

Análise de compactação de solo frente a diferentes manejos da lavoura

Breno Vyrginyo Antunes Oliveira Sidinei, Agronomia, Centro Universitário Integrado, Brasil

Rodolfo Piazza Barth, Agronomia, Centro Universitário Integrado, Brasil

João Claudio Alcantara dos Santos, Agronomia, Centro Universitário Integrado, Brasil, joao.claudio@grupointegrado.br

Resumo: A compactação do solo é um fator limitante na produtividade agrícola, afetando crescimento radicular, infiltração de água e disponibilidade de nutrientes. Este estudo avaliou os efeitos de três sistemas de manejo sobre a compactação, matéria orgânica, fertilidade e produtividade na cidade de Campo Mourão-PR. Foram analisados os manejos: soja–milho, soja–aveia com pastejo bovino e pecuária semi-intensiva. A caracterização física e química do solo foi realizada por penetrometria e análises laboratoriais. Os resultados demonstraram que áreas com presença de gado apresentaram maior compactação, resultando em limitação da absorção de nutrientes e queda de produtividade. Em contrapartida, o sistema soja–milho apresentou menor compactação e maior eficiência no aproveitamento nutricional, refletindo melhores rendimentos. Verificou-se que a compactação pode reduzir o desempenho produtivo mesmo em solos quimicamente equilibrados. Conclui-se que a integração lavoura-pecuária, quando mal planejada, intensifica o adensamento do solo e compromete a sustentabilidade produtiva, reforçando a necessidade de manejo conservacionista e controle de tráfego.

Palavras-chave: produtividade; integração lavoura-pecuária; penetrometria.

Abstract: Soil compaction is a limiting factor in agricultural productivity, affecting root development, water infiltration, and nutrient availability. This study evaluated the effects of three management systems on soil compaction, organic matter, fertility, and crop yield in Campo Mourão, Paraná, Brazil. The assessed systems were: (i) soybean–corn rotation, (ii) soybean–oat rotation followed by cattle grazing, and (iii) semi-intensive livestock production. Physical and chemical characterization of the soil was conducted using penetrometry and laboratory analyses. Results showed that areas with cattle presented significantly higher compaction, leading to limited nutrient uptake and lower productivity. In contrast, the soybean–corn system exhibited reduced compaction and greater nutrient use efficiency, resulting in higher yields. Compaction can decrease crop performance even in chemically balanced soils. It is concluded that poorly planned crop–livestock integration intensifies soil density and compromises productive sustainability, reinforcing the need for conservation practices and controlled machine traffic.

Keywords: productivity; crop–livestock integration; penetrometry.

INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral que o produtor rural enfrenta diversos desafios ao longo de suas safras, para obter a cada ano um maior índice produtivo e converter tal esforço em lucro para aumentar a tecnificação de sua área, tal como adquirir novos lotes ou maquinários. Tendo esta situação em vista, é de suma importância analisar quais são os desafios que o produtor encontra em sua jornada para compreender onde estão suas limitações.

Para adquirir um melhor escopo da visão do produtor, é necessário ter conhecimento sobre certos fatores que limitam o desenvolvimento de suas cultivares implementadas. Tudo se inicia pelo solo, que é o substrato, o qual servirá de alicerce para sua produção; capacidade de campo, que é o potencial de infiltração por alagamento, aliado a reserva de umidade prévia (Ottoni Filho *et al.*, 2014), sendo um dos conceitos dos quais é necessário estar familiarizado.

A utilização do termo “solo” é de caráter deveras brando, pois cada região possui um perfil de solo que é a unificação dos fatores que o formaram, quanto tempo o mesmo foi decomposto, quais materiais estavam atrelados à rocha mãe, entre outros (Pereira *et al.*, 2019). Tanto a capacidade de campo como o perfil de solo são elementos que se deixados de lado ou não considerados, podem levar uma safra às ruínas, ancorando a produtividade e elevando as despesas com custos de insumos e operacional.

Faz-se essencial manejar o solo, mantê-lo sadio e com os índices de compactação adequados, para a cultura poder expressar seu teto produtivo ou resultados semelhantes a isso. Um solo compactado apresenta diversos problemas, como penetração de raízes dificultadas, maior esforço para absorver nutrientes, causando à planta um gasto de seus recursos de maneira indevida (Hamza; Anderson, 2005).

Os manejos realizados também representam grande parte do problema, como o tipo de rotação de culturas, a implementação de gado mesmo que em períodos esporádicos, a aplicação de insumos via autopropelido no lugar de drones e aviões, entre outros. Estes são fatores que elevam a compactação de solo fazendo com que o solo absorva menos água e nutrientes e fique mais suscetível a apresentar plantas daninhas dentre a cultura implementada (Hamza; Anderson, 2005).

Cada produtor possui seu método de lidar com tal paradigma, dentre eles, os mais comuns são métodos mecanizados, em que se pode citar o subsolamento e o gradeamento. Ambos os métodos consistem em revolver o solo sobre si quebrando torrões maiores e amenizando a compactação, porém, a diferença entre eles é a profundidade que irão atuar, tendo o subsolamento como medida mais agressiva e aprofundada (Cardoso *et al.*, 2023).

É válido mencionar um outro método utilizado pelos produtores – o edáfico, que consiste em técnicas que atingem indiretamente o solo, como uma cobertura vegetal feita previamente, em que o sistema radicular das plantas irá ajudar a descompactar o solo e fornecer nutrientes que podem assistir as necessidades da cultura de interesse econômico a ser implementada (Magalhães *et al.*, 2009).

A conscientização é o primeiro passo para a mitigação deste problema, pois, desta forma, o produtor fica ciente dos prejuízos e custos envolvidos por um mal manejo de suas terras. É possível demonstrar a importância de implementar um manejo integrado de suas áreas, utilizando diversificados

métodos de condução para assim obter o perfil de solo desejado por sistemas que variam desde o edáfico até o mecânico, de forma que o somatório de todos os seus esforços e investimentos tragam retornos satisfatórios.

Diante desse contexto, o presente estudo teve como proposta avaliar a influência de distintos sistemas de manejo sobre atributos físicos e químicos do solo e sua relação com o desempenho produtivo das culturas. Para isso, foram coletadas amostras de solo nos três manejos selecionados, tais como soja-milho, soja-aveia com posterior pastejo bovino e pecuária isolada, e obtido o histórico de produtividade, em sacas por hectare, de cada lote avaliado. As amostras foram analisadas quanto aos níveis de compactação, capacidade de campo, nutrientes disponíveis e solúveis, possibilitando caracterizar as condições edáficas de cada sistema. Por fim, as características do solo foram comparadas com os resultados de produtividade, permitindo identificar o impacto dos diferentes manejos sobre a eficiência produtiva das áreas.

MÉTODO

O experimento foi conduzido na Fazenda Conquista que pertence ao município de Campo Mourão-PR com histórico consolidado de cultivo de grandes culturas e atividade pecuária. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Campo Mourão é um município do Estado do Paraná que se estende por 749,637 km² e contava com 99.432 habitantes no último censo (2022).

Situado a 598 m de altitude, Campo Mourão tem as seguintes coordenadas geográficas: latitude 24°02'28"S e longitude 52°22'52"W. Está localizada na Mesorregião Centro-Occidental, no Terceiro Planalto Paranaense. Tem um clima Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa), com geadas em menor frequência e verões quentes, com tendências de condensações chuvosas nos meses de verão, precipitação média entre 1.600 mm e 1.800 mm, temperaturas médias entre 20,1° C e 22° C, e umidade relativa de 70,1% a 75% (Nietsche *et al.*, 2019).

O município pertence à bacia hidrográfica do Rio Paraná. O principal rio do município é o Rio Mourão, que é o principal curso hídrico da cidade, tendo como principal afluente o Rio do Campo. O Rio Andorinha e o Rio km 119 também são importantes na hidrografia de Campo Mourão.

A formação fitogeográfica de Campo Mourão é caracterizada pelos biomas Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Mista e Cerrado, tendo vegetação diversificada. A economia de Campo Mourão é baseada na agricultura, produzindo grãos, como soja, milho e trigo (IPARDES, 2004).

Em Campo Mourão e áreas próximas, os solos que predominam são Latossolos Vermelhos, tendo cores vermelhas acentuadas, devido à natureza dos óxidos de ferro presentes no material originário. Conforme análise de solo e dados fornecidos pela Embrapa, o solo dos talhões analisados é

predominantemente constituído por Latossolo Vermelho Distróférrico (LVdf 10) e Neossolo Litólico Eutrófico (RLe7), com textura média a argilosa, em fase floresta subtropical subperenifólia, e relevo suave ondulado, favorecendo a agricultura da região (Embrapa, 2025).

Na área determinada, foram avaliados três sistemas de manejo em lotes definidos de 1500 m² cada, sendo esses: (1) rotação de culturas com soja e milho; (2) rotação com soja e aveia; e (3) sistema de pecuária semi-intensivo. Estas áreas foram selecionadas para evidenciar o contraste dentre os manejos optados a fim de possibilitar uma melhor compreensão dos dados obtidos.

