

ORIGEM E BASES AGRONÔMICAS DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO: UMA ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DA TECNOLOGIA NO RIO GRANDE DO SUL

ORIGIN AND AGRONOMIC BASES OF THE NO-TILL SYSTEM: AN ANALYSIS OF TECHNOLOGY USE IN RIO GRANDE DO SUL

Leonardo Cunha dos Santos¹
José Fernando Delgado²

88

RESUMO: O Sistema de Plantio Direto (SPD) é a principal estratégia de agricultura conservacionista, buscando reduzir os impactos do preparo convencional e promover a sustentabilidade. Este trabalho teve como objetivo analisar a evolução histórica, os fundamentos agronômicos e o processo de adoção do SPD no Brasil, com foco na sua implementação no Rio Grande do Sul (RS), berço do sistema. A metodologia envolveu uma revisão bibliográfica e análise documental da expansão do SPD (1976–2000) e um estudo de caso sobre o manejo em Santo Ângelo/RS. A consolidação do SPD no RS resultou do pioneirismo de agricultores e da atuação institucional (Embrapa, EMATER/RS, Projeto METAS), embora a adoção tenha enfrentado limitações técnicas iniciais. A análise de Santo Ângelo/RS revelou que a adoção parcial dos três pilares (ausência de revolvimento, cobertura permanente e rotação de culturas) está associada a problemas de compactação do solo e baixa infiltração de água. Tais falhas tornam as lavouras de soja extremamente vulneráveis à estiagem, resultando em grande instabilidade e perdas de produtividade. Entretanto, a eficácia plena do SPD, e a consequente estabilidade produtiva, exige a adesão rigorosa e integrada aos seus fundamentos agronômicos.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura. Fundamentos agronômicos. Conservação do solo. Agricultura regenerativa. Sistema sustentável de produção de alimentos.

ABSTRACT: The No-Till System (NTS) has become the main conservation agriculture strategy, aiming to reduce the impacts of conventional soil preparation and promote sustainability. This study aimed to analyze the historical evolution, agronomic foundations, and adoption process of the NTS in Brazil, focusing on its implementation in Rio Grande do Sul (RS), the birthplace of the system. The methodology involved a literature review and documentary analysis of the NTS expansion (1976–2000), along with a case study on farming management in Santo Ângelo/RS. The consolidation of the NTS in RS resulted from the pioneering efforts of farmers and institutional support (Embrapa, EMATER/RS, METAS Project). However, the analysis in Santo Ângelo/RS revealed that the partial adoption of the three pillars (no-till, permanent soil cover, and crop rotation) is linked to recurring problems of soil compaction and low water infiltration. Such failures render soybean crops extremely vulnerable to drought, leading to significant instability and drastic yield losses. It is concluded that the full effectiveness of the NTS, and the consequent production stability, requires strict and integrated adherence to its agronomic fundamentals.

¹ Autor. Pós-graduando em Solos e Nutrição de Plantas pela ESALQ/USP e Especialista em Ciência do Solo: Pedologia pela FACCRI. Graduando em Engenharia Agrônoma (UNINTER), graduado em Gestão de Cooperativas (UNICSUL) e Técnico em Agricultura pelo IFFar. E-mail: leonardogrty@gmail.com

² Mestre em Agronomia pela UENP/CLM e docente do curso de Agronomia na Faculdade Cristo Rei (FACCRI). E-mail: jfdelgado77@gmail.com

KEYWORDS: Agriculture. Agronomic Principles. Soil Conservation. Regenerative agriculture. Sustainable food production system.

RESUMEN: El Sistema de Siembra Directa (SSD) constituye la principal estrategia de agricultura de conservación, orientada a reducir los impactos del laboreo convencional y promover la sostenibilidad. Este estudio tuvo como objetivo analizar la evolución histórica, los fundamentos agronómicos y el proceso de adopción del SSD en Brasil, con énfasis en su implementación en Rio Grande do Sul (RS), cuna del sistema. La metodología incluyó una revisión bibliográfica y análisis documental de la expansión del SSD (1976–2000), así como un estudio de caso sobre el manejo en Santo Ângelo/RS. La consolidación del SSD en RS fue resultado del pionerismo de agricultores y de la acción institucional (Embrapa, EMATER/RS, Proyecto METAS), aunque la adopción enfrentó limitaciones técnicas iniciales. El análisis de Santo Ângelo/RS reveló que la adopción parcial de los tres pilares (ausencia de laboreo, cobertura permanente y rotación de cultivos) se asocia con problemas de compactación del suelo y baja infiltración de agua. Tales deficiencias hacen que los cultivos de soja sean extremadamente vulnerables a la sequía, generando gran inestabilidad y pérdidas de productividad. No obstante, la plena eficacia del SSD, y la consecuente estabilidad productiva, exige una adhesión rigurosa e integrada a sus fundamentos agronómicos.

PALABRAS-CLAVE: Agricultura. Fundamentos agronómicos. Conservación del suelo. Agricultura regenerativa. Sistema sostenible de producción de alimentos.

1 ORIGEM E EVOLUÇÃO DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO BRASIL

O solo ocupa um papel central para a vida no planeta, não apenas como suporte físico, mas como recurso essencial à produção de alimentos, fibras e energia. Sua degradação, porém, tem sido acelerada tanto por processos naturais quanto pela ação humana, intensificada a partir da agricultura mecanizada e da industrialização (Bernardi, 2020). A introdução do arado de aço em 1837, embora tenha representado um marco tecnológico, também inaugurou um período de revolvimento intenso que resultou na deterioração da estrutura do solo, situação agravada durante o *Dust Bowl*, na década de 1930, quando estiagens e práticas agrícolas inadequadas transformaram vastas áreas férteis dos Estados Unidos em regiões desérticas (Ungvarsky, 2023; Borowski, 2012).

A resposta a esse colapso ambiental foi impulsionada por dois nomes centrais na história da conservação do solo: Hugh Hammond Bennett (*in memoriam*) e Edward H. Faulkner (*in memoriam*), frequentemente referidos como os “pais da conservação”. Bennett teve papel decisivo na criação do Serviço Nacional de Conservação do Solo dos EUA, alertando sobre os riscos crescentes da erosão (Lessiter, 2021; Embrapa, 2025). Já Faulkner, ao publicar *Plowman’s Folly* em 1943, criticou a dependência

exagerada do arado e defendeu que a agricultura deveria preservar os resíduos vegetais sobre o solo como forma de proteção (Faulkner, 1943).

O desastre do *Dust Bowl* reforçou a necessidade de transformar a relação entre agricultura e conservação. Como descrevem Huggins e Reganold (2008), o avanço da mecanização no início do século XX intensificou a degradação, enquanto Clarkin (2023) ressalta que o pastoreio excessivo e a remoção da cobertura vegetal contribuíram para agravar o problema. Esse contexto abriu caminho para o desenvolvimento do plantio direto, que começou a se consolidar nos anos 1960.

