bico FullJet ½ HH-30WSQ, modelo também empregado nos trabalhos de Luk, Abrahams e Parsons

(1986); Alves Sobrinho, Ferreira e Pruski (2002); Thomaz (2009) e Xu *et al.*, (2012). Para seu funcionamento, o bico utiliza um difusor interno para fornecer um padrão de pulverização cheio e circular, com gotas de tamanhos médio a grande (SPRAYING SYSTEMS CO, 2021) (Figura 1). Fabricado em latão, sua durabilidade é prolongada, tornando-se um equipamento rústico e resistente, ideal para utilização em campo.

Figura 1 - Padrão de Jato Cone Cheio pulverizador Full Jet ½ HH-30WSQ demonstrando malha de dispersão das gotas



Fonte: os autores.

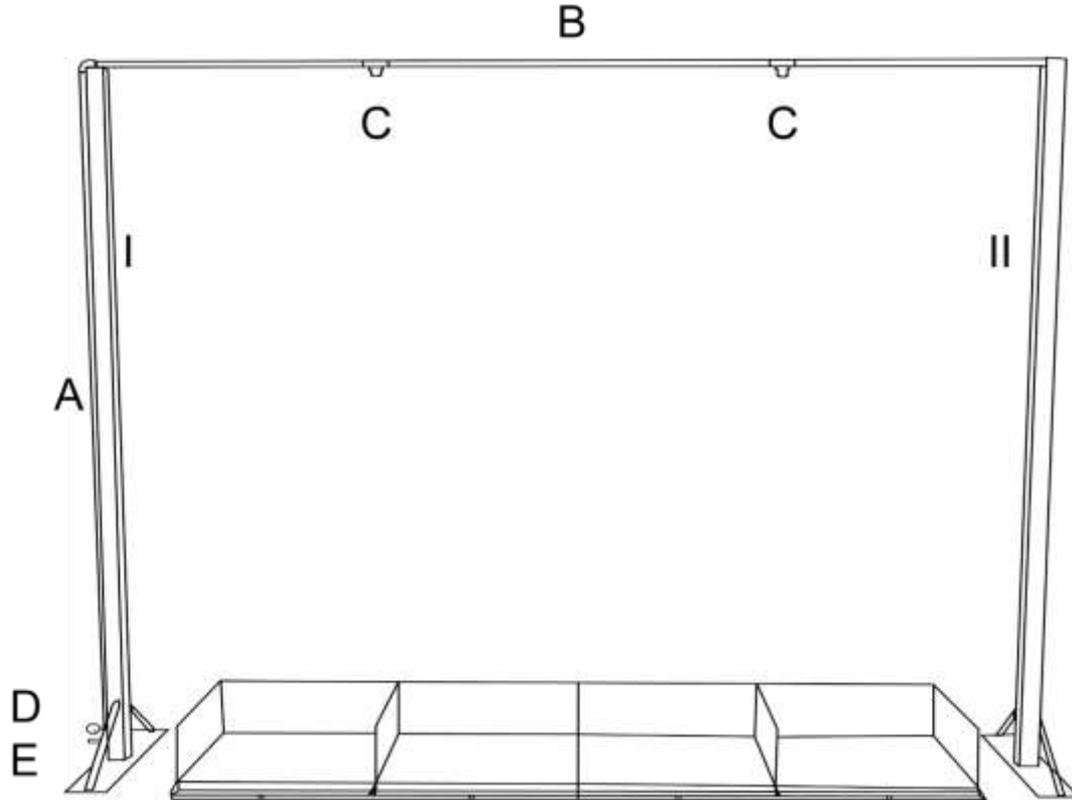
Para ampliar a produção de dados e aprimorar o tratamento estatístico, evitando a necessidade de várias repetições de precipitações, o simulador em questão foi idealizado por meio da utilização de dois bicos aspersores, permitindo replicar precipitações de forma simultânea sobre quatro parcelas de erosão de um metro quadrado cada, semelhantes às apresentadas em Costa, Barcelos e Rodrigues (2018) (Figura 2).

