

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PROJETO DE UM SIMULADOR DE CHUVA PARA ESTUDO DE EROSÃO HÍDRICA EM TALUDES DE PILHA DE DEPOSITO DE MINERAÇÃO

Jorge Luis Zegarra Tarqui¹; Maria Eduarda Neves Leal²; Edna Maria de Faria Viana³; Nicolas Matheus Geara Gomes⁴; Daniel Luiz Teixeira Ferreira⁵; Francisco Antunes Guimarães Rodrigues⁶; Keila Cristina Fernandes de Oliveira Dourado⁷; Rian Francisco Guedes Couto⁸; Athos de Melo Pimentel⁹ & Carlos Barreira Martinez¹⁰

Abstract: The scarcity of specific studies on the susceptibility to water erosion in waste or tailings piles has led researchers to adapt methods originally developed for studies of soils in agricultural or natural areas. In this sense, this research aims to determine the erosion rate in mining piles, through the use of a rain simulator, with laboratory and field tests. To achieve this objective, it is necessary to design a low-cost rain simulator that is easy to use in the laboratory and in mining areas. The designed rain simulator has a reservoir, a centrifugal pump, a control drawer register, a pressure gauge, two solenoid valves and two sprinkler nozzles. In addition, it has a control system for activating the solenoid valve. The intensity of the artificial rain is controlled by varying the opening (ta) and closing (tf) times of the solenoid valve, defined by a valve control program coupled to an Arduino. The preliminary results of the rain intensity test showed that most of the values of the uniformity coefficient (CUC) of the rain intensity distribution were in the excellent category. In the future, tests will be carried out with different combinations of ta and tf, in order to obtain a wider range of intensities.

Resumo: A escassez de estudos específicos sobre a suscetibilidade à erosão hídrica em pilhas de estéril ou rejeito tem levado pesquisadores a adaptarem métodos originalmente desenvolvidas para estudos de solos de áreas agrícolas ou naturais. Neste sentido, esta pesquisa objetiva a determinação da taxa de erosão em pilhas de mineração, mediante o uso de um simulador de chuva, com testes em laboratório e campo, para atingir este objetivo é necessário projetar um simulador de chuva de baixo custo e fácil utilização em laboratório e nas áreas de mineração. O simulador de chuva projetado conta com um reservatório, uma bomba centrifuga, um registro gaveta de controle, um manômetro,

1) Prof. Associado da UFMG, Avenida Antônio Carlos 6627 Campus Pampulha BH-MG, jlztarqui@yahoo.com.br

2) Graduanda em Engenharia de Controle e Automação da UFMG, Avenida Antônio Carlos 6627 Campus Pampulha BH-MG, menevesleal@gmail.com.

3) Profa. Titular da UFMG, Avenida Antônio Carlos 6627 Campus Pampulha BH-MG, ednamfv@ufmg.br

4) Graduando em Engenharia Civil da UFMG, Avenida Antônio Carlos 6627 Campus Pampulha BH-MG, nicolasgeara@gmail.com

5) Engenheiro de Recursos Hídricos, Geoestável Consultoria e Projetos, daniel1tfl@gmail.com.

6) Engenheiro da PROGEN da VALE, Rua Matias Cardoso, nº 169 - 5º andar, Santo Agostinho, BH- MG, francisco.rodrigues@progen.com.br

7) Engenheira Sênior Recursos Hídricos da VALE, Edifício Concorórdia Corporate 34006-049 - Nova Lima – MG, keila.oliveira@vale.com

8) Graduando em Engenharia Ambiental da UFMG, Avenida Antônio Carlos 6627 Campus Pampulha BH-MG, riancouth04@gmail.com

9) Graduando em Engenharia Ambiental da UFMG, Avenida Antônio Carlos 6627 Campus Pampulha BH-MG, athos.ufmg@gmail.com

10) Prof. Titular da UNIFEI, Avenida BPS 1303, bairro Pinheirinho, Itajuba-MG, cmartinez@unifei.edu.br

duas válvulas solenoides e dois bocais aspersores. Além de contar com um sistema de controle de acionamento da válvula solenoide. A intensidade da chuva artificial é controlada mediante a variação dos tempos de abertura (t_a) e fechamento (t_f) da válvula solenoide, definidos por um programa de controle das válvulas acoplados a um Arduino. Os resultados preliminares de teste de intensidade de chuva, apresentaram que a maioria dos valores do coeficiente de uniformidade (CUC) da distribuição da intensidade da chuva ficaram na categoria de excelente. Futuramente serão realizados testes com diferentes combinações de t_a e t_f , com a finalidade de obter uma maior faixa de intensidades.

