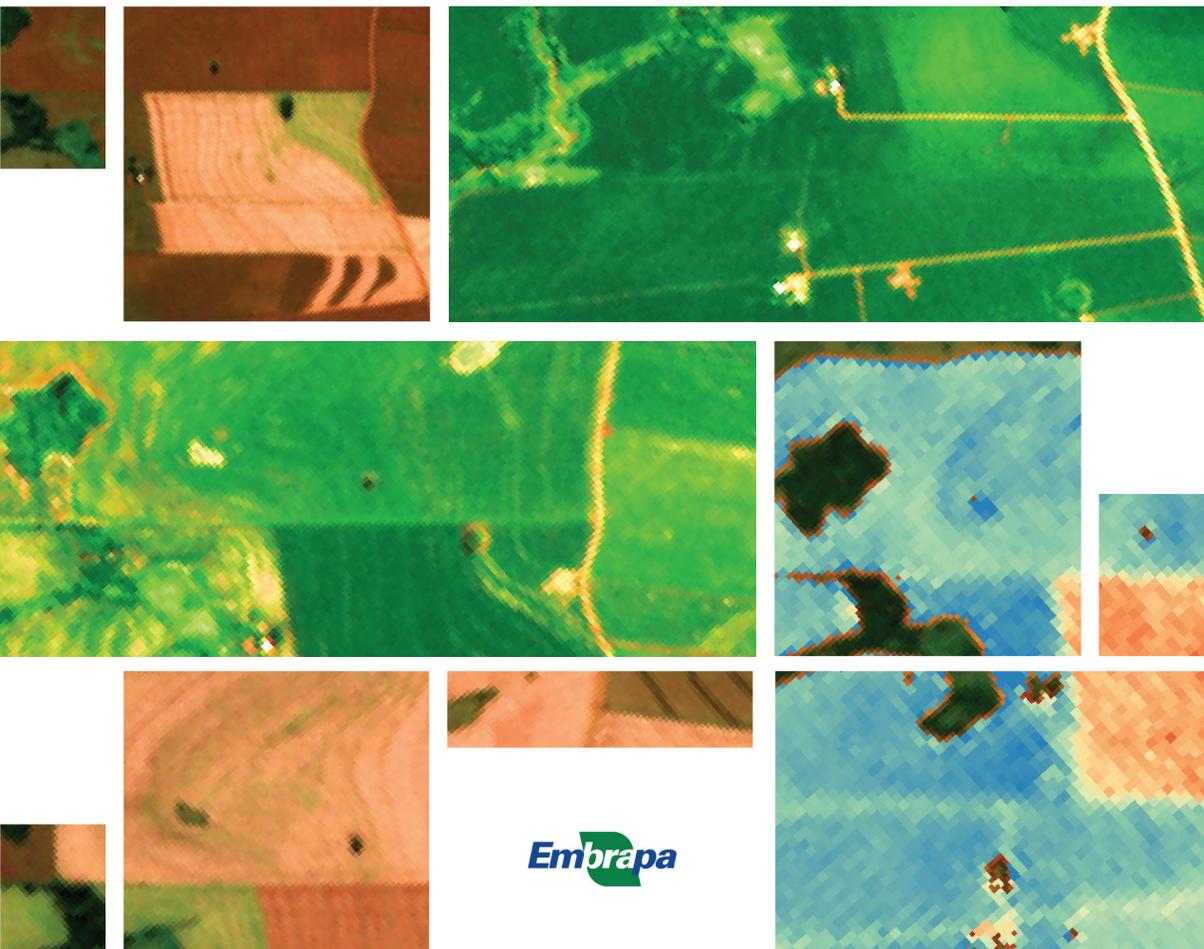


Sensoriamento remoto para avaliar o histórico de culturas, cobertura do solo com palha e tempo sem revolvimento do solo em áreas agrícolas, para uso no Zarc Níveis de Manejo



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura e Pecuária

DOCUMENTOS 454

**Sensoriamento remoto para avaliar o histórico
de culturas, cobertura do solo com palha e
tempo sem revolvimento do solo em áreas
agrícolas, para uso no Zarc Níveis de Manejo**

Júlio Cezar Franchini
Henrique Debiasi
Alvadi Antonio Balbinot Junior
José Renato Bouças Farias
José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro
Esmael Lopes dos Santos
Anderson Antônio da Conceição Sartori
Hudson Carlos Lissoni Leonardo
Autores

Embrapa Soja
Londrina, PR
2023

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rod. Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral, Distrito da Warta
CEP 86065-981
Caixa Postal 4006
Londrina, PR
Fone: (43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja**

Presidente
Adeney de Freitas Bueno

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
*Claudine Dinali Santos Seixas, Edson Hirose,
Ivani de Oliveira Negrão Lopes, José de Barros
França Neto, Leandro Eugênio Cardamone
Diniz, Marco Antonio Nogueira, Mônica Juliani
Zavaglia Pereira e Norman Neumaier*

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol

Bibliotecária
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica e capa
Marisa Yuri Horikawa

1ª edição
PDF digitalizado (2023).

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Sensoriamento remoto para avaliar o histórico de culturas, cobertura do solo com palha e tempo sem revolvimento do solo em áreas agrícolas, para uso no Zarc Níveis de Manejo / Júlio Cezar Franchini ... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2023.
33 p. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 454).

1. Sensoriamento remoto. 2. Manejo de solo. 3. Zoneamento climático. I. Franchini, Júlio Cezar. II. Debiasi, Henrique. III. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. IV. Farias, José Renato Bouças. V. Monteiro, José Eduardo Boffino de Almeida. VI. Santos, Esmael Lopes dos. VII. Sartori, Anderson Antônio da Conceição. VIII. Leonardo, Hudson Carlos Lissoni. IX. Série.

CDD: 631.8 (21. ed.)

Autores

Júlio Cezar Franchini

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Henrique Debiasi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

Alvadi Antonio Balbinot Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

José Renato Bouças Farias

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

José Eduardo Boffino de Almeida Monteiro

Engenheiro agrônomo, doutor em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP.

Esmael Lopes dos Santos

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, PR.

Anderson Antônio da Conceição Sartori

Engenheiro agrônomo, doutor em Agronomia, Bolsista de Inovação Embrapa Soja/Itaipu/FAPED, Londrina, PR.

Hudson Carlos Lissoni Leonardo

Engenheiro agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Engenheiro Sênior Itaipu Binacional, Foz do Iguaçu, PR.

Apresentação

Nas últimas duas décadas, o Brasil se consolidou como um dos principais produtores e exportadores de alimentos, fibras e bioenergia, tornando-se protagonista na segurança alimentar da humanidade. Somente em 2022, as exportações do agro brasileiro somaram US\$ 159 bilhões, ou 47,6% do total exportado, sendo o complexo soja responsável por 38,3% das exportações do agro. O aprimoramento do manejo do solo, seguindo as premissas do sistema plantio direto (mínima mobilização do solo, restrita à linha de semeadura; cobertura permanente do solo por culturas ou por seus resíduos) e diversificação de espécies vegetais, sem dúvida, foram fundamentais para o avanço da competitividade do agro brasileiro.

Não obstante à significativa evolução do manejo do solo, é consenso que a maior parte das áreas manejadas em plantio direto não atende plenamente às premissas do sistema. Nesse sentido, parte dos benefícios do sistema não é alcançada, criando grande oportunidade para avanços futuros no manejo do solo, o que pode conferir aumentos de produtividade, estabilidade e rentabilidade.

Esta publicação apresenta e discute o uso de ferramentas de sensoriamento remoto para acessar informações relacionadas ao tempo sem revolvimento do solo, porcentagem de cobertura por resíduos vegetais e diversidade de culturas utilizadas. Dessa forma, esperamos que essas informações colaborem na determinação mensurável, reportável e verificável dos níveis de manejo do solo.

Adeney de Freitas Bueno

Chefe-adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Embrapa Soja

Conteúdo

Introdução.....	9
Acesso às imagens de satélites e índices de vegetação	12
Monitoramento do histórico da diversidade de culturas em áreas agrícolas	14
Determinação da porcentagem de cobertura do solo na semeadura da soja e tempo sem revolvimento do solo.....	17
Considerações finais	29
Agradecimentos.....	30
Referências	30

Introdução

No Brasil, há predomínio do Sistema Plantio Direto (SPD) na produção de grãos, o qual, quando implantado e conduzido em consonância com as suas premissas, constitui-se na principal ferramenta do manejo conservacionista do solo em regiões com clima tropical e subtropical. As premissas que caracterizam o SPD envolvem a mínima mobilização do solo, restrita à linha de semeadura; a cobertura permanente do solo por culturas ou por seus resíduos; e a diversificação de espécies vegetais, via rotação, sucessão e consorciação de culturas. Além do atendimento dessas premissas, é essencial que o SPD seja estabelecido de maneira correta, com a correção da acidez do solo e dos teores de nutrientes no perfil, de acordo com os resultados da análise química do solo.