O equipamento construído é composto por um tubo principal de aço galvanizado de 19 milímetros de diâmetro. Sua altura da base ao topo é de 4,60 metros, com tubo (A) seccionado em duas partes, cada qual com medidas equidistantes (2,30 metros), possuindo uma luva de aço galvanizado para posterior conexão, facilitando o transporte e montagem em campo (Figura 2). Na base da haste principal, fixa-se um manómetro (D) para averiguação da pressão de serviço, sendo posicionado acima de um regulador de vazão (E), ambos a 40 e 30 centímetros de altura respectivamente.

No topo da haste principal, utilizando-se de uma curva também de aço galvanizado, conecta-se um tubo (B) de 19 milímetros de diâmetro e comprimento de cinco metros, o qual tem por função o prolongamento dos jatos de água, onde nas medidas de 1,5 e 3,5 metros são conectados por meio de duas extensões em “T” dois bicos de pulverização SPRACO

Cone Jet (30WSQ) (C). No final do tubo uma junta de vedação é fixada para impedir a saída de água do equipamento.

Figura 2 - Ilustração do Simulador de chuvas produzido e seu uso com quatro parcelas de erosão de um metro quadrado



Fonte: os autores.

Para gerar maior sustentação, dois suportes de ferro são atrelados nas duas extremidades do simulador (I, II), conferindo maior rigidez e permitindo o posicionamento horizontal dos bicos. Para facilitar o transporte, cada um dos suportes laterais (I e II) é seccionado em duas partes, com fixação realizada por meio do encaixe de parafusos.

Para estabilização do equipamento, cabos de poliéster ligados a ganchos de aço devem ser inseridos no solo, conferindo maior rigidez e evitando tremulações no equipamento, evitando distúrbios na distribuição da lâmina d'água sobre a superfície alvo, permitindo sua acomodação em diferentes tipos de terrenos.

Para gerar pressão ao fluxo de água e produzir-se a malha de gotas, necessita-se da utilização de uma bomba hidráulica. Para gerar maior mobilidade ao simulador e aumentar sua potencialidade de uso, indica-se a escolha de um modelo de bomba autopropelida, permitindo a condução dos experimentos em ambientes de campo.

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO DE VOLUMES PRECIPITADOS

Para averiguar a distribuição dos volumes precipitados e permitir a escolha do melhor ponto de fixação das parcelas sob o simulador, uma grade de recipientes coletores foi disposta abaixo de seu raio de ação. Para tal, estabeleceram-se oito linhas e sete colunas, com espaçamento de 55 centímetros de distância entre cada recipiente, totalizando 56 pontos de coleta (Figura 3). Eventos de 30 minutos com pressão de 10 *psi* foram replicados para coleta dos volumes precipitados, sendo a uniformidade calculada segundo Christiansen (1942). Ressalta-se que os experimentos foram conduzidos em ambiente abrigado do vento, de forma a evitar distúrbios nas intensidades precipitadas.

