

## Uso do penetrômetro eletrônico manual na avaliação da resistência do solo em sistemas de cultivo com plantas de cobertura

Use of manual electronic penetrometer in the evaluation of soil resistance in cropping systems with cover crops

Uso del penetrómetro electrónico manual en la evaluación de la resistencia del suelo en sistemas de cultivo con cultivos de cobertura

Recebido: 23/09/2022 | Revisado: 17/10/2022 | Aceitado: 21/10/2022 | Publicado: 27/10/2022

### **Kethelin Cristine Laurindo de Oliveira**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5235-9504>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [kethelinlaurindo@hotmail.com](mailto:kethelinlaurindo@hotmail.com)

### **Lourdes Amaral Mendes Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7397-8737>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [lourdes.agronomia@gmail.com](mailto:lourdes.agronomia@gmail.com)

### **Breno Tiago Garcia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8141-9628>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [brenotiagogarcia@hotmail.com](mailto:brenotiagogarcia@hotmail.com)

### **Antônio Renan Berchol da Silva**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2949-816X>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [renanberchol@hotmail.com](mailto:renanberchol@hotmail.com)

### **João Carlos de Souza Maia**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6204-8112>  
Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil  
E-mail: [jotace27maia53@gmail.com](mailto:jotace27maia53@gmail.com)

### **Resumo**

A resistência do solo a penetração interfere diretamente na produção das culturas agrícolas prejudicando o desenvolvimento das raízes e conseqüentemente a absorção de água e nutrientes, o sistema de plantio direto tem como um de seus preceitos o não revolvimento do solo e com isso a compactação do solo é uma conseqüência. Objetivou-se neste estudo avaliar diferentes culturas de cobertura em consórcio ou mix, com e sem condicionantes de solo, com o plantio de milho na resistência a penetração do solo, na profundidade de 0 a 35 cm. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e oito tratamentos implantados anterior ao cultivo da soja, T1- milho solteiro com adubação convencional; T2 – milho solteiro com apenas adubação orgânica; T3- milho com adubação organomineral; T4- milho com biocarvão; T5- mix de plantas de cobertura (crotalária spectabilis+nabo forrageiro+braquiária ruziziensis); T6- milho consorciado com braquiária ruziziensis; T7- milho consorciado com crotalária breviflora; T8- mix de plantas de cobertura+ biocarvão. Houve diferença significativa a 5% de probabilidade somente em duas profundidades, de 0 a 5 cm onde os tratamentos 7 e 8 foram os que apresentaram menor resistência a penetração e na profundidade de 30 a 35 cm onde o tratamento 1 foi o que apresentou menor resistência a penetração.

**Palavras-chave:** Compactação do solo; Descompactação do solo; Mix de plantas.

### **Abstract**

Soil resistance to penetration directly interferes with the production of agricultural crops, harming the development of roots and consequently the absorption of water and nutrients, the no-tillage system has as one of its precepts the non-disturbing of the soil and with that the soil compaction. It is a consequence. The objective of this study was to evaluate different cover crops in consortium or mix, with and without soil conditioning, with the planting of corn in the resistance to soil penetration, at a depth of 0 to 35 cm. The experimental design was in randomized blocks with four replications and eight treatments implanted before soybean cultivation, T1- single corn with conventional fertilization; T2 – single corn with only organic fertilization; T3- corn with organomineral fertilization; T4- corn with biochar; T5- mix of cover crops (crotalaria spectabilis+forage turnip+brachiaria ruziziensis); T6- corn intercropped with Brachiaria ruziziensis; T7- corn intercropped with sunn hemp; T8- mix of cover crops + biochar. There was a significant difference at 5% probability only at two depths, from 0 to 5 cm where treatments 7 and 8 were the ones with the

lowest penetration resistance and at the depth of 30 to 35 cm where treatment 1 was the one with the lowest resistance the penetration.