O delineamento experimental adotado para as análises de solo foi feito em blocos casualizados, realizado nas entrelinhas das culturas, em pontos previamente georreferenciados para garantir a repetibilidade e padronização dos dados, com um padrão de coleta estratificada em profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm em duas faixas correspondentes aos diferentes manejos de cultura.

Os instrumentos de coletas de dados utilizados foram: o trado tipo sonda caladora para coletar amostras de solo de forma precisa em diferentes profundidades, sem que ocorra contaminação das camadas; o penetrômetro, de modelo PLG2040, da marca Falker, para medir a resistência do solo à penetração; e o *software* para assimilação de dados obtidos pelo penetrômetro foi o Falker Compact.

O padrão adotado para coleta de amostras de densidade do solo foi realizado 72 horas após 40 mm de precipitação, em quatro repetições por manejo pela empresa TecnoSolos de Campo Mourão-PR, de forma heterogênea, a fim de garantir uma variabilidade espacial satisfatória com uma repetição para cada 375 m², totalizando doze amostras experimentais com profundidade de 0-60 cm. Esse delineamento é comumente utilizado em estudos de compactação do solo em sistemas de rotação de culturas (SBEA, 2015).

O padrão adotado para a coleta dos dados referentes à análise de solo acompanhou o método de densidade, sendo posteriormente enviado para o laboratório Santa Rita de Mamborê-PR, que acata o padrão NEP (Núcleo Estadual do Paraná) para aferir seus resultados. Para a estruturação gráfica de tal análise, foi utilizado o método de interpolação entre pontos, que acata técnicas matemáticas para estimar valores desconhecidos entre pontos de dados conhecidos, realizando a classificação de nutrientes pelo manual Embrapa embutido no *software* SGIS, possibilitando uma visualização mais coesa dos dados.

Referente ao manejo, durante o desenvolvimento das culturas, foram aplicados os seguintes produtos: fertilizantes: 145 kg ha⁻¹ de formulação 02-23-23 na semeadura da soja e 330 kg ha⁻¹ de 15-15-15 no inverno; o manejo realizado na cultura da soja foi de 8 sementes por metro da variedade DonMario 66I68, com espaçamento entre linhas de 0,5 m, obtendo uma população de 66.667 sementes por hectare. Esta variedade dispõe de um grupo de maturação de

6.6, hábito indeterminado de crescimento, baixa exigência de nutrientes e alto teto produtivo, segundo a DonMario; herbicidas: Glifosato ($1,5 \text{ kg ha}^{-1}$), Cletodim (1 l ha^{-1}), Triclopir ($1,5 \text{ l ha}^{-1}$), com sequencial de Glufosinato (2 l ha^{-1}), Flumioxazina ($0,5 \text{ l ha}^{-1}$) para dessecação pré-semeadura; inseticidas: Acefato ($0,6 \text{ kg/ha}$) e Diflubenzurom ($0,06 \text{ kg ha}^{-1}$); fungicidas: Trifloxistrobina + Tebuconazol ($0,5 \text{ l ha}^{-1}$), Bixafem + Protioconazol + Trifloxistrobina ($0,5 \text{ l ha}^{-1}$), Impirfluxam + Tebuconazol ($0,5 \text{ l ha}^{-1}$), Picoxistrobina + Ciproconazol ($0,6 \text{ l ha}^{-1}$), Trifloxistrobina + Ciproconazol ($0,2 \text{ l ha}^{-1}$), respectivamente, com aplicações realizadas de forma pontual conforme necessidade fitossanitária. Todos os produtos foram aplicados seguindo recomendações técnicas e condições climáticas adequadas. O uso adequado de insumos é fundamental para manter a produtividade e a saúde do solo (Ferreira *et al.*, 2022).

Os animais que foram manejados na área em questão são da raça Nelore, que é da subespécie Zebuína (*Bos taurus indicus*). Segundo a ACNB – Associação dos Criadores de Nelore do Brasil, animais Nelore apresentam estado geral sadio e vigoroso. A ossatura é leve, robusta e forte, com musculatura compacta e bem distribuída. Com peso médio de $12 @$, variando de 8 a 10 animais por hectare, manejados com ração Coamo, corte 19% (proteína bruta) e sal proteinado.

O delineamento experimental foi uma comparação dos cenários obtidos no intuito de compreender a discrepância entre os nutrientes essenciais e o nível de compactação nas áreas analisadas para o desenvolvimento da planta de interesse (soja – *Glycine max*), a fim de compreender a importância destes fatores nos índices produtivos de cada área.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção dedica-se à análise dos dados obtidos correlacionando as informações sobre compactação dos lotes, índices de MO, potássio e magnésio presentes no solo atrelados ao manejo e produtividade de cada área, para de tal forma, realizarmos um comparativo fidedigno entre os fatores avaliados e o histórico produtivo dos lotes.

Sobre os efeitos dos manejos na compactação do solo, a partir dos dados obtidos, é possível determinar que a compactação é mais acentuada no lote de manejo pecuário (Figuras 1, 2, 3 e 4), assim como na área manejada com soja e aveia para fim de pastoreio animal (Figuras 5, 6, 7 e 8). Em relação à área de manejo comum (soja-milho) (Figuras 9, 10, 11 e 12), tais dados estão relacionados principal, mas não exclusivamente ao pisoteio animal que se faz presente nas áreas de pecuária semi-intensiva, bem como na área de rotação entre soja-trigo-pecuária, fato que não ocorre na área de manejo convencional soja-milho.

SIMPAP

Simpósio de Pesquisa, Extensão e Inovação do Paraná

Realização



Apoio



FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná

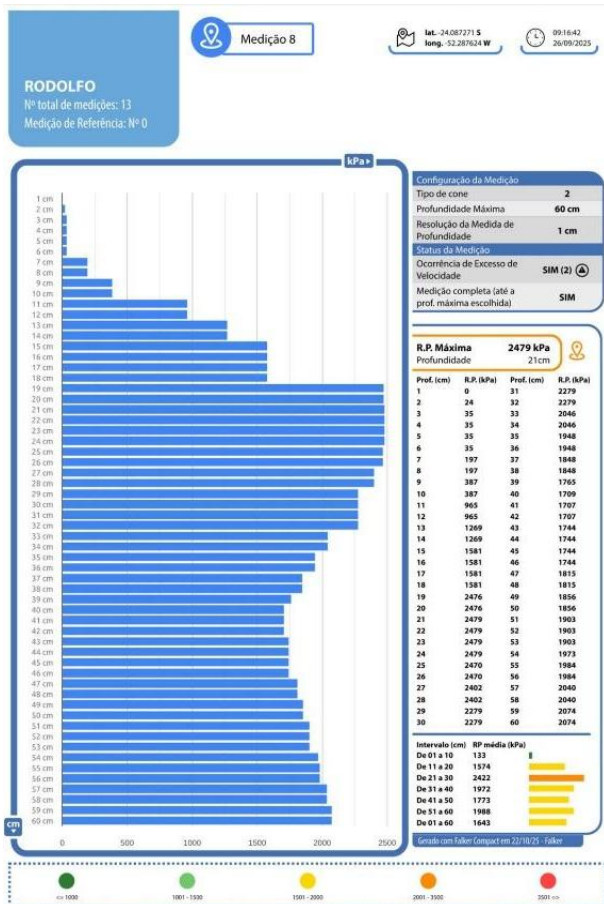


Figura 1 - Densidade do solo do lote pasto (A)

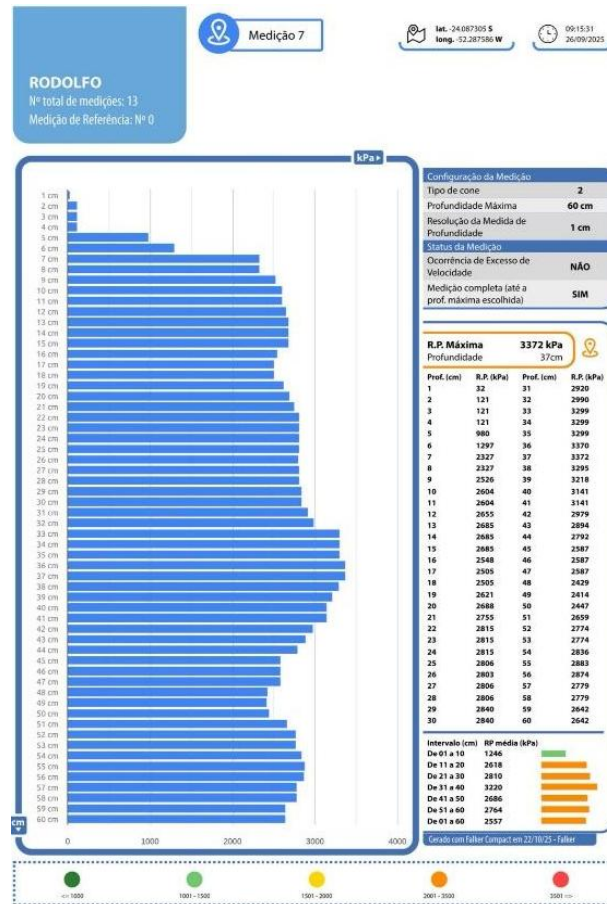


Figura 2 - Densidade do solo do lote pasto (B)