Figura 3 - Simulação de calibração do experimento

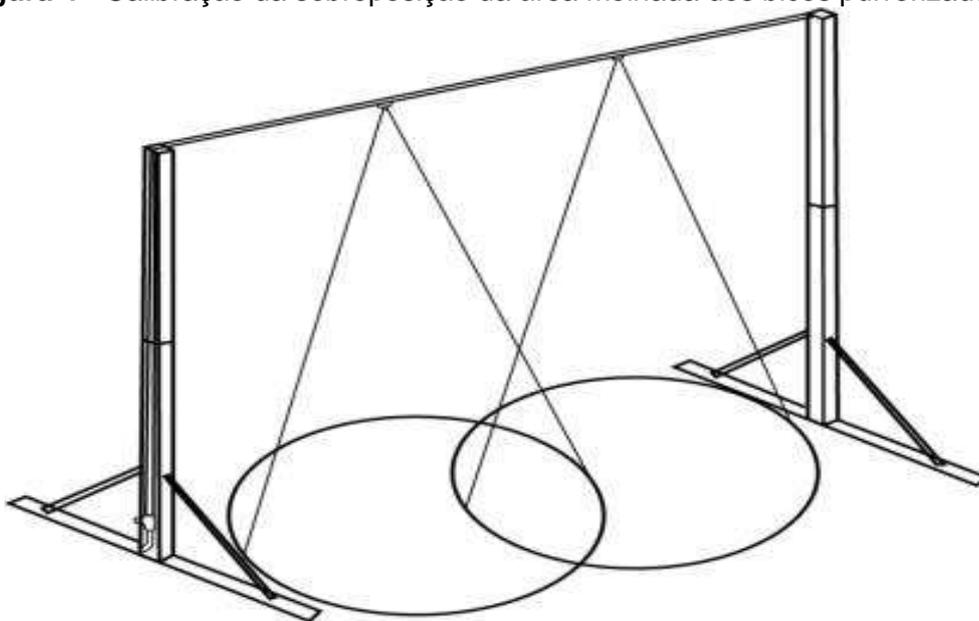


Fonte: os autores.

Este procedimento possibilitou averiguar o melhor posicionamento dos bicos de aspersão ao longo da haste B (Figura 2), visto que este modelo de aspersor apresenta volumes precipitados menores nas áreas mais externas de seu raio de ação (Figura 4), necessitando a sobreposição dos fluxos gerados pelos bicos de aspersão para que produzam uma área de precipitação uniforme, de maneira a possibilitar a utilização de quatro parcelas de erosão sob condições semelhantes.

A distribuição espacial dos volumes coletados em forma de isolinhas foi realizada pelo método de regressão de *krigagem*, presente no programa computacional ArcGIS 2017. De acordo com os valores aferidos nos recipientes coletores, a distância entre os bicos pode ser balanceada.

Figura 4 - Calibração da sobreposição da área molhada dos bicos pulverizadores



Fonte: os autores.

CARACTERIZAÇÃO DO ESPECTRO DE GOTAS PRODUZIDAS

Para caracterização das gotas geradas pelo simulador, utilizou-se de dois procedimentos distintos. O primeiro procedimento (método 1) baseou-se no método de bandejas de farinha (OLIVEIRA, 1991), e o segundo (método 2) baseou-se na utilização de Fitas Hidrossensíveis, comumente utilizadas na agricultura para aferição da aplicação de defensivos agrícolas. Foram realizadas três repetições para o método 1 e dez amostragens para o método 2.

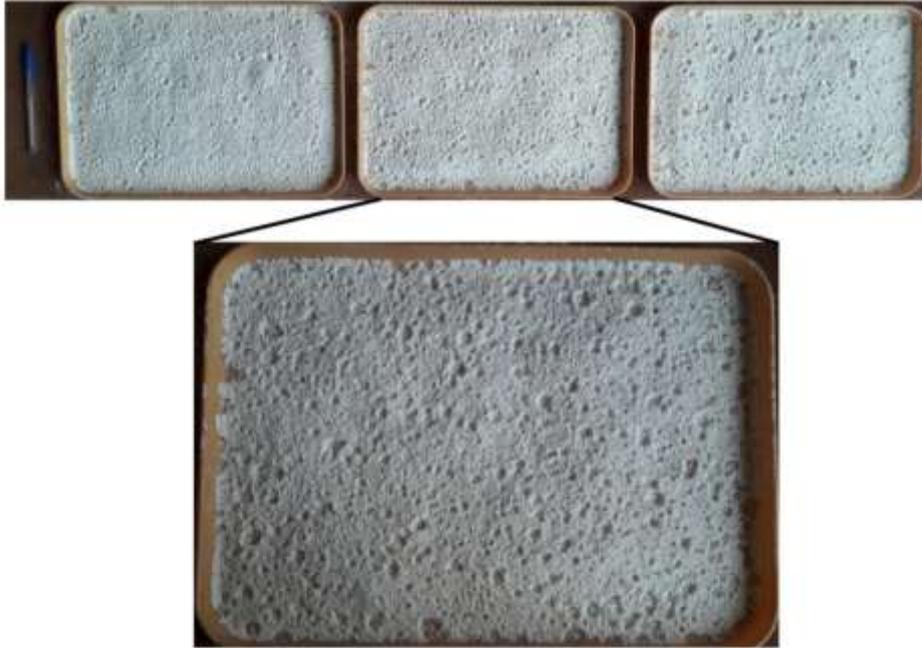
O método 1 consiste no preenchimento de bandejas com farinha a uma altura de três centímetros, as quais são expostas à precipitação por um tempo de três segundos. As gotas ao impactarem à superfície da bandeja (dimensões 30 x 40 centímetros) são aprisionadas e acondicionadas pela farinha, que, após secagem, permite sua contagem e posterior dimensionamento (Figura 5). Após isso, as gotas foram separadas em quatro classes de diâmetro por meio de peneiras com passagem de 0,850; 1,7; 2 e 3,35 milímetros.

