

## CLASSIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SOLO POR MEIO DAS VIBRAÇÕES INCIDENTES NA FERRAMENTA DE CAPINA DE UM CULTIVADOR MECÂNICO

**Thales César Coelho Santos<sup>1</sup>, Geice Paula Villibor<sup>2</sup>, Joseph Kalil Khoury Junior<sup>3</sup>, Brian Lynn Steward<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Engenheiro Mecânico; email: thales.cezar@ufv.br

<sup>2</sup> Eng. Agrícola e Ambiental, Prof.ª. Dra, Depto. de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa – MG, geice.villibor@ufv.br

<sup>3</sup> Eng. Agrícola, Prof. Dr., Depto. de Engenharia de Produção e Mecânica, Universidade Federal de Viçosa -UFV, Viçosa – MG, kalil@ufv.br

<sup>4</sup> Eng. Agrícola, Prof. Dr., Depto. de Engenharia Agrícola e Biosistemas, Iowa State University - ISU, AMES – IA, EUA, bsteward@iastate.edu

Apresentado no  
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022  
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

**RESUMO:** Um dos desafios encontrados na automatização da operação de capina mecânica é a grande variação das condições de solos em uma mesma área. Desta forma, para atingir um ponto ótimo de controle, é necessário que a ferramenta de capina adapte seus parâmetros operacionais, em função das características do solo, além da identificação e alcance das plantas invasoras. Objetivou-se com o presente trabalho utilizar a análise discriminante linear para identificar características de classificação de solos, com base na resposta vibracional da ferramenta de cultivo. As acelerações na ferramenta de capina de um cultivador mecânico foram adquiridas por um acelerômetro triaxial posicionado no mancal do eixo do rotor. Para o desenvolvimento dos classificadores foram utilizados os dados de aceleração, com o rotor a uma velocidade angular de 25 rpm, com uma profundidade de trabalho no solo de 25 mm em três condições de solo. Por meio da análise discriminante foram selecionados três classificadores, utilizados como parâmetros de entrada para a função discriminante de Anderson para avaliar a possibilidade de se classificar condições de solo inéditas. Por meio da validação cruzada foi identificado um erro de classificação de 0,17% com utilização dos picos inferiores de aceleração nos eixos x, y e z como classificadores. Esse resultado mostra que é possível utilizar esse método de classificação para identificação de solos em tempo real afim de melhorar o processo de capina mecânica autônoma.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plantas daninhas, Análise Discriminante, Acelerações.

### SOIL CONDITIONS CLASSIFICATION THROUGH INCIDENT VIBRATIONS IN THE WEEDING TOOL OF A MECHANICAL CULTIVATOR

**ABSTRACT:** One of the challenges encountered in automating the mechanical weeding operation is the wide variation in soil conditions in the same area. Thus, to reach an optimal point of control, it is necessary that the weeding tool adapts its operational parameters, depending on the characteristics of the soil, in addition to the identification and hit the invasive plants. The objective of the present work was to use linear discriminant analysis to identify soil classification characteristics, based on the vibrational response of the cultivation tool. Accelerations in the weeding tool of a mechanical cultivator were acquired by a triaxial accelerometer positioned on the rotor shaft bearing. For the classifiers development, acceleration data were used, with the rotor at an angular speed of 25 rpm, with a working depth in the ground of 25 mm in three soil conditions. Through discriminant analysis, three classifiers

were selected, used as input parameters for the Anderson discriminant function to evaluate the possibility of classifying unprecedented soil conditions. Through cross-validation, a classification error of 0.17% was identified using the lower acceleration peaks in the x, y and z axes as classifiers. This result shows that it is possible to use this classification method for soil identification in real time in order to improve the autonomous mechanical weeding process.

**KEYWORDS:** invasive plants, discriminant analysis, accelerations.

**INTRODUÇÃO:** O controle de plantas daninhas é de suma importância para o aumento da produtividade das culturas. A disseminação dessas espécies indesejadas, em meio às plantações, pode gerar grandes perdas econômicas (KSHETRI, 2020; PLÁCIDO, 2020). Um dos desafios encontrados na automatização da operação de capina mecânica é a grande variação das condições de solos em uma mesma área (MERFIELD, 2016). Desta forma, para atingir um ponto ótimo de controle, é necessário que a ferramenta de capina adapte seus parâmetros operacionais, em função das características do solo, além da identificação e alcance das plantas daninhas. Durante a operação de capina, as forças envolvidas na interação solo-ferramenta causam vibrações, as quais diferem entre si em função das condições de umidade, compactação e características mecânicas do solo. Dessa forma, a hipótese que precede o trabalho é que possível utilizar essas vibrações para classificar as condições de solos e ajustar as melhores configurações operacionais da ferramenta de capina, para obter uma maior eficiência no controle das plantas daninhas. O objetivo desse trabalho é utilizar a análise discriminante linear, que se trata de uma técnica de estatística multivariada, para identificar características de classificação de solos, com base na resposta vibracional da ferramenta de cultivo. Para atingir esse objetivo os dados de vibração são analisados, a fim de identificar características de classificação, por meio do método de análise discriminante linear e utilizando a função discriminante de Anderson (REGAZZI; CRUZ, 2020). Com o desenvolvimento desse algoritmo, pretende-se melhorar a eficiência dos capinadores mecânicos autônomos devido ao ajuste correto de parâmetros operacionais das ferramentas de cultivo, em tempo real, para as diferentes condições de solo.

