

## **Qualidade estrutural do solo e taxa de infiltração estável influenciadas por culturas de entressafra da soja**



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
30**

Qualidade estrutural do solo e taxa de infiltração estável  
influenciadas por culturas de entressafra da soja

*Henrique Debiasi  
Alvadi Antonio Balbinot Junior  
Julio Cezar Franchini  
Esmael Lopes dos Santos  
Antônio Eduardo Coelho*

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Soja**  
Rod. Carlos João Strass, s/n,  
acesso Orlando Amaral  
Caixa Postal 4006,  
CEP 86085-981  
Distrito de Warta  
Londrina, PR  
(43) 3371 6000  
www.embrapa.br/soja  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
Embrapa Soja

Presidente  
*Adeney de Freitas Bueno*

Secretária-Executiva  
*Regina Maria Villas Bóas 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*

Coordenadora de Editoração  
*Vanessa Fuzinato Dall'Agnol*

Normalização  
*Valéria de Fátima Cardoso*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Marisa Yuri Horikawa*

Foto da capa  
*Henrique Debiasi*

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

---

Qualidade estrutural do solo e taxa de infiltração estável influenciadas por culturas de entressafra da soja / Henrique Debiasi ... [et al.]. – Londrina : Embrapa Soja, 2023.

16 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Soja, ISSN : 2178-1680 ; n. 30).

1. Estrutura do solo. 2. Infiltração. 3. Cultura. 4. Soja. I. Debiasi, Henrique. II. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. III. Franchini, Julio Cezar. IV. Santos, Esmael Lopes dos. V. Coelho, Antônio Eduardo. VI. Série.

CDD: 631.4 (21. ed.)

## Sumário

---

Introdução.....	7
Material e Métodos.....	8
Resultados e Discussão.....	12
Conclusões.....	14
Agradecimentos.....	15
Referências.....	15

## Qualidade estrutural do solo e taxa de infiltração estável influenciadas por culturas de entressafra da soja

---

Henrique Debiasi<sup>1</sup>

Alvadi Antonio Balbinot Junior<sup>1</sup>

Julio Cezar Franchini<sup>1</sup>

Esmael Lopes dos Santos<sup>2</sup>

Antônio Eduardo Coelho<sup>3</sup>

**Resumo** – O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de culturas de entressafra da soja no Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) e na Taxa de Infiltração Estável de água (TIE), bem como correlacionar essas variáveis com a produtividade de grãos da soja, em Sistema Plantio Direto (SPD). O experimento foi implantado em março de 2016, em delineamento de blocos completos casualizados, com cinco repetições, sendo avaliadas quatro sucessões de culturas: soja/braquiária ruziziensis, soja/trigo, soja/milho segunda safra e soja/pousio. Após quatro anos de condução do experimento, em março de 2020, foram determinados o IQES, utilizando a metodologia Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), e a TIE, por meio do infiltrômetro de aspersão de Cornell. O cultivo de braquiária ruziziensis na entressafra da soja proporcionou maiores IQES e TIE. Por outro lado, a menor TIE foi observada no pousio. Em SPD consolidado, houve correlação positiva entre o IQES e a TIE, demonstrando que, por meio da metodologia DRES, que é simples, rápida e pode ser utilizada em campo por técnicos e produtores, pode ser estimada a TIE, cuja determinação em campo é mais complexa, onerosa e muito variável especialmente. Constatou-se correlação positiva entre a TIE e a produtividade da soja nas safras 2018/2019 e 2020/2021, em que houve déficit hídrico durante a fase reprodutiva da cultura. O cultivo de braquiária ruziziensis na entressafra da soja melhora a estrutura do solo, reduzindo, assim, as perdas de produtividade da soja em safras com ocorrência de déficit hídrico.

Palavras-chave: compactação, Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), agregação do solo, bioporos contínuos, fluxo preferencial de água.

---

<sup>1</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo e biólogo, doutor, professor do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, Cascavel, PR.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, mestre, doutorando da Universidade do Estado de Santa Catarina, Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, SC.

## Soil structural quality and water steady infiltration rate influenced by soybean off-season crops

---

**Abstract** - This work aimed at evaluating the effects of off-season crops on the Soil Structural Quality Index (SSQ) and Water Steady Infiltration Rate (WSIR), associating these variables with soybean grain yield under No-Tillage System (NTS). The experiment was established in March 2016, following an experimental design of complete randomized blocks, with five replications. Four double-crop systems were evaluated (spring-summer/autumn-winter): soybean/ruzigrass, soybean/wheat, soybean/second crop maize and soybean/fallow. In March 2020, WSIR and SSQ were evaluated, using Rapid Diagnosis of Soil Structure (RDSS). The ruzigrass provided greater SSQ and WSIR. Conversely, the fallow led to the lowest WSIR. A positive correlation between SSQ and WSIR was observed under consolidated NTS. Thus, the WSIR can be estimated by the RDSS, a simple and fast methodology that can be used in the field by technicians and producers. There was a positive association between WSIR and soybean grain yield in growing seasons with water deficit during reproductive phase - 2018/2019 and 2020/2021. Ruzigrass cultivation during soybean off-season (autum-winter period) improves soil structure leading to lower soybean yield losses in growing seasons with water deficit.

**Keywords:** compaction, Rapid Diagnosis of the Soil Structure, soil aggregation, continuous biopores, preferential water flow.



