



## Capítulo 5

# Práticas sustentáveis para o binômio soja-milho

Julio Cesar dos Reis | Alexandre Ferreira da Silva | Alvadi Antonio Balbinot Junior |  
Arystides Resende Silva | Henrique Debiasi | José Renato Bouças Farias |  
Miguel Marques Gontijo Neto

## Introdução

Para enfrentar os desafios ambientais e produtivos da agricultura moderna, torna-se essencial adotar práticas sustentáveis que incorporem a visão sistêmica da produção agrícola. Entre as estratégias adotadas, destacam-se aquelas que conciliam o aumento da produtividade agrícola com práticas sustentáveis, capazes de contribuir significativamente para a mitigação dos impactos ambientais, a adaptação e o fortalecimento da resiliência dos sistemas de produção diante das mudanças climáticas (FAO, 2022).

Ao se somar a esse cenário de desafios ambientais, há uma pressão crescente sobre os sistemas alimentares em decorrência do aumento populacional. De acordo com a Organização das Nações Unidas (2022), a população mundial deverá alcançar 9,7 bilhões de pessoas até 2050. Esse crescimento implicará uma demanda quase 50% maior por alimentos, fibras e energia em comparação com os níveis de 2012 (FAO, 2022). No entanto, essa ampliação da produção não poderá ocorrer com a expansão da área agrícola na mesma proporção. Para agravar, evidências científicas contemporâneas têm advertido para anomalias na temperatura e nos padrões

de precipitação, com consequências diretas nas atividades humanas e, especialmente, naquelas relacionadas à produção agrícola.

Pesquisas baseadas nos cenários de mudanças climáticas globais (MCG) mostram que estas afetam diretamente a agricultura e as áreas florestais brasileiras. Estimativas pertinentes indicam que a temperatura média do planeta poderá aumentar nos próximos anos, com implicações diretas em mudanças nos índices de risco que governam o desempenho das culturas de grãos, entre os quais se destacam a disponibilidade hídrica e a duração e intensidade dos períodos de estiagem. A alternativa viável é a intensificação sustentável dos sistemas agropecuários, adaptados e resilientes, com base em tecnologias que aumentem a eficiência do uso da terra, da água e dos insumos, sem comprometer os ecossistemas naturais, associada à universalização de tecnologias digitais que apoiem o monitoramento e a tomada de decisão no campo.

Esse cenário abre uma oportunidade única para o Brasil se consolidar como um dos principais fornecedores de alimentos, fibras e energia do planeta. O futuro aponta para um modelo de prosperidade baseado não apenas na produção

em larga escala, mas na liderança em tecnologias para uma produção agrícola responsável, combinando avanços nas áreas agrônômica, ambiental, biotecnológica e digital.

Nas últimas décadas, a agricultura brasileira tem se consolidado como um dos pilares da economia nacional e como referência global em produtividade e sustentabilidade. O País passou de importador de alimentos nas décadas de 1970 e 1980 para um dos maiores produtores e exportadores mundiais de grãos, especialmente soja e milho. Esse crescimento, no entanto, não se baseou apenas na expansão de áreas cultivadas, mas principalmente em ganho expressivo de produtividade, impulsionado por inovações tecnológicas, políticas públicas e instrumentos financeiros que permitiram a modernização do setor.

A produção de grãos no Brasil era de cerca de 50 milhões de toneladas em 1980. Passou a 100 milhões de toneladas em 2011 (31 anos após), chegou a 200 milhões de toneladas em 2015 (35 anos depois) e chega a 310 milhões de toneladas em 2023 (43 anos depois). Em 30 anos, os ganhos de produtividade foram impressionantes, elevando a produção em 370% e a área em apenas 95% (Conab, 2025). Atualmente a soja e o milho representam aproximadamente 85% da produção total de grãos do País. A soja é geralmente cultivada como primeira safra (primavera/verão), sendo seguida pelo milho como segunda safra (outono/inverno) e, em alguns casos, pelo trigo como terceira safra. Paralelamente, 66,3% do território nacional permanece coberto por vegetação nativa, conforme dados da Embrapa Territorial (2020), o que evidencia o equilíbrio entre produção e conservação ambiental.

No caso da soja, cuja área na safra 2024/2025 teve expansão de 2,9% em relação à safra 2023/2024, passando de 46,15 milhões para 47,51 milhões de hectares, enquanto a produção cresceu 13,7%, saltando de 147,7 milhões

para 167,9 milhões de toneladas, a produtividade, por exemplo, passou de patamares abaixo de 2.000 kg/ha para mais de 3.500 kg/ha em 2020/2021. Se fosse mantida a mesma produtividade observada no início do cultivo de soja no Brasil, a área que seria necessária para obter a mesma produção na safra 2019/2020 seria 195% superior à área atual de cultivo. Nesses termos, o efeito poupa-terra em razão do aumento de produtividade de soja desde a década de 1960 foi de, aproximadamente, 71 milhões de hectares.