A utilização do SPD em substituição a outros sistemas de manejo do solo resulta em vários benefícios que atendem aos requisitos da agricultura conservacionista, tais como: diminuição dos custos com operações mecanizadas (Lal, 2007); redução da erosão do solo (Merten et al., 2015); melhoria da estrutura do solo e aumento da disponibilidade hídrica para as culturas (Moraes et al., 2016, 2018); incremento dos estoques de carbono no solo, com reflexos positivos na mitigação de gases causadores de efeito estufa (GEEs) (Babujia et al., 2010; Bayer et al., 2016; Monteiro et al., 2023); diminuição dos picos de temperatura máxima do solo (Derpsch et al., 1986); e aumento da atividade e diversidade da biota do solo (Babujia et al., 2010). Esses benefícios resultam em redução dos custos de produção e dos impactos ambientais negativos decorrentes da atividade agrícola, bem como no aumento da produtividade com menor risco de perdas por estresses hídricos (Franchini et al., 2012; Debiasi et al., 2013).

Estatísticas recentes indicam que o SPD é utilizado em cerca de 33 milhões de hectares no Brasil (Fuentes-Llanillo et al., 2021), o que demonstra a ampla adoção desse sistema de manejo do solo. Contudo, é consenso que a maior parte dessa área não atende de forma integral às premissas do sistema, restringindo-se, em várias situações, apenas à mínima mobilização do solo pela eliminação de operações de preparo primário e secundário do solo. Nesse caso, grande parte dos benefícios do SPD não é alcançada e problemas associados à ocorrência de erosão, degradação da estrutura do solo, elevação das perdas de produtividade em função de estresses climáticos (seca ou

excesso de chuvas) e aumento da incidência e dos danos ocasionados por pragas, doenças e plantas daninhas, têm sido frequentemente observados, ameaçando a sustentabilidade dos sistemas de produção de grãos.

O trabalho desenvolvido por Debiasi et al. (2022) propôs a utilização de sete indicadores para definir níveis de manejo do solo (NM), que variam de 1 a 4, em que o NM 1 se refere ao menos adequado e o NM 4 ao mais adequado (Tabela 1). Os indicadores são: 1) tempo sem revolvimento do solo (anos); 2) porcentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais na semeadura; 3) saturação da CTC por bases (V%) na camada de solo de 0-20 cm; 4) teor de Ca^{2+} na camada 20-40 cm; 5) porcentagem de saturação por Al (m%) na camada 20-40 cm; 6) índice de qualidade estrutural do solo (IQES); e 7) diversidade de culturas, considerando os últimos três anos agrícolas. Os indicadores 3, 4 e 5 são acessados por meio de análises químicas do solo e o indicador 6 via avaliação visual do solo, seguindo a metodologia de Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) (Ralisch et al., 2017). Os indicadores 1 e 2 podem ser acessados via imagens de satélites e índices de vegetação, facilitando a determinação e aumentando a credibilidade das informações. Por sua vez, o indicador 7 pode ser acessado via relato do histórico de uso do solo, combinado com a observação e avaliação de imagens de satélite e índices de vegetação. No caso do indicador 7, em muitas situações, as imagens de satélite podem cancelar o relato de culturas utilizadas nos últimos três anos. A obtenção dessas informações relacionadas aos indicadores 1, 2 e 7, de forma remota, pode viabilizar o uso dos NM em larga escala e permitir a auditoria das informações de forma independente.

A categorização dos níveis de manejos do solo pode ser utilizada para várias finalidades; por exemplo, Debiasi et al. (2022) propõem a utilização dos NM para gerar resultados de Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) específicos para cada NM. Essa abordagem representa um importante avanço na metodologia do ZARC, uma vez que quantifica a redução de risco de déficit hídrico com manejo conservacionista do solo e, por conseguinte, estimula a adoção de boas práticas de manejo pelos produtores rurais.

O objetivo desse trabalho é apresentar e discutir a utilização de imagens obtidas de satélites e de índices espectrais derivados, para auxiliar na determinação do histórico de diversidade de culturas em áreas agrícolas, da cobertura do solo com palha no momento da semeadura da soja e do tempo sem revolvimento do solo.

Tabela 1. Critérios e indicadores para enquadramento das áreas de soja e milho nos níveis de manejo 2 (NM2), 3 (NM3) e 4 (NM4) (Debiasi et al., 2022)

Indicador	Nível de manejo (NM)			
	NM1	NM2	NM3	NM4
1) Tempo sem preparo do solo em área total (anos)	< 3	3 a 5	6 a 8	> 8
2) Porcentagem de cobertura do solo na semeadura da soja	< 45	45 a 60	60 a 75	> 75
3) V% (0-20 cm) ¹ CTC < 7,0 cmolc dm-3 CTC 7,0 a 10,0 cmolc dm-3 CTC > 10,0 cmolc dm-3	< 35 < 40 < 50	35 a 40 40 a 45 50 a 55	41 a 50 46 a 55 56 a 65	> 50 > 55 > 65
4) Teor de Ca ²⁺ (cmolc dm-3) (20-40 cm)	< 0,5	0,5 a 0,7	0,8 a 1,0	> 1,0
5) m% (20-40 cm) ²	> 20	10 a 20	5 a 9	< 5
6) IQEs - DRES3	< 2,0	2,0 a 3,0	3,0 a 4,0	> 4,0
7) Diversidade de culturas considerando os últimos 3 anos agrícolas	Requisitos dos outros NMs não atendidos ou não informados	- 4 cultivos; e - 2 espécies vegetais; e - 2 famílias botânicas.	- 6 cultivos; e - 2 espécies vegetais; e - 2 famílias botânicas; e - 1 cultivo exclusivo envolvendo plantas de cobertura do solo (solteiro ou consorciado) por mais de 4 meses OU 3 cultivos de consórcio grãos + cobertura ou 3 cultivos de cobertura na janela outonal ou de fim de inverno, com permanência na área por menos de 4 meses.	Sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) envolvendo o cultivo de pastagens por um ano ou mais na mesma área - 6 cultivos; e - 4 espécies vegetais; e - 2 famílias BOTÂNICAS; e - 3 cultivos envolvendo plantas de cobertura do solo (solteiro ou consorciado com outras plantas de cobertura ou para produção de grãos), com pelo menos 1 cultivo exclusivo por mais de 4 meses.

¹ V% = saturação por bases (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ / CTC pH 7,0); ² m% = saturação por alumínio (A³⁺/CTC efetiva); ³ IQEs = Índice de qualidade estrutural do solo, pelo diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES) - Ralisch et al. (2017).

Acesso às imagens de satélites e índices de vegetação

A Embrapa Agricultura Digital desenvolveu o Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg)¹, que é uma ferramenta Web criada para facilitar o acesso e visualização de perfis temporais dos índices vegetativos NDVI e EVI do sensor MODIS, em qualquer local da América do Sul. Com atualização regular, conforme disponibilidade de imagens, o SATVeg fornece ao usuário uma interface Google Maps para a localização das áreas de interesse, ferramentas para filtragem das séries temporais, módulos para carregamento de arquivos vetoriais, entre outras funcionalidades.

A observação de perfis temporais de índices vegetativos, que expressam as variações da biomassa vegetal na superfície terrestre ao longo do tempo, oferece apoio às atividades de monitoramento agrícola e ambiental. As séries históricas completas dos índices vegetativos NDVI e EVI, são derivadas das imagens do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra e Aqua. As imagens são adquiridas do *Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC)*, um centro vinculado ao *NASA's Earth Observing System*. As séries temporais dos índices vegetativos fazem parte da coleção 6 dos produtos MOD13Q1 (derivado do satélite Terra, com início em 18/02/2000) e MYD13Q1 (derivado do satélite Aqua, com início em 04/07/2002). Nestes produtos, o NDVI e o EVI são disponibilizados em composições máximas de 16 dias, com resolução espacial de aproximadamente 250 m. As séries temporais são armazenadas em um grande banco de dados geoespaciais, atualizado regularmente, conforme disponibilidade de imagens no LP-DAAC. Para gerar o gráfico da série histórica do NDVI ou EVI de qualquer ponto da América do Sul, basta utilizar a interface Google Maps, navegar até a área de interesse e clicar sobre a imagem. Também existe a possibilidade de carregar arquivos com informações sobre o contorno das áreas nos formatos kml ou shp. O gráfico com a série histórica completa é mostrado na tela do SATVeg, onde consta a informação do nome do município. Essas ferramentas auxiliam na avaliação do histórico de culturas em áreas agrícolas, cobertura do solo com palha e tempo sem revolvimento do solo, de forma rápida, com baixo custo e com adequada confiabilidade.