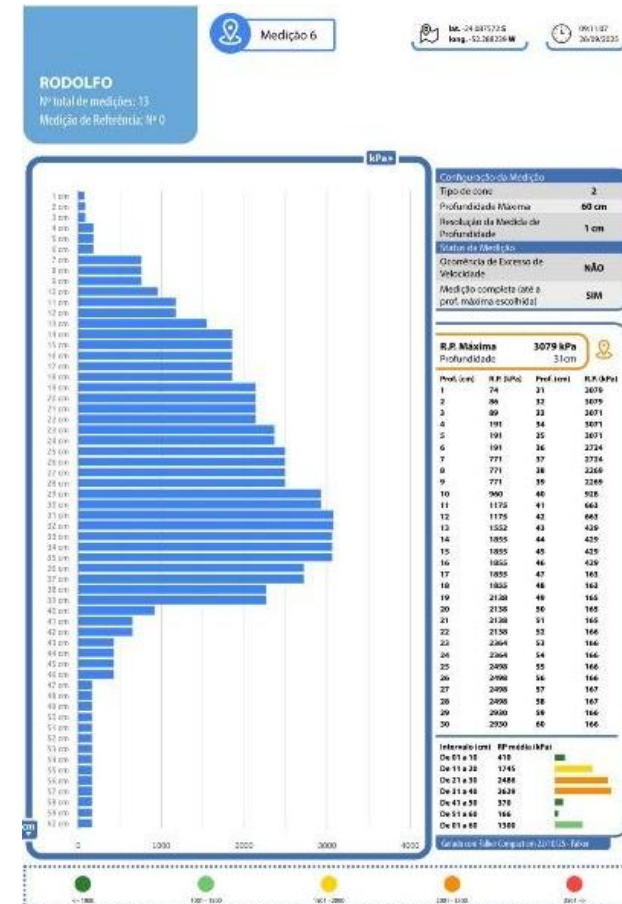


Figura 3 - Densidade do solo do lote pasto (C)

SIMPAP

Simpósio de Pesquisa, Extensão e Inovação do Paraná

Realização



Núcleo de Empreendedorismo, Pesquisa e Extensão Integrado

Apoio



FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná

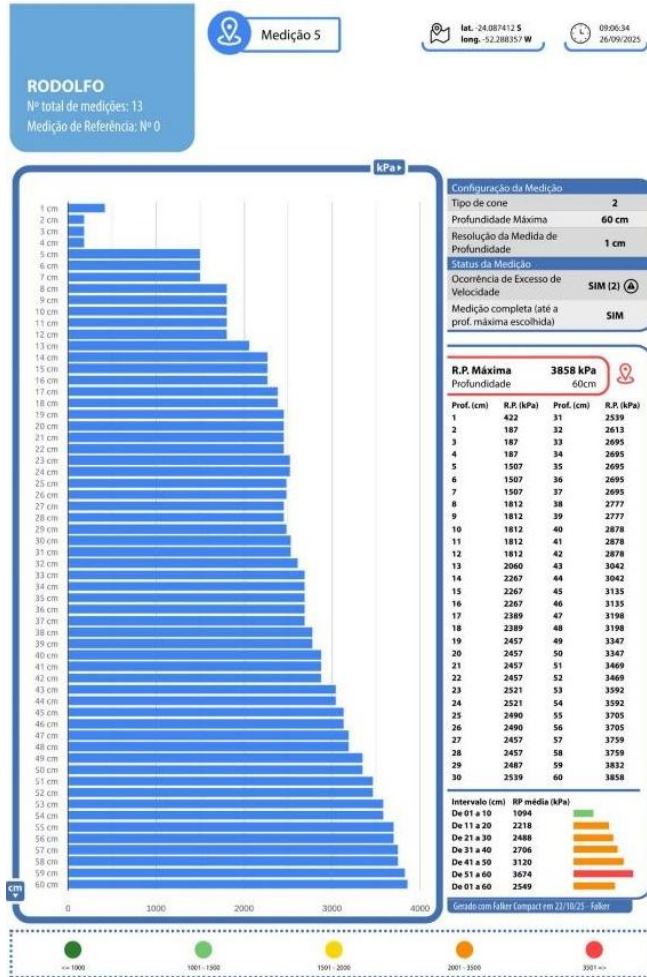


Figura 4 - Densidade do solo do lote pasto (D)

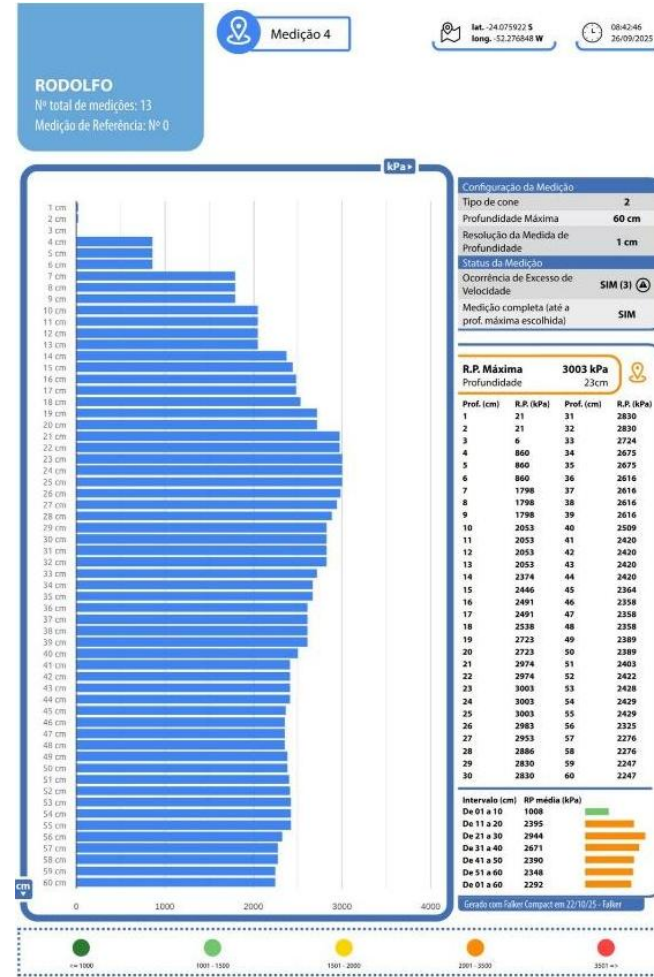


Figura 5 - Densidade do solo do lote soja-aveia (A)

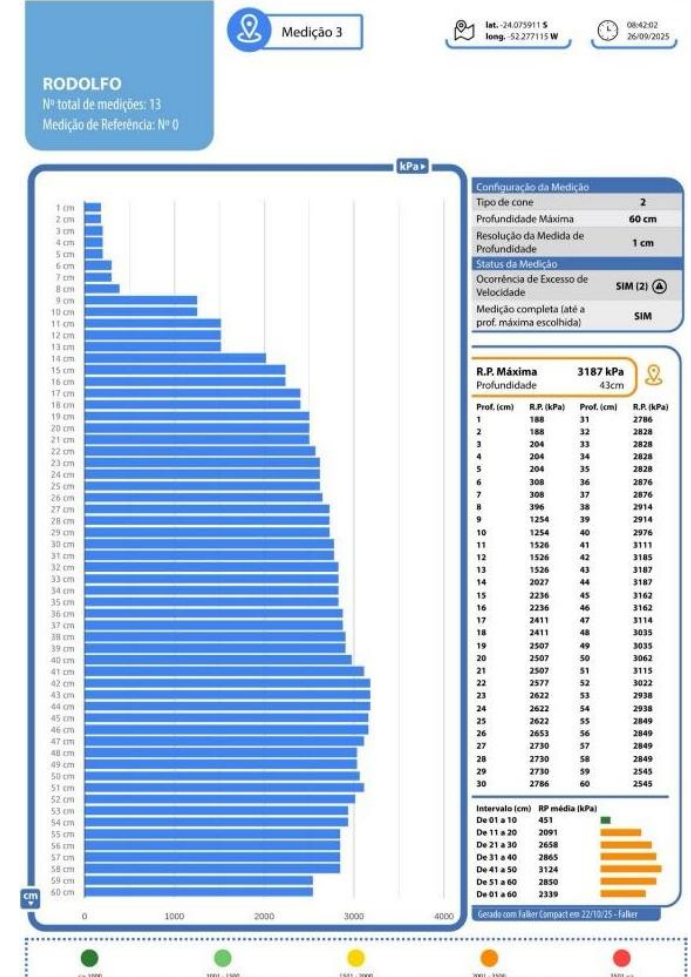


Figura 6 - Densidade do solo do lote soja-aveia (B)