**Keywords:** Soil compaction; Soil unpacking; Plant mix.

### Resumen

Soil resistance to penetration directly interferes with the production of agricultural crops, harming the development of roots and consequently the absorption of water and nutrients, the no-tillage system has as one of its precepts the non-disturbing of the soil and with that the soil compaction. it is a consequence. The objective of this study was to evaluate different cover crops in consortium or mix, with and without soil conditioning, with the planting of corn in the resistance to soil penetration, at a depth of 0 to 35 cm. The experimental design was in randomized blocks with four replications and eight treatments implanted before soybean cultivation, T1- single corn with conventional fertilization; T2 – single corn with only organic fertilization; T3- corn with organomineral fertilization; T4- corn with biochar; T5- mix of cover crops (crotalaria spectabilis+forage turnip+brachiaria ruziziensis); T6- corn intercropped with Brachiaria ruziziensis; T7- corn intercropped with sunn hemp; T8- mix of cover crops + biochar. There was a significant difference at 5% probability only at two depths, from 0 to 5 cm where treatments 7 and 8 were the ones with the lowest penetration resistance and at the depth of 30 to 35 cm where treatment 1 was the one with the lowest resistance the penetration.

**Palabras clave:** Compactación del suelo; Desembalaje del suelo; Mezcla de plantas.

## 1. Introdução

Os solos agrícolas possuem grande diversidade de serviços ecológicos, como exemplo podemos citar o crescimento de raízes, aeração, movimentação da água, entre outros. Estes serviços ecológicos são diretamente influenciados pelas propriedades físicas do solo (Moitzi & Wagentristsl, 2022) e a resistência do solo à penetração é um dos principais fatores destas propriedades, onde o preparo do solo, as culturas implantadas e o manejo das culturas exercem efeito significativo sobre a resistência do solo à penetração (Wang et al., 2022).

As condições físicas do solo, como uma das principais a compactação, podem limitar o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a resistência ao desenvolvimento radicular da planta e consequentemente diminuindo sua produtividade. Mesmo em solos com teores adequados de nutrientes quando há compactação ocorre prejuízo na absorção de água pelas plantas e redução de oxigênio na rizosfera devido a diminuição dos espaços livres no solo, tendo como consequência a limitação dos processos metabólicos das plantas e a capacidade das raízes absorverem nutrientes (Arruda et al., 2021).

Solos compactados diminuem a produtividade das culturas através do impedimento da expansão do sistema radicular e consequentemente acesso limitados aos reservatórios de nutrientes e água do solo (Colombi & Keller, 2019). A utilização de rotação de cultura com espécies de plantas de cobertura com diferentes posicionamentos de raízes pode auxiliar na descompactação do solo, modificando assim suas propriedades físicas (Wang et al., 2022), estas práticas são essenciais para a consolidação do Sistema de plantio direto (Moura et al., 2015).

A utilização de plantas de adubação verde traz benefícios nas condições físicas e biológicas do solo melhorando a gestão da água, aumentando o teor de matéria orgânica e diminuindo os danos causados pela erosão hídrica e eólica. Possuem um crescimento rápido e com isso absorvem considerável quantidade de nitrogênio do solo evitando a lixiviação e o preservando para a próxima safra (Mikó et al., 2008).

A compactação do solo aumenta a resistência à penetração do solo através da diminuição dos espaços vazios disponíveis e que servem para o deslocamento das partículas do solo (Colombi & Keller, 2019). A resistência a penetração do solo é medida com o auxílio de um penetrômetro, medindo a força necessária para inserir sua sonda no solo, são ferramentas adequadas para estudar a qualidade do solo e quantificar os resultados das ações condicionantes do solo (Tuba et al., 2021).

Este estudo teve como objetivo avaliar a compactação do solo em um experimento com diferentes culturas como cobertura de solo através da resistência do solo à penetração.

## 2. Metodologia

O estudo foi realizado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, Campus Campo Novo do Parecis, em um Latossolo Vermelho Distrófico típico (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, 2017), cuja caracterização textural de 0 a 20 cm é de 506 g kg<sup>-1</sup> de argila, 134 g kg<sup>-1</sup> de silte e de 360 g kg<sup>-1</sup> de areia. A área experimental localiza-se a 572 m de altitude, 13°40'31" de latitude Sul e 57°53'31" de longitude Oeste. De acordo com os preceitos de Köppen, o clima da região é o tropical quente e úmido (Aw).