Palavras-Chave – Taxa de erosão hídrica, taludes de pilha de mineração, simulador de chuva

INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é um fenômeno natural, que acontecem sobre superfícies que podem sofrer erosão devido à precipitação e/ou ao escoamento concentrado. A erosão hídrica não é apenas um problema para as áreas em que ocorre, mas também podem causar assoreamento e poluição nos lugares em que os sedimentos se depositam, em especial, quando se trata de reservatórios, rios, lagos e açudes (Ferreira, 2025).

As diferentes obras de engenharia, tais como construções de rodovias, taludes de corte e aterro, barragens, pilhas, entre outras, são concebidas e construídas sem uma preocupação clara e definida quanto aos processos erosivos que poderão ocorrer na fase de construção e de utilização (de Carvalho *et al.*, 2006). No setor de mineração, no caso específico das pilhas de estéril ou rejeito, não são incomuns casos em que seus taludes não recebem um sistema de proteção contra a erosão durante a fase de operação, que pode se estender por vários períodos chuvosos (Gomes, 2012). A pilha de deposição produz sedimentos provenientes da erosão hídrica que podem ser ocasionados pela perda de material devido às chuvas e por problemas no sistema de drenagem superficial da pilha (Saliba, 2009). A geração de sedimentos provocada pelos processos erosivos se torna um grande problema ambiental, uma vez que todo o material carreado, se não controlado, tende a invadir áreas naturais, muitas vezes protegidas ambientalmente, assoreando cursos de água, prejudicando suas vidas úteis e o bom desenvolvimento da vida aquática. Portanto, processos erosivos em taludes de pilha podem acarretar prejuízos estruturais, econômicos e ambientais (de Carvalho *et al.*, 2006; Gomes, 2012).

A escassez de estudos específicos sobre a suscetibilidade à erosão hídrica em pilhas de estéril tem levado pesquisadores a adaptarem metodologias originalmente desenvolvidas para solos naturais (COSTA, 2018). Por exemplo, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE), amplamente utilizada para estimar perdas de solo em áreas agrícolas, tem sido aplicada em contextos de mineração para prever o potencial erosivo de pilhas, apesar da possibilidade de diferenças significativas na composição e na estrutura desses materiais. Estudos, como o realizado por Gomes (2012), destacam a aplicação da USLE em áreas de mineração, evidenciando a necessidade de ajustes nos parâmetros devido às particularidades das pilhas de mineração. Diante o exposto, o projeto de P&D em parceria entre UFMG/VALE objetiva a determinação da taxa de erosão em pilhas de mineração, mediante o uso de um simulador de chuva, com testes em laboratório e campo, para atingir dito objetivo é necessário projetar um simulador de chuva de baixo custo e de fácil utilização em laboratório e nas áreas de mineração.

EQUIPAMENTOS E MÉTODO

Critérios de projeto de um simulador de chuva para mineração

Os simuladores de chuva são equipamentos que permitem estudar a interação entre a chuva e a superfície terrestre, gerando fenômenos físicos complexos como erosão do solo, infiltração e escoamento superficial. Os simuladores de chuva são projetados para simular os efeitos da chuva natural, então o equipamento deverá produzir uma chuva com características de chuva variável que permita uma melhor compreensão do potencial erosivo da chuva, que é a capacidade da chuva de causar erosão do solo (Wischmeier e Smith, 1977). Então, o projeto de um simulador de chuva deve levar em conta os seguintes fatores: a distribuição (natural) do tamanho das gotas; a velocidade terminal das gotas de chuva individuais, a uniformidade da chuva, a intensidade da chuva e a energia da chuva produzida. Os simuladores podem ser classificados conforme seu uso como de campo (Campos, 2021; Souza, 2004; Ponciano *et al*, 2021; Spohr *et al*, 2015) ou de laboratório (Meena *et al.*, 2022), ou conforme seu mecanismo de injeção da chuva são não pressurizados e pressurizados.

