

HIDRÁULICA DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL EM SISTEMAS DE SEMEADURA DIRETA: ESTUDO COM CHUVA SIMULADA

EDUARDO AUGUSTO AGNELLOS BARBOSA¹, JOÃO LUÍS MARTINS FIDELIS FILHO²; HEVERTON FERNANDO MELO³, FABRÍCIO TONDELLO BARBOSA⁴, NEYDE FABÍOLA BALAREZO GIAROLA⁵

¹ Doutor, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa, eaabarbosa@uepg.br

² Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, joaoluismartinsfidelisfilho@gmail.com

³ Mestre, doutorando do Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Ponta Grossa. hevertonfernando@gmail.com

⁴ Doutor, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa, ftbarbosa@uepg.br

⁵ Doutora, Dep. de Ciência do Solo e Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa, neydef@uepg.br

Apresentado no
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: O Sistema Plantio Direto (SPD) é prática de cultivo conservacionista, caracterizado pela manutenção da palhada, revolvimento mínimo do solo e rotação de culturas. A manutenção da palhada sobre a superfície do solo reduz a degradação dos agregados do solo provocada pelo impacto das gotas de chuva e contribui também para a retenção da água na superfície do solo, com redução da velocidade do escoamento superficial. Entretanto, o SPD favorece a compactação das camadas superficiais do solo e redução da rugosidade do solo, o que favorece a formação de escoamento superficial. O estudo teve como objetivo avaliar as características hidráulicas do escoamento superficial, em parcelas cultivadas com semeadura direta com diferentes manejos de plantas de cobertura e escarificação do solo, sob condição de chuva simulada, na região dos Campos Gerais do Paraná. Os tratamentos consistiram em parcela mantida permanentemente descoberta, sistema plantio direto na rotação soja/mix/milho/aveia, semeadura direta na sucessão soja/trigo em semeadura direta na sucessão soja/trigo escarificação esporádica do solo. As chuvas simuladas foram realizadas após a semeadura da cultura de inverno com intensidade de 100 mm h⁻¹ e duração de 90 min. Os resultados indicam que o sistema SPD promove redução da velocidade de escoamento superficial, com modificações nos coeficientes de Darcy-Weisbach e Manning, nas parcelas com rotação de culturas e na parcela escarificada após a intervenção mecânica pelo aumento da rugosidade do solo. O tratamento sem cobertura do solo apresentou elevada velocidade de escoamento superficial e número de Froude, enquanto os coeficientes de Darcy-Weisbach e Manning foram baixos.

PALAVRAS-CHAVE: Velocidade de escoamento superficial; Coeficiente de Manning; Coeficiente de Darcy-Weisbach; Número de Froude.

HYDRAULIC OF RUNOFF IN NO-TILLAGE SYSTEMS: STUDY WITH SIMULATED RAINFALL

ABSTRACT: The No Tillage system (NT) is a conservationist cultivation practice, characterized by minimum soil disturbance, maintenance of a permanent soil cover, and diversification of plant species. The maintenance of a permanent soil cover reduces the degradation of soil aggregates caused by the impact of raindrops and contributes to the retention of water on the soil surface, with a reduction in the runoff velocity. However, NT promotes the compaction of the surface layers of the soil and the reduction of soil roughness, which favors the formation of runoff. The aim of this study was to evaluate the hydraulic characteristics of surface runoff in plots cultivated with no-tillage with different cover crop

management and chiseling soil, under simulated rain conditions. Treatments consisted of plots without permanent soil cover, no-tillage system in soybean/mix/corn/oat rotation, minimum cultivation in soybean/wheat succession and minimum cultivation in soybean/wheat succession with sporadic chiseling soil. The simulated rains were carried out after sowing the winter crop with intensity of 100 mm h⁻¹ and duration of 90 min. The results indicate that the NT promotes a reduction in the runoff velocity, with changes in the Darcy-Weisbach and Manning coefficients, in the plots with crop rotation and in the scarified plot after mechanical intervention by increasing the soil roughness. In plot without soil cover the runoff velocity and froude number were high, while the Darcy-Weisbach and Manning coefficients were low. **KEYWORDS:** Runoff velocity; Manning coefficient; Darcy-Weisbach coefficient; Froude Number.