## Introdução

---

No Brasil, a produção de grãos é realizada principalmente em Sistema Plantio Direto (SPD) (Fuentes-Llanillo et al., 2021), gerando vários benefícios em relação ao preparo convencional, como redução dos custos e da erosão e aumento da produtividade, da estabilidade de produção e da rentabilidade (Reicosky; Saxton, 2007; Franchini et al., 2012; Merten et al., 2015). A sucessão soja/milho segunda safra é o principal modelo de produção de grãos no Brasil, pois propicia várias vantagens, como a intensificação do uso da terra, insumos e mão de obra (Balbinot Junior et al., 2022). Contudo, o uso continuado dessa sucessão tem aumentado alguns problemas, como a compactação superficial do solo em SPD, baixa cobertura do solo entre a colheita do milho e a semeadura da soja, geralmente entre junho a outubro, e aumento da infestação de plantas daninhas e de fitonematoides (Garbelini et al., 2020; Debiasi et al., 2021; Garbelini et al., 2022). O trigo é outra cultura que compõe modelos de produção com a soja, principalmente nos estados do Sul do Brasil, sendo a principal alternativa para cultivo de inverno nas regiões em que o milho segunda safra não é indicado. No entanto, pode substituir o milho segunda safra em regiões onde as duas culturas podem ser utilizadas (Balbinot Junior et al., 2020). Outras opções de uso do solo na entressafra da soja são as culturas de cobertura e as pastagens. A braquiária ruziziensis é uma das principais espécies utilizadas para cobertura do solo ou para pastejo no outono/inverno (Sapucay et al., 2020). Adicionalmente, em algumas regiões do país, o solo é mantido em pousio na entressafra da soja, principalmente em função da carência de chuvas.

Devido ao uso de modelos de produção com baixa diversificação de espécies cultivadas e com reduzida produção de biomassa radicular e de parte aérea, tem-se percebido degradação da estrutura do solo e baixas Taxas de Infiltração Estável de água (TIE), características de solos com alto grau de compactação (Debiasi et al., 2021). Neste sentido, a infiltração é definida como sendo o processo de entrada da água no solo através de sua superfície, por fluxo descendente (Hillel, 1982). A infiltração é expressa em termos de volume de água que atravessa a superfície do solo por unidade de tempo (mm/h), o que caracteriza o termo “taxa de infiltração de água no solo”. Durante o processo de infiltração, o conteúdo de água do solo vai progressivamente aumentando e, em consequência, o volume de água que infiltra na unidade de tempo vai diminuindo, até atingir um valor estável no momento em que uma camada de solo de espessura significativa encontra-se próxima à umidade de saturação. Esse valor estável corresponde à TIE, que é pouco influenciada, portanto, pelo conteúdo inicial de água no solo no momento da avaliação.

A rápida infiltração é essencial para reduzir as perdas de água, sedimentos e nutrientes via erosão hídrica (Williams et al., 2020), permitindo que a água da chuva seja armazenada no solo para posterior utilização pelas culturas (Amami et al., 2021). Ou seja, a infiltração é um processo do ciclo hidrológico fundamental para a agricultura, manejo de bacias hidrográficas e hidrologia (Singh et al., 2019). Nesse contexto, altas TIE são fundamentais para aumentar a eficiência do uso da água precipitada na produção agrícola, diminuindo o impacto de seca na produção de alimentos, fibras e bioenergia (Basche; DeLonge, 2019). A relevância da TIE na produção agrícola fica ainda mais evidente em um cenário de aquecimento global e aumento da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial (Loecke et al., 2017).

A TIE pode ser influenciada por vários fatores: cobertura do solo com vegetação ou palha, porosidade, densidade, rugosidade superficial, teor de carbono orgânico, conteúdo de água no solo e tamanho e estabilidade dos agregados (Carvalho et al., 2015). A infiltração de água ocorre pela matriz do solo ou por fluxos preferenciais (Guo et al., 2019). A infiltração pela matriz do solo se refere ao fluxo lento de água e solutos pelo espaço poroso entre as partículas sólidas que formam o solo (Allaire et al., 2009). O fluxo preferencial se refere ao movimento físico de água e solutos em poros contínuos formados no perfil do solo, sem utilizar os poros da matriz do solo (Hendrickx; Flury, 2001). Modelos de produção que utilizam espécies que apresentam elevado crescimento de raízes podem maximizar a TIE, porque aumentam o carbono orgânico no solo e formam poros contínuos após a decomposição das raízes, aumentando o fluxo preferencial (Cui et al., 2019; Liu et al., 2020).

Paralelamente, o cultivo de espécies com elevado crescimento de raízes pode aprimorar a estrutura do solo, que é a forma como as partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas do solo estão organizadas no espaço (Dexter, 1988). Conceitualmente, a estrutura se refere ao padrão de arranjo das partículas primá-

rias em unidades estruturais, os agregados, os quais são separados entre si por superfícies de fraqueza, ou apenas superpostos e sem conformação definida (Santos et al., 2013). Uma das metodologias visuais para avaliar a qualidade estrutural do solo é o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), em que são atribuídos Índices de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) (Ralisch et al., 2017).

Nesse contexto, as hipóteses desse trabalho são: 1) o cultivo de braquiária *ruziziensis* como cobertura de solo na entressafra da soja melhora a estrutura do solo e aumenta a TIE em relação ao milho segunda safra, trigo e pousio; 2) em SPD consolidado, a melhoria da qualidade estrutural do solo aumenta o fluxo preferencial, por isso há correlação positiva entre o IQES e a TIE; 3) há correlação positiva entre a produtividade de grãos da soja com o IQES e a TIE, em decorrência de melhores condições edáficas para o crescimento de raízes. O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto de culturas de entressafra da soja no IQES e na TIE, bem como correlacionar essas variáveis com a produtividade de grãos de soja em SPD.

## Material e Métodos

O experimento foi implantado em março de 2016, em Londrina, Paraná, Brasil (23°11'37"S 51°11'03"W, altitude 630 m). O clima é classificado como subtropical chuvoso (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen. O solo da área, segundo o sistema brasileiro de classificação de solos, é identificado como Latossolo Vermelho distroférico, com os seguintes atributos físicos e químicos na camada de 0-20 cm: 710 g kg<sup>-1</sup> de argila, 82 g kg<sup>-1</sup> de silte e 208 g kg<sup>-1</sup> de areia; C (Walkley Black) – 17,8 g dm<sup>-3</sup>; pH em CaCl<sub>2</sub> - 5,1; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> (SMP) – 5,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K<sup>+</sup> (Mehlich 1) – 0,85 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P (Mehlich 1) – 36,9 mg dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> (KCl) – 4,41 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e Mg<sup>2+</sup> (KCl) – 1,52 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. O solo da área experimental vinha sendo manejado há 15 anos em SPD, usando a rotação de culturas com soja, milho (*Zea mays*) primeira safra, aveia preta (*Avena strigosa*) e milheto (*Pennisetum americanum*).