No Brasil, o preparo convencional, introduzido por imigrantes europeus, mostrou-se inadequado às condições tropicais (Zucuni; Giacomini, 2017). Apesar de facilitar o controle inicial de plantas daninhas e proporcionar um bom ambiente de germinação (Alvarenga, Cruz e Novotny, 2002; Santiago e Rossetto, 2022), o sistema convencional resultava em compactação, perda de matéria orgânica e erosão acelerada (Hernani et al., 2002; Silva et al., 2015; Anghinoni; Vezzani, 2025).

O plantio direto tornou-se viável com o lançamento do herbicida Paraquat, em 1961, que permitiu o controle químico da vegetação (Denardin, 2001). A primeira lavoura comercial mecanizada em sistema de plantio direto surgiu em 1966, nos EUA, com o uso de semeadoras adaptadas para operar sobre a palha (Embrapa, 2021). No Brasil, a primeira experiência ocorreu em 1969, em Não-Me-Toque (RS), e os primeiros estudos formais começaram em 1973, no Paraná (Casão Junior; Araújo; Llanillo, 2012).

Herbert Bartz (*in memoriam*), agricultor de Rolândia (PR), desempenhou papel crucial na disseminação da técnica em escala comercial no país, após enfrentar graves problemas erosivos em sua propriedade na década de 1970. Trabalhando em parceria com Rolf Derpsch e com a empresa ICI, Bartz testou equipamentos importados e contribuiu para difundir o sistema, ressaltando a importância de integrar a conservação do solo e da água (Azevedo, 2018).

A partir dos anos 1970, organizações como o Clube da Minhoca, a Fundação ABC e a Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha foram determinantes para a consolidação do sistema (Altmann, 2010). Em 1975, as pesquisas de longo prazo iniciadas pelo IAPAR forneceram base científica sólida para a expansão do plantio direto. No Rio Grande do Sul, o Projeto METAS, desenvolvido pela Embrapa e EMATER/RS, impulsionou a adoção regional, ampliando a área sob plantio direto de

300 mil para 850 mil hectares entre 1993 e 1997 (Casão Junior; Araújo; Llanillo, 2012).

O Sistema de Plantio Direto (SPD) se estrutura em três pilares fundamentais: ausência de revolvimento, cobertura permanente do solo e rotação de culturas (Salton; Hernani; Fontes, 1998). Quando aplicados de forma integrada, esses princípios promovem maior estabilidade produtiva, conservação da umidade e aumento da matéria orgânica, fatores essenciais para a sustentabilidade agrícola. (Hungria; Campo; Mendes, 2001). Apesar dos desafios iniciais, como a limitação de máquinas e a dependência de herbicidas (Puríssimo, 1997), o sistema evoluiu para uma abordagem integrada, incluindo práticas como a integração lavoura-pecuária.

A expansão do sistema no Brasil foi extensa. Em 2008, mais de 25 milhões de hectares já estavam sob plantio direto (Derpsch et al., 2010). em 2012, a área ultrapassou 32 milhões (Inagaki et al., 2016). Com base nos dados do IBGE, o país atingiu mais de 41 milhões de hectares em 2025, representando cerca de 62% da área total de grãos (Governo do Estado do Paraná, 2025). No cenário global, o SPD supera 205 milhões de hectares, consolidando o Brasil entre os principais protagonistas mundiais da tecnologia (IDR-PARANÁ, 2025).

O Sistema de Plantio Direto consolidou-se como uma tecnologia agronômica de alto impacto, promovendo conservação do solo, redução da erosão, sequestro de carbono e sustentabilidade produtiva (Embrapa, 2022). Como destacou Peche Filho (2007), o SPD representa uma reforma moral na forma de trabalhar a terra, um modelo de agricultura tropical sustentável e de qualidade total. O SPD representa mais do que uma prática agrícola, constitui uma mudança de paradigma baseada na qualidade, no manejo sustentável e na conservação dos recursos naturais.

2 O PLANTIO DIRETO NO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL DE 1976 A 2000

O Sistema de Plantio Direto começou a ganhar forma no Rio Grande do Sul no início da década de 1970, quando as primeiras áreas experimentais de soja foram implantadas na Fundacep, em Cruz Alta, e na então Estação Experimental de Passo Fundo, atual Embrapa Trigo (Denardin; Kochhann; Sattler, 2001). Em Santo Ângelo, registros apontam que, já em 1974, o produtor José Carlos da Veiga Mello utilizava o sistema, inicialmente como estratégia de combate à erosão (Ruedell, 1995 *apud* Fernandes, 2018). A partir de 1975, universidades e instituições de pesquisa, como UFRGS, UFSM e o antigo Instituto de Pesquisa de Recursos Naturais Renováveis,

passaram a incorporar o SPD em seus programas de estudo.

Conforme Denardin, Kochhann e Sattler (2001), a adoção do SPD no estado ocorreu tanto em propriedades comerciais quanto em áreas experimentais, embora sua consolidação tenha exigido tempo para transformar conhecimento científico em tecnologia operacional. Entre 1976 e 1998, a expansão do SPD apresentou um comportamento exponencial, com dois momentos de inflexão (1985 e 1992), que definem quatro fases distintas de evolução.

No intervalo de 1976 a 1985, o avanço foi limitado por dificuldades técnicas: herbicidas pouco eficientes, semeadoras inadequadas e falta de capacitação especializada. O crescimento anual médio foi modesto, cerca de 4.659 hectares, refletindo a instabilidade e o abandono temporário do sistema por parte de alguns produtores. Apesar dos entraves, os primeiros resultados demonstraram alta eficiência no controle da erosão, fortalecendo a percepção do SPD como uma alternativa conservacionista especialmente adequada às culturas de trigo e soja. Empresas privadas tiveram papel decisivo nesse período, sobretudo a ICI do Brasil S.A., que divulgava tecnologias de herbicidas seletivos e equipamentos adaptados à semeadura sobre palha (Denardin; Kochhann; Sattler, 2001). Na mesma década, a criação dos Clubes Amigos da Terra, promovidos pela empresa, facilitou a organização de produtores e técnicos para troca de conhecimento e aperfeiçoamento das práticas, contribuindo para consolidar o SPD como um sistema integrado de manejo agrícola.

Mesmo com maior embasamento técnico, o plantio direto permaneceu restrito, até o final dos anos 1980, a propriedades com maior capacidade de investimento, devido ao custo elevado e ao grande porte das máquinas disponíveis (Denardin; Kochhann; Sattler, 2008). Entre 1985 e 1992, porém, a adoção avançou de modo mais uniforme, com crescimento anual médio de 39.524 hectares, indicando maior confiança dos produtores na tecnologia.