SIMPAP

Simpósio de Pesquisa, Extensão e Inovação do Paraná

Realização



Núcleo de
Empreendedorismo,
Pesquisa e Extensão
Integrado

Apoio



FUNDAÇÃO
ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná

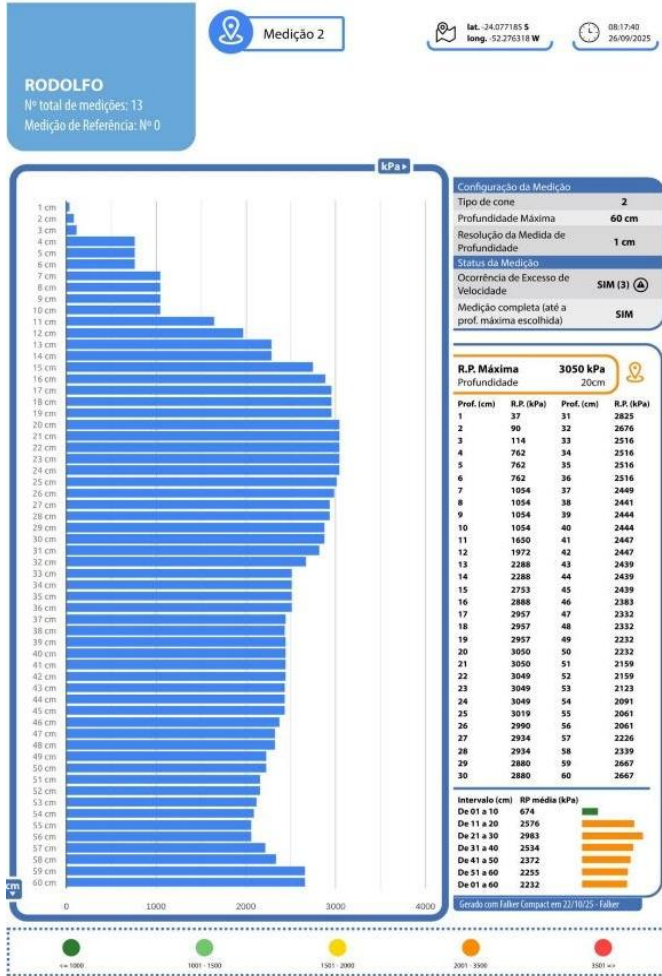


Figura 7 - Densidade do solo do lote soja-aveia (C)

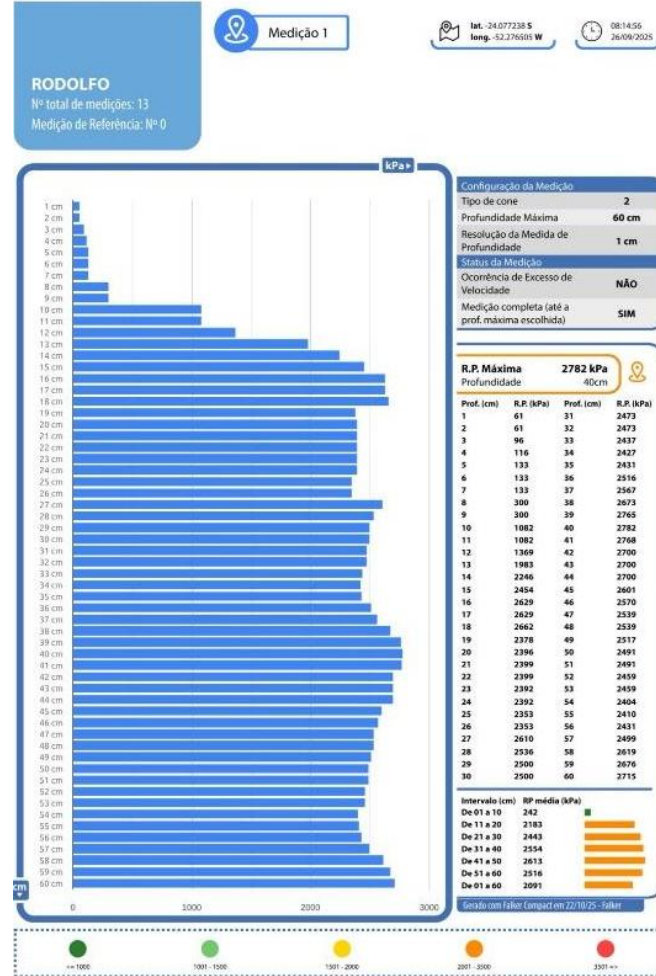


Figura 8 - Densidade do solo do lote soja-aveia (D)

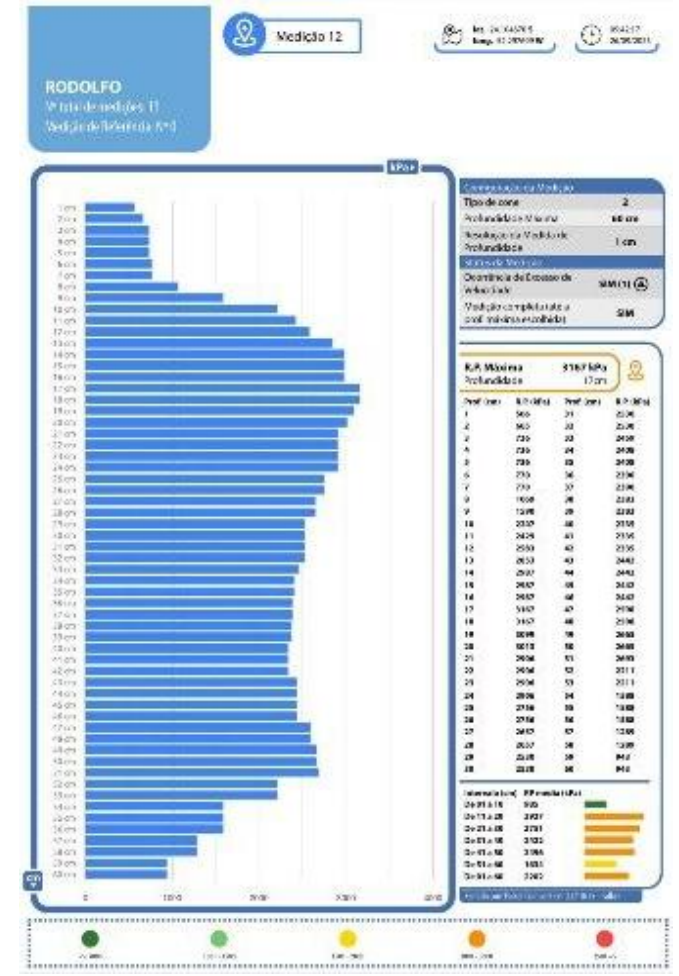


Figura 9 - Densidade do solo do lote soja-milho (A)