¹ <https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>

Os perfis temporais de índices vegetativos apresentam formatos relacionados ao ciclo das espécies vegetais, o que, associado à época de semeadura, torna possível a identificação das principais culturas utilizadas no sistema de produção. Quando apenas os perfis temporais de índices vegetativos não forem suficientes para identificar a espécie vegetal cultivada, podem ser feitas análises mais detalhadas, utilizando imagens de satélite de maior resolução como o Sentinel-2 (10 metros) e Landsat-8 (30 m). Estes satélites estão em funcionamento desde 2015 e 2013, e tem frequência de revisita de 5 e 15 dias, respectivamente. As imagens do Sentinel-2 podem ser obtidas diretamente na plataforma da *European Spacial Agency* (ESA)² e as do Landsat na plataforma do *United States Geological Survey* (USGS)³. Existem várias plataformas que utilizam as imagens dos satélites Sentinel-2 e Landsat-8 para a prestação de serviços com acesso gratuito limitado a um pacote básico de serviços. Um exemplo deste tipo de serviço é prestado pela plataforma *Earth Observing System* (EOS), por meio do portal *Landviewer*⁴. O portal *Landviewer* permite o acesso gratuito a até 10 imagens por dia e facilita o processo de busca e seleção de imagens. A partir da composição das bandas é possível obter diferentes índices espectrais e imagens RGB que permitem avaliar atividades desenvolvidas nas áreas de interesse com frequência regular (de 5 a 15 dias).

As imagens RGB permitem identificar, por meio de padrões visíveis, algumas das espécies vegetais, tratos culturais como dessecação com herbicidas, preparo do solo e datas de plantio e colheita. Por outro lado, há índices espectrais que podem ser derivados das bandas avaliadas pelos sensores embarcados no Sentinel-2 e Landsat-8, que podem ser utilizados para identificar o solo exposto ou até estimar a quantidade de cobertura do solo com resíduos vegetais. Neste sentido, se destaca o índice NDTI que pode ser utilizado para avaliar quantitativamente a cobertura do solo e vem sendo utilizado desde o início do século com este objetivo nos Estados Unidos (Daughtry, 2001; Beeson et al., 2016; Daughtry et al., 2004, 2006; Hively et al., 2018).

² <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>

³ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

⁴ <https://eos.com/landviewer/?lat=53.34720&lng=-6.24390&z=11>

Monitoramento do histórico da diversidade de culturas em áreas agrícolas

Alguns exemplos de caracterização do histórico de culturas em talhões de produção são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3. Na Figura 1, os perfis temporais do índice NDVI estão associados com as culturas da soja; do milho segunda safra solteiro ou em consórcio com braquiária; e do trigo. O pico do índice vegetativo que aparece todos os anos em janeiro pode ser atribuído à soja, comumente semeada em outubro na região Norte do Paraná. O pico do NDVI que aparece em três anos no mês de maio pode ser atribuído ao milho, pois é compatível com uma cultura de ciclo maior do que 120 dias implantada logo após a colheita da soja, característica típica da sucessão soja/milho segunda safra. Os picos menores de NDVI que aparecem após a cultura do milho segunda safra nos anos 2017 e 2018 são compatíveis com o cultivo do milho em consórcio com a braquiária, uma vez que, após a colheita do milho, há a exposição e posterior crescimento da braquiária, originando os picos de NDVI em setembro e início de outubro. Esse padrão fica claro quando se verifica que não ocorre este aumento do índice vegetativo após a colheita do milho solteiro, como evidenciado em 2019. Finalmente, nos dois últimos anos, observa-se o padrão do NDVI quando se cultiva trigo após a soja. As principais características são a maior janela entre a colheita da soja e o aumento do índice vegetativo, que começa a ser observado somente em maio, e pelo formato do índice vegetativo do trigo que é mais curto do que o do milho, evidenciando um ciclo menor. Desta forma, fica evidente que é possível identificar os sistemas de produção em sucessão de culturas: soja/milho segunda safra e soja/trigo, com bastante segurança e clareza.

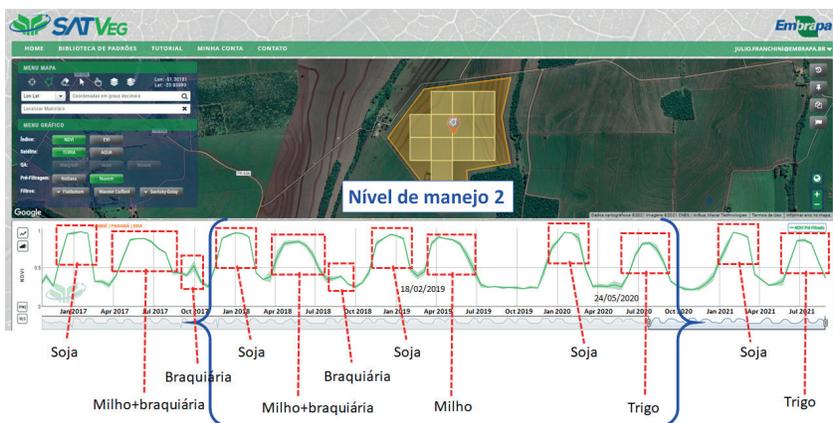


Figura 1. Histórico de culturas em dez safras de um talhão agrícola na região Norte do Paraná de acordo com os perfis temporais do índice de vegetação (NDVI), determinados pela plataforma SATVeg. O período compreendido entre as chaves em azul corresponde a seis safras agrícolas, quando foi cultivada soja no verão (2017/2018; 2018/2019 e 2019/2020) e milho+braquiária (2018), milho solteiro (2019) e trigo (2020) no outono/inverno, atendendo os critérios para o nível de manejo 2.

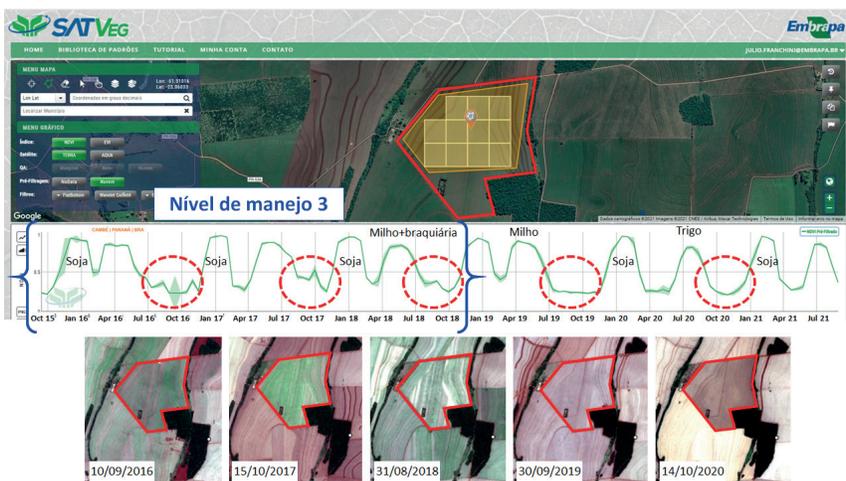


Figura 2. Histórico de culturas em 12 safras de um talhão agrícola na região Norte do Paraná, de acordo com a variação do índice de vegetação (NDVI), utilizando a plataforma SATVeg. O período compreendido entre as chaves em azul corresponde a seis safras, quando foi cultivada soja no verão (2015/2016; 2016/2017 e 2017/2018) e milho+braquiária (2016; 2017 e 2018) no outono/inverno, atendendo os critérios para o nível de manejo 3. Na parte inferior da figura, imagens RGB obtidas a partir do satélite Sentinel-2, do talhão em diferentes datas, destacando a presença da braquiária após a colheita do milho segunda safra em três (2016, 2017 e 2018) dos cinco anos.

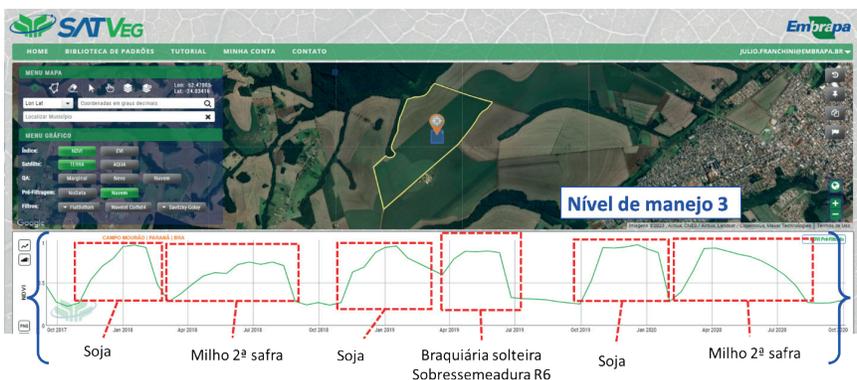


Figura 3. Histórico de culturas em seis safras de um talhão agrícola na região Norte do Paraná de acordo com a variação do índice de vegetação (NDVI), utilizando a plataforma SATVeg. O período compreendido entre as chaves em azul corresponde a seis safras agrícolas, quando foi cultivada soja (2017/2018; 2018/2019 e 2019/2020) no verão, milho segunda safra (2018 e 2020) e braquiária solteira (2019), no outono/inverno atendendo os critérios para o nível de manejo 3.