INTRODUÇÃO:

A região dos Campos Gerais do Paraná se destaca como um dos principais polos agrícolas do Brasil, sendo referência no cultivo conservacionista de grãos no sistema plantio direto (SPD) e semeadura direta (SD). O SPD, caracterizado pela manutenção da palhada na superfície do solo, ausência de revolvimento do solo e rotação de culturas, bem como a SD, reduz a energia cinética da gota de chuva sobre o solo e promove redução das perdas de solo e água. No entanto, o desrespeito aos princípios básicos do SPD e a exclusão de práticas conservacionistas de solo e água ocorridas nos últimos anos, promoveram a retomada do processo erosivo nas áreas cultivadas

O uso da sucessão de culturas trigo/soja se tornou muito atrativa e rentável a curto prazo, entretanto, existe a preocupação desse sistema de cultivo reduzir a qualidade estrutural do solo no decorrer dos anos e, em conjunto com a intensificação do uso de máquinas agrícolas aliada a cobertura insuficiente da superfície do solo e a pode acelerar a degradação dos solos e tornar ineficaz o controle adequado da erosão em plantio direto (DENARDIN et al., 2014), resultando em uma compactação excessiva da camada superficial do solo e redução da rugosidade da superfície (KUNZ et al. 2013).

A compactação do solo afeta diretamente a capacidade de infiltração de água no solo e eleva a formação do escoamento superficial e dos processos erosivos (BOGUNOVIC et al., 2018). Pelo agravamento da degradação dos solos em SPD, agricultores tem recorrido ao revolvimento esporádico do solo, com utilização de escarificadores como forma de romper camadas compactadas, reduzir o escoamento superficial, melhorar a infiltração de água e diminuir a resistência do solo ao crescimento radicular (CAMARA; KLEIN, 2005), embora esta prática seja questionável quanto a sua eficácia por não ter efeitos de longo prazo sobre a estrutura do solo, além que seu uso implica em aumento do tráfego agrícola acarretando em custos maiores de produção.

A rotação de culturas, premissa básica do SPD, favorece a estrutura do solo e a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo, que poderão reter as gotas de chuva e dissipar sua energia, minimizando a desagregação das partículas e formação do selamento superficial, e, beneficia a infiltração de água no solo (SCHICK et al., 2017). O manejo adequado do solo e a manutenção da palhada possibilita um incremento da retenção e da velocidade de infiltração de água no solo, bem como da redução da velocidade de escoamento da água na superfície do solo (OMIDVAR et al., 2019), promovendo modificações nas características hidráulicas do escoamento superficial (ZHAO et al., 2016; SUN et al., 2018).

A compreensão dos parâmetros hidráulicos de escoamento superficial, como o número de Reynolds, número de Froude, coeficientes de fricção de Darcy-Weisbach, coeficiente de Manning e a velocidade de cisalhamento é importante para a adoção de práticas de manejo conservacionista do solo e da água (PAN; SHANGGUAN, 2006), visando reduzir a perda de solo e preservar o meio ambiente. Assim, a presença de cobertura vegetal reduz o número de

Reynolds e o número de Froude, enquanto aumenta os coeficientes de fricção de Darcy-Weisbach e de Manning. Desta forma, o estudo teve como objetivo avaliar as características hidráulicas do escoamento superficial, em parcelas cultivadas com semeadura direta com diferentes manejos de plantas de cobertura e escarificação do solo, sob condição de chuva simulada, na região dos Campos Gerais do Paraná.

MATERIAL E MÉTODOS:

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola “Capão da Onça” da UEPG, localizada entre 25° 05’ 49” S e 50° 03’ 11” W, a 975 m de altitude. O clima é do tipo Cfb segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 17,5° C e precipitação média anual de 1.495 mm (INMET, 2020). O solo da área foi classificado como Latossolos Vermelho-Amarelo distrófico (SANTOS *et al.*, 2018).