A dinâmica da produção de milho no Brasil também apresentou significativos avanços em termos de produtividade. Nas últimas três décadas, a produção nacional quadruplicou, ultrapassando pela primeira vez a marca de 100 milhões de toneladas. Esse crescimento foi impulsionado principalmente por aumentos de cultivo do milho segunda safra e de produtividade, e não pela expansão territorial. A área destinada para plantio do milho safra reduziu aproximadamente 7 milhões de hectares, enquanto a área destinada ao plantio do milho safrinha aumentou mais de 14 milhões de hectares. Dessa forma, o crescimento — mais de 200% na produção de milho — foi impulsionado, principalmente, pela produtividade e não pelo aumento de área. A produtividade média saltou de 1.841 kg/ha em 1989/1990 para 5.520 kg/ha em 2019/2020 — avanço de 200%. Nesse mesmo período, a área plantada aumentou de 12,1 milhões para 18,5 milhões de hectares, elevação de 53%. Para ilustrar o impacto desse salto tecnológico, basta considerar que, se o Brasil ainda operasse com a produtividade de 1989/1990, seriam necessários 55,5 milhões de hectares para alcançar a produção de milho registrada em 2019/2020. Assim sendo, os avanços tecnológicos permitiram uma economia de aproximadamente 37 milhões de hectares, reafirmando a importância do uso eficiente da terra como estratégia de preservação ambiental. Esse desempenho reforça a importância da chamada expansão

vertical da produção agrícola — ou seja, o aumento da produtividade e a intensificação do uso das áreas já cultivadas, permitindo múltiplos cultivos no mesmo ciclo agrícola, sem necessidade de abrir novas fronteiras agrícolas.

Esse expressivo desempenho em termos de produtividade é fundamental para explicar o papel estratégico que essas culturas desempenham no fortalecimento da economia brasileira, consolidando-se como um dos principais pilares do agronegócio nacional, especialmente para a parcela da produção que é destinada para a exportação, além de servir de base indispensável para o desenvolvimento de outras importantes cadeias agrícolas brasileiras relacionadas à produção de proteína animal (carnes suína, bovina, de aves e peixes, além de ovos e leite). Juntas, essas culturas representam aproximadamente 34% do valor bruto da produção (VBP) agropecuário brasileiro (Brasil, 2025), impulsionando o crescimento do produto interno bruto (PIB) do setor primário e contribuindo significativamente para o superávit da balança comercial brasileira. Em 2023, a soja alcançou um VBP de R\$ 265,9 bilhões, enquanto o milho somou R\$ 125,5 bilhões (Brasil, 2025).

Sem sombra de dúvidas, o grande diferencial da agricultura brasileira, e em especial, para a produção de grãos, tem sido a incorporação de tecnologias no campo. Práticas como o Sistema Plantio Direto (SPD), a fixação biológica de nitrogênio (FBN), o uso de sementes melhoradas, a agricultura de precisão, a diversificação de cultivos, os bioinsumos, o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc) e a crescente automação e digitalização no campo tornaram a produção mais eficiente e menos dependente de insumos agressivos ao meio ambiente. Além disso, sistemas integrados como integração lavoura-pecuária (ILP), integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) promovem uso intensivo e sustentável do solo, elevando a produtividade e melhorando a resiliência dos agroecossistemas.

Assim, não obstante os avanços ocorridos na agricultura até o momento, o Brasil tem condições de ir além de seu papel tradicional como celeiro de commodities agrícolas e se afirmar como fonte estratégica de soluções agroambientais para o mundo.

A modernização e o avanço da agricultura brasileira nas últimas décadas foram impulsionados não apenas por inovações tecnológicas, mas também por políticas públicas e instrumentos financeiros que possibilitaram sua implementação em larga escala. Entre esses instrumentos, o acesso ao crédito rural e ao financiamento agrícola ocupa uma posição central, sendo fator determinante para que produtores de diferentes perfis possam adotar práticas mais produtivas, sustentáveis e resilientes, uma vez que a adoção de tecnologias modernas no campo demanda investimentos.

Sem apoio financeiro adequado, muitos pequenos e médios produtores, que representam grande parte da produção nacional, ficam impossibilitados de acessar essas soluções, perpetuando um ciclo de baixa produtividade, vulnerabilidade climática e dificuldades de inserção em cadeias de valor mais exigentes. Nesse sentido, o crédito agrícola não deve ser visto apenas como uma ferramenta de custeio da produção, mas como instrumento estratégico de desenvolvimento tecnológico e social no meio rural. Programas como o Plano Safra, o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC+), o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) e o InovAgro (Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica na Produção Agropecuária) são exemplos de políticas públicas que conectam financiamento agrícola com transformação produtiva e ambiental.

Além disso, o crédito bem direcionado potencializa o acesso dos produtores aos mercados mais exigentes, que cada vez mais demandam rastreabilidade, certificações socioambientais e adoção de boas práticas agrícolas. Esse é um

ponto crucial para que o Brasil consolide sua posição como líder em produção agroambiental, não apenas em volume, mas também em valor agregado e reputação internacional.