A análise dos padrões do NDVI, ao longo de seis safras agrícolas, demarcados entre as chaves em azul na Figura 1, de setembro de 2017 a setembro de 2020, permite estabelecer com clareza que se pratica um sistema de cultivo de soja continuamente na primavera/verão e diversificação de culturas no outono/inverno, com a alternância de milho solteiro e consorciado com braquiária e o trigo. Como base na definição do histórico de culturas, é possível avaliar qual seria o NM da área utilizada como exemplo. No recorte de seis safras, é possível classificar o NM como sendo 2. Embora haja diversificação no inverno entre as culturas do milho e do trigo, o milho em consórcio com a braquiária foi utilizado em apenas um ano. Para avançar para o nível de manejo 3, seriam necessários pequenos ajustes no sistema de produção, como o uso de plantas de cobertura na janela entre a colheita da soja e a semeadura do trigo. Outra forma de melhorar o sistema seria manter o consórcio de milho com braquiária por três anos seguidos, como é mostrado na Figura 2.

Na Figura 2, os perfis temporais de NDVI também estão associados com as culturas da soja, do milho segunda safra solteiro ou em consórcio com braquiária e do trigo, da mesma forma como observado na Figura 1. A diferença é o uso do consórcio do milho com a braquiária por três safras seguidas, no outono/inverno, durante o período de outubro de 2015 a outubro de 2018, o que seria suficiente para atender os requisitos estabelecidos para a classi-

ificação do sistema de produção no NM 3. Os picos menores de NDVI que aparecem após a cultura do milho segunda safra nos anos 2016, 2017 e 2018 são compatíveis com o cultivo do milho em consórcio com a braquiária, já que está associado com um aumento do índice vegetativo após a colheita do milho e podem ser comprovados pela análise visual das imagens RGB obtidas do satélite Sentinel-2.

No exemplo da Figura 3, os perfis temporais de NDVI estão associados com as culturas da soja, milho segunda safra e braquiária solteira. Nesse caso, é interessante observar que a análise temporal do NDVI permitiu inferir que a braquiária foi sobressemeada no final do ciclo da soja, uma vez que o NDVI permaneceu acima de 0,6 logo após a colheita da oleaginosa, em março de 2019. Isso ocorreu porque na colheita da soja a braquiária já estava estabelecida, em processo de formação de dossel. Também pode-se inferir que a braquiária foi dessecada em meados de junho, devido a rápida redução do NDVI e estabilização em um nível compatível com a cobertura do solo com palha até o plantio da soja em outubro de 2019. Por sua vez, constatou-se que o NDVI caiu abaixo de 0,40 entre a colheita da soja e o estabelecimento do milho em sucessão. Isso demonstra a sensibilidade da avaliação da variação temporal do NDVI. Os três exemplos apresentados demonstram a viabilidade de utilização do SATVeg para o monitoramento de espécies cultivadas em áreas agrícolas.

Determinação da porcentagem de cobertura do solo na semeadura da soja e tempo sem revolvimento do solo

Informações precisas sobre a cobertura do solo com palha são fundamentais para o adequado manejo dos agroecossistemas e o sensoriamento remoto pode permitir o acesso a esses dados de forma rápida, confiável e em larga escala (Memon et al., 2019; Beeson et al., 2020).

Os resíduos vegetais se acumulam na superfície do solo nos talhões agrícolas após a colheita das culturas ou o manejo das plantas de cobertura e adubação verde. Os resíduos vegetais permanecem na superfície do solo quanto se utiliza o SPD e desempenham um papel importante na conservação do solo e da água, reduzindo a perda de sedimentos, água, nutrientes e carbono orgânico via erosão hídrica (Cogo et al., 1984; Schick et al., 2000a;

Schick et al., 2000b; Cogo et al., 2003). Além disso, a cobertura do solo com resíduo vegetais auxilia na regulação térmica do solo (Allmaras et al., 1977; Derpsch et al., 1986; Gasparim et al., 2005; Prevedello et al., 2010; Torres et al., 2010), na preservação da umidade do solo (Bragagnolo; Mielniczuk, 1990; Mariano et al., 2016; Debiasi et al., 2022), na redução da emergência e crescimento de plantas daninhas, sobretudo as fotoblásticas positivas (Severino; Christoffoleti, 2001; Correia et al., 2006; Balbinot Junior et al., 2007), no aumento do carbono orgânico do solo (Bayer et al., 2000; Franchini et al., 2007) e na promoção de um ambiente químico, físico e biológico mais adequado para a produção agrícola sustentável (Franchini et al., 2007; Babujia et al., 2010; Silva et al., 2010).

A quantidade de cobertura do solo por resíduos vegetais está diretamente relacionada aos sistemas de manejo do solo e de culturas. A redução da intensidade de preparo do solo, com aumentos correspondentes na cobertura por resíduos vegetais, aumenta a retenção de água e a proteção ao impacto direto da chuva, prevenindo o processo erosivo e mitigando as perdas de água e nutrientes por escoamento superficial (Hernani et al., 1999; Leite et al., 2009). A diversidade de práticas e implementos utilizados pelos agricultores (por exemplo, arado de disco, grade pesada, grade niveladora, escarificador, subsolador e o sistema plantio direto) reflete a evolução da mecanização agrícola ao longo do tempo, e resulta em um amplo espectro de resultados de cobertura solo por resíduos vegetais. A manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo é, portanto, crucial para promover sistemas de produção mais sustentáveis e de menor vulnerabilidade a riscos climáticos.

A cobertura do solo por resíduos vegetais pode ser medida de forma direta no campo usando imagens (Varella et al., 2002; Jorge; Silva, 2009) ou o método do transecto (Richards et al., 1984; Morrison et al., 1993). O sensoriamento remoto tem demonstrado que o percentual de cobertura do solo com resíduos vegetais pode ser determinado com precisão, utilizando a reflectância da celulose e lignina na região do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho de ondas curtas (SWIR) (Hively et al., 2018). Na Figura 4 são apresentadas as curvas de refletância para uma cultura em pleno desenvolvimento vegetativo, para o resíduo vegetal pós-colheita da cultura do milho e para um solo argiloso sem cobertura de palha. A diferença de refletância entre o resíduo vegetal e o solo argiloso na região do infra-

vermelho de ondas curtas (SWIR 1 e SWIR2), expressa por meio do índice NDTI ($SWIR1 - SWIR2 / SWIR1 + SWIR2$) (*Normalized Difference Tillage Index*), permite estabelecer relações precisas com a porcentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais (Daughtry, 2001; Daughtry et al., 2004; Daughtry et al., 2006; Beeson et al., 2016; Hively et al., 2018; Beeson et al., 2020).

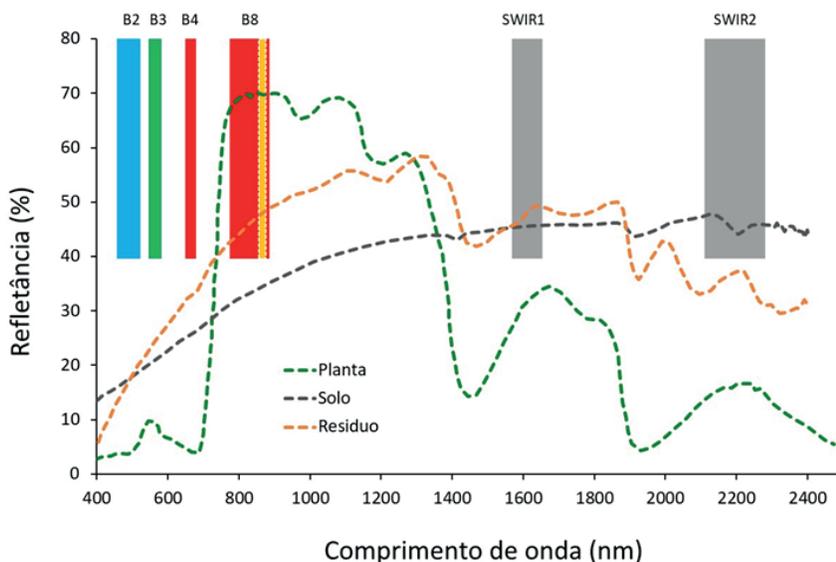


Figura 4. Curvas de refletância espectral para resíduo de milho (linha laranja), vegetação verde (linha verde) e solo argiloso (linha preta), coletados com espectrorradiômetro (FieldSpec Pro, adaptado de Hively et al. (2018)). As barras representam as bandas espectrais e respectivas larguras em nm, do Satélite Sentinel-2. B2 (azul), B3 (verde), B4 (vermelho), B8 (infravermelho próximo), SWIR 1 e SWIR2 (infravermelho de ondas curtas).