SIMPAP

Simpósio de Pesquisa, Extensão e Inovação do Paraná

Realização



Núcleo de
Empreendedorismo,
Pesquisa e Extensão
Integrado

Apoio



FUNDAÇÃO
ARAUCÁRIA
Apelo ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná

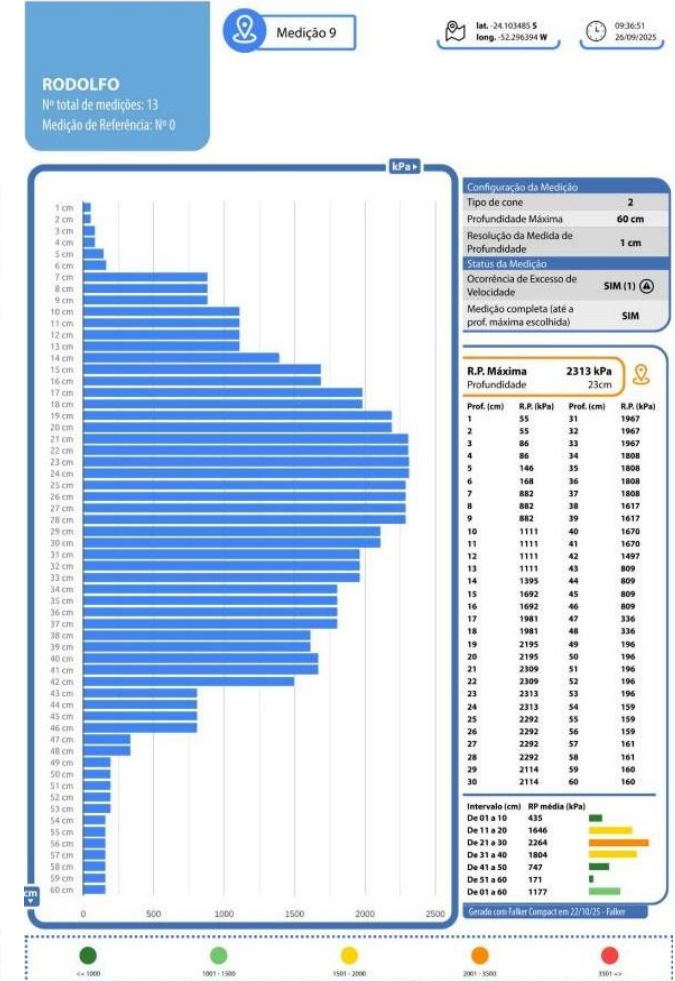
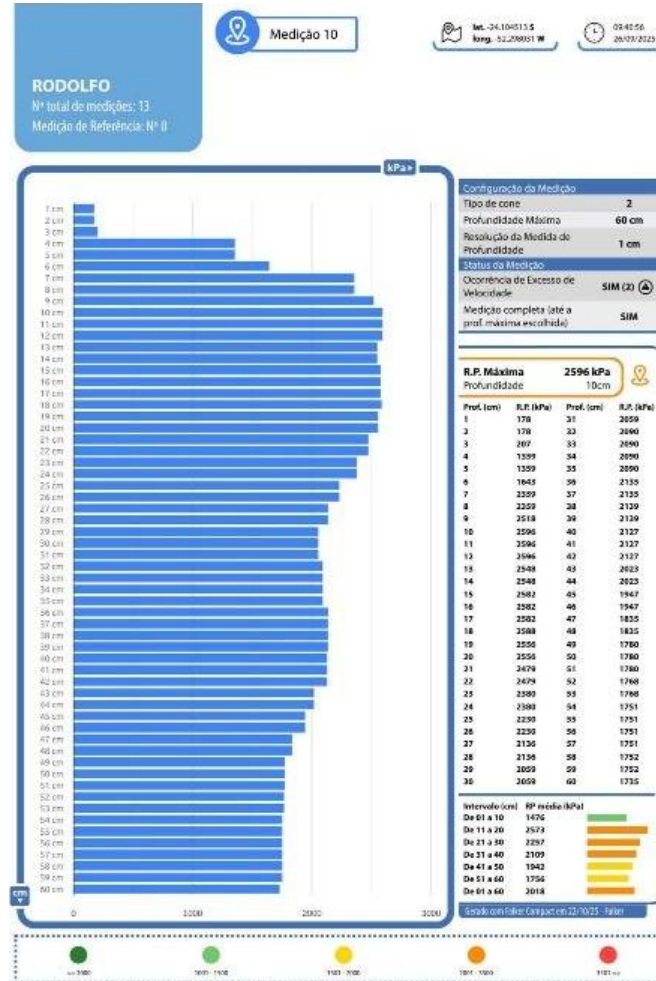
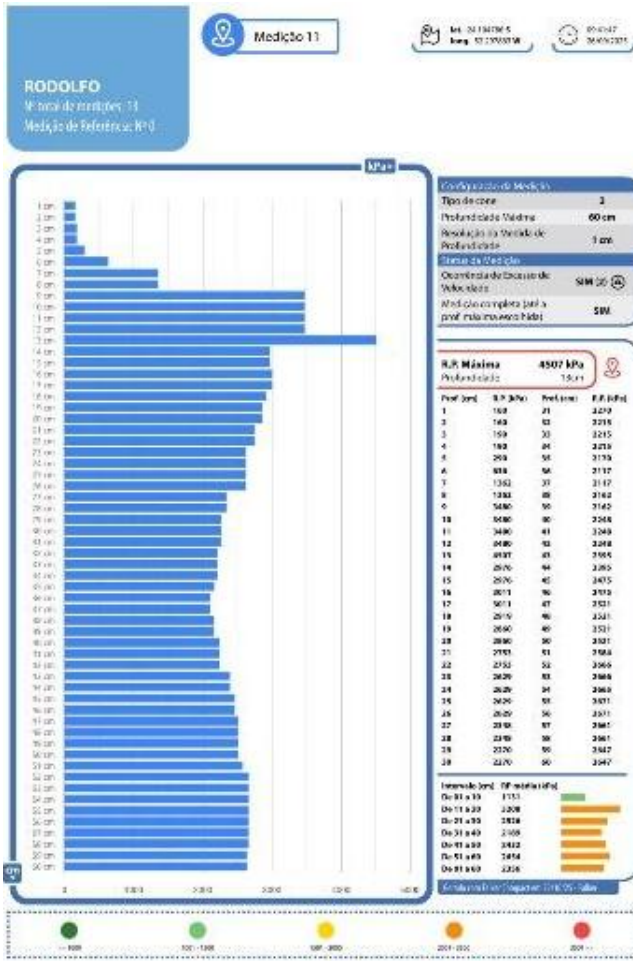


Figura 10 - Densidade do solo do lote soja-milho (B)

Figura 11 - Densidade do solo do lote soja-milho (C)

Figura 12 - Densidade do solo do lote soja-milho (D)

SIMPAR

Simpósio de Pesquisa, Extensão e Inovação do Paraná

Realização



Núcleo de
Empreendedorismo,
Pesquisa e Extensão
Integrado

Apoio



FUNDAÇÃO
ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná

O potencial dos manejos implantados em alterar os índices de compactação do solo e fornecer matéria orgânica é também um fator a ser levado em consideração, pois causa impactos diretos na densidade dos solos coletados, visto que plantas com sistemas radiculares profundos promovem a redução da densidade e o incremento da macroporosidade, facilitando a infiltração de água, a troca gasosa e a disponibilidade de nutrientes (Derpsch *et al.*, 2014). Em contraste, um manejo pecuário, mesmo possuindo cultura de raízes profundas, pode resultar em solos altamente compactados devido à massa específica do animal sendo despejada em pontos concentrados por meio de suas patas (Bell *et al.*, 2020).

No que se refere à influência dos manejos no percentual de matéria orgânica e nutrientes disponíveis, além da observação das tabelas e gráficos gerados sobre as propriedades do solo, esta pesquisa evidencia que no lote de manejo pecuário ocorre abundância em MO (entre 5,9 e 7,1%), saturação de potássio (entre 2,3 e 10,9%) e saturação de magnésio (entre 18,9 e 21,6%) (Figuras 13, 14 e 15). Porém, trata-se de uma área moderadamente compactada (com mínima de 1.300 kpa, máxima de 2.549 kpa e média dentre os 4 pontos de 2.012 kpa) na totalidade do perfil de solo, além do fato que a cultura implantada, Braquiaria (*Brachiaria decumbens*), é de baixa exigência nutricional, e ainda assim, a mesma tem dificuldade em captar os nutrientes devido à compactação que ocasiona certo estrangulamento da planta pela falta de oxigenação, uma má drenagem do solo e dificuldade da raiz de atingir a camada onde os nutrientes estão armazenados (Silva, 2021).