A partir de 1993, o SPD entrou em uma fase de expansão intensa, impulsionada pelo modelo de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), que articulou instituições públicas, cooperativas e agricultores. O Projeto METAS, conduzido pela Embrapa e EMATER/RS, tornou-se referência nacional ao integrar geração de conhecimento, adequação de máquinas e capacitação técnica. Nesse período, de 1993 a 1998, o crescimento médio anual atingiu expressivos 561.464 hectares, consolidando definitivamente o SPD no estado.

O Projeto METAS promoveu a capacitação de mais de 90 mil agricultores, técnicos e agentes de extensão entre 1993 e 1997, por meio de cursos, seminários e dias de campo. Paralelamente, as indústrias locais passaram a adaptar semeadoras convencionais, tornando a tecnologia mais acessível às pequenas e médias propriedades. A integração lavoura-pecuária também desempenhou papel estratégico, ampliando o uso de forrageiras como aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb) e impulsionando o setor leiteiro, cuja produção aumentou de 8 milhões para 350 milhões de litros anuais entre 1990 e 2000.

Para Denardin, Kochhann e Sattler (2001), o modelo de P&D foi determinante para a consolidação do SPD no estado, ao conectar pesquisa, validação e difusão tecnológica de forma compatível com as demandas regionais. Entretanto, entre 1999 e 2000 houve uma retração de cerca de 112 mil hectares por ano, resultado da percepção de compactação e de reduções na produtividade. Pesquisas da Embrapa Trigo indicaram, porém, que as oscilações estavam muito mais relacionadas às condições climáticas do que às práticas de manejo. Assim, o decréscimo temporário não representou um fracasso da tecnologia, mas um reflexo da menor intensidade das ações de capacitação naquele período.

3 FUNDAMENTOS AGRONÔMICOS E FALHAS DE BASE NO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO NO RIO GRANDE DO SUL

Seguir tecnicamente um sistema implica obedecer rigorosamente a critérios e normas específicas, evitando interpretações empíricas. No caso do SPD, isso significa reorganizar o manejo do solo e planejar a propriedade de maneira sistêmica e contínua, com monitoramento específico em cada gleba (Embrapa, 1998). Quando os pilares do SPD não são obedecidos integralmente, os benefícios ambientais e produtivos esperados deixam de se concretizar, e esse cenário tem sido recorrente justamente pela falta de domínio técnico sobre o sistema (Motta; Asmus, 2021). Mesmo com mais de 70 safras de experiência acumulada, muitos agricultores ainda adotam o SPD de maneira simplificada, limitando-se à semeadura sem revolvimento, mas sem cumprir as demais diretrizes estruturais do manejo (Denardin et al., 2008).

Por ser uma tecnologia complexa, o SPD exige alguns pré-requisitos fundamentais. A Embrapa (1998) destaca que o agricultor deve estar disposto a modificar sua rotina de manejo, contar com orientação técnica, organizar sua área em

glebas adequadas, possuir máquinas ajustadas para a semeadura em palha e trabalhar com espécies que gerem boa cobertura do solo. Outro ponto chave é o planejamento da rotação de culturas, que deve ser coerente com as condições de solo, clima e mercado.

A recomendação inicial da Embrapa (1998) é que a adoção comece em áreas menores, entre 10 e 50 hectares, facilitando o processo de adaptação, especialmente no controle de plantas daninhas e no ajuste da semeadora. A implantação direta em grandes áreas pode gerar frustração e abandono prematuro da técnica; por isso, a expansão do SPD deve ser gradativa, partindo de locais com melhor aptidão, terrenos planos, solos já corrigidos e baixa infestação de plantas espontâneas.

Embora existam princípios universais, não há um modelo único de implantação. O SPD precisa ser adaptado à realidade de cada propriedade, respeitando os fundamentos que sustentam o sistema. Após o diagnóstico das glebas, é essencial avaliar o mercado local para estabelecer uma rotação que seja tecnicamente eficiente e, ao mesmo tempo, economicamente viável. Também é necessário selecionar culturas que contribuam com a formação de palhada suficiente para garantir proteção inicial ao solo (Embrapa, 1998).

O SPD, em sua formulação original, prevê que a mobilização ocorra apenas na linha ou na cova de semeadura, evitando o revolvimento intensivo do solo. Denardin, Faganello e Santi (2008) explicam que esse princípio preserva a estrutura física e a matéria orgânica, elementos-chave para manter a saúde do solo. A substituição de facões estreitos (cerca de 1 cm) por discos nas semeadoras tem comprometido a profundidade da adubação e o desenvolvimento radicular, reduzindo a eficiência do sistema. Segundo os autores, o uso de facões permite depositar fertilizantes em profundidades superiores a 10 cm, estimulando o crescimento radicular vertical e reduzindo o risco de estresse hídrico.

A produção de palhada no SPD depende das espécies utilizadas, da sequência de cultivos, do manejo da parte aérea e das condições ambientais. Para uma boa proteção do solo, estima-se que sejam necessárias cerca de 5 t/ha de palha cobrindo pelo menos 80% da superfície. Entretanto, o modelo predominante na região, soja no verão e pousio no inverno, tem gerado quantidades muito abaixo do ideal, frequentemente inferiores a 3,5 t/ha/ano. A recomendação da Embrapa é de 8 a 12 t/ha/ano para manter a estrutura física do solo (Denardin; Faganello; Santi, 2008). A

baixa formação de biomassa afeta diretamente as propriedades físicas, biológicas e químicas do solo.

A rotação de culturas é o pilar mais frequentemente negligenciado. Quando substituída por simples sucessão, ela não garante diversidade estrutural e funcional ao sistema. Rotação limitada e baixo aporte de resíduos promovem aumento da densidade do solo, redução da infiltração e maior susceptibilidade ao déficit hídrico (Denardin et al., 2008). A atividade microbiana, que é naturalmente maior no SPD devido à manutenção da palhada (Cattelan; Vidor, 1990), depende da diversidade de plantas para garantir a ciclagem de nutrientes e a formação de substâncias húmicas. Alternar culturas de rápida decomposição (soja, feijão, nabo-forrageiro) com gramíneas de alta produção de palha (milho, sorgo, milheto, aveia) aumenta a estabilidade estrutural e biológica (Salton; Hernani; Fontes, 1998).