Na Figura 5 é apresentado um exemplo de como combinar imagens RGB e o índice NDTI para identificar o preparo do solo e a porcentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais. Na imagem RGB, à esquerda, foram identificados talhões de produção na região de Marialva no Norte do Paraná sem revolvimento do solo e com cobertura de palhada de milho e palhada de milho+braquiária e talhões com preparo do solo com grade pesada. Na imagem à direita foi estimada a porcentagem de cobertura do solo com base na relação entre o índice NDTI e a porcentagem de cobertura ajustada pelo método do transecto (Morrison et al., 1993). É possível observar que o método baseado no índice NDTI consegue diferenciar o percentual de cobertura

do solo de forma precisa. As áreas com palhada de milho+braquiária, milho solteiro e preparo do solo apresentaram percentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais na ordem de 90, 75 e 30%, respectivamente, indicando a sensibilidade do método para estimar a cobertura do solo.

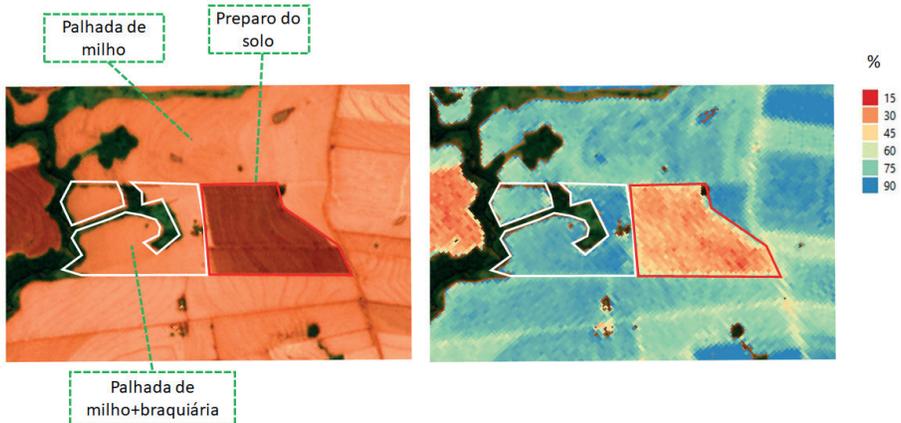


Figura 5. Imagens RGB (à esquerda) e estimativa da cobertura do solo por resíduos vegetais por meio do índice NDTI (à direita) em talhões com diferentes históricos de culturas e manejo do solo em Marialva, PR. Imagem Sentinel-2, 04/10/2020.

Com o objetivo de avaliar o potencial desta metodologia para a avaliação em larga escala da percentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais, foi conduzido um estudo preliminar nas regiões Norte e Oeste do Paraná, nos municípios de Cambé, Floresta, Campo Mourão e Cafelândia, onde foram quantificados em áreas de 30 mil ha a percentagem de cobertura do solo com resíduos, utilizando o método baseado no índice NDTI (Hively et al., 2018; Beeson et al., 2020) (Figuras 6 e 7). Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, no momento da semeadura das culturas de primavera/verão, que nestas regiões predominantemente é a soja e ocorre entre meados de setembro e meados de outubro. Para a quantificação foram utilizados os parâmetros sugeridos por Beeson et al. (2020), sem calibração local, conforme as equações a seguir:

$$CR \text{ (cobertura de resíduos \%)} = m * (NDTI) + b$$

$$\text{Inclinação (m)} = (CR_{\text{max}} - CR_{\text{min}}) / (NDTI_{\text{max}} - NDTI_{\text{min}})$$

$$y\text{-intercepto (b)} = -1 * (\text{inclinação (m)} * NDTI_{\text{min}})$$

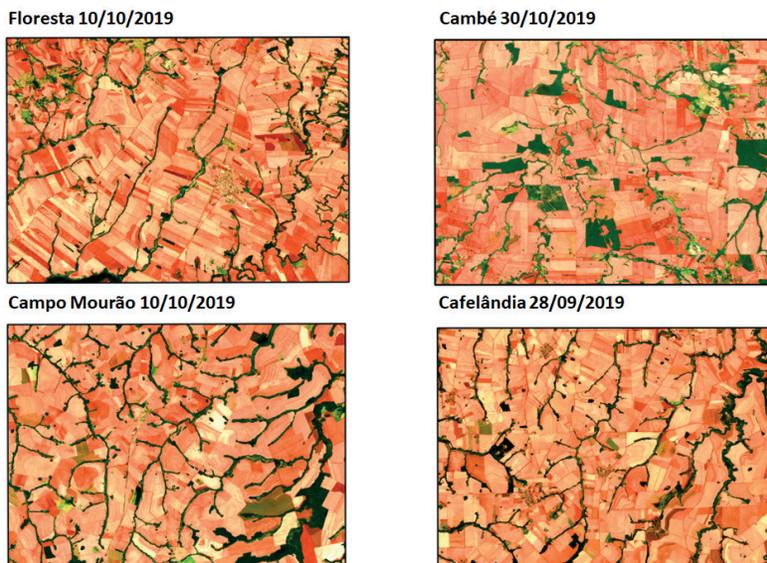


Figura 6. Imagens RGB de áreas representativas (30 mil ha) de produção de soja e milho nos municípios de Cambé, Floresta, Campo Mourão e Cafelândia, regiões Norte e Oeste do Paraná. Composição RGB com as bandas B4, B3 e B2 do satélite Sentinel-2.

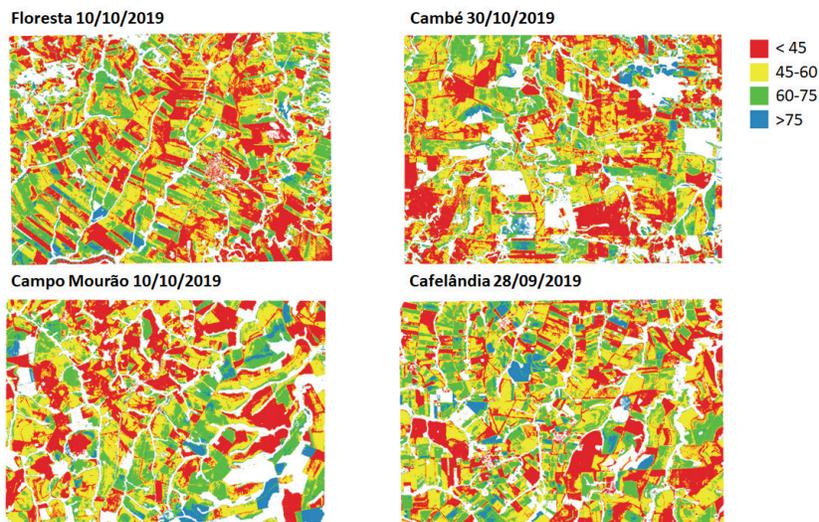


Figura 7. Estimativa de classes de cobertura do solo (%) por resíduos vegetais em áreas representativas (30 mil ha) de produção de soja e milho nos municípios de Cambé, Floresta, Campo Mourão e Cafelândia, regiões Norte e Oeste do Paraná. Baseada na metodologia descrita por Beeson et al. (2020).

Assumi-se que a cobertura de resíduos variou de solo nu a uma cobertura máxima de resíduos (plântio direto), conforme representado pelos valores máximo e mínimo de NDTI, o que não requer dados de campo. Os valores máximos e mínimos de NDTI foram extraídos de cada imagem usando a média mais ou menos três vezes o desvio padrão para máximo e mínimo, respectivamente, para reduzir o ruído. A cobertura máxima de resíduo (CRmax) foi assumida como 100%. A cobertura mínima de resíduos (CRmin) foi assumida como 0%.

As frequências das estimativas da percentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais foram classificadas em quatro classes (<45; 45-60; 60-75 e >75), as mesmas utilizadas para o indicador 2 na Tabela 1, e são apresentadas na Figura 8.

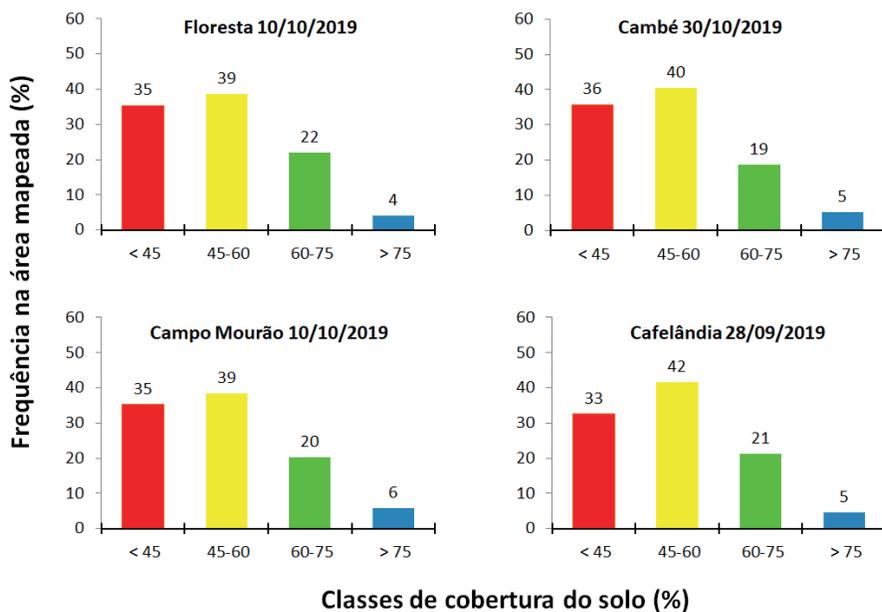


Figura 8. Frequência da estimativa de classes de cobertura do solo por resíduos vegetais em áreas representativas (30 mil ha) de produção de soja e milho nos municípios de Cambé, Floresta, Campo Mourão e Cafelândia, regiões Norte e Oeste do Paraná. Baseada na metodologia descrita por Beeson et al. (2020). Valores no alto das colunas indicam a percentagem de área ocupada pela classe de cobertura na imagem mapeada.