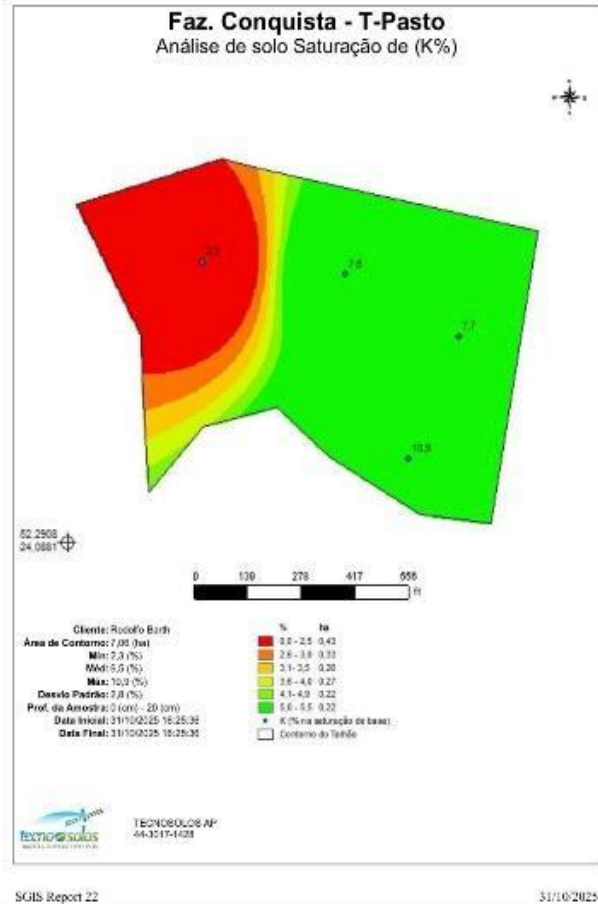


Figura 13 - Análise de solo saturação de potássio do lote pasto

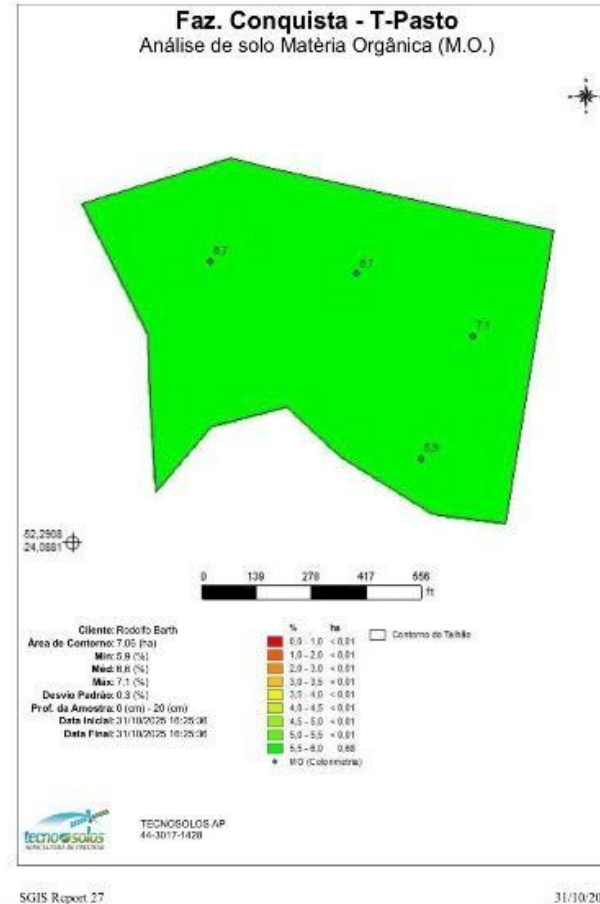
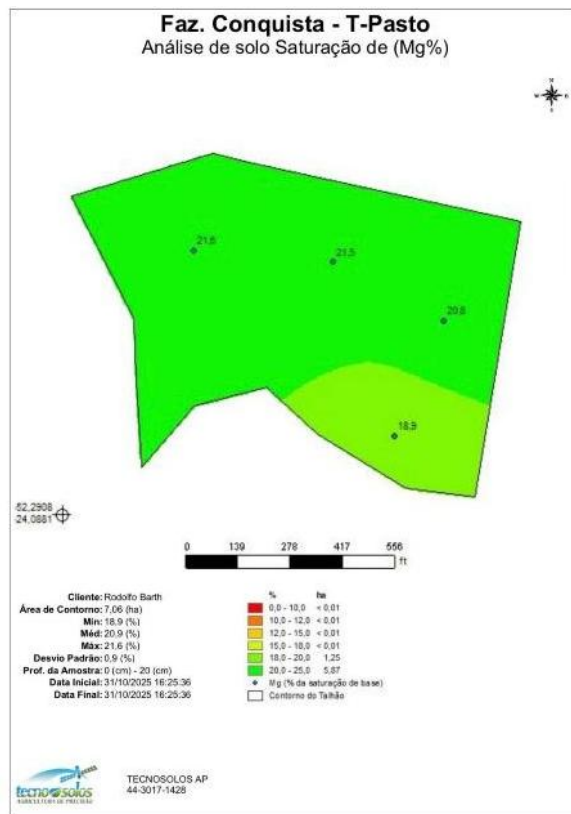


Figura 14 - Análise de solo matéria orgânica do lote pasto

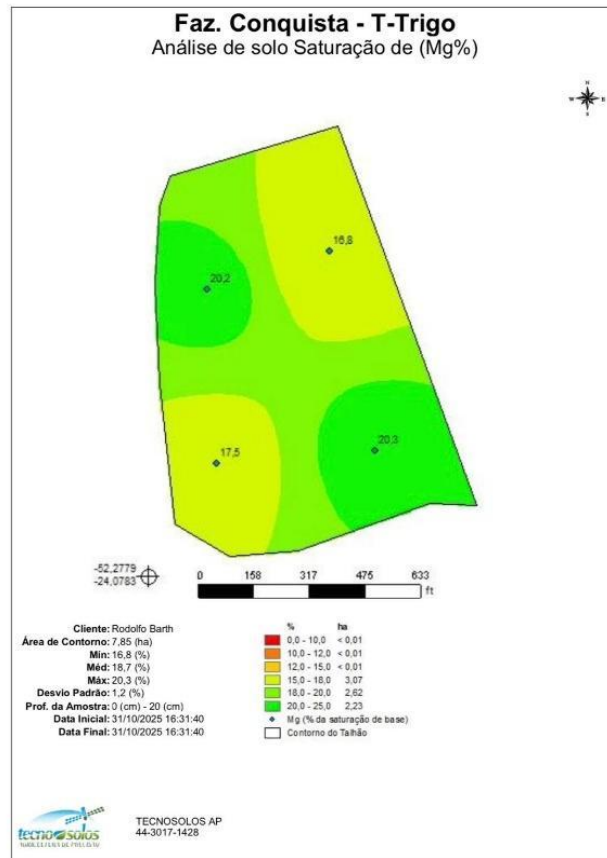


SGIS Report 25

31/10/2025

Figura 15 - Análise de solo saturação de magnésio do lote pasto

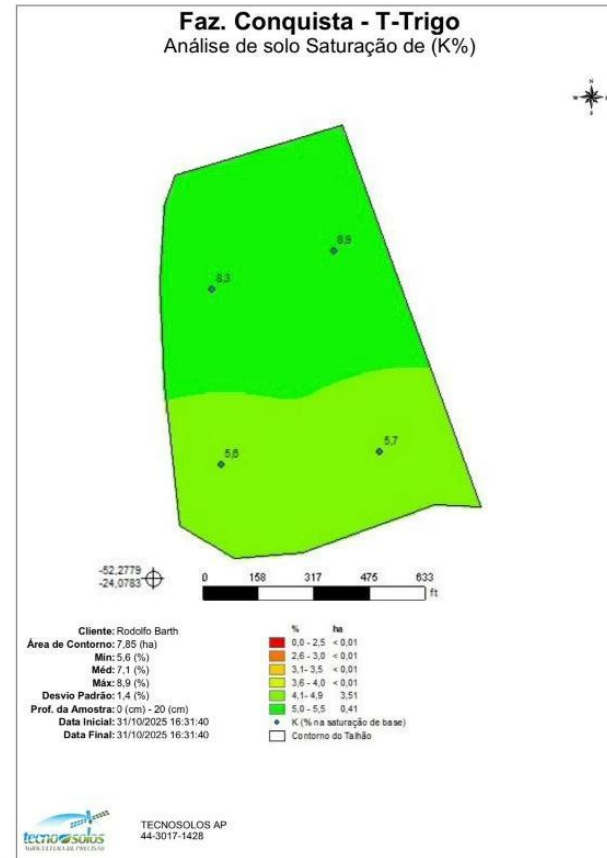
Na área onde foi realizado o manejo aveia-soja-gado, temos índices severos de compactação por conta da inserção de pecuária agregada ao tráfego de maquinários pesados (tendo mínima de 2.091 kpa, máxima de 2.339 kpa e média dentre os 4 pontos de 2.238 kpa), com a compactação novamente privando a cultura de captar os nutrientes necessários. Apresenta MO (entre 4 e 5,4 %), saturação de potássio (entre 5,6 e 8,9 %) e saturação de magnésio (entre 16,8 e 20,3 %) (Figuras 16, 17 e 18), fatores que limitam seu êxito produtivo, visto que a abundância de nutrientes no solo é um reflexo da falha de absorção dos mesmos pela planta, reduzindo rendimento e elevando custos com insumos que não serão absorvidos adequadamente pelas plantas, estagnando no solo (Marschner, 2012).



SGIS Report 25

31/10/2025

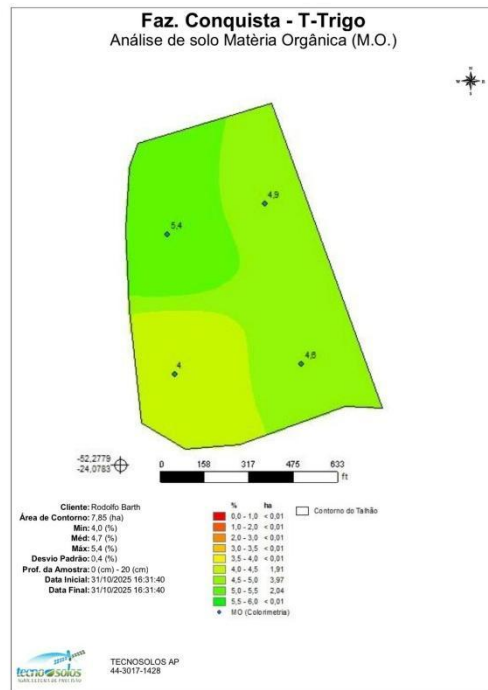
Figura 16 - Análise de solo saturação de magnésio do lote soja-aveia