O trabalho é quantitativo, obtido de pesquisa experimental (Pereira, et al., 2018), o delineamento experimental foi em blocos casualizados com quatro repetições e oito tratamentos implantados anterior ao cultivo da soja, sendo: T1- milho solteiro com adubação convencional; T2 – milho solteiro com apenas adubação orgânica; T3- milho com adubação organomineral; T4- milho com biocarvão; T5- mix de plantas de cobertura (crotalária spectabilis+nabo forrageiro+braquiária ruziziensi); T6- milho consorciado com braquiária ruziziensis; T7- milho consorciado com crotalária breviflora; T8- mix de plantas de cobertura+ biocarvão.

O preparo do solo foi realizado utilizando-se de um de uma grade leve superficial para incorporar o calcário distribuído em superfície. Toda área vinha sendo utilizada em manejos sucessivos de soja e milho durante 5(cinco) anos utilizando do Sistema Plantio Direto.

Os tratamentos foram implantados em fevereiro de 2020 com colheita do milho e dessecação das plantas de cobertura prevista para junho de 2020 e implantação e avaliação da soja prevista para novembro de 2020. Cada parcela experimental é constituída por uma área de 6,3 x 10 m.

O adubo orgânico utilizado nos tratamentos T2 e T3 foi proveniente de cama de aves (perua + galinha poedeira) na dose de 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>. O resíduo de cama de aves após compostado e estabilizado, passa por um processo de seleção onde são separadas as partículas de matéria orgânica. Após esse processo, o resíduo passa por um processo de industrialização e estabilização sendo aplicado na forma peletizado. O T3 difere-se do T2 por ter adubação mineral na dose 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 05-30-10. O adubo orgânico foi aplicado a lanço em superfície após a sementeira do milho. A descrição química do adubo encontra-se na Tabela 1:

**Tabela 1** - Descrição do adubo orgânico a base de cama de aves (cama de perua + galinha poedeira).

N	P	K	Ca	Mg	S	C
-----g kg <sup>-1</sup> -----						
24,1	59,3	40,9	53,1	11,1	6,7	253,4
MO	CTC	Cu	Mn	Fe	Zn	B
-----mg kg <sup>-1</sup> -----						
695	750	0,05	0,09	0,56	0,06	0,06

N, C e capacidade de troca de cátions (CTC): titulação; P, S, matéria orgânica (MO): gravimetria; K, Ca, Mg, Cu, Mn, Fe, Zn: perclórico; B: espectrofotometria. Fonte: Autores.

O biocarvão que foi testado no estudo é produzido a partir de torta de filtro, importante resíduo da indústria sucroalcooleira proveniente da filtração do caldo extraído das moendas no filtro rotativo. Esse resíduo é abundante na região devido as indústrias de açúcar e álcool no município, por tanto, sendo matéria prima de baixo custo e sustentável. Para obtenção do biocarvão, a torta de filtro foi submetida a queima a 600°C em mufla por seis horas. O biocarvão foi aplicado na dose de 1,0 Mg ha<sup>-1</sup>, a lanço em área total anterior a sementeira das culturas.

Os tratamentos T1, T4, T6 e T7 receberam adubação de sementeira no sulco na dose 350 kg ha<sup>-1</sup> do formulado 05-30-10. No estádio V4 de desenvolvimento do milho foi feita adubação nitrogenada de cobertura na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> utilizando sulfato

de amônio (20% N) e a aplicação de um coquetel de micronutrientes na dose de 2,0 kg ha<sup>-1</sup> como prevenção da eventual deficiência desses nutrientes e atendendo a exigência nutricional da cultura. Demais tratos culturais como controle de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas foram feitos conforme incidência identificada por meio de monitoramento diário do experimento realizando o controle sempre que necessário.

Com a colheita do milho a área foi dessecada e os tratamentos avaliados quanto a produtividade total de massa seca pelo método descrito em Pacheco et. al (2011), coletando-se 2 amostras de 1 m<sup>2</sup> em cada parcela experimental.

A adubação da soja foi feita conforme os resultados da análise de solo e os tratos culturais seguiram os recomendados para a cultura conforme monitoramento e constatação de incidência de pragas, doenças e plantas daninhas.