É fundamental, porém, que esse financiamento seja acessível, desburocratizado e compatível com as realidades regionais. Modelos financeiros mais inclusivos e inovadores podem ajudar a ampliar o alcance do financiamento, sobretudo entre os agricultores familiares e produtores que operam fora dos grandes polos do agronegócio.

Em síntese, sem financiamento, não há inovação no campo em escala. E sem inovação, a agricultura não conseguirá responder aos desafios globais de segurança alimentar, mudança climática e uso sustentável da terra. Portanto, fortalecer as políticas de crédito e ampliar o acesso ao financiamento agrícola são medidas indispensáveis para acelerar a transição rumo a uma agricultura mais produtiva, inclusiva e sustentável no Brasil e no mundo.

Nesse cenário, uma taxonomia financeira sustentável pode ser um instrumento central para mobilizar e redirecionar fluxos de capital para investimentos cruciais no enfrentamento dos desafios atuais dos sistemas de produção agropecuários. Esse instrumento consiste em um sistema de classificação que define, de forma clara, objetiva e com base científica, atividades, ativos e/ou categorias de projetos que contribuem para objetivos climáticos, ambientais e/ou sociais, utilizando critérios específicos. A implementação de uma Taxonomia Sustentável Brasileira (TSB) permitirá maior clareza, transparência e rastreabilidade para instituições financeiras, investidores e produtores, impulsionando o financiamento verde no campo e fortalecendo a competitividade dos produtos brasileiros nos mercados internacionais, bem como disponibilizando critérios e indicadores específicos que permitem avaliar se uma atividade contribui para a sustentabilidade e/ou para a transição para uma economia sustentável.

## Práticas sustentáveis para a produção de grãos

Ao considerar a cadeia de produção de grãos, com foco inicial no binômio soja-milho, foi elencado um conjunto de práticas sustentáveis cuja adoção deve ser incentivada no âmbito da TSB. Para cada prática, são indicados os respectivos objetivos da TSB aos quais contribuem diretamente:

**Genética e práticas de semeadura:** esta prática contribui para os objetivos TSB 1 (mitigação da mudança do clima) e 7 (prevenção e controle de contaminação), contemplando o uso de sementes certificadas e a coinoculação na cultura da soja. O uso de sementes certificadas permite adequado estabelecimento de plantas e maximização da produtividade de grãos, reduzindo a transmissão de doenças propagadas pelas sementes e infestação de plantas daninhas cujos diásporos podem estar presentes nas sementes. Já a coinoculação da soja com bactérias do gênero *Bradyrhizobium* e *Azospirillum brasilense* permite que todo o nitrogênio (N) requerido pela soja seja oriundo do solo e da fixação biológica de N, reduzindo a emissão de óxido nitroso, um dos principais gases de efeito estufa, à atmosfera.

**Fertilidade, adubação e nutrição das plantas:** esta prática contribui para o objetivo TSB 2 (adaptação às mudanças climáticas). Contemplando a adubação e correção química do solo de acordo com análises e recomendações técnicas (quantidade, posicionamento, frequência) e acrescentando o monitoramento das propriedades físicas e biológicas do solo, tal ação é relevante para ajustar práticas de manejo para corrigir eventuais problemas de manejo do solo.

Portanto, para acompanhar a condição do solo, é essencial realizar um acompanhamento detalhado da qualidade do solo, o que envolve a análise de sua fertilidade, suas características físicas e seus aspectos biológicos, pois elas oferecem

informações valiosas sobre o teor de nutrientes disponíveis, a sua estrutura, a capacidade de reter água e nutrientes, como também sobre a atividade dos microrganismos que ali vivem. As análises de fertilidade se concentram em avaliar a capacidade do solo de fornecer os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. As análises físicas se dedicam a avaliar características, como a proporção de areia, argila e silte (textura), o peso do solo em um determinado volume (densidade), o espaço existente entre as partículas (porosidade), a quantidade de água que o solo consegue armazenar e a resistência dos agregados à ação da água e do vento (estabilidade de agregados). Já as análises biológicas focam na quantidade de organismos vivos presentes no solo (biomassa microbiana) e na intensidade com que esses organismos atuam (atividade microbiana), além de medir a ação das enzimas que eles produzem, fatores que influenciam a decomposição da matéria orgânica e a circulação dos nutrientes e a quantidade de N, um nutriente crucial para as plantas e para a vida no solo.

A realização de análises químicas, físicas e biológicas é fundamental para avaliar a saúde geral do solo e a sua capacidade de sustentar o crescimento das plantas. Essas análises ajudam a identificar problemas, como a compactação e a deficiência de nutrientes, além de permitir o acompanhamento dos efeitos de diferentes práticas de manejo do solo. Com base nessas informações, é possível tomar decisões mais fundamentadas sobre o uso de fertilizantes, irrigação e outros insumos, promovendo uma agricultura mais sustentável, que preserva a saúde do solo e a biodiversidade.