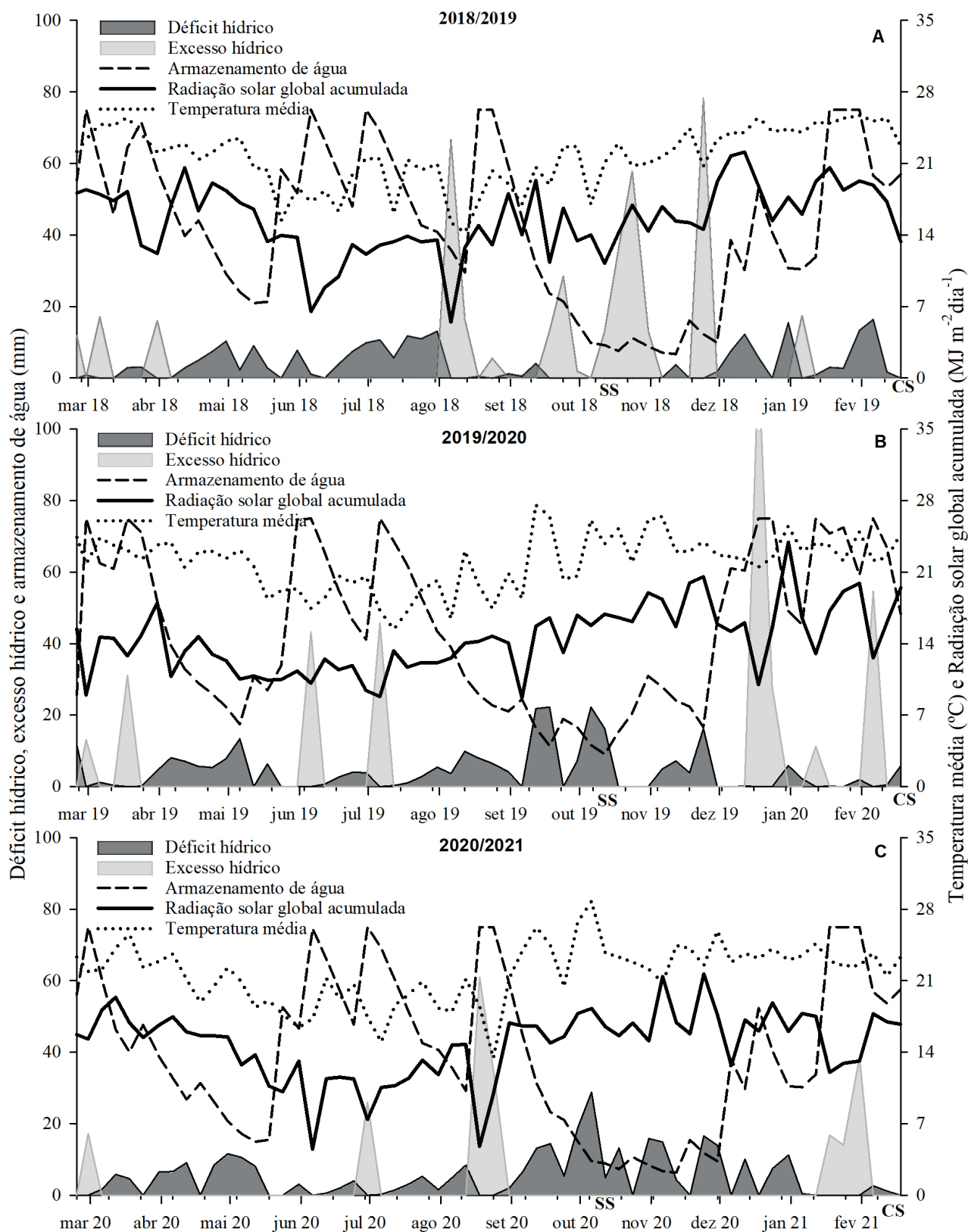
Durante a condução do experimento, os dados meteorológicos foram coletados na estação da Embrapa Soja, localizada a 400 m da área experimental. Na Figura 1 é apresentado o balanço hídrico sequencial durante três anos de condução do experimento, conforme metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), considerando os dados meteorológicos do período e a capacidade de água disponível (CAD) de 75 mm. Também são apresentados dados de radiação global e temperatura média.

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, com cinco repetições. Foram avaliadas quatro sucessões de culturas: soja/braquiária *ruziziensis* (*Urochloa ruziziensis*); soja/trigo (*Triticum aestivum*); soja/milho segunda safra (*Zea mays*); e soja/pousio (sem cultivo de outono/inverno e com controle da vegetação espontânea). Utilizou-se parcelas de 10 x 8 m.

A semeadura do milho e da braquiária foi realizada em meados de março e o trigo ao final de abril, em todas as safras. O milho (híbrido AG 9010 YG) foi semeado com espaçamento entre linhas de 0,90 m com 60 mil plantas ha<sup>-1</sup>. A braquiária e o trigo (cultivar BRS Gralha Azul) foram semeados em espaçamento de 0,17 m, com 50 e 60 sementes m<sup>-2</sup>, respectivamente. A adubação de base para o milho foi de 260 e para o trigo de 300 kg ha<sup>-1</sup>, com o fertilizante formulado 08-28-16 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). Não houve adubação no cultivo da braquiária e no pousio. O milho foi adubado com 80 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, na forma de ureia (45% N) quando se encontrava no estágio V6 (seis folhas expandidas). O trigo não recebeu adubação nitrogenada de cobertura. O milho foi colhido em julho e o trigo em setembro, sendo os restos culturais mantidos nas parcelas. As parcelas do tratamento pousio foram mantidas sem a presença de plantas daninhas na entressafra da soja.