A resistência do solo à penetração foi realizada utilizando um penetrômetro eletrônico manual, marca Falker, modelo PenetroLOG PLG1020, composto de um módulo eletrônico acoplado a uma haste, com um cone na ponta inferior seguindo as normas da ASAE. As informações obtidas para a realização do trabalho foram obtidas em [www.falker.com.br](http://www.falker.com.br).

Os dados foram submetidos à normalidade (Shapiro Wilk) e testes de homogeneidade (Bartlett), a análise de variância e médias foram comparadas pelo teste de Tukey em  $p \leq 0,05$ .

### 3. Resultados e Discussão

O efeito dos tratamentos implantados no experimento de Campo Novo do Parecis foi significativo nas profundidades 0 a 5 cm e 30 a 35 cm. Na profundidade de 0 a 5 cm os tratamentos 7 e 8 apresentaram menor resistência à penetração no solo (RPS) demonstrando valores menores de resistência com 0,01 e 0,008 Mpa respectivamente e o tratamento 2 maior resistência a penetração com 0,3 Mpa (Tabela 2). O tratamento 7 foi realizado com milho consorciado com crotalária breviflora e o tratamento 8 com mix de plantas de cobertura + biocarvão e o Tratamento 2 foi realizado apenas com milho solteiro com apenas adubação orgânica.

**Tabela 2** - Resistência do solo à penetração em diferentes tratamentos nas camadas de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35 cm de profundidade no ano de 2021. Campo Novo do Parecis, MT.

Tratamentos	Resistência à penetração (Mpa)						
	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35
T1	0.02 AB a	1.39 A b	1.84 A bc	2.14 A c	1.87 A bc	1.84 A bc	1.65 A bc
T2	0.03 B a	1.58 A b	2.15 A b	2.24 A b	2.24 A b	2.26 A b	2.00 AB b
T3	0.02 AB a	1.88 A b	1.88 A b	2.37 A b	2.26 A b	2.05 A b	2.07 AB b
T4	0.01 AB a	1.54 A b	1.93 A b	2.39 A b	2.07 A b	2.33 A b	2.20 AB b
T5	0.02 AB a	2.36 A b	2.10 A b	2.15 A b	2.43 A b	2.18 A b	1.99 AB b
T6	0.01 AB a	1.77 A b	1.89 A b	2.32 A b	2.44 A b	2.15 A b	1.80 AB b
T7	0.01 A a	1.89 A a	2.10 A b	2.35 A b	2.49 A b	2.56 A b	2.38 AB b
T8	0.008 A a	1.54 A a	1.84 A bc	2.44 A bc	2.42 A c	2.18 A c	2.39 B c
C.V. %	46,35	41,67	22,64	15,52	21,3	21,26	14,9

Médias com mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

Na profundidade de 30 cm também houve diferença significativa entre os tratamentos, o tratamento 1 foi o que apresentou menor resistência a penetração com 1,65 MPa, este tratamento foi realizado com milho solteiro com adubação convencional e o tratamento 8 foi o que apresentou maior resistência a penetração com 2,39 MPa este tratamento era composto

pelo mix de plantas de cobertura+ biocarvão, valor acima do considerado crítico para o desenvolvimento da raiz segundo Tormenta et al. (1998) que é de 2 Mpa.

Nas outras profundidades não houveram diferenças significativas, este fato pode ter ocorrido devido ser o primeiro ano do experimento com a diferenciação dos tratamentos, a área utilizada para o estudo vinha sendo utilizada em manejos sucessivos de soja e milho durante 5 (cinco) anos sob Sistema de Plantio Direto. Esperava-se que o mix de plantas com gramíneas e leguminosas que possuíam raízes fasciculada e pivotante apresentasse menores valores de resistência a penetração em todas as camadas avaliadas, o que não foi observado neste experimento. O mesmo foi observado por Reinert et al. (2008), Sanchez et al. (2012) e Francziskowsk et al. (2019) que também não observaram mudanças na RPS após cultivo com plantas de cobertura, já Cardoso et al. (2013) encontrou resultados diferente do observado neste estudo, onde culturas de cobertura influenciaram positivamente na resistência a penetração do solo.