Essas análises podem ser feitas em laboratórios especializados, que utilizam técnicas específicas para medir os diversos indicadores. Além disso, existem ferramentas portáteis que permitem aos agricultores realizar algumas medições básicas diretamente no campo. É importante considerar que a qualidade do solo é dinâmica

e pode ser influenciada por fatores, como o clima, o tipo de vegetação e as práticas de manejo adotadas. Por isso, é recomendável realizar análises periódicas para monitorar a saúde do solo e implementar as medidas necessárias para a sua melhoria.

A prática de adubar e corrigir o solo se fundamenta nos resultados da análise de solo, um procedimento que oferece informações detalhadas sobre os nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas cultivadas e sobre as necessidades de ajuste das características químicas do solo. A quantidade de fertilizante a ser utilizada, a forma como ele deve ser aplicado e a frequência dessa aplicação variam significativamente, dependendo da cultura específica, do tipo de solo em questão e dos dados obtidos na análise. Nesse sentido, seguir rigorosamente as recomendações técnicas é crucial para otimizar o uso dos fertilizantes, evitar desperdícios e, conseqüentemente, promover a melhoria da qualidade do solo em longo prazo.

**Proteção integrada de pragas, doenças e plantas daninhas:** esta prática contribui para o objetivo TSB 7 (prevenção e controle de contaminação), contemplando o manejo integrado de insetos-praga (MIP), o manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) e o manejo integrado de doenças (MID) como práticas a serem induzidas no cultivo de soja e milho.

O manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas constitui uma abordagem multidisciplinar e sistematizada, voltada à contenção de insetos-pragas, doenças e plantas daninhas em níveis economicamente toleráveis, com o mínimo impacto adverso ao ambiente, à saúde humana e à biodiversidade. Fundamentado na integração de métodos preventivos, culturais, biológicos, físicos e químicos, o manejo integrado promove uma racionalização do uso de insumos e intervenções, pautando-se em critérios técnicos, limiares de ação e no conhecimento detalhado da ecologia dos agroecossistemas.

O manejo integrado de pragas, doenças e plantas daninhas pode ser estruturado em cinco etapas sequenciais e interdependentes — prevenção e supressão (1), monitoramento (2), tomada de decisão (3), intervenção (4) e avaliação (5) — cuja implementação coordenada visa otimizar a sustentabilidade produtiva e mitigar os riscos de resistência e desequilíbrios ecológicos (Barzman et al., 2015):

- **Etapla 1 (Prevenção e supressão):** a prevenção ou supressão de organismos indesejáveis e nocivos deve ser alcançada principalmente por meio do planejamento de sistemas de cultivo menos propensos a sofrer perdas econômicas significativas por causa da presença de pragas. A supressão pode ser entendida como a redução da incidência de pragas ou da gravidade de seu impacto, complementando a prevenção. Esse princípio significa que o objetivo não é eliminar completamente as pragas, mas impedir que qualquer uma delas se torne dominante ou cause danos em um sistema de cultivo. Entre as combinações de técnicas de manejo preventivo, pode-se citar: rotação de culturas, técnicas de cultivo adequadas, uso de cultivares resistentes/tolerantes, práticas de fertilização e irrigação equilibradas, medidas fitossanitárias e proteção de organismos benéficos. Combinar diferentes táticas é mais eficaz e sustentável do que abordagens de tática única.
- **Etapla 2 (Monitoramento):** os organismos nocivos devem ser monitorados por métodos e ferramentas adequados, incluindo observações de campo, sistemas de alerta, previsão e diagnóstico precoce, bem como o uso de aconselhamento profissional qualificado.
- **Etapla 3 (Tomada de decisão):** com base nos resultados do monitoramento, o usuário profissional deve decidir se e quando aplicar medidas de proteção. A tomada de decisão no manejo de pragas deve ser pautada em critérios técnicos e integrados, destacando-se o uso de limiares de controle — também conhe-

cidos como níveis de ação — como uma ferramenta essencial. Esses limites representam a densidade populacional de uma praga acima da qual medidas de controle se fazem economicamente justificáveis, considerando o custo da intervenção e o potencial de dano à cultura. No entanto, a aplicação efetiva dessa abordagem exige a consideração de múltiplos critérios adicionais, como o estágio fenológico da planta, as condições ambientais predominantes (temperatura, umidade, precipitação), a presença de inimigos naturais, o histórico da área e a suscetibilidade da cultivar utilizada. A combinação desses fatores permite uma avaliação mais precisa do risco e promove decisões mais racionais e sustentáveis, reduzindo o uso indiscriminado de pesticidas e contribuindo para a preservação da biodiversidade e da saúde do agroecossistema.