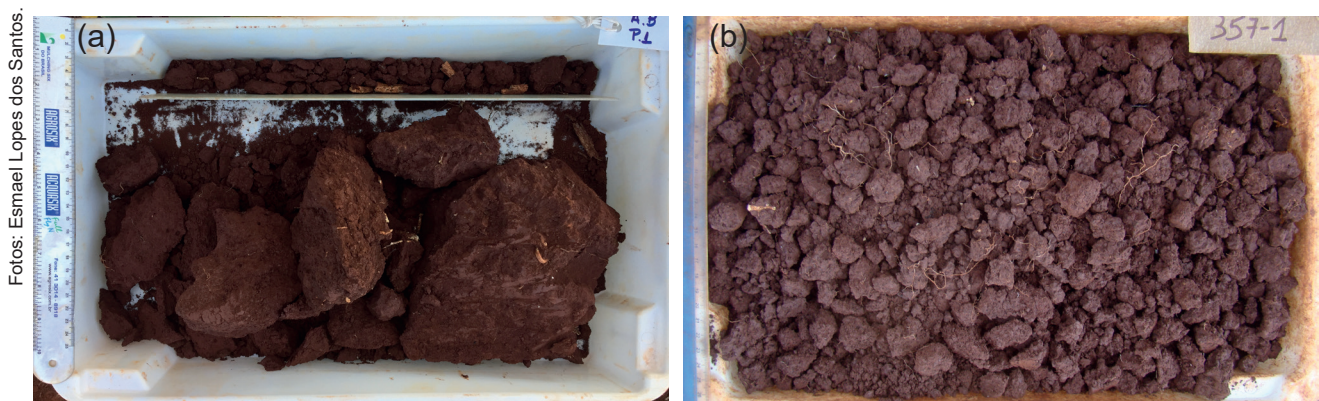
Nas safras 2016/2017 e 2017/2018, foi utilizada a cultivar de soja BRS 1010IPRO, com tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.1. Já, nas safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021, foi utilizada a cultivar de soja BRS 1003IPRO, com tipo de crescimento indeterminado e grupo de maturação 6.3. Em todas as safras, a semeadura da soja foi realizada na primeira quinzena de outubro. O espaçamento foi de 0,45 m entre linhas e a densidade de 320 mil plantas ha<sup>-1</sup>. As sementes foram tratadas com piraclostrobina + tiofanato metílico + fipronil (1 mL kg<sup>-1</sup>) e inoculante líquido Gelfix 5<sup>®</sup> contendo *Bradyrhizobium elkanii* (2 mL kg<sup>-1</sup>). A semeadura contou com 350 kg ha<sup>-1</sup> do fertilizante formulado 0-20-20 (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O). A colheita da soja foi realizada mecanicamente, na área útil das parcelas (8,1 m<sup>2</sup>), em início de março, sendo os dados corrigidos para 13% de umidade.





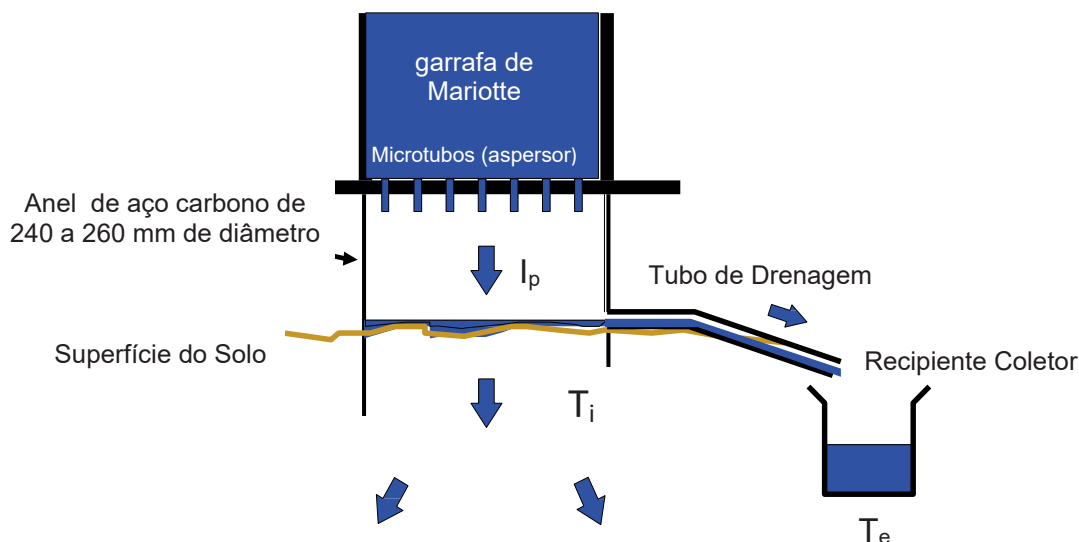
**Figura 1.** Balanço hídrico sequencial de acordo com a metodologia descrita por Thornthwaite e Mather (1955), radiação solar acumulada e temperatura média do ar em três safras. SS: semeadura da soja, CS: colheita da soja. Londrina, PR.

Em março de 2020, quatro anos após o início do experimento, foram avaliados o IQES e a TIE. O IQES foi obtido por meio da metodologia Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES (Ralisch et al., 2017) em dois pontos por parcela. O DRES é um método para qualificar a estrutura da camada superficial do solo, baseado em características detectadas visualmente em amostras dos primeiros 25 cm, coletadas por meio de pá reta em minitrincheiras (dimensões aproximadas de 20 x 40 x 30 cm, largura x comprimento x profundidade) abertas transversalmente às linhas de semeadura da cultura. As avaliações nas amostras constam da observação de tamanho e forma dos agregados e torrões, presença ou não de feições de compactação ou outra modalidade de degradação do solo, forma e orientação das fissurações, rugosidade das faces de ruptura, resistência à ruptura, distribuição e aspecto do sistema radicular, e evidências de atividade biológica. A partir desses critérios, atribui-se uma pontuação (IQES) de 1 a 6, em que “6” é indicativo de melhor condição estrutural, e “1” representa o solo totalmente degradado. Exemplos de amostras manipuladas, conforme a metodologia do DRES com qualidades estruturais contrastantes, são apresentados na Figura 2.