O método 2 consiste em expor fitas hidrossensíveis a ação das chuvas pelo tempo de um segundo (Figura 6). Ao interceptarem as gotas, gera-se sobre a área impactada a alteração da cor original da fita, sendo scaneadas em resolução de 300dpi e dimensionadas por meio do software Gotas, produzido pela Embrapa Informática Agropecuária (2010).

O software calcula o coeficiente de espalhamento de cada gota sobre a superfície das fitas, e, a partir disso, gera o dimensionamento de cada alvo, exibindo como resultado o volume das gotas produzidas, divididas em classes de diâmetro de ocorrência. De posse da caracterização volumétrica das gotas, tornou-se possível efetuar os cálculos que envolvem a

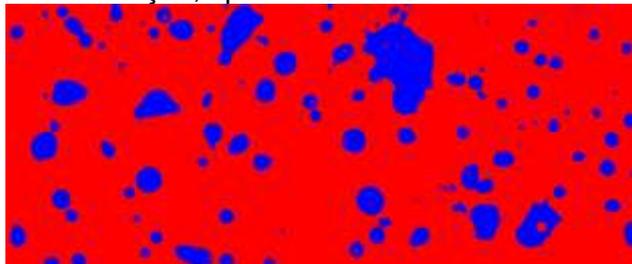
energia cinética das chuvas produzidas, sendo utilizado para isto o *software* EnerChuva, desenvolvido por Alves Sobrinho *et al.* (2001).

Figura 5 - Exemplo de mensuração de tamanho de gotas produzidas no modelo 1 de calibração



Fonte: os autores.

Figura 6 - Papel Exemplo de mensuração de tamanho de gotas produzidas no Modelo 2 de calibração, após tratamento em software



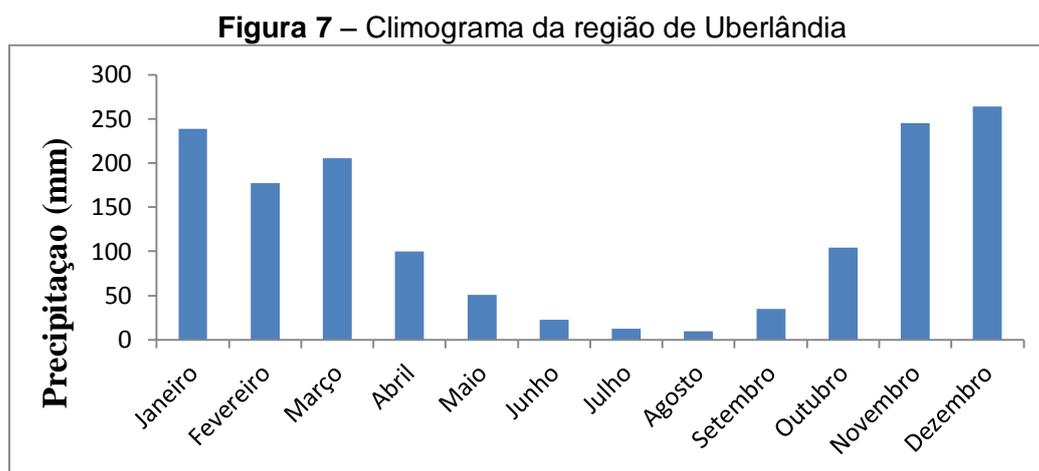
Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados serão apresentados em dois tópicos. Inicialmente, sendo realizada a caracterização das precipitações ocorrentes no ambiente de Cerrado do município de Uberlândia-MG, e, de posse dos dados, realizou-se a calibração do simulador de chuvas para que o mesmo replique as características estipuladas.