Leguminosas, embora produzam menos palhada, desempenham papel essencial na Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN). Os estudos de Döbereiner, iniciados em 1963, e os trabalhos posteriores de Hungria, Campo e Mendes (2001), estabeleceram a base científica da simbiose entre bactérias como *Bradyrhizobium japonicum* e *B. elkanii* e a cultura da soja (Costa, 2023 *apud* Hungria et al., 2007). A eficiência da FBN depende de fatores edáficos e ambientais, como acidez, temperatura, fertilidade e umidade do solo (Cardoso et al., 2017). Altos níveis de acidez reduzem nutrientes essenciais e aumentam a presença de alumínio e manganês, enquanto temperaturas elevadas e desequilíbrios hídricos afetam diretamente a nodulação e a atividade enzimática.

A decomposição da palhada está diretamente relacionada à relação C:N e à atividade microbiana. Materiais com relação C:N acima de 30:1 tendem a decompor-se lentamente, favorecendo a formação de substâncias húmicas e a liberação gradual de nutrientes como Ca, Mg, P, K, N e S (Embrapa, 1998). A biomassa microbiana pode acumular até 100 kg de N e 80 kg de P por hectare, desempenhando papel estratégico na ciclagem rápida de nutrientes (Andreola; Fernandes, 2007). Compostos orgânicos também atuam como bioestimulantes, melhorando a estrutura e a fertilidade do solo (Baldotto et al., 2014 *apud* Baldotto, 2007). Solos bem supridos em matéria orgânica apresentam maior CTC, melhor agregação e maior infiltração (Ronquim, 2020). Entretanto, os efeitos das plantas de cobertura variam conforme o tipo de solo, clima e espécie utilizada (Carvalho et al., 2022).

A ausência de práticas básicas de conservação, como manutenção adequada da palhada, semeadura em nível e construção de terraços, contribui para erosão hídrica, aumento do escoamento superficial e perdas de fertilizantes e corretivos (Denardin; Faganello; Santi, 2008). Esses problemas se intensificam quando há tráfego excessivo de máquinas, que aumenta a compactação e reduz a porosidade. O uso incorreto do penetrômetro também tem levado agricultores a práticas equivocadas, como a escarificação sem critério técnico. Denardin, Faganello e Santi (2008) ressaltam que, quando realizada sem considerar o teor de água do solo ou a necessidade real, a escarificação tem efeito de curtíssima duração (menos de três meses) e não traz benefícios estruturais, apenas gerando custos.

Outro problema recorrente é o uso da calagem como substituto da adubação. Aplicações excessivas podem comprometer o equilíbrio físico e químico do solo, interferindo na estrutura e no desenvolvimento das plantas (Denardin; Faganello; Santi, 2008).

A adoção parcial dos pilares do SPD tem sido apontada por especialistas como causa da instabilidade produtiva e da degradação ambiental. A Destaque Rural (2024) destaca a observação do professor Renato Levien (UFRGS), que aponta a regressão de áreas antes bem manejadas para um modelo reduzido a mera semeadura direta, desconectado da lógica integral do SPD. De modo semelhante, o Portal do Agronegócio (2025) evidencia que, em várias regiões do país, o SPD tem sido conduzido de forma incompleta, deixando de cumprir sua função conservacionista. Afonso Peche Filho (2025), do Instituto Agronômico de Campinas, reforça que falhas operacionais e manejos simplificados podem transformar o SPD em um processo silencioso de degradação.

A adoção incompleta dos pilares do Sistema Plantio Direto (SPD) tem sido amplamente apontada como causa de instabilidade produtiva e degradação ambiental. Em entrevista a Destaque Rural (2024), o professor Renato Levien (UFRGS) observa que muitas áreas que haviam avançado na implementação do SPD regrediram para práticas limitadas à simples semeadura direta, desconsiderando princípios essenciais do sistema. Essa realidade é corroborada pelo Portal do Agronegócio (2025), que evidencia a aplicação parcial do SPD em diversas regiões brasileiras, apesar de sua reconhecida função conservacionista. Segundo Afonso Peche Filho, do Instituto Agronômico de Campinas, falhas operacionais, manejo

inadequado e fatores econômicos têm comprometido a eficiência da técnica, podendo transformá-la em um processo silencioso de degradação agrícola.

A Federação Brasileira do Sistema de Plantio Direto (2025) afirma que, embora o SPD seja altamente eficiente na conservação do solo, sua adoção no Brasil frequentemente ocorre de maneira parcial, reduzindo significativamente seus benefícios. A Agrolink (2025) complementa que grande parte das áreas de grãos do Rio Grande do Sul e Santa Catarina utilizam o SPD sem atender às recomendações mínimas, o que tem provocado perdas de nutrientes e de solo pela enxurrada e aumento da vulnerabilidade das culturas a estiagens. A problemática motivou debates na VII Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo, onde instituições como a Embrapa Trigo discutiram as falhas de implementação regional.

4 AGRICULTURA: UM OLHAR SOBRE SANTO ÂNGELO/RS A PARTIR DA REALIDADE LOCAL

Santo Ângelo, localizada no noroeste do Rio Grande do Sul e integrante da região das Missões, possui cerca de 79 mil habitantes e destaca-se como um importante polo regional de serviços e turismo (IBGE, 2025). Sua formação histórica está diretamente ligada à Redução de Santo Ângelo Custódio, fundada em 1706 pelos jesuítas, o que confere ao município um expressivo patrimônio cultural. A economia local tem forte base agropecuária, com destaque para as culturas de soja, milho e trigo, além da pecuária e o setor de serviços (Prefeitura Municipal de Santo Ângelo, 2014).

Inserida no Planalto Médio/Região das Missões, a área municipal é formada predominantemente por rochas basálticas, o que influencia diretamente as características dos solos. Os levantamentos pedológicos indicam que predomina o Latossolo Vermelho Distroférrico Típico, pertencente à unidade cartográfica conhecida como “Unidade Santo Ângelo”, caracterizada por perfis profundos, muito argilosos, bem drenados e formados sobre basalto (MSRS-UFSM, 2025; Embrapa, 2018). Esses solos apresentam elevada aptidão para as principais culturas agrícolas da região, desde que manejados com práticas conservacionistas, correção da acidez, adubação adequada e manutenção da cobertura do solo.

A produtividade da soja no município apresenta forte variação anual. Segundo levantamento do JOM (2018), entre as safras 2013/2014 e 2017/2018, os rendimentos

oscilaram entre 2.500 e 3.500 kg/ha, com o melhor resultado registrado na safra 2016/2017, atingindo 3.500 kg/ha. Já na safra 2017/2018, a produtividade caiu para cerca de 2.500 kg/ha, reflexo de condições climáticas irregulares (Jom, 2018).