As pesquisas em taludes decondicionados é ampla (Khalifa e So, 2024), mas trabalhos em áreas de plena atividade de extração apresentam os seguintes desafios: a) as pilhas sofrem mudanças na sua composição durante a atividade de mineração, é comum ter pilhas com estratos diferentes de estéril ou rejeito, ou em alguns casos com a combinação de ambos na mesma pilha; b) as pilhas sofrem um processo de compactação mecânica quando são erguidas, como forma de reduzir a erosão nelas; c) existem outros focos de erosão, no caso da zona de mineração, as vias de acesso apresentam forte erosão, pois elas se tornam caminhos preferenciais de escoamento concentrado, então deve-se avaliar esta fonte. Então, na Tabela 1 são estabelecidos fatores que permitirão desenvolver um projeto de simulador aplicado na área de mineração (Koch *et al*, 2024; Ngasoh *et al*, 2021 e Khalifa e So, 2024).

Tabela 1. Fatores para o desenvolvimento de um projeto de simulador de chuva, com aplicação em mineração

Fatores	Descrição
Portabilidade	O equipamento deve ser desmontável e leve, requerendo para montagem só de duas pessoas. As zonas de mineração se encontram afastadas, e existe um grande fluxo de veículos pesados de transporte, então a portabilidade é de muita importância. O conjunto básico do simulador deve consistir de uma bomba, gerador elétrico (para o acionamento da bomba e dos dispositivos eletrônicos), reservatório (de 500 a 1000 litros) de PVC ou fibra, e a estrutura metálica composta de tubos com encaixe.
Distribuição uniforme da chuva	A chuva simulada deve ser uniforme na área do teste, nesse sentido é necessário avaliar a uniformidade da chuva mediante medição direta com coletores. Nas pilhas (estéril ou rejeito) com declividade (H:2; V:1), a uniformidade da chuva é importante.
Distribuição do tamanho das gotas	Os métodos sugeridos são da farinha (Carvalho <i>et al</i> , 2012 e Meena, <i>et al</i> , 2022), do óleo, e disdrometro e outros (Koch <i>et al</i> , 2024). Neste caso será adotado o método da farinha por ser barato.
Variabilidade das intensidades	O equipamento deverá produzir uma ampla variedade de intensidade, então o simulador deve ser projetado com um sistema de controle de válvulas com arduino (Souza Junior <i>et al</i> , 2017). Meena <i>et al</i> (2024) desenvolveram um simulador que representa um hietograma, com intensidade variando no tempo. As pilhas permanecem descobertas ao longo do ano, e a atividade mineira muda a configuração

delas em períodos curtos de tempo, então o simulador deverá reproduzir diferentes cenários de chuva em períodos curtos de tempo no campo.

Velocidade da gota
e Energia Cinética

A determinação da velocidade de impacto da gota é feita de forma direta empregando equipamentos fotograficos de alta velocidade ou usando equipamentos laser. Os metodos indiretos fazem uso de modelo matemático de velocidade, sendo só necessário medir a velocidade na saída dos bocais dos aspersores. Nas zonas de mineração em atividade, a capacidade de erosão da energia cinética das gotas é reduzida devido ao grau de compactação mecânica dos taludes de pilha (estéril e rejeito), sendo a maior compactação nas pilhas de rejeito.

Considerando os fatores mencionados na Tabela 1, foram estabelecidos uma sequência de ações: a primeira foi desenvolver um projeto de uma estrutura portátil; a segunda foi desenvolver o sistema de acionamento de válvulas solenoides para o controle da intensidade; e a terceira foi estabelecer um método para determinação da uniformidade da chuva. Posteriormente, serão executadas as outras ações.

Estrutura portátil

Com base no projeto de Souza Junior et al. (2017), foi construída uma estrutura similar, mas que seja demonstrável e leve, com tubos de aço (Figura 1).



Figura 1 – Estrutura desmontável, com detalhes dos encaixes entre os tubos.

Desenvolvimento de um sistema de controle da intensidade

Com a finalidade de testar o sistema de acionamento de válvula solenoide com arduino, foi empregado um simulador de chuva com 2,40m de largura, 2,40m de comprimento e 2,95m de altura, ver Figura 2. Também, contou-se com um reservatório, uma bomba centrífuga de potência de $\frac{3}{4}$ CV, um registro gaveta de controle, um manômetro, duas válvulas solenoides e dois bocais aspersores. Além do sistema controle de acionamento da válvula solenoide.