Mesmo não apresentando diferença significativa entre os tratamentos os valores obtidos neste experimento são preocupantes nas profundidades de 0 a 20 cm pois muitos tratamentos a RPS são superiores a 2 MPa.

Outro fator que interfere diretamente na resistência a penetração do solo é a umidade do solo, devido a resistência a penetração aumentar a medida que o solo tem menor teor de umidade (Colombi & Keller, 2019), neste estudo foi analisado a umidade em duas camadas de profundidade, de 0 a 10 e 10 a 20 cm e segundo o teste de Tukey não houve diferença significativa entre a umidade nos tratamentos (Tabela 3).

**Tabela 3** - Umidade do solo em diferentes tratamentos nas camadas de 0-10, 10-20 cm de profundidade no ano de 2021. Campo Novo do Parecis, MT

Tratamentos	Umidade %	
	0-10	10-20
<b>T1</b>	26,4 a	25,8 a
<b>T2</b>	27,7 a	26,1 a
<b>T3</b>	26,9 a	25,4 a
<b>T4</b>	27,5 a	25,2 a
<b>T5</b>	27,9 a	27,1 a
<b>T6</b>	25,6 a	24,9 a
<b>T7</b>	27,1 a	26,7 a
<b>T8</b>	27,1 a	26,2 a
<b>CV (%)</b>	1,15	3,22

Médias com mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fonte: Autores.

O crescimento das raízes é afetado diretamente pela resistência à penetração do solo resultando em taxas reduzidas de alongamento das raízes, crescimento superficial das raízes e atraso no início das raízes laterais devido as maiores tensões mecânicas impostas na ponta da raiz, gerando uma maior resistência ao atrito e maior pressão de expansão da cavidade. Portando valores altos de resistência a penetração no solo afetam principalmente a zona apical das raízes e a rotação de culturas com plantas de enraizamento profundo podem contribuir para a descompactação dos solos e consequentemente diminuir a resistência a penetração (Colombi & Keller, 2019).

Ao analisar separadamente cada tratamento em cada profundidade pode-se verificar que os tratamentos um e oito apresentaram diferença estatística nas profundidades analisadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade. Estes resultados podem ser devido as culturas utilizadas.

Segundo Kunakh et al. (2022) a cobertura vegetal pode interferir diretamente na resistência a penetração do solo, ao avaliar um solo de várzea de 0 a 100 cm de profundidade pode observar que conforme aumentava a profundidade a RPS tende a aumentar e para profundidades maiores que 50 cm tendem a se estabilizar e não sofrer tanta interferência da planta instalada

no solo. Nos oito tratamentos testados neste experimento apenas os tratamentos cinco e oito não continham milho cultivado, estes tratamentos eram compostos por mix de plantas de cobertura.

O mix de plantas de cobertura utiliza sementes de gramíneas e leguminosas conjuntamente, trazendo o benefício dos dois grupos de plantas, visando a melhoria da qualidade física, química e biológica do solo (Silva et al., 2021). O mix de planta utilizado neste estudo foi com as culturas crotalária *spectabilis*, nabo forrageiro e braquiária *ruziziensi*, onde cada cultura possui um sistema radicular diferente proporcionando benefícios ao solo.

As gramíneas possuem a capacidade de produzirem maiores volumes de biomassa, se decompõem lentamente e são resistentes ao estresse hídrico, seu sistema radicular possui um alto potencial de desenvolvimento superficial, favorecendo a atividade de microrganismos do solo e conseqüentemente melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo. Já as leguminosas possuem alta capacidade de fixar nitrogênio atmosférico e boa produção de palhada, o que favorece as culturas subsequentes (Silva et al., 2021).

As culturas escolhidas para o cultivo em consórcio ou solteiro devem ser avaliadas quanto a necessidade do solo a ser manejado, quando se deseja melhoria nas características químicas do solo, deve-se escolher culturas com menor relação C/N, estas culturas possuem maior velocidade de decomposição e conseqüentemente maior ciclagem de nutrientes. Quando se deseja maior aporte de palhada e matéria orgânica no solo deve-se escolher culturas com maior relação C/N, que possuem uma decomposição mais lenta (Perin et al., 2015).