A unidade experimental teve dimensões de 3,5 m de largura e 11 m de comprimento, totalizando uma área de 38,5 m², delimitada nas laterais e extremidade superior por chapas galvanizadas com 20 cm de altura, cravadas a 10 cm de profundidade. A declividade média da área é de 17,2%. A instalação das parcelas ocorreu em dezembro de 2019, e em janeiro de 2020, a implantação do primeiro cultivo, sendo a escarificação realizada em dois momentos distintos: dezembro de 2020, antecedendo ao cultivo de verão, e em agosto de 2021, antecedendo ao cultivo de inverno. Os testes de chuva iniciaram 21 meses após a instalação do experimento, em setembro de 2021.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, constituído de quatro tratamentos com três repetições. Os tratamentos foram: parcela sem vegetação, mantida permanentemente descoberta (SSC); sistema plantio direto na rotação soja/mix/milho/aveia (ROT); semeadura direta na sucessão soja/trigo (SUC); em semeadura direta na sucessão soja/trigo escarificação esporádica do solo (SES).

As chuvas simuladas foram realizadas com aparelho simulador de chuva de braços rotativos do tipo empuxo (BERTOL *et al.*, 2012), que cobre simultaneamente duas parcelas, os emissores são do tipo VEEJET 80/100. Foi aplicado um evento de chuva simulada aos 18 dias após a semeadura da cultura de inverno na safra de 2022 (após colheita do milho no tratamento ROT e soja nos tratamentos SUC e SES), com duração de 90 minutos e intensidade de 100 mm h⁻¹.

A vazão do escoamento superficial foi determinada pelo método direto, anotando o tempo de enchimento de um balde de 13 litros. A velocidade de escoamento da enxurrada foi estabelecida por meio da metodologia descrita por Cogo *et al.* (1983). Após 75 min de teste foi realizada a aplicação de corante (azul de metileno) e com auxílio de cronômetro foi estabelecido o tempo que o corante levou para percorrer uma distância de 5,0 m dentro de cada parcela, obtendo desta forma a velocidade de escoamento (m s⁻¹).

Com o valor de velocidade estabelecida, em planilha eletrônica, determinou-se as características hidráulicas do escoamento, seguindo a metodologia descrita em Pan & Shanguan (2006) e Zhuang *et al.* (2018), sendo: a altura da lâmina de escoamento (Equação 1), velocidade de cisalhamento (Equação 2), o número de Reynolds (Equação 3), o número de Froude (Equação 5), o coeficiente de fricção de Darcy-Weisbach (Equação 6) e de coeficiente de rugosidade de Manning (Equação 7).

$$h = \frac{Q}{L \times v} \quad (1)$$

em que,

h - altura da lâmina de escoamento (m);

Q - vazão por unidade de largura (m² s⁻¹);

L - largura da parcela experimental (m); v a velocidade de escoamento (m s⁻¹);

$$U_* = \sqrt{g \times R_h \times S} \quad (2)$$

em que,

U_* - velocidade de cisalhamento;
 g - aceleração da gravidade ($m s^{-2}$);
 R_h - raio hidráulico (m);
 S - declive da parcela ($m m^{-1}$).

$$Re = \frac{v \times R_h}{\nu} \quad (3)$$

em que,

Re - número de Reynolds, adimensional;
 v - velocidade de escoamento ($m s^{-1}$);
 R_h - raio hidráulico (m);
 ν - viscosidade cinemática da água ($m^2 s^{-1}$). A viscosidade cinemática da água foi corrigida pela temperatura da água, conforme equação 4.

$$\nu = [1,14 - 0,031 \times (T - 15) + 0,00068 \times (T - 15) \times 2] \times 10^{-6} \quad (4)$$

em que,

T - Temperatura da água ($^{\circ}C$).