A estimativa de cobertura do solo por resíduos vegetais no momento da semeadura apresentou comportamento semelhante nas quatro regiões avaliadas e seguiu a seguinte ordem decrescente de representatividade nas áreas mapeadas: 45-60; < 45; 60-75; > 75 (Figura 8). A classe predominante variou de 39 a 42% da área mapeada e representa o nível de manejo 2 (NM2) de acordo com a Tabela 1. A segunda classe de cobertura em ordem de importância, foi a < 45 %, que variou de 33 a 36% da área mapeada. Esta classe de cobertura representa o NM1, e indica que em uma área significativa das regiões avaliadas existe pouca produção de resíduos e/ou podem estar sendo utilizadas práticas de manejo da cobertura do solo que aceleram o processo de decomposição, como o revolvimento do solo com grade pesada ou niveladora e escarificadores/subsoladores. Estes implementos promovem a incorporação dos resíduos, pulverizam e expõe o solo diretamente à radiação solar e ao impacto das gotas de chuva, aumentando os riscos de erosão e a suscetibilidade das culturas ao estresse hídrico. O uso da grade niveladora para o controle de plantas daninhas resistentes à herbicidas e manejo da palha do milho em pré-plantio da soja e a escarificação/subsolagem para descompactação do solo, têm sido identificadas como práticas utilizadas nas regiões do estudo. De forma geral, a quantidade de resíduos vegetais cobrindo o solo pode ser considerada bastante crítica, já que os NM1 e NM2 somados representaram em torno de 75% da área mapeada e denota o uso de sistemas pouco diversificados, com pouca produção de biomassa das culturas, o que resulta em pouca cobertura do solo. O cenário é agravado pelo uso de práticas mecânicas que poderiam ser evitadas.

Por outro lado, as classes de cobertura de 60-75 e > 75, que representam os NM3 E NM4, ocuparam, aproximadamente, 25% da área mapeada nas regiões avaliadas (Figura 8). Esses percentuais de cobertura indicam que nessas áreas estão sendo utilizadas práticas que propiciam maior produção de biomassa das culturas e que não são utilizadas práticas de manejo mecânico dos resíduos que reduzam a cobertura do solo. Em termos de cobertura do solo estas áreas teriam maior potencial para conservação do solo e da água e menor risco das culturas a estresses por deficiência hídrica. Nesse contexto, o uso de imagens de satélite para avaliar a porcentagem de cobertura do solo por resíduos e o tempo sem revolvimento é uma ferramenta rápida, com baixo custo e que pode ser utilizada em escala regional para estimular a adoção de boas práticas de manejo pelos produtores rurais.

Para aprimorar a estimativa da porcentagem de cobertura do solo com base em imagens de satélites às condições de solo e resíduos da região Norte do Paraná, foi realizado um trabalho de validação com a porcentagem de cobertura estimada pelos métodos do transecto (Morrison et al., 1993) e da quantificação por imagem aérea (Jorge; Silva, 2009), em talhões agrícolas no município de Cambé, durante a safra 2021/2022.

No método do transecto foi utilizada uma corda de 15 metros com marcas a cada 15 cm. A corda foi posicionada no sentido transversal às linhas de plantio para a contagem. No método da quantificação por imagem, um drone foi posicionado a trinta metros de altura e obteve uma foto RGB na mesma posição usada para a quantificação pelo método do transecto. A porcentagem de cobertura do solo por palha foi estabelecida por contraste usando o treinamento de redes neurais com auxílio do programa SisCob⁵ (Jorge; Silva, 2009).

Para a amostragem de campo foram vistoriados presencialmente 19 talhões agrícolas, com o manejo do sistema de produção, variando de preparo de solo com arado de disco ao sistema de plantio direto com boa cobertura, sendo representativos dos principais tipos de manejo utilizados em toda a área avaliada (Tabela 2 e Figuras 9 e 10). Para os procedimentos de calibração do NDTI, foi selecionada a imagem de satélite do dia 29/10/2021 devido à proximidade com o momento da semeadura da cultura de primavera/verão (no caso a soja) e das avaliações de cobertura a campo, realizadas nos dias 20 e 28/10/2021, e a ausência de nuvens na área no momento do estudo. As medidas *in situ* foram utilizadas para estabelecer o modelo de estimativa da porcentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais a partir do índice NDTI, utilizando regressões polinomiais (Tabela 2 e Figuras 11 e 12).

⁵ <http://www.cnpdia.embrapa.br/downloads/siscob/>

Tabela 2. Data da coleta das informações nos talhões, manejo da área, índice NDTI e estimativa da cobertura do solo por resíduos (%) pelo método do transecto e da imagem aérea em 19 talhões

Talhões	Data	Manejo da área	NDTI	Cobertura do solo (%)	
				Transecto	Imagem
1	20/10/2021	Milho colhido	0.046	55	67
2	28/10/2021	Milho colhido	0.054	77	73
3	28/10/2021	Milho colhido	0.079	82	90
4	28/10/2021	Milho colhido	0.065	90	96
5	20/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.061	61	76
6	20/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.052	78	90
7	20/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.060	71	68
8	28/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.032	43	53
9	28/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.047	44	37
10	28/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.059	66	72
11	28/10/2021	Milho colhido/Soja semeada	0.061	73	64
12	20/10/2021	Milho colhido/Solo gradeado	0.055	56	61
13	28/10/2021	Milho colhido/Solo Arado	0.024	20	35
14	28/10/2021	Milho colhido/Solo Arado	0.019	6	10
15	28/10/2021	Milho colhido/Solo Arado	0.015	5	10
16	20/10/2021	Trigo colhido	0.077	92	97
17	20/10/2021	Trigo colhido	0.095	97	100
18	20/10/2021	Trigo colhido	0.101	96	99
19	28/10/2021	Trigo colhido/Soja semeada	0.068	66	75

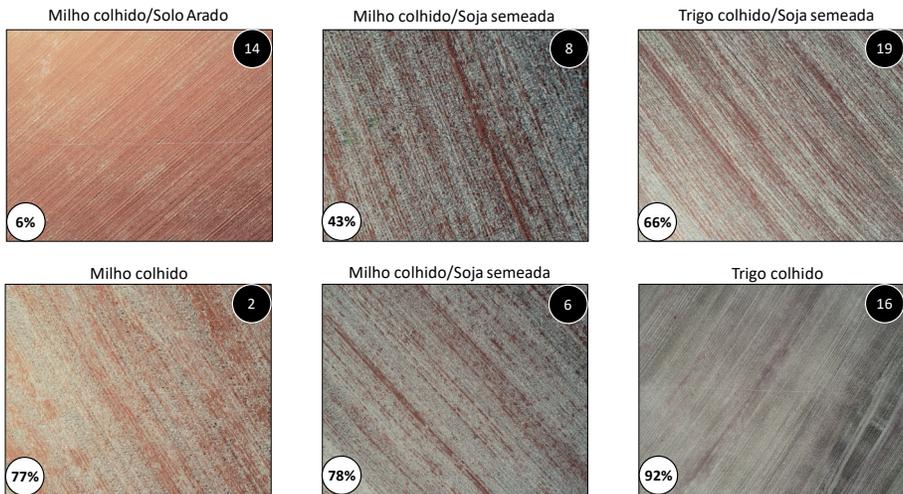


Figura 9. Imagens aéreas de alguns talhões, destacando os principais manejos observados na área do estudo. Números no interior dos círculos pretos indicam o número do talhão de acordo com a Tabela 2. Os números no interior dos círculos brancos indicam o percentual de cobertura do solo pelo método do transecto, de acordo com a Tabela 2.