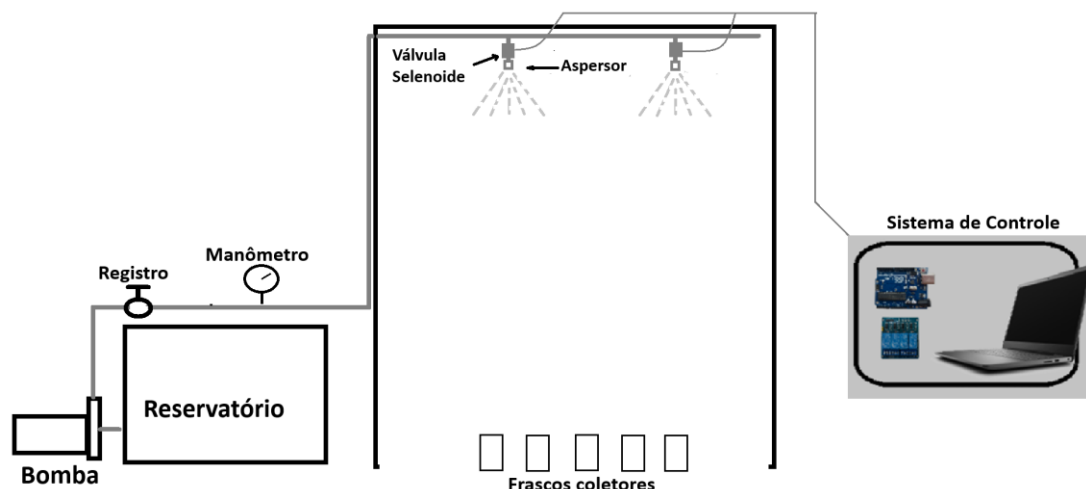


Figura 2 – Conjunto simulador de chuva

O sistema de controle das válvulas é acionada por uma placa Arduino Uno R3, equipada com o microcontrolador ATmega328P, utilizada para projetos de automação de baixa a média complexidade devido à sua ampla acessibilidade no mercado e a simplicidade de sua IDE (*Integrated Development Environment*), que é gratuita e de fácil utilização (Figura 3a). O desenvolvimento do código foi feito nessa mesma plataforma, utilizando a linguagem C++, que permite controlar o tempo de fechamento das válvulas e simular diferentes intensidades de chuva. As válvulas utilizadas são do tipo solenoide ON/OFF, normalmente fechadas, alimentadas em 110 V. Essas válvulas operam de forma binária, ou seja, estão completamente abertas ou completamente fechadas, sem possibilidade de posições intermediárias.



Figura 3. a) Arduino UNO R3; e b) válvula solenoide

A comutação entre os estados ocorre de forma rápida e precisa assim que são energizadas. As válvulas são controladas pelo mesmo sinal do Arduino, de modo que a ativação de uma delas corresponde à ativação simultânea da outra. Cada válvula está conectada diretamente a um aspersor de chuva, instalado imediatamente posterior à válvula, Figura 1. A escolha dos tempos de fechamento e abertura para realização dos testes preliminares foram baseadas nos parâmetros do artigo de referência utilizado (Souza Junior et al., 2017), ajustando os tempos de abertura e fechamento das válvulas conforme a intensidade de chuva a ser simulada.

A determinação da intensidade média da precipitação e a avaliação da distribuição da intensidade do simulador de chuva, consistiu das seguintes etapas:

a) delimitação de uma área de coleta, dentro da área demarcada do simulador de 250 cm × 250 cm, foram definidos pontos de coleta espaçados a cada 25cm, formando uma malha de 10 por 10 pontos, cada ponto foi marcado com tinta. Na área central da malha (10 x 10) foi delimitada uma sub-área de 16 pontos de coleta (malha de 4 x 4), a coleta foi feita com 16 frascos de vidro (Figura 4), cada um deles com 95 mm de diâmetro (área de captação aproximada de 7088,2 mm², individualmente).