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times R_h}} \quad (5)$$

em que,

Fr - número de Froude;
 v - velocidade de escoamento ($m s^{-1}$);
 g - aceleração da gravidade ($m s^{-2}$);
 R_h - raio hidráulico (m).

$$f = \frac{8 \times g \times h \times S}{v^2} \quad (6)$$

em que,

f - fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional);
 g - aceleração da gravidade ($m s^{-2}$);
 S - declividade da parcela experimental ($m m^{-1}$);
 v - velocidade de escoamento ($m s^{-1}$);

$$n = \frac{R_h^{2/3} \times S^{1/2}}{v} \quad (7)$$

em que,

n - coeficiente de rugosidade de Manning ($s m^{1/3}$);
 R_h - raio hidráulico (m);
 S - declividade da parcela experimental ($m m^{-1}$);
 v = velocidade de escoamento ($m.s^{-1}$).

Os dados foram submetidos a estatística descritiva e presença de outliers pelo método Grubbs ($p < 0,05$). Foi realizada análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas através do teste Tukey ao nível de 5% de significância, através do software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os resultados obtidos entre os tratamentos evidenciaram diferentes valores de velocidade de escoamento superficial, vazão de pico, velocidade de cisalhamento e altura da lâmina de escoamento, em decorrência do manejo adotado e cobertura residual de cada parcela são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Síntese dos valores de análise de variância dos parâmetros hidráulicos nos tratamentos: sistema plantio direto (ROT), sistema semeadura direta com sucessão de culturas (SUC), sem cobertura vegetal permanentemente (SSC), sistema semeadura direta com sucessão de culturas + escarificação a cada dois anos (SES) após semeadura da safra de inverno 2022.

Tratamentos	v (m s ⁻¹)	q (L s ⁻¹)	U* (m s ⁻¹)	h (m)
ROT	0,0153 a	0,406 ab	0,1126 b	0,8097 b
SUC	0,0550 a	0,413 ab	0,0586 a	0,2233 a
SES	0,0357 a	0,211 a	0,0498 a	0,1713 a
SSC	0,1567 b	0,724 b	0,0456 a	0,1383 a
F (%)	38,18*	7,00*	10,73*	4,05*
Tratamentos	Re	Fr	f	n
ROT	116,21 ab	0,064 a	545,81 a	0,078 a
SUC	118,82 ab	0,417 a	10,44 b	0,006 b
SES	60,72 a	0,309 a	22,94 b	0,007 b
SSC	208,37 b	1,141 b	0,42 c	0,001 b
F (%)	7,12*	19,03*	3,80*	4,46*

v = velocidade de escoamento; q = vazão; U* = velocidade de cisalhamento; h = altura lâmina de água; Re = número de Reynolds; Fr = número de Froude; f = fator de atrito de Darcy-Weisbach; n = coeficiente de rugosidade de Manning; * = Significativo a p<0,05 pelo teste de Tukey; ^{ns} = Não significativo pelo teste de Tukey a p<0,05. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a p<0,05.

A velocidade de escoamento entre os tratamentos cultivados apresentou diferenças significativas, sendo que o tratamento com rotação de culturas ($v = 0,0153 \text{ m s}^{-1}$), apresentou valores de velocidade inferior ao cultivo com a sucessão ($v = 0,0550 \text{ m s}^{-1}$) e sucessão mais escarificação ($v = 0,0357 \text{ m s}^{-1}$). Esse resultado, sinalizam a importância da rotação de cultura para uma construção efetiva da cobertura residual, que irá elevar a resistência de deslocamento do escoamento superficial (OMIDVAR et al., 2019). Ao observarmos as médias obtidas dentro dos dois eventos de chuva simulada na safra de inverno e verão (Tabela 1), os valores para o tratamento de solo sem cobertura (SSC) são inferiores quando comparados com os demais tratamentos. O solo quando não apresenta cobertura vegetal é exposto diretamente as gotas de chuva, estas que propiciam o adensamento em sua superfície a ponto de iniciar mais rapidamente o escoamento e promovem efeito desagregador provocado pela ação do preparo secundário (PANACHUKI et al., 2010).