A produtividade da soja em Santo Ângelo apresenta elevada variabilidade interanual, reflexo direto da interação entre condições climáticas, manejo do solo e tecnologias adotadas pelos produtores. De acordo com levantamento do (JOM, 2018), que reúne dados de diferentes safras, entre 2013/2014 e 2017/2018 a produtividade do município variou entre 2.500 e 3.500 kg/ha, alcançando seu melhor resultado na safra 2016/2017, com 3.500 kg/ha, seguido por queda expressiva para 2.500 kg/ha na safra 2017/2018, atribuída a condições meteorológicas irregulares (JOM, 2018). A instabilidade se intensificou a partir da safra 2018/2019, quando episódios recorrentes de estiagem passaram a limitar a produção. Conforme reportado pelo Notícias Agrícolas (2022), em uma das safras analisadas, com 15% das lavouras colhidas, a produtividade média atingiu apenas 3,5 sacas/ha, aproximadamente 210 kg/ha, números extremamente baixos e associado à estiagem severa. O próprio JOM (2018) aponta que, nas safras subsequentes, a falta de chuvas provocou reduções ainda mais expressivas: em 2019/2020, a produtividade caiu para 1.400 kg/ha e, em 2021/2022, sob estiagem extrema, atingiu apenas 800 kg/ha.

Mesmo assim, anos favoráveis também são registrados. O Portal das Missões (2024) indica que, em períodos de melhor distribuição de chuvas, a produtividade pode atingir médias próximas a 55 sacas/ha, aproximadamente 3.300 kg/ha, reforçando o alto potencial regional quando o clima contribui e o manejo é adequado.

Dados complementares do Agrolink (2025) confirmam esse cenário duplo: o município possui potencial produtivo elevado, frequentemente entre 3.000 e 3.600 kg/ha em condições ideais, mas pode registrar quedas para menos de 1.800 kg/ha, ou mesmo 210 kg/ha nos casos mais extremos. Essa amplitude superior a 300% entre safras favoráveis e desfavoráveis evidencia a vulnerabilidade hídrica das lavouras e as limitações físicas dos solos, especialmente a compactação e a baixa infiltração de água.

Segundo Ruedell (1995, *apud* Fernandes, 2018), já em 1974 havia registro da utilização do Sistema Plantio Direto no município, inicialmente adotado como técnica de contenção da erosão. Contudo, estudos recentes mostram que práticas inadequadas têm comprometido a eficiência do sistema. Demeneghi (2019) aponta

que diversas áreas agrícolas de Santo Ângelo apresentam compactação significativa, impedindo a infiltração da água da chuva e aumentando o escoamento superficial. Segundo o autor, técnicos da Emater confirmam que todas as seis propriedades avaliadas apresentaram diferentes níveis de adensamento (Demeneghi, 2019).

Essa compactação, provocada pelo tráfego de máquinas pesadas, pisoteio animal e ausência de rotação de culturas efetiva, reduz a porosidade do solo e compromete a recarga dos aquíferos, afetando inclusive a formação e manutenção dos corpos hídricos da região (Demeneghi, 2019). A falta de raízes profundas e de biomassa suficiente agrava o problema, caracterizando áreas com baixa infiltração e rápida perda de umidade. A insuficiência de palhada, elemento central do Sistema Plantio Direto, contribui ainda para a formação de selamento superficial e para processos erosivos iniciais.

Em resposta, técnicos da Embrapa e profissionais da Emater recomendam a subsolagem como medida corretiva imediata, realizada logo após a colheita, seguida da semeadura de gramíneas como sorgo ou milho, que apresentam palhada volumosa e raízes profundas (Demeneghi, 2019). Essas plantas exercem papel crucial na reconstrução da estrutura do solo e no restabelecimento da estabilidade microbiológica.

O problema observado em Santo Ângelo encontra suporte em estudos científicos. Fernandes et al. (2022) demonstraram que o tráfego agrícola reduz significativamente a velocidade de infiltração básica do solo devido à diminuição da macroporosidade. Mesmo poucas passadas de máquinas são suficientes para aumentar o escoamento superficial e a suscetibilidade à erosão (Fernandes *et al.*, 2022).

Assim, a análise da compactação no município mostra que, apesar da presença do Sistema Plantio Direto, sua aplicação incompleta limita os benefícios esperados. Práticas como subsolagem, uso de plantas de cobertura vigorosas e retomada dos pilares fundamentais do SPD podem restaurar a funcionalidade hídrica do solo e devolver às lavouras maior estabilidade produtiva e resiliência climática.

5 CINQUENTA E UM ANOS DE DESAFIOS: COMPACTAÇÃO DO SOLO EM SANTO ÂNGELO/RS

A adoção do Plantio Direto (PD) em Santo Ângelo acompanha uma trajetória

de mais de cinco décadas. Embora o Rio Grande do Sul acumule cerca de 70 safras de experiência com o sistema, o município registra 51 anos de utilização da agrotecnologia, empregada desde 1974 como estratégia para mitigar a erosão nas lavouras. O fato de haver um pioneiro local já na década de 1970 demonstra que os problemas de manejo, especialmente a compactação, um dos fatores que favorece processos erosivos, estavam presentes desde os primeiros estágios de intensificação da agricultura na região. Trata-se, portanto, de um desafio histórico e persistente, frequentemente relatado em estudos de compressibilidade e manejo do solo, reforçando a urgência e relevância do tema ao longo do tempo.

Estudos comparativos realizados na Unidade de Mapeamento Santo Ângelo (UM Santo Ângelo) ilustram o impacto cumulativo do manejo agrícola. Ilha et al. (2013), observaram que, após aproximadamente 40 anos de cultivo, áreas manejadas apresentaram severa degradação estrutural quando comparadas à floresta nativa. A macroporosidade, por exemplo, reduziu-se drasticamente, de 30,98% para apenas 4,84%, enquanto a densidade do solo aumentou de 1,05 para 1,59 g cm⁻³ na camada de 0–10 cm, evidenciando intenso adensamento.

A compactação está associada ao tráfego de máquinas agrícolas, tanto em sistemas convencionais, devido ao revolvimento, quanto no próprio Plantio Direto, onde a ausência de mobilização do solo concentra a pressão exercida pelos equipamentos. Ilha et al. (2013) e Suzuki et al. (2008) indicam que essa pressão gera camadas subsuperficiais adensadas. A vulnerabilidade do solo de Santo Ângelo torna-se ainda mais evidente nos testes de compressão: Suzuki (2006) registrou uma Pressão de Preconsolidação de 147 kPa já na camada de 0–10 cm após apenas seis anos de PD, um valor considerado elevado é indicativo de compactação associada ao histórico de tráfego.