SGIS Report 22

31/10/2025

Figura 17 - Análise de solo saturação de potássio do lote soja-aveia

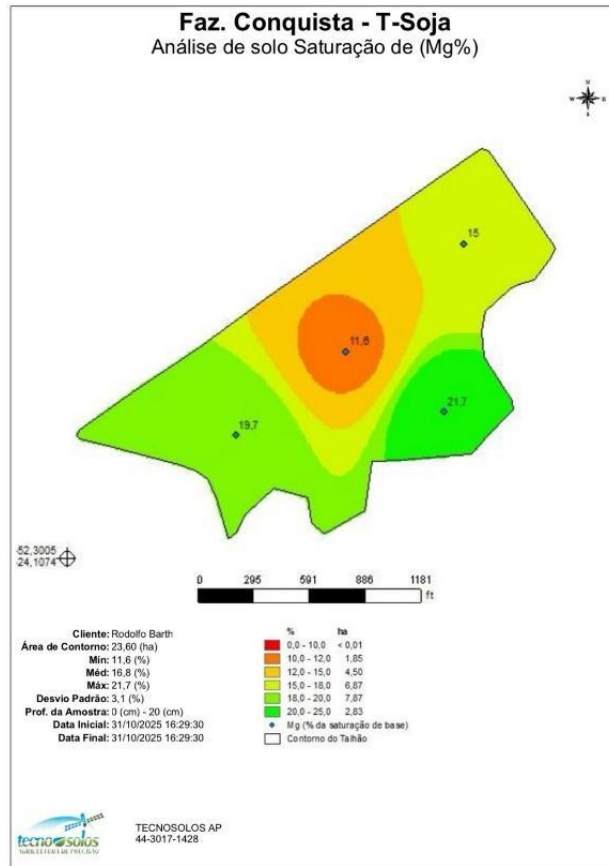


SGIS Report 27

31/10/2025

Figura 18 - Análise de solo matéria orgânica do lote soja-aveia

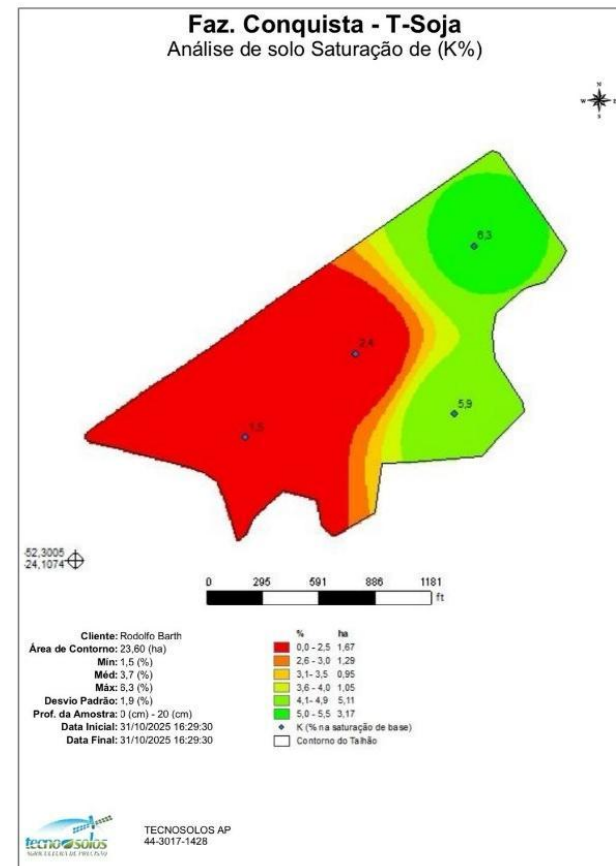
Na área com cultivo comum, observamos bons índices de compactação. A mínima registrada foi de 1.177 kPa, a máxima de 2.356 kPa e a média, considerando os quatro pontos analisados, foi de 1.938 kPa. Esses valores permanecem controlados graças ao manejo adequado. Nessa área, os níveis de nutrientes no solo são baixos, porém utilizados de forma eficiente pela planta. As análises confirmam essa condição, com matéria orgânica entre 4,7% e 5,3%, saturação de potássio entre 1,5% e 6,3% e saturação de magnésio entre 11,6% e 21,7% (Figuras 19, 20 e 21). Como consequência, observa-se retorno produtivo positivo. Sabe-se que solos com menor teor de matéria orgânica são mais suscetíveis à compactação. Em contrapartida, níveis mais altos tornam a estrutura do solo mais resiliente e menos propensa ao adensamento. Isso também fica evidente nos resultados: a área manejada com soja e milho apresenta maior matéria orgânica do que aquela com soja e aveia para pastoreio animal (Figuras 18 e 21), sendo, portanto, menos compactada.



SGIS Report 25

31/10/2025

Figura 19 – Análise de solo saturação de magnésio do lote soja-milho



SGIS Report 22

31/10/2025

Figura 20 - Análise de solo saturação de potássio do lote soja-milho

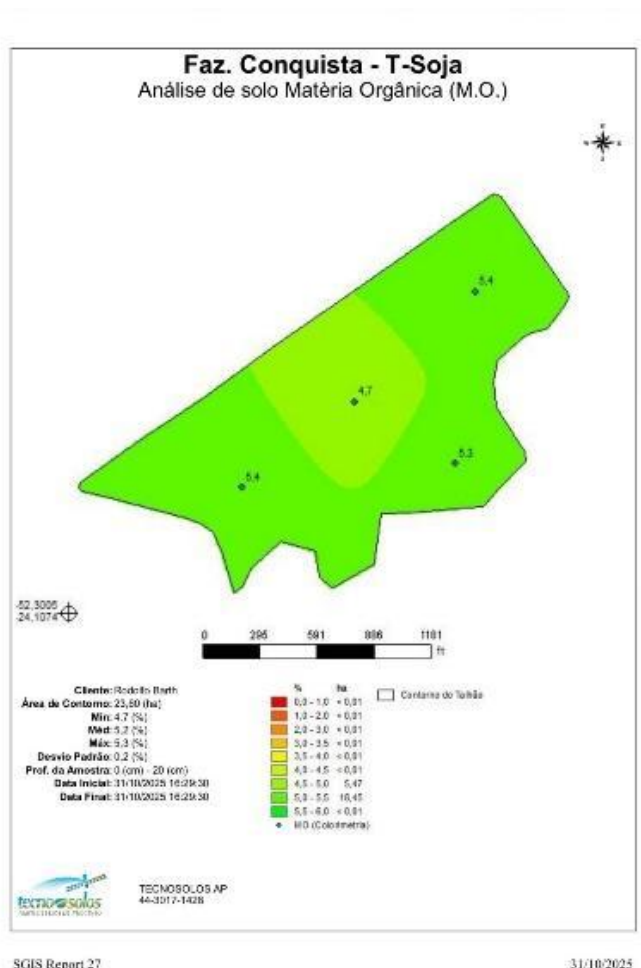


Figura 21 - Análise de solo matéria orgânica do lote soja-milho

Esses fatores otimizam o ambiente radicular, permitindo que as plantas acessem de forma mais eficiente os recursos hídricos e nutricionais, fundamentais para seu desenvolvimento e expressividade produtiva (Bengough *et al.*, 2011).

Quanto à relação entre características do solo e produtividade, segundo o proprietário da área, nos últimos 5 anos, a produtividade de cada lote pode ser observada conforme a tabela 1:

Tabela 1 – Produtividade dos sistemas Soja–Aveia e Soja–Milho nas safras de 20/21 a 24/25 (kg ha⁻¹)

Lote / Safra	24/25	23/24	22/23	21/22	20/21
Soja-Aveia	3960	4200	3720	4680	2700
Soja-Milho	4440	4440	3960	4920	2700

Fonte: O autor.

Frente aos dados expostos, é possível afirmar que a área que possui maior compactação sofre com um desfalque produtivo pelo decorrer dos últimos 4 anos, devido à pressão exacerbada sustentada pelo solo com compactação animal e mecânica.

Os dados mencionados acima implicam que mesmo que um solo possua saturação satisfatória de MO e nutrientes, não se pode afirmar que ocorrerá uma boa produtividade, tendo como principal fator limitante a densidade do solo. É evidente que solos balanceados em níveis químicos, mesmo com compactação severa, fornecerão resultados melhores que solos empobrecidos, porém, com os resultados do presente artigo, é nítida uma demanda do solo pelo equilíbrio do conjunto de fatores para entregar resultados produtivos.

O agregado entre a pressão gerada pelos animais e pelo tráfego intenso de maquinários pesados ocasiona o adensamento e enrijecimento das partículas do solo, tornando-o mais suscetível a escoamento superficial e lixiviação, bem como uma menor absorção de água pelas partículas do solo. Todos esses fatores irão ocasionar problemas como o mau desenvolvimento radicular em virtude dos gastos energéticos elevados para penetrar o solo e o estrangulamento das raízes devido às partículas do solo estarem muito próximas, reduzindo a porosidade e, por sua vez, os níveis de oxigênio disponíveis à planta.