Caracterização das chuvas da região

O clima da região de Uberlândia apresentou variação sazonal no regime pluviométrico de forma definida (Figura 7), expondo um período de chuvas que compreende os meses de outubro a março, e um período de entre chuvas que engloba os meses de abril a setembro, com precipitação anual média de 1.455 milímetros.



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados da Estação Climatológica UFU, Uberlândia-MG (Código INMET – A507).

Do total analisado, 36% dos dias apresentaram precipitação, sendo caracterizado em sua maioria por um conjunto frequente de chuvas de baixa intensidade. Entretanto, apesar de esporádicos, eventos de alta intensidade (> 25 milímetros) mostraram-se relevantes nos totais precipitados (Tabela 1), os quais exibiram volumes médios de 32 milímetros, sendo esse o valor adotado para ser reproduzido pelo simulador de chuvas.

Tabela 1 - Distribuição dos volumes totais de chuva divididos em intensidades

Volume (mm/h)	Volume Total	Horas de Chuva	Horas (%)	Volume (%)
0,1-5	5096,4	4626	87	39
5,1-10	2671,2	384	7	20
10,1-15	1518,6	125	2	12
15,1-20	1217,8	72	1	9
20,1-25	849,4	40	1	6
>25	1739,9	56	1	13

Valores são resultantes de 9 anos de análise, 2008-2017. **Fonte:** elaborado pelos autores a partir da Estação Climatológica UFU, Uberlândia-MG (Código INMET– A507).

Calibração do simulador de chuvas

Por meio do método 1, constatou-se que o simulador gerou gotas de diâmetro médio (d50) de 2 milímetros (Tabela 2). Valor semelhante também foi constatado para o método 2, o qual expos valor médio (d50) de 1,9 (Tabela 3). A proximidade dos resultados encontrados demonstra que ambos os métodos são capazes de mensurar os diâmetros das gotas geradas, sendo o método 2 mais rápido e menos trabalhoso, entretanto, de maior custo.

Tabela 2 - Determinação do D50 Método 1

	Peneiras			
	0,85	1,77	2	3,35
Peso amostral Bandeja 1 (g)	1.732	1.123	2,288	476
Peso amostral Bandeja 2 (g)	1.428	805	1,784	1.138
Peso amostral Bandeja 3 (g)	1.513	988	2,016	655
Peso médio (g)	1.558	972	2,029	756
Média total de gotas	1.002.790	274.060	196.768	52.450
% do volume total	29,31	18,29	38,18	14,23
Média d50	2 mm			

Fonte: os autores.

Tabela 3 - D50 obtido por meio do Método 2

Fitas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
D50(mm)	2,05	1,92	2,07	1,91	1,89	1,99	2,05	1,95	1,93	2,12	1,99

Fonte: os autores.