O solo apresentou compressibilidade moderada a alta, com Índice de Compressão médio de 0,105 na camada superficial (SUZUKI, 2006). Além disso, sua suscetibilidade à deformação aumenta significativamente quando o manejo ocorre em condições inadequadas de umidade. Quanto à capacidade de suporte de carga (CSC), Suzuki et al. (2008) observaram que, enquanto a camada de 0,20–0,40 m apresenta maior resistência (CSC > 1,0 MPa), a camada superficial (0–0,10 m) permanece como a mais frágil e sujeita ao adensamento sob pressões de máquinas. No contexto do PD, manter a estabilidade estrutural depende de um controle rigoroso do tráfego,

justamente para evitar a formação dessas camadas densas.

Embora o Plantio Direto proporcione maior resiliência estrutural ao solo ao longo do tempo, a produtividade agrícola em Santo Ângelo continuou vulnerável devido à recorrência de eventos climáticos extremos e à persistência de problemas estruturais. No manejo convencional, períodos curtos de déficit hídrico já eram suficientes para causar perdas severas. Essa vulnerabilidade ficou evidente na estiagem de 2005, quando, de acordo com Agrolink (2005), o chefe local da Emater, Diomar Formenton, relatou quebra irreversível de 80% na lavoura de soja do município. A severidade regional daquele ciclo influenciou inclusive indicadores nacionais, levando a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (Abiove) a reduzir a estimativa da produção brasileira de soja de 58,3 para 53,9 milhões de toneladas na safra 2004/2005 (Agrolink, 2005). Situação semelhante foi registrada em 2008. Segundo Jurgensfeld (2008), a cooperativa Cotrisa reportou que a produtividade prevista para o milho caiu de 66 para apenas 22 sacas por hectare, a cultura mais afetada pela seca. A soja também sofreu atrasos no plantio e incertezas quanto às perdas finais.

Nowicki, Fiorin e Colling (2013) demonstram que a região Noroeste e Missões foi uma das mais prejudicadas pela deficiência hídrica nas safras de 2003/2004 a 2005/2006. No conjunto regional, a perda média atingiu 64,5 sacas por hectare. Em Santo Ângelo, especificamente, a quebra acumulada da produtividade da soja no triênio chegou a 61,7%. Enquanto o potencial estimado era de 41,9 sacas/ha, a produtividade média obtida foi de apenas 21,3 sacas/ha, gerando um prejuízo econômico de US\$ 26.403.315 para o município.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Sistema Plantio Direto (SPD) representa uma das mais relevantes transformações na agricultura brasileira, não apenas por seus benefícios produtivos, mas pelo impacto direto na conservação do solo e na sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Entretanto, como demonstrado neste trabalho, a eficácia do SPD depende fundamentalmente da aplicação conjunta e equilibrada de seus três pilares: não revolvimento, cobertura permanente e rotação de culturas. Quando esses princípios são reduzidos ou aplicados de forma parcial, os resultados obtidos ficam muito aquém do potencial da tecnologia.

A análise histórica mostrou que o SPD se consolidou no Brasil por meio do esforço integrado de agricultores pioneiros, instituições de pesquisa, empresas privadas e serviços de assistência técnica. No Rio Grande do Sul, especialmente, a atuação da Embrapa, EMATER/RS, cooperativas e iniciativas como o Projeto METAS desempenhou papel estruturante no avanço da tecnologia entre as décadas de 1970 e 1990. Essa construção coletiva, somada ao desenvolvimento de herbicidas, máquinas adaptadas e maior conhecimento agrônomo, permitiu que o sistema se tornasse a base da agricultura moderna no país.

Contudo, os desafios observados nas últimas décadas indicam que a consolidação do SPD ainda é parcial. O caso do município de Santo Ângelo evidencia que, mesmo em regiões com forte tradição agrícola, o sistema frequentemente tem sido reduzido à ausência de revolvimento, sem que haja um planejamento de rotação, manejo adequado de cobertura vegetal ou atenção à biologia do solo. Essa simplificação pressiona a estrutura física, reduz a infiltração de água, aumenta a compactação e amplia a vulnerabilidade das lavouras às estiagens, fatores que explicam a grande variabilidade de produtividade registrada no município.

Os resultados discutidos ao longo do trabalho reforçam que a estabilidade produtiva está diretamente ligada à qualidade estrutural do solo. A presença de palhada abundante, a diversidade de raízes promovida pela rotação e o estímulo à atividade microbiana são condições essenciais para manter o solo saudável, com maior capacidade de armazenamento hídrico e resiliência frente às adversidades climáticas. Da mesma forma, práticas como o uso criterioso da adubação, o controle racional de plantas daninhas e a adoção de espécies de cobertura de alta produção de biomassa são determinantes para o bom desempenho do SPD.

A experiência de Santo Ângelo demonstra que, quando bem manejado, o SPD é capaz de proporcionar produtividade elevada e estável, mesmo em anos de menor precipitação. No entanto, para que esse potencial seja alcançado, é indispensável que os três pilares sejam aplicados integralmente e de forma articulada. A intensificação sustentável passa, portanto, pelo resgate dos fundamentos do sistema e pela ampliação de práticas que valorizem a biologia e a estruturação do solo.

Por fim, espera-se que este trabalho contribua para o entendimento das bases agrônômicas do SPD, destacando que a evolução do sistema não se limita a técnicas de semeadura, mas envolve uma mudança profunda na forma de manejar o solo,

planejar cultivos e compreender o papel da rotação, da cobertura vegetal e da saúde do solo na produtividade agrícola. O aperfeiçoamento do SPD no Rio Grande do Sul, e, em particular, em Santo Ângelo, dependerá da capacidade de produtores, técnicos e instituições de pesquisa de integrarem conhecimento, tecnologia e práticas conservacionistas de forma contínua e planejada.

REFERÊNCIAS

AGROLINK. *Dados estatísticos da produção agrícola de Santo Ângelo/RS*. 2025. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/regional/rs/santo-angelo/estatistica>. Acesso em: 16 nov. 2025.

AGROLINK. *Exportações caem com quebra da safra de soja*. 2005. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/-exportacoes-caem-com-quebra-da-safra-de-soja----24227.html>. Acesso em: 18 nov. 2025.

AGROLINK. *Falhas na implementação do Sistema Plantio Direto levam à degradação do solo*. 2025. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/artigo/falhas-na-implementacao-do-sistema-plantio-direto-levam-a-degradacao-do-solo-81760.html>. Acesso em: 18 nov. 2025.

AGROLINK. *Santo Ângelo (RS) tem quebra de 80% na lavoura de soja*. 2005. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/santo-angelo-rs-tem-quebra-de-80-na-lavoura-de-soja-----24259.html>. Acesso em: 18 nov. 2025.

ALTMANN, R. *O Clube da Minhoca e a difusão do plantio direto no Brasil*. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2010.

ALVARENGA, R. C.; CRUZ, J. C.; NOVOTNY, E. H. *Cultivo do milho: preparo convencional do solo*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. (Comunicado Técnico, n. 40).