Plantas de cobertura como a crotalária tem sido adotada pelos produtores com a finalidade de descompactação biológica do solo (Pacheco et al., 2015). O uso de mix de Crotalária e milho em camadas compactadas de solo proporciona proteção física do solo quando comparada com o cultivo solteiro (Oliveira et al., 2015).

As raízes do nabo forrageiro exercem efeitos físicos importantes no solo, é considerado um subsolador natural proporcionando a descompactação através do aumento dos macroporos e conseqüentemente melhorando a retenção de umidade (Lima, 2014).

O uso de forrageiras como o caso da braquiária e utilizada no mix de cobertura devido ao seu enraizamento e aporte de matéria orgânica que melhoram as condições químicas, físicas e biológicas do solo (Mendonça et al., 2015).

A utilização de plantas de cobertura é fundamental para melhorar a qualidade do solo, proporcionando melhoria nas qualidades físicas do solo através da proteção da superfície, pela descompactação proporcionada pelas raízes e pela adubação proveniente das folhas e restos culturais. Auxilia também na redução da perda de água, na infiltração, na estruturação do solo influenciando na densidade, macroporosidade e microporosidade, afetando positivamente a resistência do solo a penetração, aeração, temperatura e capacidade de retenção de água (Silva et al., 2021).

Quando utilizado o mix de cobertura com gramíneas e leguminosas possibilita benefícios ao solo como a redução da imobilização do nitrogênio pelos microrganismos do solo e com isso ocorre o aumento do teor de nutrientes, proporciona o acúmulo da matéria seca, com culturas que possuem tamanhos de raízes diferentes promove maior eficiência na utilização da água e de nutrientes pois explora diferentes profundidades do solo e com isso também auxiliam na descompactação melhorando as características físicas deste solo (Pessoto et al., 2016).

O uso de biocarvão no solo pode contribuir para mudanças positivas nas propriedades físicas do solo, podendo alterar características como estrutura, porosidade, consistência, diâmetro dos poros, distribuição granulométrica e densidade (Petter et al., 2016).

## 4. Conclusão

Em todos os tratamentos, a camada de 0-5 cm de profundidade se destacou com os melhores valores de resistência do solo, efeitos esses, que podem ser atribuídos a ação da grade leve por época da semeadura e da performance das plantas de cobertura.

Nas profundidades analisadas, os tratamentos 1 (milho solteiro com adubação convencional) e 8 (mix de plantas de cobertura + biocarvão) foram os destaques estatisticamente pois a RSP foi gradativamente superior a medida do seu aprofundamento nas camadas do solo.

Sugere-se dar continuidade a outros trabalhos que possam ser conduzidos por mais tempo, avaliando o movimento da resistência do solo em função do tempo de manejo.

## Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso (FAPEMAT) pelo financiamento do projeto e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado para a primeira autora.