**MATERIAL E MÉTODOS:** A análise de vibrações foi realizada em um capinador mecânico intra-fileiras autônomo dotado de rotor com hastes, que rotacionam em contato com o solo, em experimento realizado por Villibor *et al.* (2017), em Iowa State University (ISU). As acelerações na ferramenta de capina foram adquiridas por um acelerômetro triaxial ADXL345, posicionado no mancal do eixo do rotor, acoplado a um computador de placa única BeagleBone Green Wireless (BBGW). Para o desenvolvimento dos classificadores foram utilizados dados de aceleração, com o rotor a uma velocidade angular de 25 rpm, com uma profundidade de trabalho no solo de 25 mm. Foram trabalhadas três condições de solo (solo 1, 2 e 3) referentes a solo argiloso seco, solo argiloso úmido e areia seca, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Principais características dos solos usados nos testes de vibração do capinador mecânico intra-fileiras.

Condições de umidade	Textura de classe	% Areia	% Silte	% Argila	% Umidade*
Seco	Argila	48,38	26,11	16,80	3,00
Úmido	Argila	48,38	26,11	16,80	16,58
Seco	Areia	100	0	0	-

\*Determinado em base seca – Fonte: Villibor et al. (2017).

O algoritmo utilizado consistiu em um pré-processamento dos dados de aceleração, a fim de extrair características, por meio de análise visual. Nesse processo foram selecionados os picos

superiores e inferiores de aceleração para os eixos x, y e z. Em seguida foi utilizada a técnica de análise discriminante linear, implementada com base no exemplo de classificação de *Flores Iris*, no programa computacional Matlab® (MATLAB, 2022), para eleger quais das características possuíam maior potencial de classificação dos solos. A avaliação da qualidade da classificação foi feita por meio de validação cruzada (VARELLA, 2007). Por fim, foi feita a implementação da função discriminante de Anderson (Eq. 1) para classificação de vetores desconhecidos pelo sistema. Um determinado indivíduo desconhecido  $x$  foi classificado como membro de uma dada população  $\pi_i$  se, e somente se,  $D_i(x)$  for o maior entre os elementos do conjunto  $\{D_1(x), D_2(x), D_3(x)\}$  (REGAZZI; CRUZ, 2020).

$$D_i(x) = \hat{l}_j x - \frac{1}{2} \hat{l}_j \bar{x}_j + \ln(p_j) \quad (1)$$

em que,

$\hat{l}_j$  - multiplicação da inversa da matriz de covariância comum pelo vetor de médias

$\bar{x}_j$  - vetor de médias

$x$  - vetor de variáveis aleatórias

$\ln(p_j)$  - probabilidade a priori

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O conjunto de características selecionado proporcionou um erro de 0,17%, como ilustrado na matriz de confusão da Figura 1(a), por meio do método de validação cruzada. Ao remover os picos inferiores de aceleração, o erro cresceu para 0,67% (Figura 1- b) e ao se removerem os picos superiores de aceleração, o erro se manteve estável em 0,17% e a matriz de confusão se manteve idêntica à da Figura 1(a), demonstrando que, nesse contexto, apenas os picos inferiores proporcionariam uma discriminação suficiente para a classificação dos solos.

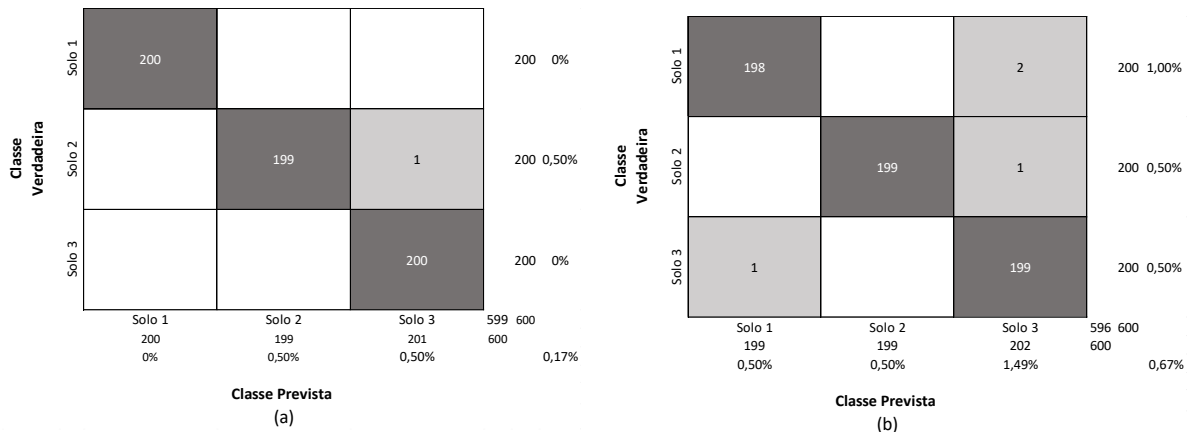


FIGURA 1. Matriz de confusão dos classificadores dos solos: (a) teste com características completas contendo apenas os picos de aceleração inferiores e (b) contendo apenas os picos de aceleração superiores.