Figura 4 - Malha demarcada com os frascos numerados.

b) a intensidade da chuva, depende da combinação do grau de abetura do registro gaveta, do tempo que a válvula selenoide permanece abetura (ta) e do tempo que a válvula selenoide permanece fechada (tf). Então, para os testes preliminares de medição de intensidade foram definidos o registro gaveta totalmente aberto e adotados três combinações de tempo de abertura (ta) e tempo de fechamento (tf). Com base a estas três combinações se obtiveram três intensidades denominadas arbitrariamente de fraca, média e forte conforme é definido na Tabela 2.

Tabela 2- Relação tempo de abertura e fechamento das válvulas para cada intensidade e chuva

Intensidade	ta (s)	tf (s)	Tempo de coleta do teste (t)	Número de teste
Fraca	0,5	2,84	15 min	3
Média	0,5	0,67	10 min	3
Forte	5,28	0,5	10 min	3

Finalizado cada teste, os volumes de água contidos em cada frasco foram medidos em mililitros (ml) com o uso de proveta. Com base na área do diâmetro dos recipientes, calculou-se a lâmina coletada (em mm) e, posteriormente, a intensidade da chuva (mm/h), utilizando a fórmula:

$$I = \frac{h}{t} \quad (1)$$

Onde h é a lâmina média (em mm) e t o tempo de coleta (em horas).

c) A avaliação da Uniformidade foi utilizado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) para avaliar a homogeneidade da distribuição da lâmina de chuva:

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum |I_i - \bar{I}|}{n \cdot \bar{I}}\right) \quad (2)$$

Onde I_i é a intensidade de um ponto, \bar{I} é a intensidade média, e n é o número de pontos ou frascos.

RESULTADOS

Na tabela 03 é a apresentado os resultados do volume coletado em cada frasco, conforme os três tipos de intensidades fraca, média e forte.

Tabela 3 - Resultados de volumes coletados

Frasco	Intensidade (mm/h)								
	Nº	Fraca 15min	Fraca 15min	Fraca 15min	Média 10min	Média 10min	Média 10min	Forte 10min	Forte 10min
1	71,1	71,1	71,1	193,0	216,7	204,8	294,6	252,3	272,6
2	62,1	62,1	62,1	171,0	189,6	181,1	243,8	240,4	326,7
3	57,6	57,6	57,6	154,1	193,0	174,4	223,5	204,8	213,3
4	54,2	53,0	54,2	147,3	159,1	154,1	211,6	216,7	213,3
5	73,4	75,6	73,4	199,8	220,1	209,9	287,8	257,3	272,6
6	60,9	62,1	62,1	165,9	186,2	176,1	245,5	228,5	237,0
7	54,2	54,2	54,2	147,3	162,5	155,8	208,2	204,8	206,5
8	55,3	56,4	56,4	149,0	162,5	155,8	204,8	204,8	204,8
9	67,7	70,0	68,8	187,9	189,6	189,6	272,6	252,3	262,4
10	59,8	62,1	62,1	162,5	182,8	172,7	233,6	209,9	221,8
11	53,0	55,3	54,2	143,9	159,1	152,4	204,8	191,3	198,1
12	54,2	56,4	54,2	150,7	165,9	159,1	206,5	204,8	204,8
13	64,3	66,6	66,6	181,1	203,2	193,0	270,9	245,5	259,0
14	59,8	62,1	59,8	162,5	179,5	171,0	237,0	216,7	226,9
15	55,3	63,2	59,8	150,7	165,9	159,1	213,3	186,2	199,8
16	54,2	54,2	55,3	145,6	159,1	152,4	208,2	198,1	203,2
média	59,8	61,4	60,7	163,3	181,0	172,6	235,4	219,7	232,7

Com estes resultados foram calculados o coeficiente de uniformidade para cada teste, aplicando a equação 2. Na figura 5 é apresentada um gráfico de barras comparando os valores de CUC de cada testes.