## Referências

- Arruda, A. B., Souza, R. F., Brito, G. H. M., Moura, J. B., Oliveira, M. H. R., Santos, J. M., & Silva, S. D. (2021). Resistance of soil to penetration as a parameter indicator of subsolation in crop areas of sugar cane. *Sci Rep* **11**, 11780. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91186-3>
- Cardoso, D. P., Silva, M. L. N., Carvalho, G. J., Freitas, D. A. F., & Avanzi, J. C. (2013). Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. *Revista Brasileira de Ciência Agrárias*, Recife, *8*(3),375-382.
- Colombi, T., & Keller, T. (2019). Developing strategies to recover crop productivity after soil compaction—A plant eco-physiological perspective. *Soil and Tillage Research*, *191*, 156-161. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.008>.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. (2017). Manual de métodos e análises do solo. (3ª ed.). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 184p.
- Franziskowski, M. A., Seidel, E. P., Fey, E., Anschau, K. A., & Mottin, M. C. (2019). Propriedades físicas do solo nos sistemas de plantio direto e preparo reduzido com diferentes plantas de cobertura. *Engenharia na Agricultura*, *27*(6),556-564. [10.13083/reveng.v27i6.966](https://doi.org/10.13083/reveng.v27i6.966)
- Lima, L. B. (2014). Efeito das plantas de cobertura em Sistema de Plantio Direto. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer -Goiânia, *10*(18)
- Mikó, P., Gyuricza, C., & Földesi, P. (2008). Effects of green manure plants on soil moisture content and soil penetration resistance. *Cereal Research Communications*, *36*, 107–110. <http://www.jstor.org/stable/90002652>
- Moitzi, G., Sattler, E., & Wagentristsl, H. (2021). Effect of Cover Crop, Slurry Application with Different Loads and Tire Inflation Pressures on Tire Track Depth, Soil Penetration Resistance and Maize Yield. *Agriculture*, *11*, 641. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070641>
- Moura, J. B., Marasca, I., Meneses, L. A. S., Pires, W. M., & Medeiros, L. C. (2012). Resistência a penetração do solo em pastagem cultivada com *Brachiaria Decumbens* sob aplicação de dejetos líquidos suínos e cama de frango. *Global Science and Technology*, Rio Verde, *5*(3), 162-169.
- Oliveira, M. S. P., Duarte, J. C., Dantas, P. I. K., Freitas, C. E. de M., de Assis, R. L., & Torres, J. L. R. (2015). Desempenho de consórcio de crotalária e milho em camadas compactadas de solo. In: XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. O SOLO E SUAS MULTIPLAS FUNÇÕES, 2015, Natal, RN. Anais... 1-4.
- Pacheco, L. P., São Miguel, A. S. D. C., Silva, E. M. B., Souza, E. D., & Silva, F. D. (2015). Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de Crotalária. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, *45*(4), 464-472.
- Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica [e- book]. Santa Maria. Ed (pp. 3 -9). UAB/NTE/UFSM. [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf).
- Perin, A., Cruvinel, D. A., dos Santos Ferreira, H., Melo, G. B., de Lima, L. E., & de Sá Andrade, J. W. (2015). Decomposição da Palhada e Produção de Repolho em Sistema Plantio Direto. *Global Science and Technology*, *8*(2).
- Pessotto, P. P., da Silva, V. R., Ortigara, C., Koppe, E., Strojaki, T., & Santi, A. L. (2016). Influência de diferentes plantas de cobertura nas propriedades físicas de um latossolo vermelho. *Agrarian*, *9*(34), 348-356.
- Petter, F. A., Lima, L. B., Morales, M. M., Marimon Júnior, B. H., & Morais, L.A. Biocarvão no solo: aspectos agrônômicos e ambientais. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/149714/1/2016-Marina-SIMBRAS-BiocarvaoSolo.pdf>

Reinert, D. J., Albuquerque, J. A., Reichert, J. M., Aita, C., & Andrada, M. M. C. (2008). Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32(5), 1805-1816.

Sanchez, E., Maggi, M. F., Genú, A. M., & Muller, M. M. L. (2012). Winter cover crops, plant biomass production and soil resistance. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava, 5(3), 33-40.

Silva, M. A., Nascente, A. S., Frasca, L. L. de M., Rezende, C. C., Ferreira, E. A. S., Filippi, M. C. C., Lanna, A. C., Ferreira, E. P. de B., & Lacerda, M. C. (2021). Coberturas isoladas e mistas para melhorar a qualidade do solo e cultivos comerciais no Cerrado. *Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, [S. l.], 10(12), e111101220008. 10.33448/rsd-v10i12.20008.

Tormena, C. A., Silva, A. P., & Libardi, P. L. (1998). Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa - MG, 22, 573-581.

Tuba, G., Kovács, Gy., Sinka, L., Nagy, P., Rivera-Garcia, A., Bajusová, Z., Findura, P., & Zsembeli, J. (2021). Effect of soil conditioning on soil penetration resistance and traction power demand of ploughing. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 67(3), 113 – 123.

Wang, Y. J., Qiao, J. Y., Ji, W. Y., Sun, J., Huo, D. X., Liu, Y. P., et al. (2022). Effects of crop residue managements and tillage practices on variations of soil penetration resistance in sloping farmland of Mollisols. *Int J Agric & Biol Eng*, 15(1): 164–171. 10.25165/j.ijabe.20221501.6526