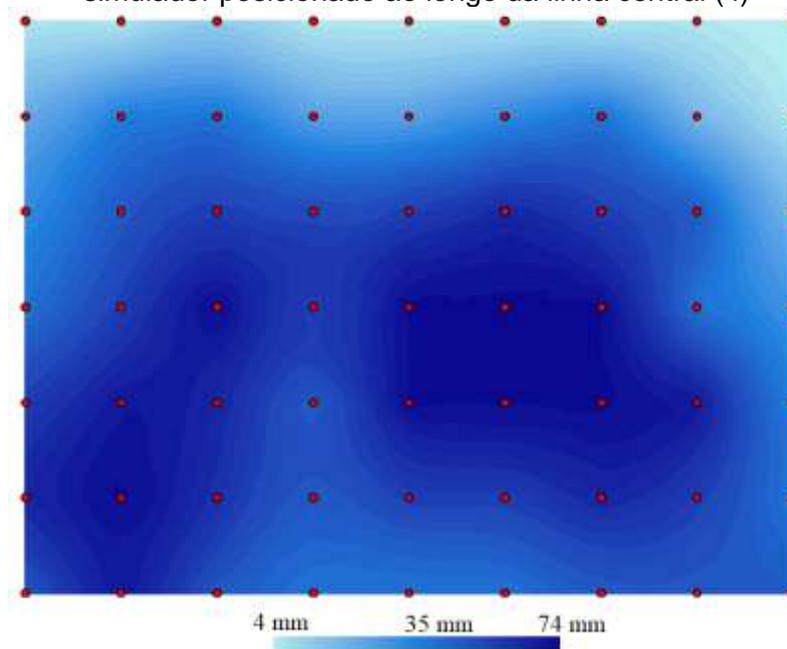
As gotas produzidas pelo simulador apresentaram velocidade de saída dos bicos de $(V_o) = 11,17 \text{ ms}^{-1}$, e, após percorrerem a distância entre o simulador e o solo, reduziram sua velocidade para $(V_f) = 7,24 \text{ ms}^{-1}$, conferindo uma precipitação com Energia Cinética Simulada de $E_{cS} = 1632,16 \text{ J m}^{-2}$. Estes são valores próximos aos apresentados por gotas naturais de mesmas dimensões $E_{cN} = 1649,11 \text{ J m}^{-2}$, demonstrando relação de 99% entre a precipitação replicada e uma natural, de mesmas características.

O equipamento produziu uma superfície molhada de 30 metros quadrados, onde a distribuição das intensidades ao longo desta área se mostrou heterogênea (Figura 8), visto que as pontas de aspersão estáticas não espalharam as gotas uniformemente, promovendo variações nas intensidades ao longo da área de testes, exibindo menores volumes a partir do distanciamento do centro.

O Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) encontrado para toda superfície molhada apresentou-se abaixo do mínimo ideal, sendo de 62,36%. Entretanto, de posse dos dados amostrais (Tabela 4), pode-se estipular o melhor local para posicionamento das

parcelas de erosão, as quais devem ser dispostas logo abaixo da linha central de pulverização. Nesta faixa de trabalho, o coeficiente de dispersão é de 86,83%, com precipitação média de 31,35 milímetros.

Figura 8 - Dispersão da precipitação em toda área molhada pelo simulador de chuvas; simulador posicionado ao longo da linha central (4)



Fonte: os autores.

Tabela 4 - Dispersão da precipitação em toda área molhada pelo simulador de chuvas
Área ideal para inserção das parcelas de erosão entre toda área molhada (valores em mm)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	3,6	3,6	7,3	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	2,2
2	13,1	20,3	21,8	14,5	14,5	18,1	21,8	10,9	3,6
3	18,1	25,4	29,0	27,6	29,0	32,6	29,0	25,4	10,9
4*	21,8	29,0	36,3Δ	29,0	36,3	36,3	Δ 36,3	21,8	16,7
5	29,0	34,8	32,6	25,4	36,3	36,3	36,3	34,8	20,3
6	32,6	36,3	31,2	25,4	29,0	29,0	32,6	29,0	21,8
7	25,4	34,8	25,4	21,8	21,8	21,8	25,4	25,4	25,4

*Linha na qual o simulador é posicionado; Δ bicos posicionados entre C-D e F-G; valores em destaque referem-se a área de posicionamento das 4 parcelas. Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

Por meio deste estudo, averiguou-se que as precipitações ocorrentes no ambiente de Cerrado da região de Uberlândia-MG exibiram maior concentração de eventos de baixa

intensidade (<25), e, apesar de esporádicos, apresentaram relevância nos totais precipitados, exibindo volume médio de 32 milímetros.

Com pressão de trabalho de 10 *psi*, o simulador de chuvas foi capaz de replicar de modo contínuo precipitações de 31,35 milímetros sobre uma linha de 4 parcelas de um metro quadrado, expondo diâmetro médio de gotas (*d50*) de 2 milímetros e relação entre a energia cinética das pluviosidades simuladas e as naturais de 99%, com coeficiente de Christiansen de 86,83%.