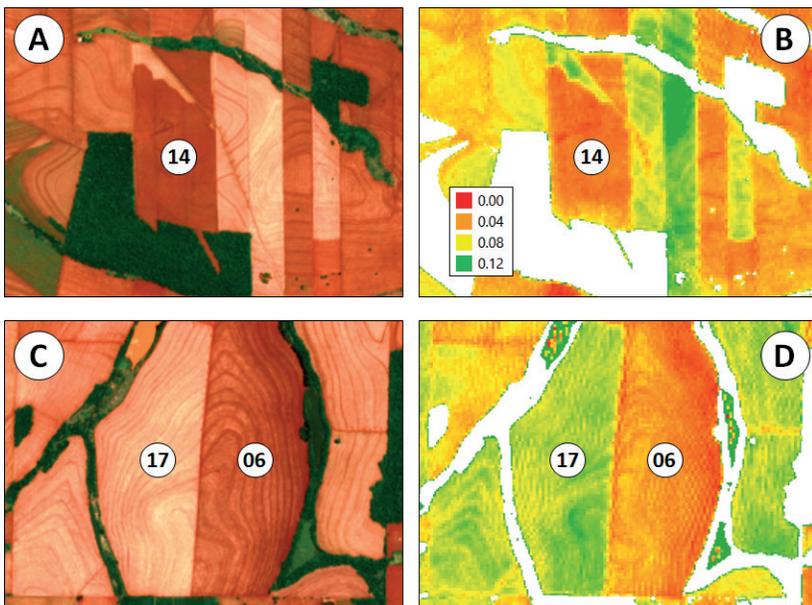


Figura 10. Imagens RGB (A) e NDTI (B) do talhão 14 com milho colhido e solo preparado e imagens RGB (C) e NDTI (D) do talhão 17 com trigo colhido e talhão 6 com milho colhido e soja semeada.

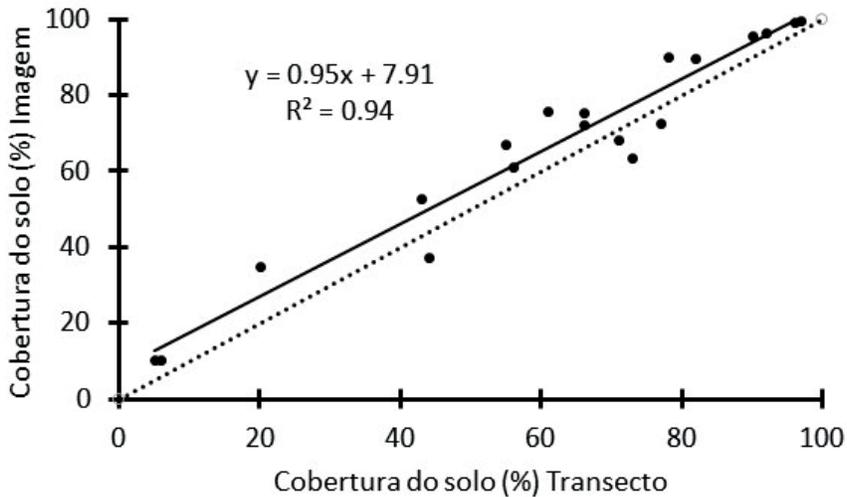


Figura 11. Relação entre o percentual de cobertura do solo determinado pelos métodos do transecto e da imagem aérea obtida por drone. A linha pontilhada representa a relação 1:1.

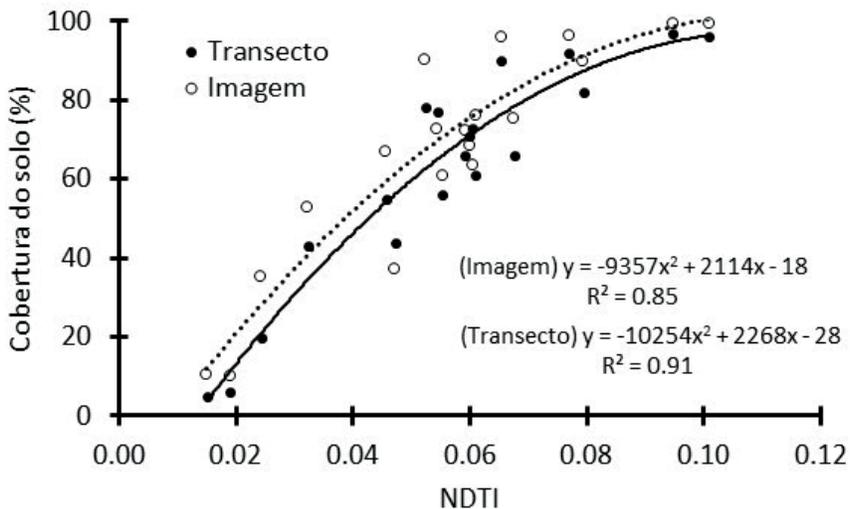


Figura 12. Relação entre o índice NDTI (obtido a partir das bandas SWIR 1 e SWIR2 do Satélite Sentinel 2) e o percentual de cobertura do solo determinado pelos métodos do transecto (ponto preto) e da imagem aérea (ponto branco).

O percentual de cobertura do solo por resíduos vegetais variou de 5 a 97% pelo método do transecto, ou de 10 a 100% pelo método da imagem aérea (Tabela 2 e Figura 9) e incluiu predominantemente resíduos de milho e trigo, embora havia uma pequena proporção de área ocupada por pastagem permanente, que, no entanto, foi eliminada no processamento pelo uso da máscara de $NDVI > 0,3$. No momento das avaliações, a incidência de plantas daninhas nos talhões foi baixa, devido ao manejo mecânico ou a dessecação pré-semeadura da soja.

Os dados da Tabela 2 e da Figura 9 podem ser agrupados em 6 principais tipos de manejo encontrados no momento da avaliação, com os seguintes valores médios de cobertura para cada um deles: Milho colhido (76%); milho colhido/soja semeada (62%); milho colhido/solo gradeado (56%); milho colhido/solo arado (10%); trigo colhido (95%) e trigo colhido/soja semeada (66%). Com base nestes percentuais, pode-se inferir que a semeadura da soja em áreas de milho colhido proporcionou redução média de 14% na cobertura do solo por resíduos. A gradagem leve da palha do milho reduziu em 20% a cobertura do solo por resíduos. A aração, por sua vez, proporcionou redução de cobertura três vezes maior em relação a gradagem, diminuindo a cobertura do solo por resíduos em 66%. A semeadura da soja em área coberta por resíduos de trigo reduziu a cobertura do solo em 29%.

A Figura 10 apresenta exemplos de imagens RGB e NDTI de talhões representativos amostrados no campo. O talhão 14 (Tabela 2, Figura 9 e Figuras 10A e 10B) representa o manejo do sistema de produção com preparo do solo com arado de discos. Este manejo, por promover a incorporação dos resíduos no solo, reduziu a cobertura do solo por resíduos ao nível mais baixo observado entre os talhões avaliados, o que se refletiu no baixo valor do índice NDTI (Tabela 2 e Figura 10B). O talhão 6 (Tabela 2, Figura 9 e Figuras 10C e 10D) representa o sistema de manejo predominante na área avaliada, com a semeadura da soja sobre os resíduos vegetais do milho. O talhão 17 (Tabela 2 e Figuras 10C e 10D) representa o sistema de manejo que proporcionou os maiores valores de índice de cobertura do solo por resíduos vegetais e esteve associado a talhões com resíduos vegetais de trigo cobrindo o solo.

As medidas da cobertura do solo pelo método do transecto e pelo método da imagem aérea foram linearmente relacionadas, com um alto coeficiente de

determinação ajustado (R^2) (0,94) e com a inclinação da reta muito próxima a relação 1:1 (Figura 11). Observa-se na Figura 11 que o intercepto foi diferente de 0, e que o método da imagem aérea gerou estimativas de cobertura em média 8% maiores do que o método do transecto. O método da imagem aérea apresentou resultados relativamente mais altos do que o método do transecto. Esse efeito pode estar relacionado com a obtenção das imagens de drone em horários com diferentes inclinações do sol.

Na Figura 12 são apresentadas as relações entre as percentagens de cobertura do solo obtidas pelos métodos do transecto e da imagem aérea, com o índice NDTI. As relações foram muito próximas entre os métodos de obtenção da cobertura do solo, com um valor de R^2 superior para o método do transecto. Para ambos os métodos, o melhor ajuste foi descrito por um modelo polinomial de segunda ordem, conforme já havia sido observado por Hively et al. (2018). O modelo quadrático está de acordo com a ocorrência de um platô de saturação do índice NDTI ao redor de 80% de cobertura do solo por resíduos.

Memon et al. (2019) também verificaram alta capacidade preditiva da cobertura do solo com palha de trigo por meio do NDTI (R^2 0,86). De forma semelhante, Sharma et al. (2016) também obtiveram alta relação entre a cobertura do solo por palha estimada pelo NDTI e por métodos tradicionais, com R^2 de 0,89. A viabilidade de utilização do NDTI para estimar a percentagem de cobertura do solo por palha também foi constatada por Zheng et al. (2012) e Jin et al. (2015). Esses resultados demonstram a adequada viabilidade em estimar a cobertura do solo com palha por meio do índice NDTI.

Considerações finais

O sensoriamento remoto, via imagens de satélite e índices espectrais derivados, pode auxiliar na determinação dos indicadores de histórico de culturas em áreas agrícolas nos últimos anos, cobertura do solo com palha e tempo sem revolvimento do solo, para o enquadramento de áreas nos diferentes níveis de manejo. O acesso a essas informações é relativamente rápido e com baixo custo e os resultados são mensuráveis, reportáveis e verificáveis, gerando confiabilidade na obtenção dos indicadores e, conseqüentemente, no enquadramento nos níveis de manejo. Outra vantagem relevante do uso

de imagens de satélites é a possibilidade de acessar informações em larga escala em nível regional. Atualmente há disponibilidade de imagens gratuitas, de alta resolução, com frequência de revisita a cada cinco dias para o monitoramento de áreas agrícolas. Existe a perspectiva do aumento da disponibilidade de imagens gratuitas e redução de custo de imagens de alta resolução com disponibilidade diária, além do aumento gradual da disponibilidade de imagens hiperespectrais para a caracterização detalhada de áreas agrícolas.