Todos os tratamentos apresentaram valores de Reynolds inferior a 500, o que caracteriza um regime de escoamento laminar. Para todas as condições da superfície do solo o número de Reynolds aumentou com a intensidade de precipitação embora não se tenha verificado uma relação clara entre o número de Froude e a intensidade de precipitação. Constatou-se uma redução da velocidade de escoamento e aumento nos coeficientes de Darcy-Weisbach e Manning, nas parcelas com rotação de culturas ($f = 545,81$ e $n = 0,078$) em resposta ao maior acúmulo de palhada em relação aos demais tratamentos. De forma similar foram observados, em Pan & Shangguan (2006) diminuição do número de Reynolds e do número de Froude e aumento do coeficiente de rugosidade de Manning e do coeficiente de resistência de Darcy-Weisback com o aumento da cobertura do solo.

O Froude diminuiu nos tratamentos cultivados pela ação de resistência ao escoamento promovida pela rugosidade formada pelos resíduos de cobertura morta conforme indicado pelo aumento do coeficiente de Darcy-Weisbach, proveniente da diminuição de palhada e aumento da velocidade de escoamento. No tratamento sem cobertura do solo o Fr foi de 1,141, valor no qual o escoamento forma sulcos de erosão. Segundo Slattery; Bryan, (1992), quando o escoamento alcançar um número de Froude de 1,2, tem início a formação dos sulcos para solos arenosos e de 2,8, para solos de textura mais argilosa e coesos, fato constatado durante os eventos de chuva simulada na parcela sem cobertura, conforme ilustração presente na Figura 1. Desta forma, os resultados obtidos após a semeadura de inverno demonstram a importância da manutenção da cobertura residual e realização da rotação de cultura para elevar a rugosidade do solo e elevar a barreira física ao escoamento, reduzindo seus efeitos deletérios sobre o solo.



FIGURA 1. Formação de sulcos em decorrência da erosão, após a aplicação da chuva simulada.

Na chuva de inverno, o tratamento de rotação de culturas apresentou palhada proveniente da cultura do milho, ou seja, este resíduo permanece mais tempo, possui um maior volume e tem lenta decomposição. Em contrapartida, os tratamentos cultivados com sucessão e sucessão com escarificação esporádica apresentavam os resíduos vegetais de soja, o que se decompõem com mais facilidade e tem menor volume. A cobertura morta originou não apenas diminuição significativa da velocidade do escoamento superficial, mas também aumento da altura da lâmina líquida cujos resultados estão de acordo com outros estudos como Santos *et al.* (2010) e Feng *et al.* (2022).

A presença de resíduos vegetais sobre a superfície do solo altera as características do escoamento superficial gerado pela chuva, e, a desagregação e transporte de sedimento resultantes do processo erosivo. O aumento na cobertura do solo com resíduos vegetais elevou a altura da lâmina de escoamento e a rugosidade hidráulica e reduziu a velocidade média do escoamento, provocada pelo aumento das forças viscosas promovida pela interposição física dos resíduos ao escoamento. A cobertura morta reduziu a taxa de escoamento quando em comparação com a parcela de solo descoberto. Este resultado é consistente com outros estudos como Benito *et al.* (2003) e Su *et al.* (2022), em que, a cobertura vegetal reduz o escoamento e isso pode estar associado à maior densidade do solo e menor estabilidade de agregados.

CONCLUSÕES:

O cultivo em sistema plantio direto resultou em redução da velocidade de escoamento superficial, com maior rugosidade da superfície alterando os parâmetros hidráulicos do escoamento superficial. O solo sem cobertura residual apresentou elevados valores de velocidade devido à ausência da barreira física.

A hidráulica do escoamento superficial é afetada pela presença de resíduos vegetais na superfície do solo, sendo que a rotação de cultura, reduz as taxas de desagregação do solo e aumenta a resistência, o que provoca diminuição do número de Reynolds e do número de Froude do escoamento.