**Figura 2.** Amostras de solo obtidas na camada de 0-25 cm de um Latossolo Vermelho distroférrico e submetidas ao diagnóstico rápido da estrutura do solo (DRES), apresentando estrutura muito ruim (IQES = 1) (a) e muito boa (IQES = 5) (b).

A TIE foi determinada com o uso do infiltrômetro de aspersão modelo Cornell (Ogden et al., 1997; ES; Schindelbeck, 2006), modificado por Seratto et al. (2019). As avaliações foram realizadas em dois pontos por parcela, próximos às minitrincheiras abertas para coleta das amostras do DRES. De maneira esquemática (Figura 3), o infiltrômetro é composto por um aspersor que adota o princípio da garrafa de Mariotte para regular o fluxo de saída de água (precipitação), à medida que a altura da coluna de água diminui. A aspersão é feita por meio de um conjunto de microtubos instalados na placa inferior da garrafa, que auxilia na regulação complementar do fluxo e na simulação da precipitação. Além disso, usa como base um anel de aço, com diâmetro entre 240 a 260 mm, que foi enterrado no solo a uma profundidade 7,5 cm, para delimitar a aplicação de água no ponto amostral. Nesse anel se acopla um tubo, responsável por drenar a água proveniente do escoamento superficial para um recipiente coletor. A taxa de infiltração é então determinada pela diferença entre a intensidade de precipitação ( $I_p$ ) e a taxa de escoamento ( $T_e$ ), ambos em mm/h. A  $I_p$  foi calculada a partir da diferença da altura da coluna de água na garrafa de Mariotte, medida por meio de régua acoplada a esse dispositivo em um intervalo de 3 minutos. Por sua vez, a  $T_e$  foi determinada a partir do volume de água (em mL) acumulada no recipiente coletor, medido por meio de proveta graduada, também em um intervalo de 3 minutos. A  $I_p$  foi ajustada para valores próximos a 300 mm h<sup>-1</sup>, e as leituras foram realizadas até estabilização dos valores de taxa de infiltração, o que ocorreu após 1 h de avaliação. Maiores detalhes sobre o equipamento (Figura 4), a metodologia de avaliação e as equações utilizadas no cálculo da taxa de infiltração podem ser encontrados em Seratto et al. (2019).



**Figura 3.** Esquema do infiltrômetro de aspersão proposto por Ogden et al. (1997).



**Figura 4.** Infiltrômetro de aspersão modelo de Cornell, aperfeiçoado por Seratto et al. (2019). (a) Detalhe da base (inserida 7,5 cm no solo) sobre a qual o infiltrômetro (b) é disposto, com a mangueira que conduz a água até o recipiente onde a mesma é armazenada até medição em proveta graduada.

Inicialmente os dados foram submetidos ao teste de Shapiro Wilk para avaliar a normalidade dos resíduos e o teste de Bartlett para avaliar a homogeneidade de variância. De acordo com esses testes, não foram necessárias transformações dos dados, uma vez que atenderam às pressuposições da análise de variância (ANOVA). Em seguida, os dados foram submetidos ao teste F ( $p \leq 0,05$ ). Quando houve efeito significativo das culturas de entressafra, as médias foram comparadas pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ). Adicionalmente, foi realizada análise de correlação linear de Pearson entre o IQES e a TIE, bem como entre essas variáveis com as produtividades de soja nas safras 2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021 ( $p \leq 0,05$ ). Foi utilizado o software Sisvar 5.6 (Ferreira, 2011) para a análise estatística dos dados.

## Resultados e Discussão

Após quatro anos de condução do experimento, a sucessão soja/braquiária *ruzizensis* proporcionou o maior IQES em relação aos demais tratamentos (Tabela 1). Isso ocorreu porque a braquiária *ruzizensis* apresenta elevada produção de biomassa de raízes e de parte aérea (Balbinot Junior et al., 2017; Yokoyama et al., 2022). Por um lado, o crescimento vigoroso de raízes, sobretudo de menor diâmetro, promove a formação de agregados com alta estabilidade, contribuindo para uma estrutura física adequada na camada superficial do solo (Le Bissonnais et al., 2018). Por outro lado, a estrutura adequada permite elevado crescimento das raízes, permitindo um processo de melhoria contínua da qualidade física e estrutural do solo. Em trabalho conduzido por Bertollo et al. (2021), constatou-se que a braquiária *ruzizensis* promoveu a agregação de solo



escarificado e, por outro lado, aumentou os bioporos em solos compactados, por isso a soja cultivada em sucessão à braquiária ruziziensis apresentou maior biomassa e comprimento radicular em solo compactado, comparativamente ao trigo, milho e aveia-preta. Em termos qualitativos, constatou-se boa estrutura do solo com o cultivo de braquiária ruziziensis na entressafra da soja, estrutura regular com o cultivo do trigo e ruim para milho e pousio.