- **Etapla 4 (Intervenção):** a decisão de intervir deve respeitar princípios técnicos que priorizam a sustentabilidade do agroecossistema. Diante desse contexto, deve ser priorizado, sempre que possível, o uso de métodos não químicos, como os controles biológicos, físicos e mecânicos. Os pesticidas aplicados devem ser específicos para o alvo e ter os menores efeitos colaterais na saúde humana, nos organismos não alvo e no ambiente. O usuário deve fazer uso do método químico como uma ferramenta complementar de controle e obedecer às recomendações da bula do produto. A fim de se reduzir o risco de resistência de pragas aos pesticidas, devem ser aplicadas estratégias que incluam o uso de pesticidas com diferentes mecanismos de ação e a integração dos diferentes métodos de controle. As causas da raiz do aumento do risco de resistência estão associadas à supersimplificação e intensificação excessiva dos sistemas de cultivo. De maneira geral, pode-se dizer que, para alcançar um nível satisfatório e sustentável de manejo de pragas, é necessário estabelecer uma

ampla estratégia de MIP que inclua uma variedade de métodos de proteção.

- **Etapa 5 (Avaliação):** com base nos registros de uso de pesticidas e no monitoramento, o usuário profissional deve verificar o sucesso das medidas de proteção aplicadas. A sustentabilidade no manejo de pragas exige novos critérios de avaliação que levem em conta efeitos de múltiplas estações e uma diversidade de compensações (*trade-offs*), integrando economia, saúde humana e ambiente, e não apenas o rendimento ou a ausência total de pragas.

**Manejo e conservação de solo, da água e da cobertura vegetal:** esta prática contribui para o objetivo TSB 4 (uso sustentável do solo e conservação, manejo e uso sustentável das florestas). Práticas conservacionistas complementares ao Sistema Plantio Direto (SPD) em áreas com elevado declive e/ou rampas longas, visando à adequada conservação do solo e da água e à diversificação de cultivos com o uso de plantas de cobertura, são essenciais para garantir a capacidade produtiva do solo em longo prazo, representando um desafio crucial para o futuro. É exatamente isso que a conservação do solo busca. Ir além da simples prevenção da erosão significa implementar um conjunto de práticas que assegurem a fertilidade do solo para as gerações futuras.

Boas práticas de manejo do solo podem promover melhor recarga, maior armazenamento e melhor distribuição da água no solo, bem como proporcionar maior profundidade dos sistemas radiculares, incrementando o perfil de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente, o volume de água disponível para as plantas. Isso pode ser fundamental em momentos de deficiência de chuvas. Essas boas práticas podem ainda contribuir de forma significativa na melhoria das características do solo, com influência direta na redução de perdas de produtividade causadas pela seca e na maior estabilidade da produção brasileira de grãos. Quanto melhor

o manejo, melhores as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; maior o teor de matéria orgânica; a taxa de infiltração e a redistribuição de água; o crescimento do sistema radicular e a produtividade. Além da redução do risco hídrico da cultura, a adoção de melhores práticas de manejo do solo resulta em outros benefícios potenciais, como aumento e estabilização da produtividade, maior conservação do solo e da água e aumento do carbono orgânico no solo (Debiasi et al., 2022).

A erosão, seja ela causada pela água da chuva ou pela força dos ventos, pode ser significativamente mitigada pela presença contínua de vegetação na superfície do solo, seja por meio de plantações ou de cobertura vegetal morta. A erosão eólica, mais comum em áreas planas e desprovidas de vegetação em períodos de seca, pode ser controlada combinando a cobertura do solo com barreiras de vento formadas por árvores. Já a erosão hídrica, prevalente no Brasil, inicia-se com o impacto das gotas de chuva em solos desprotegidos, facilitando o desprendimento e o transporte das partículas do solo pela água que escorre. Portanto, é essencial manter o solo coberto, com raízes que o penetrem profundamente e com o mínimo revolvimento possível. A palhada funciona como um escudo contra a força da chuva, enquanto as raízes promovem a infiltração da água e sustentam a estrutura do solo.

Para a produção de grãos, o SPD é uma excelente alternativa, desde que aliado a boas práticas agrícolas, em que três preceitos devem estar associados: o revolvimento mínimo do solo, com o devido controle de tráfego de máquinas; a rotação de culturas; e a permanência da palhada da cultura anterior na superfície do solo.

O revolvimento mínimo do solo gera benefícios econômicos por causa do menor uso de máquinas e equipamentos; e ambientais em razão do menor consumo de combustíveis fósseis. Além disso, melhora a qualidade física dos solos, pois

evita a compactação subsuperficial provocada pelo uso intenso de máquinas. Esse processo resulta na diminuição dos espaços vazios no solo, importantes para armazenar ar e água e para permitir o crescimento das raízes das plantas. Além de diminuir os gastos com implementos, máquinas e mão de obra, o não revolvimento favorece a natureza porque o solo não precisa de muito preparo para se desenvolver.

A cobertura do solo com palhada oferece múltiplos benefícios. Atua como protetora contra a erosão, aprimora a estrutura física, química e biológica do solo, eleva a taxa de infiltração de água, minimiza a evaporação e ajuda a manter a temperatura do solo. A palhada também é eficaz no controle de plantas daninhas, promove a ciclagem de nutrientes e estimula a atividade biológica do solo.