Agradecimentos

À Itaipu Binacional pelo financiamento do projeto 725 - FAPED/ITAIPU/ EMBRAPA SOJA - CONVÊNIO N° 4500059808, denominado “Inovações na abordagem temática para a conservação de solo e água em bacias hidrografias no entorno da Represa de Itaipu”, cujas ações de pesquisa deram origem a este trabalho.

Referências

- ALLMARAS, R. R.; HALLAUER, E. A.; NELSON, W. W.; EVANS, S. D. **Surface energy balance and soil thermal property modifications by tillage-induced soil structure.** Minnesota: University of Minnesota, 1977. 40 p. (University of Minnesota. Technical Bulletin, 306).
- BABUJIA, L. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BROOKES, P. C. Microbial biomass and activity at various soil depths in a Brazilian Oxisol after two decades of no-tillage and conventional tillage. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 2174-2181, 2010.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; BACKES, R. L. Efeito de coberturas de inverno e sua época de manejo sobre a infestação de plantas daninhas na cultura de milho. **Planta Daninha**, v. 25, p. 473-480, 2007.
- BAYER, C.; GOMES, J.; ZANATTA, J. A.; VIEIRA, F. C. B.; DIECKOW, J. Mitigating greenhouse gas emissions from a subtropical Ultisol by using long-term no-tillage in combination with legume cover crops. **Soil & Tillage Research**, v. 161, p. 86-94, 2016.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p. 101-109, 2000.
- BEESON, P. C.; DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT, E. R.; AKHMEDOV, B.; SADEGHI, A. M.; KARLEN, D. L.; TOMER, M. D. Multispectral satellite mapping of crop residue cover and tillage intensity in Iowa. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 71, p. 385-395, 2016.
- BEESON, P. C.; DAUGHTRY, C. S. T.; WALLANDER, S. A. Estimatives of conservation tillage practices using Landsat archive. **Remote Sensing**, v. 12, 2665, 2020.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 367-374, 1990.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. Perdas de solo e água, influenciando as alterações hídricas pelos métodos de preparo das classes declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.

COGO, N. P.; MOLDENHAUER, W. C.; FOSTER, G. R. Soil loss reductions from conservation tillage practices. **Soil Science Society American Journal**, v. 48, p. 368-373, 1984.

CORREIA, N. M.; DURIGAN, J. C.; KLINK, U. P. Influência do tipo e da quantidade de resíduos vegetais na emergência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 245-253, 2006. DOI: 10.1590/S0100-83582006000200006,

DAUGHTRY, C. S. T. Agroclimatology: discriminating crop residues from soil by shortwave infrared reflectance. **Agronomy Journal**, v. 93, p. 125-131, 2001.

DAUGHTRY, C. S. T.; DORAISWAMY, P. C.; HUNT, E. R.; STERN, A. J.; McMURTREY, J. E.; PRUEGER, J. H. Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. **Soil & Tillage Research**, v. 91, p. 101-108, 2006.

DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT, E. R.; McMURTREY, J. E. Assessing crop residue cover using shortwave infrared reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 126-134, 2004.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; CONTE, O.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TORRES, E.; SARAIVA, O. F.; OLIVEIRA, M. C. N. de. **Sistemas de preparo do solo**: trinta anos de pesquisas na Embrapa Soja. Londrina: Embrapa Soja, 2013. 72 p. (Embrapa Soja. Documentos, 342).

DEBIASI, H.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; FRANCHINI, J. C.; FARIAS, J. R. B.; CONTE, O.; CUNHA, G. R.; MORAES, M. T.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SILVA, F. A. M.; EVANGELISTA, B. A.; MARAFON, A. C. **Níveis de manejo do solo para avaliação de riscos climáticos na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 137 p. (Embrapa Soja. Documentos, 447).

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 8, p. 253-263, 1986.

FRANCHINI, J. C.; CRISPINO, C. C.; SOUZA, R. A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 18-29, 2007.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N. de; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; SOARES JUNIOR, D.; MELO, T. R. de; FRIEDRICH, T.; KASSAM, A. Expansion of no-tillage practice in conservation agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 208, 104877, 2021.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. de L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum**, v. 27, p. 107-115, 2005.

- HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 145-154, 1999.
- HIVELY, W. D.; LAMB, B. T.; DAUGHTRY, C. S. T.; SHERMEYER, J.; McCARTY, G. M.; QUEMADA, M. Mapping crop residue and tillage intensity using worldview-3 satellite shortwave infrared residue indices. **Remote Sensing**, v. 10, p. 1657, 2018.
- JIN, X.; MA, J.; WEN, Z.; SONG, K. Estimation of maize residue cover using Landsat-8 OLI image spectral information and textural features. **Remote Sensing**, v. 7, p. 14559-14575, 2015.
- JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SisCob**: manual de utilização. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. 18 p.
- LAL, R. Constraints to adopting no-till farming in developing countries. **Soil & Tillage Research**, v. 94, p. 1-3, 2007.
- LEITE, M. H. S.; COUTO, E. G.; AMORIM, R. S. S.; COSTA, E. L.; MARASCHIN, L. Perdas de solo e nutrientes num Latossolo Vermelho-Amarelo ácrico típico, com diferentes sistemas de preparo e sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 689-699, 2009.
- MARIANO, D. C.; FREITAS, P. S. L. DE; FARIA, R. T.; REZENDE, R.; DALLACORT, R.; SILVA, A. L. B. da. Evaporation of soil water based on the quantity and uniformity of crop waste distribution in soil superfícies. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, p. 4726-4734, 2016.
- MEMON, M. S.; JUN, Z.; SUN, C.; JIANG, C.; XU, W.; HU, Q.; YANG, H.; JI, C. Assessment of wheat straw cover and yield performance in a rice-wheat cropping system by using Landsat satellite data. **Sustainability**, v. 11, p. 5369, 2019.
- MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE, O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 152, p. 85-93, 2015.
- MONTEIRO, R. C.; FRANCHINI, J. C.; JANTALIA, C. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. Soil nitrous oxide emissions from a soybean-wheat succession under different tillage systems in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 47, e0220135, 2023.
- MORAES, M. T. de; BENGOUGH, A. G.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; LEVIEN, R.; SCHNEPF, A.; LEITNER, D. Mechanistic framework to link root growth models with weather and soil physical properties, including example applications to soybean growth in Brazil. **Plant and Soil**, v. 428, p. 1-26, 2018.
- MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da; LUZ, F. B. da. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016.
- MORRISON, J. E., HUANG, C.; LIGHTLE, D. T.; DAUGHTRY, C. S. T. Residue cover measurement techniques. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 48, p. 478-483, 1993.
- PREVEDELLO, C. L. Energia térmica do solo. In: van LIER, Q. de J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 177-211.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63 p. (Embrapa Soja. Documentos, 390).

RICHARDS, B. K.; WAFTER, M. F.; MUCK, R. E. Variation in line transect measurements of crop residue cover. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 39, p. 60-61, 1984.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BATISTELA, O. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: II. perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 437-447, 2000b.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JÚNIOR, A. A. Erosão hídrica em cambissolo húmico alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I. perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 427- 436, 2000a.

SEVERINO, F. J.; CHRISTOFFOLETI, P. Efeitos de quantidades de fitomassa de adubos verdes na supressão de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 19, p. 223-228, 2001.

SHARMA, V.; IRMAK, S.; KILIC, A.; SHARMA, V.; GILLEY, J. E.; MEYER, G. E.; KNEZEVIC, S. Z.; MARX, D. Quantification and mapping of Surface residue cover for maize and soybean fields in South Central Nebraska. **Transactions of the ASABE**, v. 59, p. 925-939, 2016.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil-and crop-management systems in short-and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v. 119, p. 20-26, 2010.

TORRES, E.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SARAIVA, O. F.; ALMEIDA, A. M. R. Manejo do solo na prevenção de doenças radiculares. In: ALMEIDA, A. M. R.; SEIXAS, C. D. S. (ed.). **Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações com o manejo do solo e da cultura**. Londrina: Embrapa Soja, 2010. p. 207-279.

VARELLA, C. A. A.; PINTO, F. A. C.; QUEIROZ, D. M.; SENA JÚNIOR, D. Y. G. Determinação da cobertura do solo por análise de imagens e redes neurais por análise de imagens e redes neurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 225-229, 2002.

ZHENG, B.; CAMPBELL, J. B.; de BEURS, K. M. Remote sensing of crop residue cover using multi-temporal Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 117, p. 177-183, 2012.

Embrapa

Soja