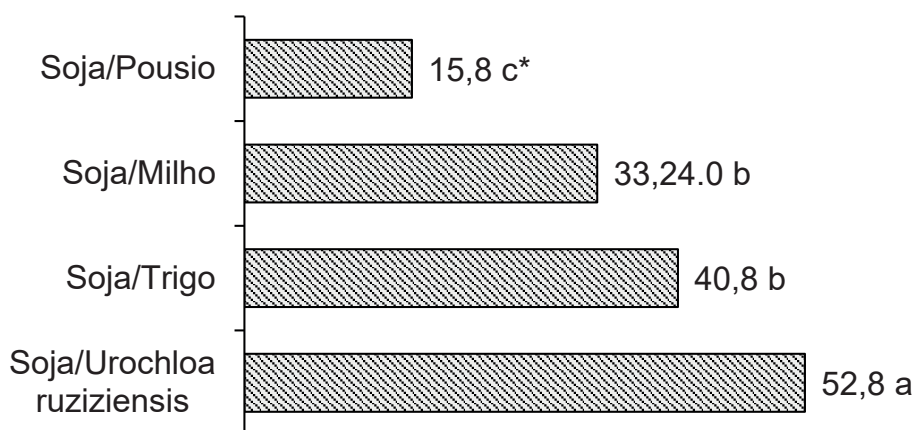
**Tabela 1.** Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) determinado pela aplicação do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES) conforme o sistema de manejo adotado na área. Londrina, PR, 2020

Sucessões de culturas	IQES		Qualidade Estrutural <sup>(1)</sup>
Soja/braquiária ruziziensis	4,8	a <sup>(2)</sup>	Boa
Soja/trigo	3,1	b	Regular
Soja/milho	2,9	b	Ruim
Soja/pousio	2,8	b	Ruim
CV (%)	18,5		

<sup>(1)</sup>Conforme Ralisch et al. (2017).

<sup>(2)</sup> Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

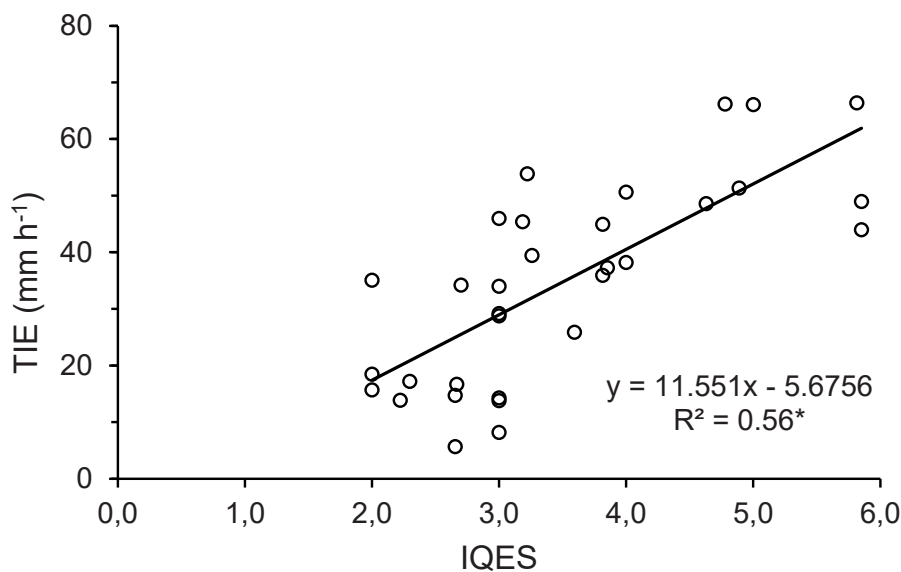
A braquiária ruziziensis proporcionou a maior TIE, seguida pela do trigo e do milho, que não diferiram significativamente entre si, e pelo pousio, que apresentou TIE muito baixa (Figura 5). A avaliação da TIE foi realizada logo após a colheita da soja, quando as raízes das culturas de entressafra provavelmente já haviam sido decompostas, criando canais para fluxo preferencial, que podem aumentar significativamente a TIE (Guo et al., 2019; Zheng et al., 2019). Observou-se que a TIE foi muito baixa no pousio, em razão da ausência de crescimento de raízes e de produção de biomassa da parte aérea na entressafra da soja, aumentando a probabilidade de perda de água, sedimentos e nutrientes por erosão, além de reduzir a eficiência de uso de água da chuva para produção agrícola. Salienta-se que na sucessão soja/milho segunda safra a TIE também foi baixa, o que indica a necessidade de aprimoramento desse modelo de produção para possibilitar maior TIE.



**Figura 5.** Taxa de Infiltração Estável (TIE) determinada pelo método do Infiltrômetro de Cornell, conforme o sistema de manejo adotado na área. Londrina, PR, 2020.

\*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

Constatou-se correlação positiva entre o IQES e a TIE (Figura 6). Assim, é possível estimar a TIE, cuja determinação envolve o uso de equipamento específico, é demorada e apresenta alta variabilidade espacial, por meio da metodologia DRES, que é muito mais simples, rápida e não necessita de equipamento específico. É importante salientar que a metodologia DRES atribui IQES baixo para solos excessivamente desagregados, como os submetidos a preparo do solo recente. Nessa condição de solo desagregado por preparo, a taxa de infiltração pode ser inicialmente elevada (Soriani, 2020), alterando assim a relação apresentada na Figura 6. Portanto, esse resultado fundamenta a utilização do DRES para acessar a capacidade de infiltração de água em áreas agrícolas manejadas em SPD consolidado, não submetido a operações de preparo do solo em anos recentes.



**Figura 6.** Relação entre a Taxa de Infiltração Estável (TIE), determinada pelo método do Infiltrômetro de Cornell, e o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES), determinado pela aplicação do Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES). Londrina, PR, 2020.

\*Coeficiente de determinação significativo ( $p \leq 0,05$ )

Nas safras 2018/2019 e 2019/2020, não foram observadas diferenças significativas na produtividade da soja em função das culturas de entressafra (Tabela 2). No entanto, na quinta safra após o início do experimento, safra 2020/2021, a braquiária *ruziziensis* proporcionou maior produtividade à soja em relação ao trigo, milho e pousio. No somatório de produtividade das três safras, a braquiária *ruziziensis* proporcionou maior produtividade da soja, comparativamente ao pousio.