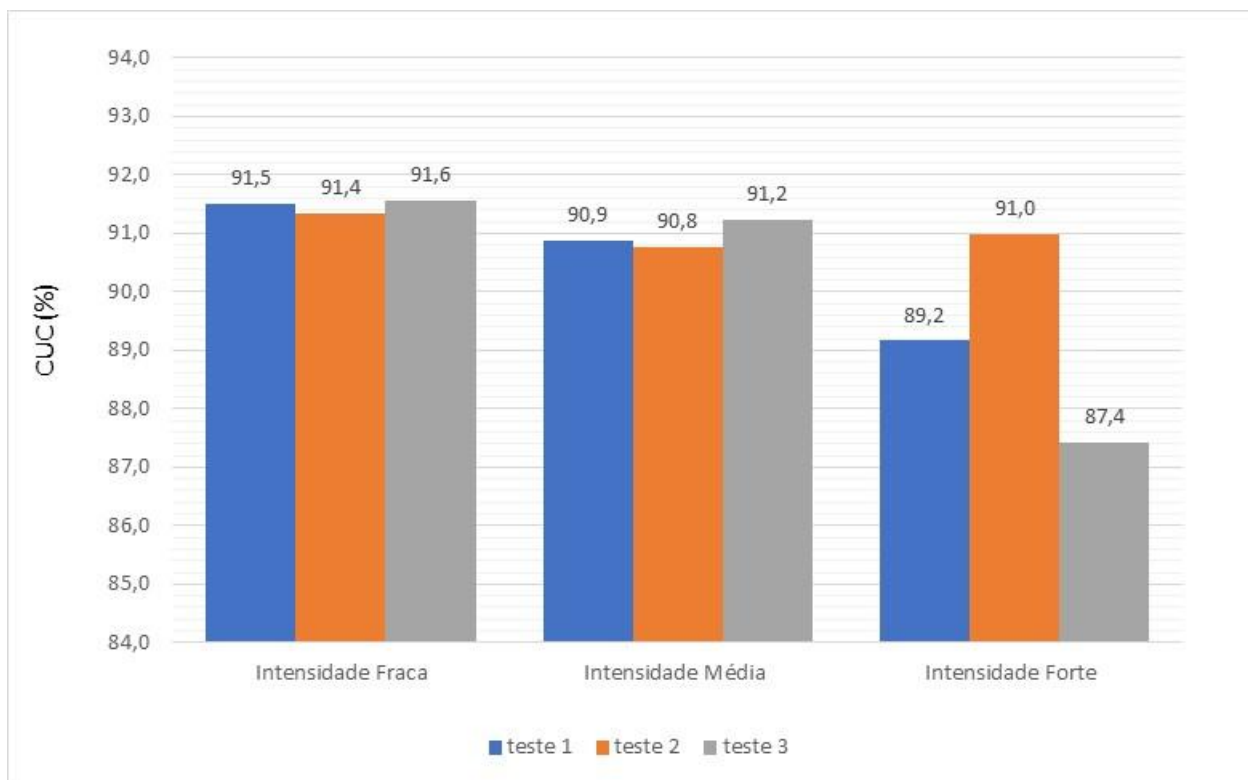


Figura 5. Comparação dos coeficientes de uniformidade por intensidade de chuva e testes

Tomando como referência a uniformidade de irrigação, definindo como: **Excelente:** CUC acima de 90%; **Bom:** CUC entre 80% e 90%; **Normal:** CUC entre 75% e 80%; **Ruim:** CUC abaixo de 75%; **Inaceitável:** CUC abaixo de 60%. Os valores de CUC da intensidade fraca ficaram acima de 90% sendo considerado excelente, no caso da chuva média os valores de CUC ficaram levemente acima de 90% sendo considerados também excelente, na intensidade forte dois resultados ficaram na faixa de bom e um resultado é considerado excelente. Um factor importante é o tempo de coleta, pois na intensidade fraca o tempo foi de 15min e nas intensidades média e forte o tempo foi de 10min, talvez uma melhora nos CUC dos testes estará associada a um maior tempo de coleta. Por outro lado, nos testes preliminares foi explorada uma combinação de tempo de abertura (t_a) e tempo de fechamento (t_f) com o registro gaveta totalmente aberto, futuros testes podem ser feitos com outras combinação de t_a e t_f , além de poder regular o fechamento do registro gaveta para obter uma pressão P no manômetro.

Então, futuramente se pretende realizar um conjunto de testes com combinações diferentes de fechamento de registro gaveta, t_a e t_f , obtendo um conjunto de intensidades, que permitam estabelecer uma função $I = função(P, t_a, t_f)$ conforme Souza Junior et al. (2017).