AGRADECIMENTOS:

A Fundação Araucária, FAEP, SENAR-PR e Rede Paranaense de Agropesquisa e Formação Aplicada. Bolsa de Doutorado da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES. Bolsa de Iniciação científica da Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS:

- BENITO, E.; SANTIAGO, J.L.; BLAS, E.D.; VARELA, M.E. Deforestation of water-repellent soils in Galicia (NW Spain): Effects on surface runoff and erosion under simulated rainfall. **Earth Surf. Proc. Land.** v.28, p.145–155, 2003.
- BERTOL, I.; BERTOL, C.; BARBOSA, F. T. Simulador de chuva tipo empuxo com braços movidos hidráulicamente: fabricação e calibração. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 36, p.1905–1910, 2012.
- BOGUNOVIC, I.; PEREIRA, P.; KISIC, I.; SAJKO, K.; SRAKA, M. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia), **CATENA**, v.160, p.376-384, 2018.
- COGO, N.P.; MOLDENHAUER, W.C.; FOSTER, G.R. Effect of crop residue, tillage induced roughness, and runoff velocity on size distribution of eroded soil aggregates. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.47. p.1005-1008, 1983.
- DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; FAGANELLO, A.; COGO, N.P. **Agricultura conservacionista no Brasil: uma análise do conceito à adoção.** In: LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; ARAÚJO, A.S.F. (org.). Agricultura conservacionista no Brasil. Brasília: Embrapa, 2014. p.23-41.
- Feng, L.Q.; Wang, W.L.; Guo, M.M.; Shi, Q.H.; Guo, W.Z.; Lou, Y.B.; Kang, H.L.; Chen, Z. X. Effects of grass density on the runoff hydraulic characteristics and sediment yield in gully headcut erosion processes. **Hydrol. Process.** v.36 (8), p. e14643, 2022.
- Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Disponível em: [Instituto Nacional de Meteorologia - INMET](http://www.inmet.gov.br/). Acesso em: 10 maio. 2023.
- KUNZ, M. et al. Compactação do solo na integração soja pecuária de leite em Latossolo argiloso com semeadura direta e escarificação. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v.37, n.6, p.1699-1708, 2013.
- OMIDVAR, E.; HAJIZADEH, Z.; GHASEMIEH, H. Sediment yield, runoff and hydraulic characteristics in straw and rock fragment covers. **Soil Tillage Res.**, v.194, p.104324, 2019.
- PAN, C.; SHANGGUAN, Z. Runoff hydraulic characteristics and sediment generation in sloped grassplots under simulated rainfall conditions, **J. Hydrol.**, v.331, p.178-185, 2006.
- PANACHUKI, E. et al. Rugosidade da superfície do solo sob diferentes sistemas de manejo e influenciada por chuva artificial. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v. 34, n. 2, p. 443–452, 2010.

- SANTOS, T.; MONTENEGRO, A.; PEDROSA, E. Características hidráulicas e perdas de solo e água sob cultivo do feijoeiro no semi-árido. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v.13, n.3, p.217-255, 2009.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; BARBOSA, F.T.; MIQUELLUTI, D.J.; COGO, N.P. Water erosion in a long-term soil management experiment with a Humic Cambisol. **Rev. Bras. Cienc. Solo**, v.41, e0160383, 2017.
- SLATERRY, M.C; BRYAN, R.B. Hydraulic conditions for rill incision under simulated rainfall: A laboratory experiment. **Earth Surf Process Landf.** v.17, p.127-146, 1992.
- SU, Y.; ZHANG, Y.; WANG, H.; ZHANG, T. Effects of vegetation spatial pattern on erosion and sediment particle sorting in the loess convex hillslope. **Sci Rep**, v.12, p.14187, 2022.
- SUN, J.; FAN, D.; YU, X.; LI, H. Hydraulic characteristics of varying slope gradients, rainfall intensities and litter cover on vegetated slopes. **Hydrol. Res.**, v.49, p.506-516, 2018.
- ZHAO, C.; GAO, J.; HUANG, Y.; WANG, G.; ZHANG, M. Effects of vegetation stems on hydraulics of overland flow under varying water discharges. **Land Degrad. Dev.**, 27, p.748-757, 2016.