Além disso, diversos autores reforçam que a compactação observada em sistemas com pastoreio ocorre não apenas pela pressão exercida pelos cascos dos animais, mas também pela repetição frequente desse pisoteio sobre os mesmos pontos do terreno. Hamza e Anderson (2005) destacam que a intensidade da compactação é proporcional ao tempo de permanência do gado na área e à umidade do solo no momento do pisoteio, condição que favorece o adensamento das partículas e a redução dos macroporos. Tracy *et al.* (2012) complementam afirmando que o efeito cumulativo dessa compactação altera a arquitetura radicular, resultando em raízes mais curtas e laterais, com menor capacidade de exploração do perfil do solo. Este comportamento é compatível com os dados obtidos neste estudo, especialmente nas áreas onde pastagem e culturas anuais são rotacionadas, gerando um ambiente fisicamente restritivo e pouco favorável ao aprofundamento radicular.

Outra evidência importante advinda da literatura mostra que a compactação acarreta impactos diretos no uso de água e no transporte de nutrientes. Lipiec e Hatano (2003) verificaram que solos compactados apresentam drenagem mais lenta, menor condutividade hidráulica e redução na taxa de mineralização da matéria orgânica, comprometendo a liberação de nitrogênio, fósforo e potássio ao longo do ciclo das culturas. Essa resposta também foi descrita por Keller *et al.* (2019), que observaram que a compactação altera a conectividade dos poros, reduzindo a difusão de oxigênio e criando zonas anaeróbias. A partir do presente artigo, mesmo com teores adequados de MO e nutrientes em alguns lotes, a compactação limitou seu aproveitamento pelas plantas, que tiveram menor produtividade devido à restrição física ao crescimento radicular

e à menor eficiência no uso dos recursos do solo. Esses resultados estão em conformidade com a literatura e reforçam que a disponibilidade química só se traduz em produtividade quando acompanhada de uma estrutura física adequada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo buscou obter um referencial sob a influência de distintos sistemas de manejo sobre a compactação do solo, a disponibilidade de matéria orgânica e nutrientes, e é possível observar que os resultados delineados nas seções anteriores indicam que o sistema diversificado de manejos (integração lavoura-pecuária) deve ser muito bem projetado e executado para obter êxito, caso contrário, pode ser prejudicial ao solo e a produtividade em geral das culturas, empobrecendo lentamente o solo e trazendo à tona problemas edáficos como a erosão.

Como o esperado, o lote manejado com soja e aveia para pastoreio bovino teve maior grau de compactação no solo, resultando nas baixas produtividades comparado com o lote manejado somente com grandes culturas, cujas análises demonstraram-se positivas sobre a densidade do solo. Uma alternativa para mitigar a compactação é que a área seja manejada de maneira mecânica a fim de revolver o solo agregado á métodos de conservação de solo com plantas de grande potencial de crescimento de raiz e a rotação de culturas após o manejo, como *brachiaria ruziziensis* (*Urochloa ruziziensis*), nabo (*Brassica rapa* L.) e *crotalaria spectabilis* (*Crotalaria spectabilis* Roth.).

AGRADECIMENTOS

Breno Sidinei

Agradeço a minha família por todo o apoio e por estarem comigo em cada parte do caminho, a minha irmã que fez o possível para me instruir e orientar, e em especial para meu Pai, que tinha o sonho de ver esse momento pessoalmente, o que infelizmente não foi possível, mas garanto que está muito orgulhoso lá em cima. Esse momento é nosso, paizão!

Aos meus amigos verdadeiros que me mantiveram de pé e focado nessa jornada, e me apoiaram quando mais precisei, vocês têm um lugar especial no meu coração. Me refiro ao meu irmãozão Rodolfo e também a Raiane, Leiliani e Manoel, vocês são demais.

Aos meus professores os quais levarei os ensinamentos para o resto da vida, pelos bons momentos, e pela dedicação aos seus trabalhos e a esse curso maravilhoso.

Em especial os professores João Alencar, Guilherme. Agradeço também ao meu orientador, Prof. João Claudio.

Rodolfo Piazza Barth

Agradeço a minha família, em especial minha mãe, pelo apoio e toda ajuda que me deram em todo esse longo tempo de faculdade, sempre me auxiliando a manter a cabeça no lugar neste período.

Agradeço também aos meus amigos, amigos do coração que passaram tudo o que passei nesta jornada, contando com eles para tudo, desde a hora de estudar até a hora de jogar conversas fora, me refiro ao meu irmão Breno e à minha sala.

Aos professores, sempre ajudando em todas as ocasiões, tanto na vida acadêmica como pessoal, sempre bom aprender com vocês, momentos muito especiais para mim e toda a turma.

E por fim, ao nosso orientador, João Claudio, agradeço do fundo do coração por aceitar ser o nosso parceiro nessa fase final, muito importante ter alguém como você, aconselhando e se dedicando juntamente a nós, nosso trabalho foi incrível graças ao senhor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA (SBEA). **Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2015**. São Pedro, SP: SBEA, 2015.

PETTERSON, C. A.; BELL, L. W.; CARVALHO, P. C. de F.; GAUDIN, A. C. M. Resilience of an Integrated Crop – Livestock System to Climate Change: A Simulation Analysis of Cover Crop Grazing in Southern Brazil. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, [s. l.], v. 4, p. 604099, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.604099>. Acesso em: 23 out. 2025.

BENGOUGH, A. G.; MCKENZIE, B. M.; HALLETT, P. D.; VALENTINE, T. A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, [s. l.], v. 62, n. 1, p. 59-68, 2011.

CARDOSO, E. L.; RIBEIRO, A. I.; LIMA, A. C. R. Efeitos da subsolagem e escarificação na compactação do solo e no crescimento radicular em sistemas de produção. **Revista de Ciências Agrárias**, [s. l.], v. 46, n. 2, p. 112–125, 2023.

DERPSCH, R.; FRANZLUEBBERS, A. J.; DUIKER, S. W.; REICOSKY, D. C.; KOELLER, K.; FRIEDRICH, T.; STURNY, W. G.; SÁ, J. C. M.; WEISS, K. Why do we need to standardise no-tillage research? **Soil & Tillage Research**, [s.l.], v. 137, p. 1–12, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 6. ed., revisada e ampliada. Brasília: Embrapa Solos, 2025. 440 p.

FERREIRA, T. R.; SANTOS, J. M.; BARROS, D. C. Manejo racional de defensivos agrícolas e seus impactos na produtividade e na saúde do solo. **Revista Meio Ambiente e Agricultura**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 55-68, 2022.

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v. 82, n. 2, p. 121–145, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Campo Mourão**. Rio de Janeiro: IBGE, [2025?]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/campo-mourao.html>. Acesso em: 23 out. 2025.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Leituras regionais: Mesorregião Geográfica Centro-Ocidental Paranaense**. Curitiba: IPARDES; BRDE, 2004. 133 p.

KELLER, T.; SANDIN, M.; COLOMBI, T.; HORN, R.; OR, D. Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning. **Soil and Tillage Research**, [s.l.], v. 194, 2019. DOI: 10.1016/j.still.2019.104293.

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. *Geoderma*, Amsterdam. **Geoderma**, [s.l.], v. 116, p. 107–136, 2003.

MAGALHÃES, P. C.; SOUZA, T. C.; KARAM, D. Uso de plantas de cobertura para melhoria da estrutura do solo em sistemas conservacionistas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 33, n. 4, p. 947-954, 2009.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. Amsterdam; Boston: Academic Press (Elsevier), 2012. 651 p.

NITSCHKE, P. R.; CARAMORI, P. H.; RICCE, W. da S.; PINTO, L. F. D. **Atlas climático do estado do Paraná** [recurso eletrônico]. Londrina (PR): Instituto Agrônomo do Paraná, 2019. 210 p. Disponível em:

<https://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>. Acesso em: 09 dez. 2025.

OTTONI FILHO, T. B.; OTTONI, M. V.; OLIVEIRA, M. B.; MACEDO, J. R. Estimation of field capacity from ring infiltrometer-drainage data. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 6, p. 1765–1771, nov./dez. 2014. DOI: 10.1590/S0100-06832014000600011.

PEREIRA, M. G.; SOUZA, D. M. de; MELO, V. L. R. de. Formação e caracterização de solos. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2019.

SILVA, P. L. F. da. Compactação e seus efeitos sobre o funcionamento do solo e a absorção de nutrientes pelas plantas: Uma revisão bibliográfica. **Meio Ambiente (Brasil)**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 24-33, 2021. Disponível em: <https://meioambientebrasil.com.br/index.php/MABRA/article/view/119/91>. Acesso em: 23 out. 2025.

TRACY, S. R.; BLACK, C. R.; ROBERTS, J. A.; STURROCK, C.; MAIRHOFER, S.; CRAIGON, J.; MOONEY, S. J. Quantifying the impact of soil compaction on root system architecture in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) by X-ray micro-computed tomography (CT). **Annals of Botany**, v. 110, p. 511-519, 2012.