ANGHINONI, I.; VEZZANI, F. M. *Fertilidade Sistêmica do Solo como produto da auto-organização do sistema de manejo*. Plantio Direto e Tecnologia Agrícola. 11 mai. 2025. Artigo. Disponível em: <https://plantiodireto.com.br/artigos/1563>. Acesso em: 21 nov. 2025.

AZEVEDO, Junior. *O legado do "pai do Plantio Direto" para o Brasil*. NEPAR, Curitiba, 20 abr. 2018. Disponível em: <https://sbcs-nepar.org.br/2018/04/20/o-legado-do-pai-do-plantio-direto-para-o-brasil/>. Acesso em: 21 nov. 2025.

BALDOTTO, M. A.; BALDOTTO, L. E. B. *Ácidos húmicos e fúlvicos: estrutura, funções e aplicações em solos tropicais*. **Revista Ceres**, v. 61, supl., p. 856–881, 2014. DOI: 10.1590/0034-737X201461000011.

BOROWSKI, James. *The Dust Bowl*. New York: Chelsea House, 2012.

BOROWSKI, Susan. *The Dust Bowl: A Wake-Up Call for Environmental Practices*. AAAS (American Association for the Advancement of Science), 3 dez. 2012. Disponível em: <https://www.aaas.org/membership/scientia/dust-bowl-wake-call-environmental-practices>. Acesso em: 25 ago. 2026.

CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; ATHAYDE SOBRINHO, C. (ed.). *Feijão-caupi: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

CARON, V. C.; GRAÇAS, J. P.; CASTRO, P. R. C. *Condicionadores do solo: ácidos húmicos e fúlvicos*. Piracicaba: ESALQ/USP, 2015.

CASÃO JUNIOR, R.; ARAÚJO, A. G.; LLANLLO, R. F. *Plantio direto no Sul do Brasil: pioneirismo e evolução*. Londrina: IAPAR, 2012.

CATTELAN, A. J.; VIDOR, C. *Sistemas de preparo do solo e populações microbianas*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1990.

CLARKIN, Thomas. *Dust Bowl: Ecological Disaster*. EBSCO Research Starters. 2023. Disponível em: <https://www.ebsco.com/research-starters/history/dust-bowl-ecological-disaster>. Acesso em: 21 nov. 2025.

CONTINI, Elisio; REIFSCHNEIDER, Francisco JB. "Conhecimentos" na agricultura. **Revista de Política Agrícola**, v. 8, n. 2, p. 1-7, 1999.

COSTA, Magna Maria Macedo Nunes et al. *Fixação biológica de Nitrogênio: uma revisão*. 2023.

CRUZ, J. C. et al. *Plantio convencional*. In: AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Cultivos: milho. Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-convencional>. Acesso em: 21 nov. 2025.

CRUZ, J. C. et al. *Plantio direto*. In: AGÊNCIA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Cultivos: milho. Brasília, DF: Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo/plantio-direto>. Acesso em: 21 nov. 2025.

DA SILVEIRA, Adriana Parada Dias; DOS SANTOS FREITAS, Sueli. *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Instituto Agrônômico, 2007.

DEMENEGHI, Marcos. *A água que não consegue penetrar no solo compactado das lavouras*. Jornal e Revista O Mensageiro, Santo Ângelo. 7 jan. 2019. Notícias. Disponível em: <https://jom.com.br/meio-ambiente/agua-que-nao-consegue-penetrar-no-solo-compactado-das-lavouras.html>. Acesso em: 21 nov. 2025.

DENARDIN, J. E. et al. *Evolução da área cultivada sob sistema plantio direto no Rio Grande do Sul*. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2001. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/850217/1/FL07298.pdf>
. Acesso em: 25 set. 2025.

DENARDIN, José Eloir. *Desenvolvimento do plantio direto*. Agência de Informação Embrapa – Ageitec. Embrapa Trigo, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/web/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto/fundamentos/historico/desenvolvimento-do-plantio-direto>. Acesso em: 16 nov. 2025.

DENARDIN, José Eloir; FAGANELLO, Antonio; SANTI, Anderson. *Falhas na implementação do sistema plantio direto levam a degradação do solo*. **Revista Plantio Direto**, v. 18, p. 33-34, 2008.

DERPSCH, R. et al. *Current status of no-till farming in the world*. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, 2010.

DIVISÃO DE PEDOLOGIA E FERTILIDADE DO SOLO (MAPA). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre, 1963. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/331173> Acesso em: 16 nov. 2025.

EMBRAPA. *500 perguntas 500 respostas: Sistema Plantio Direto*. 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 1998. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/98258/1/500perguntassistemaplantiodireto.pdf>. Acesso em: 2 ago. 2025.

EMBRAPA. *Sistema de manejo do solo – Plantio Direto*. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/producao/manejo-do-solo-e-adubacao/sistema-de-manejo-do-solo>. Acesso em: 30 jul. 2025.

EMBRAPA. *Sistema Plantio Direto*. Agência de Informação Embrapa – Ageitec. Brasília, DF: Embrapa, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/web/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/sistema-plantio-direto>. Acesso em: 17 nov. 2025.

EMBRAPA CERRADOS. *Dia de Campo na TV – Sucessão de culturas após soja superprecoce*. Brasília, 21 set. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/1483476/dia-de-campo-na-tv---sucessao-de-culturas-apos-soja-superprecoce>. Acesso em: 7 set. 2025.

FAULKNER, E. H. *Plowman's Folly*. Norman: University of Oklahoma Press, 1943.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DO SISTEMA PLANTIO DIRETO. *Fatores de ameaça à degradação de ambientes agrícolas no Sistema Plantio Direto*. 15 mai. 2025. Disponível em: <https://plantiodireto.org.br/fatores-de-ameaca-a-degradacao-de-ambientes-agricolas-no-sistema-plantio-direto>. Acesso em: 18 nov. 2025.

FEPAM (Rio Grande do Sul). *Mapa de classificação dos solos do Estado do Rio Grande do Sul quanto à resistência a impactos ambientais*. Porto Alegre, 2001. 13 p.

Relatório Final. Disponível em:

https://ww3.fepam.rs.gov.br/biblioteca/mapa_solos.pdf. Acesso em: 21 nov. 2025.

FERNANDES, Ângela Maria Ferreira. *Qualidade do sistema plantio direto e sua relação com a erosão do solo e o meio ambiente*.

FRANCHINI, J. C. et al. *Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná*. Londrina: Embrapa Soja, 2011.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. *Área de plantio direto atinge recorde no Brasil*. 2025. Disponível em: <https://www.parana.pr.gov.br/aen/Noticia/Dia-do-Plantio-Direto-celebra-tecnica-revolucionaria-para-agricultura-sustentavel>. Acesso em: 20 nov. 2025.