Dessa forma, definiu-se como características de trabalho apenas os picos inferiores de aceleração nos eixos x, y e z e então foram traçadas, na Figura 2, curvas de separação das regiões (tendo em vista que o comportamento para os eixos x, y e z foram semelhantes, foi apresentada apenas a curva para o eixo x), demonstrando a divisão das classes dos solos. Foram apresentadas as acelerações relativas a cada amostra analisada, com comportamentos específicos dependentes das condições de umidade do solo. Foi observado comportamento similar para o solo arenoso e argiloso seco. Essa semelhança e a diferença em relação ao solo úmido pode ser creditada a presença de água no solo. A tensão de cisalhamento em argilas é dependente da coesão verdadeira, é essa depende do teor de água do solo na ruptura (GIBSON,

1953). Bugs (2015) observou para um solo argiloso, em três condições de umidade de 21,2; 17,7 e 9,4%, tensões de cisalhamento máximas de 172,80; 201,11 e 418,26 kPa, respectivamente. Tensões de cisalhamento no solo distintas podem causar níveis de vibrações mecânicas diferentes na ferramenta de capina.

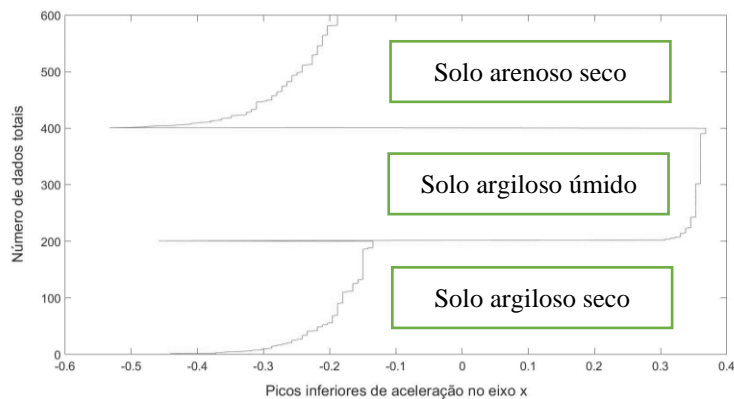


FIGURA 2. Distribuição dos valores de aceleração para cada condição de solo trabalhada

**CONCLUSÃO:** É possível classificar as condições de solos com base nos padrões de acelerações incidentes na ferramenta de capina, além desses poderem ser utilizados como discriminantes para classificação de solos inéditos.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio financeiro ao desenvolvimento do presente trabalho.

#### REFERÊNCIAS:

- BUGS, C. A. L. **Avaliação da influência da variação da umidade na resistência ao cisalhamento de solos.** 2015. 113 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2015.
- Classification - MATLAB & Simulink Example.** Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/stats/classification-example.html>. Acesso em: 5 abr. 2022.
- GIBSON, R.E. **Experimental Determination of True Cohesion and True Angle of Internal Friction in Clays.** Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE, 85, 67-79, 1953.
- KSHETRI, S. **Study of soil-tine interaction for the application of automated mechanical weeder.** 2020. 121 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Agricultural And Biosystems Engineering, Iowa State University, Ames, 2020.
- MERFIELD, C. N. Robotic weeding's false dawn? Ten requirements for fully autonomous mechanical weed management. **Weed Research**, n.56, v. 5, p340-344, 2016.
- PLÁCIDO, H. R. 5 principais plantas daninhas do milho e tudo o que você precisa saber sobre seus manejos. Disponível em: < <https://blog.aegro.com.br/plantas-daninhas-do-milho/>. Acesso em: 04 julho 2022.
- REGAZZI, A. J.; CRUZ, C. D. **Análise Multivariada Aplicada.** Viçosa: Editora Ufv, 2020. 401 p.
- VARELLA, C. A. A. **Análise multivariada aplicada as ciências agrárias: análise discriminante.** Notas de Aula (PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA CIÊNCIA DO SOLO: CPGA-CS) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007. f. 33.
- VILLIBOR, G. P.; STEWARD, B. L.; LUECKE, G. R.; QUEIROZ, D. M.; **Vibrations Levels Assessment of a Robotic Intra-Row Weeder Using Low-Cost Data Aquisition System.** ASABE Annual International Meeting. 7-2017. Paper No. 1700652