Apesar de apresentar grande estatura, o simulador foi desenvolvido em partes que se segmentam, possibilitando sua utilização em ambientes de laboratório e de campo. Ressalta-se que em caso de uso externo, rajadas de vento podem comprometer a constância das precipitações sobre as áreas desejadas, necessitando de seu uso ser acompanhado de uma proteção lateral, e/ou replicar precipitações em períodos de menor ocorrência de ventos.

O uso de bicos estáticos de cone cheio conferiu maior robustez ao equipamento, dispensando o uso de peças sobressalentes para produção de movimento ao jato, diminuindo seu peso e eventuais panes, aumentando sua funcionalidade no campo.

Por meio desta análise, nota-se que os critérios estipulados para construção deste modelo de simulador de chuvas foram atingidos com êxito, sendo o equipamento capaz de reproduzir precipitações semelhantes às de ocorrência do ambiente de estudo, com características próximas às reais.

Dessa forma, torna-se um equipamento personalizado, apto a ser utilizado em estudos hidrogeomorfológicos, de forma a produzir dados condizentes com a realidade, sem a necessidade de esperar a ocorrência de eventos naturais, podendo vir a contribuir para a análise dos ambientes e produzir dados necessários para a compreensão da dinâmica hídrica e seus respectivos processos dependentes.

REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, Teodorico *et al.* Programa computacional para a definição de parâmetros hidráulicos utilizados na determinação da energia cinética da chuva simulada em infiltrômetro de aspersão. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 12, n. 1, p. 28–35, 2001.

ALVES SOBRINHO, Teodorico; FERREIRA, Paulo; PRUSKI, Fernando. Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 337–344, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662002000200025>. Acesso em: 8 abr. 2021.

BERTOL, Ildgardis; BERTOL, Camilo; BARBOSA, Fabrício Tondello. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: Fabricação e calibração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1905–1910, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600024>. Acesso em: 2 abr. 2021.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010.

CARVALHO, Fábio; CONFESSOR, Jefferson; RODRIGUES, Silvio. Utilização de simulador de chuvas para determinação do valor CN e abstração inicial na cultura do café em ambiente de cerrado brasileiro. **Physis Terrae**, Braga, v. 2, n. 2, p. 101–1206, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.3083>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CARVALHO, Fábio; RODRIGUES, Silvio. Método Curve Number – pesquisas e discussões dos parâmetros valor CN e abstração inicial. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 25, n. 31, p. 1–50, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236499447861>. Acesso em: 26 jan. 2022.

CERDÀ, Artemi; IBÁÑEZ, Asensio; CALVO, Adolfo. Design and operation of a small and portable rainfall simulator for rugged terrain. **Soil Technology**, Amsterdam, v. 11, n. 2, p. 163–170, 1997. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0933-3630\(96\)00135-3](https://doi.org/10.1016/S0933-3630(96)00135-3). Acesso em: 10 abr. 2021.

CHRISTIANSEN, Johan Ernst. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California, 1942. Disponível em: <https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.31210020150940&view=1up&seq=1>. Acesso em: 8 abr. 2021.

CONFESSOR, Jefferson; RODRIGUES, Silvio. Método para calibração, validação e utilização de simuladores de chuvas aplicados a estudos hidrogeomorfológicos em parcelas de erosão. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 222–229, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i1.1294>. Acesso em: 24 jan. 2022.

CONFESSOR, Jefferson. **Avaliação de processos erosivos hídricos em diferentes usos agrícolas, utilizando simulador de chuvas no ambiente de Cerrado**. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.606>. Acesso em: 12 abr. 2021.

CONFESSOR, Jefferson; SILVA, Lara; RODRIGUES, Silvio. Confecção de um simulador de chuvas móvel como ferramenta de disseminação do conhecimento Geomorfológico e preservação de ambientes. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 22, n. 4, p. 1001–1009, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v22i4.1871>. Acesso em: 24 jan. 2022.

COSTA, Yasmmin; BARCELOS, Anna; RODRIGUES, Silvio. Fire effects on soil and vegetation in a degraded brazilian savanna. **Mercator**, Fortaleza, v. 17, p.1–13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4215/rm2018.e17016>. Acesso em: 10 abr. 2021.