CONCLUSÃO

Considerando os fatores de projeto de simulador de chuva, foi possível desenvolver uma estrutura demontável e leve, adequada para testes de campo, especificamente nas áreas de mineração. O sistema de controle de abertura e fechamento das válvulas solenoides permitiu testar três intensidades diferentes, posteriormente serão realizados testes com diferentes combinações de tempo de abertura (t_a) e fechamento (t_f), com a finalidade de obter uma maior faixa de intensidades. Os resultados preliminares do teste da uniformidade da intensidade de chuva, apresentaram que a maioria dos valores do coeficiente de uniformidade (CUC) da distribuição da intensidade da chuva ficaram na categoria de excelente ($CUC > 90\%$). Futuramente, pretende-se avaliar a distribuição do tamanho das gotas da chuva simulada, e determinar a energia cinética da precipitação, também deve ser aperfeiçoado o sistema de controle das válvulas solenoides, com a finalidade de poder variar a intensidade no tempo, e reproduzir precipitações naturais.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, C. A. R. E. de. *Simulador de chuva portátil para análise da erosão dos solos: aplicação a áreas aridas*. Dissertação de Mestrado: Universidade do Minho (2021).
- 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. RBRH, Volume 17 n.3, 2012.
- COSTA, G. W. O. *Crerios operacionais para redução da contribuio de sedimentos gerados em pilhas de estéril*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) – Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018.
- DE CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; DE SOUZA, N. M.; MELO, M. T. *Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro*. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC. xxxiv, 464 p, 2006.
- FERREIRA, D. *Proposta de método para avaliação da erosão hídrica em taludes de pilhas de estéril e verificação da eficiência do uso de cal como revestimento de proteção*, Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2025.
- GOMES, L. L. *Avaliação espacial da perda de solo por erosão pela equação universal de perda do solo (EUPS) – pilha de estéril sul – Carajás/PA*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2012.
- KHALIFA, A. K. AND SO, H. B. *Using Rainfall Simulators to Design and Assess the Post-Mining Erosional Stability*, In Soil Erosion - Risk Modeling and Management, IntechOpen, 2024.
- KOCH, T., CHIFFLARD. P.; AARTSMA, P. & PANTEN, K. *A review of the characteristics of rainfall simulators in soil erosion research studies*, MethodsX 12, 2024. doi:102506
- MEENA, R. K.; SEN. S.; NANDA, A. & DASS, B. AND ANURAG MISHRA. *A contribution to rainfall simulator design – a concept of moving storm automation*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 26, 4379–4390, 2022. (simulador de chuva natural storm)
- NGASOH, F. G.; MBAJIORGU, C. C.; KAMAI, M. B. AND OKORO, G. O. *A Revisit of Rainfall Simulator as a Potential Tool for Hydrological Research*. In Agrometeorology, DOI: 10.5772/intechopen.87446, 2021.
- PONIANO, V. F. G.; PONCIAMO, I. M. & GAMA, M. R. Development of Portable Rainfall Simulator. Ciência Agrícola, V. 19, nº 1. 2021.

SALIBA, A. P. M. *Uma nova abordagem para análise de ruptura por galgamento de barragens homogêneas de solo compactado*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

SOUSA JÚNIOR, S. F de. MENDES, T. A. & SIQUEIRA, E. Q. de. *Development and calibration of a rainfall simulator for hydrological studies*. Brazilian Journal of Water Resources ISSN 2318-0331, 2017.

SOUZA, M. D. de. *Desenvolvimento e Utilização de um Simulador de Chuvas para Estudos de Atributos Físicos e Químicos do Solo Relacionados a Impactos Ambientais*, Documentos 37, EMBRAPA, 2004.

SPOHR, R. B.; CORCINI, A. L. M.; PELLEGRIN, J.; BONFANTI, J. B.; SOTO, M. F. D. & CARDOSO, T. *Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil*. RBRH: Porto Alegre, vol. 20, nº 2, p. 411 – 417, 2015.

WISCHMEIER, W. & SMITH, H. D. D. *Predicting rainfall erosion losses*. A guide to conservation planning, The USDA Agricultural Handbook, 1978.

AGRADECIMENTOS

À VALE S.A. pelo apoio financeiro do projeto, ao Centro de Pesquisa Hidráulicas (CPH) da Universidade Federal da Minas Gerais UFMG e à Fundação Cristiano Otoni (FCO) pelo apoio logístico.