**Tabela 2.** Produtividade de grãos de soja em diferentes sucessões de culturas em três safras. Londrina, PR

Sucessões de culturas	Safras			Soma
	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
Soja/ <i>ruziziensis</i>	3.389	4.880	4.420 a <sup>(1)</sup>	12.688 a <sup>(1)</sup>
Soja/trigo	3.351	4.947	3.801 b	12.100 ab
Soja/milho	3.093	4.846	3.726 b	11.6 00 ab
Soja/pousio	2.630	4.624	3.643 b	10.898 b
CV (%)	18,0	5,7	11,4	8,2

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste LSD ( $p \leq 0,05$ ).

Nas três safras de soja avaliadas (2018/2019, 2019/2020 e 2020/2021) não houve correlação significativa do IQES com a produtividade de grãos (Tabela 3). Contudo, houve correlação significativa entre a TIE e a produtividade da soja nas safras 2018/2019 e 2020/2021, quando houve déficit hídrico na fase reprodutiva da cultura – entre os meses de dezembro e janeiro (Figura 1). Na safra 2019/2020, em que não ocorreu déficit hídrico na fase reprodutiva, a TIE não se correlacionou significativamente com a produtividade. Considerando o somatório da produtividade da soja nas três safras, também houve correlação positiva entre a TIE e a produtividade. Os resultados demonstram que, apesar da correlação entre IQES e TIE, a TIE é uma variável que está mais associada ao desempenho da soja do que o IQES. Franchini et al. (2012) constataram que os efeitos de sistemas de manejo do solo sobre a cultura da soja são mais evidentes em safras com déficit hídrico durante a fase reprodutiva da soja, especialmente durante a formação dos grãos, como verificado no presente trabalho.



**Tabela 3.** Coeficientes de correlação linear de Pearson entre o Índice de Qualidade Estrutural do Solo (IQES) e a Taxa de Infiltração Estável (TIE) com a produtividade de grãos da soja em três safras. Londrina, PR, 2020.

Variáveis	Safras			Soma das 3 safras
	2018/2019	2019/2020	2020/2021	
IQES	0,18	0,02	0,33	0,25
TIE	0,46*	0,21	0,44*	0,52*

\*Coeficientes de correlação significativos ( $p \leq 0,05$ ).

Os resultados obtidos indicam que há oportunidade e necessidade de aprimorar o principal modelo de produção de grãos do Brasil de sucessão soja/milho segunda safra, uma vez que esta demonstrou baixos IQES e TIE. Essa condição aumenta o risco de erosão hídrica e de perdas elevadas na produtividade de grãos em decorrência de estresses hídricos. A inserção de espécies com alto crescimento radicular e alta produção de biomassa, como a braquiária *ruziziensis*, é uma forma para melhorar a qualidade estrutural do solo e aumentar a TIE, contribuindo para a sustentabilidade do sistema de produção no longo prazo.

## Conclusões

O cultivo de braquiária *ruziziensis* na entressafra da soja proporcionou maiores IQES e TIE. Por outro lado, a menor TIE foi observada no pousio.

Em SPD consolidado, houve correlação positiva entre o IQES e TIE, demonstrando que, por meio da metodologia DRES, que é simples, rápida e pode ser utilizada em campo por técnicos e produtores, pode ser estimada a TIE, cuja determinação em campo é mais complexa, onerosa e muito variável espacialmente.

Houve correlação positiva entre a TIE e a produtividade da soja nas safras em que ocorreu déficit hídrico durante a fase reprodutiva da cultura.

## Agradecimentos

À equipe de Agrometeorologia da Embrapa Soja por ceder os dados de variáveis atmosféricas.

## Referências

- ALLAIRE, S. E.; ROULIER, S.; CESSNA, A. J.; Quantifying preferential flow in soils: a review of different techniques. **Journal of Hydrology**, v. 378, p. 179-204, 2009. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2009.08.013.
- AMAMI, R.; IBRAHIMI, K.; SHER, F.; MIHAM, P.; GHAZOUANI, H.; CHEHAIBI, S.; HUSSAIN, Z.; IQBAL, H. M. N. Impacts of different tillage practices on soil water infiltration for sustainable agriculture. **Sustainability**, v. 13, 3155, 2021. DOI: 10.3390/su13063155.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; YOKOYAMA, A. H. Contribution of roots and shoots of *Brachiaria* species to soybean performance in succession. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 592-598, 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000800004.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E.; SAPUCAY, M. J. L. da C.; BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L. Performance of soybean grown in succession to black oat and wheat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, e01654, 2020. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01654.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; NEPOMUCENO, A. L.; HIRAKURI, M. H.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; COELHO, A. E. **Análise da produção, área cultivada, produtividade e estabilidade produtiva da soja nos estados brasileiros em 25 safras (1996/1997 a 2020/2021)**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 20 p. (Embrapa Soja. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 27). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1141748>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- BASCHE, A. D.; DELONGE, M. Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis. **Plos One**, v. 14, n. 9, e0215702, 2019. DOI: 10.1371/journal.pone.0215702.
- BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T. de; FRANCHINI, J. C.; SOLTANGHEISI, A.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; LEVIEN, R.; DEBIASI, H. Precrops alleviate soil physical limitations for soybean root growth in an Oxisol from southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 206, 104820, 2021. DOI: 10.1016/j.still.2020.104820.
- CARVALHO, D. F.; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S. D.; SANTOS, L. A.; ALVES, S. T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 1072-1078, 2015. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n11p1072-1078.
- CUI, Z.; WU, G. L.; HUANGA, Z.; LIU, Y. Fine roots determine soil infiltration potential than soil water content in semi-arid grassland soils. **Journal of Hydrology**, v. 578, 124023, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124023.

- DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, E. L. dos; CECCATTO, S. el K.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O.; NUNES, E. da S.; FURLANETTO, R. H. **Diagnóstico da qualidade do manejo e impacto de modelos de produção aprimorados sobre a fertilidade do solo nas regiões Norte e Noroeste do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2021. 69 p. (Embrapa Soja. Documentos, 441). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1136355>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research**, v. 11, p. 199-238, 1988. DOI: 10.1016/0167-1987(88)90002-5.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011. DOI: 10.1590/S1413-70542011000600001.
- 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 growing systems over two decades in Southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.003.
- 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. DOI: 10.1016/j.still.2020.104877.
- GARBELINI, L. G.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; BETIOLI JUNIOR, E.; TELLES, T. S. Profitability of soybean production models with diversified crops in the autumn-winter. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 5, p. 4092-4103, 2020. DOI: 10.1002/agj2.20308.
- GARBELINI, L. G.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; COELHO, A. E.; TELLES, T. S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v. 137, 126528, 2022. DOI: 10.1016/j.eja.2022.126528
- GUO, L.; LIU, Y.; WU, G. L.; HUANGA, Z.; CUI, Z.; CHENG, Z.; ZHANG, R.; TIAN, F. P.; HE, H. Preferential water flow: Influence of alfalfa (*Medicago sativa* L.) decayed root channels on soil water infiltration. **Journal of Hydrology**, v. 578, 124019, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.124019.
- HENDRICKX, J. M.; FLURY, M. Uniform and preferential flow mechanisms in the vadose zone. In: CONCEPTUAL Models of Flow and Transport in the Fractured Vadose Zone. Washington, DC: The National Academies Press, 2001. p. 149–187.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.
- LE BISSONNAIS, Y.; PRIETO, I.; ROUMET, C.; NESPOULOUS, J.; METAYER, J.; HUON, S.; VILLATORO, M.; STOKES, A. Soil aggregate stability in Mediterranean and tropical agro-ecosystems: effect of plant roots and soil characteristics. **Plant Soil**, v. 424, p. 303-317, 2018. DOI: 10.1007/s11104-017-3423-6.
- LIU, Y.; GUO, L.; HUANGA, Z.; LÓPEZ-VICENTE, M.; WU, G. L. Root morphological characteristics and soil water infiltration capacity in semi-arid artificial grassland soils. **Agricultural Water Management**, v. 235, 106153, 2020. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106153.
- LOECKE, T. D.; BURGIN, A. J.; RIVEROS-IREGUI, D. A.; WARD, A. S.; THOMAS, S. A.; DAVIS, C. A.; CLAIR, M. A. Weather whiplash in agricultural regions drives deterioration of water quality. **Biogeochemistry**, v. 133, p. 7-15, 2017. DOI: 10.1007/s10533-017-0315-z.
- 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. DOI:10.1016/j.still.2015.03.014.
- OGDEN, C. B.; ES, H. M. van.; SCHINDELBECK R. R. Miniature rain simulator for field measurement of soil infiltration. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p. 1041-1043, 1997. DOI: 10.2136/sssaj1997.03615995006100040008x.
- RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. S.; BONA, F. D. **Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES**. 1. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2017, 64 f. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1107195>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- REICOSKY, D. C.; SAXTON, E. The Benefits of No-tillage. In: BAKER, C. J.; K. SAXTON, E.; RITCHIE, W. R.; CHAMEN, W. C. T.; REICOSKY, D. C.; RIBEIRO, F.; JUSTICE, S. E.; HOBBS, P. R. **No-tillage seeding in conservation agriculture**. 2<sup>nd</sup> ed. Rome: CAB/FAO, 2007. p. 11-20.
- SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S.H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Editora da UFV; Rio de Janeiro: Embrapa Solos/Editora da UFRRJ, 2013.100 p.
- SAPUCAY, M. J. L. C.; COELHO, A. E.; BRATTI, F.; LOCATELLI, J. L.; SANGOI, L.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; ZUCARELI, C. Nitrogen rates on the agronomic performance of second-crop corn single and intercropped with ruzigrass or showy rattlebox. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, e65525, 2020. DOI: 10.1590/1983-40632020v50e65525.
- SERATTO, C. D.; FRANCHINI, J. C.; SERRATO, F. R.; DEBIASI, H.; SANTOS, E. L. dos; CONTE, O.; MORALES NETO, S.; BRISCHILIARI, V. **Infiltrômetro de aspersão de Cornell aperfeiçoado**: aspectos construtivos, operacionais e de manutenção. Londrina: Embrapa Soja, 2019. (Embrapa Soja. Documentos, 424). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1118963>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- SINGH, B.; SIHAG, P.; DESWAL, S.; Modelling of the impact of water quality on the infiltration rate of the soil. **Applied Water Science**, v. 9, 15, 2019. DOI: 10.1007/s13201-019-0892-1.
- SORIANI, R. **Índice de qualidade estrutural do solo e sua relação com atributos físicos de um Latossolo Vermelho**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina, Londrina.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955, 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)
- ES, H. van.; SCHINDELBECK, R. R. **Field procedures and data analysis for the Cornell Sprinkle Infiltrometer**. Ithaca: Cornell University, [2006]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/242112225>. Acesso em: 10 mar. 2023.
- WILLIAMS, J.; REARDON, C.; WUEST, S.; LONG, D. Soil water infiltration after oilseed crop introduction into a Pacific Northwest winter wheat–fallow rotation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, p. 739-745, 2020. DOI: 10.2489/jswc.2020.00165.

YOKOYAMA, A.; ZUCARELI, C.; COELHO, A. E.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A. Precrops and N-fertilizer impacts on soybean performance in tropical regions of Brazil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 44, n. 1, e54650, 2022. DOI: 10.4025/actasciagron.v44i1.54650.

ZHENG, W.; WANG, S.; SPRENGER, M.; LIU, B.; CAO, J. Response of soil water movement and groundwater recharge to extreme precipitation in a headwater catchment in the North China Plain. **Journal of Hydrology**, v. 576, p. 466-477, 2019. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2019.06.071.

**Embrapa**

---

**Soja**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA  
E PECUÁRIA

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
UNIÃO E RECONSTRUÇÃO