COULTHARD, Tom; HANCOCK, Greg; LOWRY, John. Modelling soil erosion with a downscaled landscape evolution model. **Earth Surface Processes and Landforms**, Sussex, v. 37, p. 1046–1055, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/esp.3226>. Acesso em: 10 abr. 2021.

DUTRA, Débora; ELMIRO, Marcos; GARCIA, Ricardo. Comparative analysis of methods applied in vegetation cover delimitation using Landsat 8 images. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 32, p. 699–710, 2020. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/56139>. Acesso em: 25 jan. 2022.

EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Software gotas**: (sistema de avaliação de pulverização agrícola) analisa a deposição de agrotóxicos nas culturas. [2018]. Disponível em: http://www.cnpma.embrapa.br/novidades/sof_gota.html. Acesso em: 05 jan. 2018.

FARIA JÚNIOR, Cleonir *et al.* Construção e calibração de um simulador de chuva portátil. **Revista Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 778–787, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>. Acesso em: 17 nov. 2021.

- HERNANI, Luís *et al.* A erosão e seu impacto. *In*: MANZATTO, Celso; FREITAS JUNIOR, Elias; PERES, José. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47-60. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1124240>. Acesso em: 1 abr. 2021.
- HUDSON, Norman. **Soil conservation**. Nova Iorque: Cornell University Press, 1995.
- LUK, Shiu Hung; ABRAHAMS, Athol; PARSONS, Anthony. Methodology: a simple rainfall simulator and trickle system for hydro-geomorphological experiments. **Physical Geography**, [S. l.], v. 7, n. 4, p. 344–356, 1986. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02723646.1986.10642303>. Acesso em: 8 abr. 2021.
- MEHL, Herony *et al.* Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 475–483, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832001000200023>. Acesso em: 1 abr. 2021.
- MHASKE, Sushil; PATHAKA, Khanindra; BASAKB, Arnab. A comprehensive design of rainfall simulator for the assessment of soil erosion in the laboratory. **Catena**, Amsterdam, v. 172, n. 1, p. 408-420, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.08.039>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- MILLER, Willian. A solenoid-operated, variable intensity rainfall simulator. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 51, n. 3, p. 832-834, 1987. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1987.03615995005100030048x>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- NUNES, Elizon; CASTRO, Selma. Degradação de fitofisionomias do Cerrado e impactos erosivos hídricos lineares no sudoeste de Goiás – Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 33, p. 1-14, 2021. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/60606>. Acesso em: 24 jan. 2022.
- OLIVEIRA, Rubens Alves. **Distribuição de gotas por tamanho e perfil de precipitação de um aspersor fixo**. 1991. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- SPRAYING SYSTEMS CO. **Full cone nozzles**: catalogo: 1.630.665.5000. [S. l.: s. n.], 2021. Disponível em: https://www.spray.com.br/Assets/SPRAY/cat76A-AA_metric_Intro.pdf. Acesso em: 12 abr. 2021.
- THOMAZ, Edivaldo. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 130, n. 1–2, p. 23–30, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AGEE.2008.11.009>. Acesso em: 22 nov. 2021.
- TOSSELL, Robert *et al.* A portable rainfall simulator. **Canadian Agricultural Engineering**, Ottawa, v. 29, n. 2, p. 155–162, 1987.
- VIDALETTI, Vitória *et al.* Impact of land cover, slope and precipitation on soil water infiltration. Research. **Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 17, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24562>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- WISCHMEIER, Walter; SMITH, Dwight. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, D.C. : United States, 1978. Disponível em: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>. Acesso em: 2 abr. 2021.
- XU, Xianli *et al.* Analysis of single-ring infiltrometer data for soil hydraulic properties estimation: comparison of best and wu methods. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 107, p. 34–41, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2012.01.004>. Acesso em: 9 abr. 2021.

AGRADECIMENTO

Agradecimento à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado do primeiro autor.

Recebido: novembro de 2021.

Aceito: fevereiro de 2022.