Por sua vez, a rotação de culturas é igualmente vantajosa. Ela contribui para o aumento da produtividade, a conservação da fertilidade do solo, o controle de pragas e doenças, e a própria viabilidade do plantio direto. Ao diversificar e alternar as culturas, observa-se uma melhoria na estrutura do solo, um acúmulo de matéria orgânica e uma redução na incidência de pragas e doenças.

Por fim, a adoção de técnicas complementares de conservação, como o terraceamento e o cultivo em curvas de nível, é fundamental para incrementar a infiltração da água e amenizar o impacto do escoamento superficial, tão característico, principalmente, num momento em que se observam chuvas cada vez mais intensas, com precipitação de grandes volumes em pouco tempo.

**Sistemas de produção sustentáveis:** esta prática contribui para o objetivo TSB 1 (mitigação da mudança do clima), contemplando a integração lavoura-pecuária (ILP) e o SPD. A ILP permite intensificar o uso da terra, da mão de obra e de outros recursos, amplia o sequestro de carbono no solo, reduz a pressão de estresses bióticos

e abióticos, contribuindo significativamente na mitigação e adaptação às mudanças climáticas e no uso sustentável do solo e da água. O SPD aumenta a conservação do solo e da água, reduz a emissão de gases causadores de efeito estufa, permite a intensificação do uso da terra e aumenta a produtividade, a estabilidade e a rentabilidade da atividade agrícola. A conciliação do SPD com a ILP representa um dos principais avanços na agricultura tropical e subtropical brasileira.

**Uso de tecnologias digitais:** esta prática contribui para o objetivo TSB 2 (adaptação às mudanças climáticas). A adoção de tecnologias digitais pode promover melhorias na cadeia produtiva de grãos do Brasil. No contexto do manejo sítio-específico, essas ferramentas podem auxiliar na interpretação da variabilidade espacial das lavouras e permitir intervenções pontuais e otimizadas. O resultado prático é a possibilidade de alinhar ganhos econômicos à sustentabilidade do sistema produtivo.

A utilização de dados geoespaciais para delinear zonas de manejo pode proporcionar melhorias expressivas no uso de fertilizantes (Resende et al., 2014), agrotóxicos (Anastasiou et al., 2023), sementes (Uhry, 2013) e irrigação (García et al., 2020). Em vez de práticas homogêneas em todo o talhão, torna-se viável aplicar insumos de forma diferenciada, com base nas características específicas de cada talhão. Essa abordagem não apenas reduz o desperdício de recursos, como também pode reduzir impactos ambientais negativos.

Ferramentas como sensores instalados em máquinas agrícolas, imagens obtidas por drones com câmeras multiespectrais e sistemas de posicionamento por satélite (GNSS) integram-se a softwares especializados que processam os dados e entregam ao produtor mapas operacionais. Tais tecnologias já estão consolidadas em operações de plantio, pulverização, adubação e colheita, permitindo tomadas de decisão baseadas em evidências.

O monitoramento contínuo das operações agrícolas permite ajustes imediatos em campo, o que é particularmente importante em regiões com clima instável ou janelas curtas para a colheita. A combinação de agricultura digital e logística operacional tem elevado o nível de gestão da produção e contribuído para um modelo mais resiliente frente às exigências de mercado e às mudanças climáticas.

A ampliação do uso dessas tecnologias, no entanto, ainda depende de fatores, como conectividade no campo, capacitação técnica das equipes e acesso a políticas públicas que estimulem a inovação tecnológica nas propriedades. Incentivar a adoção dessas ferramentas representa um passo estratégico para ampliar a competitividade da agricultura brasileira.

**Técnicas de colheitas eficientes:** esta prática contribui para o objetivo TSB 2 (adaptação às mudanças climática). Estimular práticas focadas na redução das perdas de grãos de milho e de soja na colheita — mesmo em condições de elevado acamamento e/ou quebra de colmos, no caso do milho, frente a eventos climáticos extremos — é importante para reduzir desperdícios. A adoção de técnicas de colheita eficientes constitui uma etapa decisiva na maximização do rendimento final das culturas de grãos, notadamente milho e soja. Estima-se que, no Brasil, as perdas na colheita dessas culturas podem variar entre 5 e 10% da produção total, podendo ultrapassar 15% em situações críticas, como em lavouras afetadas por acamamento ou quebra de colmos no milho, frequentemente induzidos por eventos climáticos extremos, como ventos fortes, chuvas intensas e prolongadas, ou seca seguida de precipitações abruptas. Tais perdas representam não apenas prejuízos econômicos diretos, mas também comprometem a sustentabilidade e a eficiência do uso dos recursos naturais e insumos aplicados ao longo do ciclo produtivo.