HERNANI, L. C. et al. *A erosão e seu impacto*. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E.; PERES, J. R. (org.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. p. 47–60.

HUGGINS, David R.; REGANOLD, John P. *No-till: the quiet revolution*. **Scientific American**, New York, v. 299, n. 1, p. 70-77, jul. 2008. Disponível em: <https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/20902500/davidhuggins/notill.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2025.

HUNGRIA, Mariangela; CAMPO, Rubens J.; MENDES, I. de C. *Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja*. Embrapa Soja; Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2001.

IBGE. *Mapa exploratório de solos do Estado do Rio Grande do Sul*. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/mapas/unidades_da_federacao/rs_pedologia.pdf. Acesso em: 16 nov. 2025.

IBGE. *Santo Ângelo – Panorama*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/santo-angelo.html>. Acesso em: 16 nov. 2025.

IDR-PARANÁ. *O SPD no cenário global*. 2025. Disponível em: <https://www.idrparana.pr.gov.br/Noticia/Sistema-Plantio-Direto-inovacao-que-brotouno-Norte-do-Parana-e-conquistou-o-mundo>. Acesso em: 18 nov. 2025.

ILHA, Róbson et al. *Estabilidade de agregados de solo em floresta nativa, plantio direto e em vertical mulching*. **Disciplinarum Scientia| Naturais e Tecnológicas**, v. 14, n. 2, p. 213-222, 2013.

INAGAKI, T. M. et al. *Evolução da área sob plantio direto no Brasil*. Londrina: IAPAR, 2016.

JOM — JORNAL O MENSAGEIRO. *Safra da soja*. Santo Ângelo, 2018. Disponível em: <file:///mnt/data/Safra-Soja.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

JOM – JORNAL O MENSAGEIRO. *Safra Soja – Produtividade histórica no município de Santo Ângelo*. 2018. Disponível em: <https://jom.com.br/wp-content/uploads/2018/05/Safra-Soja.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2025.

JURGENFELD, Vanessa. *Agricultores do Sul já contam as perdas com nova seca*. Valor Econômico. 30 dez. 2008. Agronegócios, p. B10. Disponível em: <https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/447507/noticia.htm?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 nov. 2025.

LESSITER, F. *Hugh Hammond Bennett: the father of soil conservation*. No-Till Farmer, 2021.

MALAFIA, Guilherme Cunha et al. *Crise de mão de obra no campo: causas, impactos e possíveis soluções*. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2024. 4 p. (Boletim Cicarne, ano 5, n. 65). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1164725>. Acesso em: 21 nov. 2025.

MOREIRA, José Aloísio Alves; STONE, Luís Fernando; BLAVA, Marina (Ed.). *Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 203 p. (Coleção 500 perguntas, 500 respostas). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1014894/1/Feijao2014500P500R.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2025.

MOTTA, I. S.; ASMUS, G. L. *Manual de boas práticas no plantio direto*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2021.

MSRS — MUSEU DOS SOLOS DO RS/UFSM. *Unidade Santo Ângelo — Latossolo Vermelho Distroférrico típico*. 2025. Disponível em: <https://www.ufsm.br/museus/msrs/unidade-de-solos>. Acesso em: 16 nov. 2025.

NOTÍCIAS AGRÍCOLAS. *Com 15% das lavouras de soja colhidas, a média de produtividade em Santo Ângelo/RS está em 3,5 sc/ha*. 2022. Disponível em: <https://www.noticiasagricolas.com.br/videos/soja/314198-com-15-das-lavouras-de-soja-colhidas-a-media-de-produtividade-em-santo-angelors-esta-em-35-scha.html>. Acesso em: 16 nov. 2025.

NOWICKI, Alexandre; FIORIN, Jackson E.; COLLING, Alan. *Perdas na cultura da soja ocasionada pela estiagem na região noroeste e missões do rio grande do sul*.

PECHE FILHO, A. *O SPD como reforma moral*. Campinas: IAC, 2007.

PES, Luciano Zucuni; GIACOMINI, Diego Antonio. *Conservação do solo*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico; Rede e-Tec Brasil, 2017. 69 p.

PORTAL DAS MISSÕES. *Colheita da soja fica em 55 sacas por hectare em média, em Santo Ângelo/RS*. [s.d]. Disponível em: <https://www.portaldasmissoes.com.br/noticias/colheita-da-soja-fica-em-55-sacas-por-hectare-em-media-em-santo-angelo-12013>. Acesso em: 16 nov. 2025.

PORTAL DO AGRONEGÓCIO. *Plantio direto sob ameaça: falhas no manejo comprometem sustentabilidade de solos agrícolas*. 19 mai. 2025. Disponível em: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/agricultura/outros/noticias/plantio-direto->

[sob-ameaca-falhas-no-manejo-comprometem-sustentabilidade-de-solos-agricolas](#). Acesso em: 17 nov. 2025.

PURÍSSIMO, C. *Desafios e limitações do plantio direto*. Londrina: IAPAR, 1997.

RONQUIM, C. C. *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para regiões tropicais*. 2. ed. Campinas: Embrapa Territorial, 2020.

RUEDELL, J. *O plantio direto na região de Cruz Alta*. Cruz Alta: Fundacep Fecotrigo, 1995 (atualizado em 2017).

SALTON, J. C.; HERNANI, L. C.; FONTES, C. Z. *Sistema plantio direto: o pilar da rotação de culturas*. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 1998.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R. *Preparo do solo e cana-de-açúcar*. Brasília: Embrapa, 2022.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos et al. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 6. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2025. 393 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1176834/1/Sistema-Brasileiro-de-Classificacao-de-Solos-2025.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2025.

SCHEIFLER, B. "Voltamos à estaca zero": por que a área de plantio direto não avança mais no Brasil? *Destaque Rural*, 24 out. 2024. Disponível em: <https://destaquerural.com.br/agricultura/voltamos-a-estaca-zero-por-que-a-area-de-plantio-direto-nao-avanca-mais-no-brasil/>. Acesso em: 14 nov. 2025.

SILVA, V. R. et al. *Compactação do solo em sistemas de manejo*. **Revista de Engenharia Agrícola**, 2015.

STRECK, Edeimar Valdir et al. *Solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: Emater/RS, v. 3, 2002.

SUZUKI, L. E. A. S. *Compactação do solo e sua influência nas propriedades físicas do solo e crescimento e rendimento de culturas*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

UNGVARSKY, Janine. *Invention of the Steel Plow*. In: EBSCO. *Research Starters*. Publicado em: 2023. Disponível em: <https://www.ebsco.com/research-starters/agriculture-and-agribusiness/invention-steel-plow>. Acesso em: 18 nov. 2025.