Para mitigar esses impactos, torna-se essencial o estímulo e a disseminação de práticas de colheita baseadas em critérios técnicos. Isso inclui o correto ajuste das colhedoras — como velocidade de deslocamento, altura do corte, taxa de alimentação e regulação do sistema de trilha e separação —, a colheita no ponto ideal de umidade, que varia de 13 a 15% para a soja e de 13 a 20% para o milho (Montavani et al., 2000; Aguila et al., 2011), além da capacitação contínua dos operadores. Para tal, o produtor deve levar em consideração a necessidade e disponibilidade de secagem, o risco de deterioração, o gasto de energia na secagem e o preço do grão na época da colheita. A seleção de cultivares com maior resistência ao acamamento e colmos mais robustos, associada à adoção de sistemas de cultivo conservacionistas, também contribui para a manutenção da integridade das plantas até o momento da colheita.

Adicionalmente, o uso de tecnologias embarcadas, como sensores de perdas, monitoramento em tempo real da operação e sistemas de controle automático, pode contribuir na redução das perdas operacionais e no suporte à tomada de decisões em campo (Zandonadi; Ruffato, 2021).

A eficiência na colheita, portanto, deve ser entendida como uma estratégia integrada, que alia manejo agrônomo, planejamento operacional e inovação tecnológica, sendo fundamental para assegurar ganhos em produtividade real, rentabilidade e sustentabilidade ao sistema agrícola.

**Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc):** esta prática contribui para o objetivo TSB 2 (adaptação às mudanças climática). Delimita regiões de produção e épocas de semeadura em níveis de riscos de perda de produção por eventos meteorológicos adversos e permite ao produtor identificar a melhor época para semear, levando em conta a região do cultivo, a cultura e os diferentes tipos de solos. É uma ferramenta de análise do risco derivado da variabilidade

climática, considerando-se as características da cultura e do solo. As informações geradas pelo Zarc podem ser utilizadas na gestão de riscos climáticos (GRC) da propriedade rural, permitindo aos produtores e técnicos avaliarem e decidirem quais as melhores opções quanto: às espécies de cultivo mais viáveis no seu município; à melhor época de semeadura e produção; às características preferenciais de cultivares, adaptadas à região; à necessidade de práticas de manejo, como a irrigação; ao uso preferencial de cultivares de ciclo curto, intermediário ou longo; e às possibilidades para se concentrar recursos em uma única safra ou dividir em duas safras ou mais (Monteiro et al., 2024).

**Agricultura irrigada:** esta prática contribui para o objetivo TSB 2 (adaptação às mudanças climática). Ela adota sistemas de irrigação como forma de aumento da eficiência no uso dos recursos naturais, com ênfase na água, bem como na redução de riscos climáticos. Contempla os sistemas de irrigação por aspersão, microaspersão e gotejamento.

A agricultura irrigada é responsável por cerca de 40% de toda produção de alimentos no mundo, viabilizando produzir fisicamente, em uma mesma área, até quatro vezes mais que a agricultura de sequeiro (Postel, 2000). No Brasil a expansão da irrigação não acompanhou a evolução da área plantada. Estima-se que a área irrigada no País corresponda a 8 milhões de hectares (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2025). A expansão da agricultura irrigada pode contribuir para a redução da pressão de abertura de novas áreas.

Aumentar as produtividades das culturas agrícolas contribui para o crescimento do produto interno bruto (PIB) e a redução da pobreza. De acordo com Rodrigues et al. (2017), na produção de sequeiro, há maior incerteza quanto ao resultado, a qual fica limitada aos períodos das chuvas, sendo totalmente dependente das variações climáticas. Na agricultura irrigada, por sua vez, as demandas hídricas das culturas são supridas pela

água da chuva e/ou de irrigação. A produção não é influenciada pela incerteza temporal e locacional das chuvas, podendo-se produzir em qualquer época do ano. No entanto, a agricultura irrigada é uma prática agrícola muito mais intensiva e fortemente dependente de energia e de água, assim como demandante de cuidados quanto à manutenção da qualidade dos solos cultivados.

Para que essa atividade seja realizada de maneira eficiente, se faz necessária a utilização de métodos mais eficientes para otimização do uso da água, como sistemas de irrigação mais eficientes. Além disso, é fundamental investir em tecnologias de monitoramento climático e de umidade do solo, assim como em políticas públicas que incentivem o uso sustentável dos recursos hídricos. Dessa forma, a agricultura irrigada poderá continuar a impulsionar a segurança alimentar e o desenvolvimento econômico, sem comprometer os ecossistemas e as reservas de água para a geração futura.

## Considerações finais

As práticas visando à sustentabilidade dos sistemas de produção elencadas, além de apresentarem comprovação técnico-científica e viabilidade econômica, apresentam potencial de ampla utilização por produtores rurais dos diferentes níveis socioeconômicos e de tecnificação.

Neste momento estão contempladas apenas as culturas da soja e do milho, entretanto, para um futuro próximo, está prevista a ampliação do escopo para outras culturas que normalmente integram os sistemas agrícolas em áreas de produção de soja e/ou milho, como sorgo, trigo, girassol e algodão.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Atlas da **Irrigação**: uso na água da agricultura irrigada. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao>. Acesso em: 15 maio 2025.

## Capítulo 5

### Práticas sustentáveis para o binômio soja-milho

- AGUILA, L. S. H. D.; AGUILA, J. S. D.; THEISEN, G. **Perdas na colheita na cultura da soja**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2011. 12 p. (Embrapa Clima Temperado. Comunicado técnico, 271).
- ANASTASIOU, E.; FOUNTAS, S.; VOULGARAKI, M.; PSIROUKIS, V.; KOUTSIARAS, M.; KRIEZI, O.; LAZAROU, E.; VATSANIDOU, A.; FU, L.; DI BARTOLODO, F.; BARREIRO-HURLED, J.; GÓMEZ-BARBERO, M. Precision farming technologies for crop protection: A meta-analysis. **Smart Agricultural Technology**, v. 5, e100323 Oct. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100323>.
- ARZMAN, M.; BARBERI, P.; BIRCH, A. N. E.; BOONEKAMP, P.; DACHBRODT-SAADEH, S.; GRAF, B.; HOMMEL, B.; JENSEN, J. E.; KISS, J.; KUDSK, P.; LAMICHHANE, J. R.; MESSÉAN, A.; MOONEN, A.-C.; RATNADASS, A.; RICCI, P.; SARAH, J.-L.; SATTIN, M. Eight principles of integrated pest management. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 4, p. 1199-1215, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP)**. Brasília, DF, 10 jul. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>. Acesso em: 10 jul. 2025
- CONAB. **Série histórica das safras**. [Brasília, DF], 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/series-historicas>. Acesso em: 4 maio 2025.
- DEBIASI, H.; MONTEIRO, J. E. B. A.; FRANCHINI, J. C.; FARIAS, J. R. B.; CONTE, O.; CUNHA, G. R.; MORAES, M. T.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; MACENA, F. A.; EVANGELISTA, B. A.; MARAFON, A. C. **Níveis de manejo do solo para avaliação de riscos climáticos na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2022. 137 p. (Embrapa Soja. Documentos, 447).
- EMBRAPA. **Síntese ocupação e uso das terras no Brasil**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/car/sintese>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- FAO. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050**. Rome, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/I8429EN/I8429en.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.
- GARCÍA, L.; PARRA, L.; JIMENEZ, J. M.; LLORET, J.; LORENZ, P. IoT-Based Smart Irrigation Systems: an overview on the recent trends on sensors and iot systems for irrigation in precision agriculture. **Sensors**, v. 20, n. 4, p. 1042, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20041042>.
- MONTEIRO, J. E. B. A.; BENDER, F.; BLIKSTAD, N. M. D.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; STEINMETZ, S.; REISSER JUNIOR, C.; FARIAS, J. R. B.; FRANCHINI, J. C.; SANTOS, P. M.; EVANGELISTA, B. A.; CUADRA, S. V.; ANDRADE, C. L. T.; FLUMIGNAN, D. L.; BRAGA, M.; SILVA, F. A. M.; OLIVEIRA, A. F.; MOURA, M. S. B.; VICTORIA, D. C.; ANDRADE, R. G.; CUNHA, G. R. **Gestão de riscos climáticos na agricultura**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2024. 67 p. (Embrapa Agricultura Digital. Documentos, 192).
- NAÇÕES UNIDAS. Department of Economic and Social Affairs. **World Population Prospects 2022**. New York, 2022. Disponível em: [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022\\_summary\\_of\\_results.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf). Acesso em: 30 jul. 2025.
- POSTEL, S. Redesigning irrigated agriculture. In: STARKE, L. (ed.). **State of the World 2000: a Worldwatch Institute Report on progress towards a sustainable society**. New York: WW. Norton & Company, 2000.
- RESENDE, A. V.; SHIRATSUCHI, L. S.; COELHO, A. M.; CORAZZA, E. J.; VILELA, M. F.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; BASSOI, L. H.; NAIME, J. M. Agricultura de precisão no Brasil: avanços e impactos no manejo e na conservação do solo, na sustentabilidade e na segurança alimentar. In: LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; ARAÚJO, A. S. F. de (ed.). **Agricultura conservacionista no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 467-488.
- RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F.; CHRISTOFIDIS, D. Agricultura irrigada e produção sustentável de alimento. In: RODRIGUES, L. N.; DOMINGUES, A. F. (ed.). **Agricultura Irrigada: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Brasília, DF: Inovagri, 2017. p. 21-109.
- UHRY, D. **Avaliação e critério para a utilização de semeadora com sistema de taxa variável de sementes na cultura da soja**. 2013. 141 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.
- ZANDONADI, R. S.; RUFFATO, S. Colheita mecanizada de soja no Mato Grosso: perdas devido ao desempenho das colhedoras e aspectos operacionais. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, e5810514216, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14216>.