

Capítulo 6

Aumento de produtividade e rentabilidade de milho com intensificação tecnológica

Rubens Augusto de Miranda
Emerson Borghi
Décio Karam
Miguel Marques Contijo Neto
Roberto dos Santos Trindade
Álvaro Vilela de Resende
Ivenio Rubens de Oliveira
Sidney Netto Parentoni
Simone Martins Mendes
Jason de Oliveira Duarte

Foto: Riteshman (Pixabay)



Nas três últimas décadas, a produção de milho no Brasil quadruplicou, fato que permitiu ao País superar a marca de 100 milhões de toneladas pela primeira vez. Nesse processo, a produtividade teve um papel mais determinante para o aumento de produção do que os acréscimos de área plantada, porque o aumento da produtividade tem demandado menor quantidade de terra para incrementar a oferta de milho, resultando no efeito que se convencionou chamar de poupa-terra.

- Em 30 anos, a produção aumentou 359%. Essa ampliação acentuada da produção se deve ao acréscimo da produtividade média, que passou de 1.841 kg ha⁻¹ em 1989/1990 para 5.520 kg ha⁻¹ em 2019/2020 (aumento de 200%) e uma maior área plantada, que passou de 12,1 milhões de hectares para 18,5 milhões de hectares (aumento de 53%) no referido período.
- Para se produzir os 102,142 milhões de toneladas de milho colhido em 2019/2020 com a produtividade média vigente em 1989/1990 seriam necessários 55,5 milhões de hectares. Assim, apesar do aumento da área plantada, 18,5 milhões de hectares, foram poupados 37 milhões de hectares pelos ganhos de produtividade.

A adoção e difusão de novas tecnologias e práticas agrícolas impactaram a produtividade ao superar diversos desafios para viabilizar o plantio do milho em sucessão a outras culturas, com destaque para o sistema plantio direto (SPD), avanços na

genética e biotecnologia, a construção de fertilidade do solo e melhorias nos tratamentos culturais para o controle de plantas daninhas, insetos-praga e doenças. A expansão da cultura do milho em sistemas de cultivo, sem a necessidade de abertura de novas áreas, estabeleceu o Brasil como um dos principais produtores mundiais do cereal, e tal ação foi feita respeitando o meio ambiente, otimizando o uso de recursos naturais e contribuindo com as principais políticas públicas e metas conservacionistas hoje vigentes no Brasil e no mundo, com destaque para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Nesse sentido, destacam-se as contribuições para:

- ODS 2 (Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável);
- ODS 13 (Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos); e
- ODS 15 (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade).

Contextualização

A trajetória milenar do milho está profundamente entrelaçada com a história da humanidade. De sua origem no México há 9 mil anos aos dias atuais, o cereal angariou o status de cultura agrícola mais



Foto: Fernando Valicente

importante do mundo. Para justificar tal afirmação, basta olhar o ano agrícola 2019/2020, quando a produção mundial de milho grão totalizou 1,11 bilhão de toneladas (United States, 2020). O cereal é a única cultura agrícola mundial que produz anualmente mais de 1 bilhão de toneladas, marca que só foi possível alcançar por sua importância em diversas cadeias produtivas, da produção de alimentos a combustíveis.

O patamar produtivo atual da cultura do milho foi viabilizado com a adoção de novas tecnologias e práticas agrícolas. Há 60 anos, na safra 1960/1961, o mundo colheu 205 milhões de toneladas de milho grão. Para tanto, o cereal foi cultivado em 105,6 milhões de hectares com uma produtividade média de 1.942 kg ha^{-1} (FAO, 2020). Para se obter a safra mundial de milho em 2019/2020 com o nível tecnológico vigente, no início da década de 1960, seriam necessários mais de

570 milhões de hectares, enquanto nas atuais condições tal produção ocorreu em apenas 192,5 milhões de hectares.

O aumento da produtividade tem demandado menor quantidade de terra para incrementar a oferta de milho ao mercado, resultando no efeito que se convencionou chamar de poupa-terra. Dentre as consequências do efeito poupa-terra, destacam-se a liberação do solo para outras atividades e menor pressão sobre o desmatamento para abertura de novas áreas de produção.

Nos últimos anos, alguns estudos procuraram mensurar o efeito poupa-terra na agropecuária brasileira. Vieira Filho (2016) calculou o efeito na pecuária em 324,7 milhões de hectares no período de 1990 a 2015 e na agricultura em 18,6 milhões de hectares, mas no período mais curto entre 2010 e 2015. Em um maior horizonte de tempo, Martha Júnior et al. (2012) estimaram o efeito poupa-terra

na pecuária em 525 milhões de hectares entre 1950 e 2006. Nesse contexto, o presente documento tem por objetivo discutir o desenvolvimento da cultura do milho no Brasil e as principais contribuições tecnológicas e de práticas agrícolas que proporcionaram a esta cultura estar inserida no contexto para o efeito poupa-terra.

Evolução da produção de milho no Brasil

Historicamente, o milho teve um papel importante na ocupação do território brasileiro. No Brasil colonial, o cereal foi uma das culturas indígenas que evoluiu como atividade de subsistência, durante o ciclo do açúcar, no fornecimento de forragem à pecuária, setor fundamental no

início do povoamento do interior do País (Prado Júnior, 1990). Mais recentemente, nas últimas décadas, o milho adquiriu novo papel na expansão das fronteiras agrícolas, ao ser produzido em sistema no qual o cereal é plantado em sucessão à soja, dando sustentação a produção da oleaginosa.

A Figura 1 ilustra a evolução da produção de milho no Brasil no decorrer do século 20 e início do século 21. Consegue-se visualizar quatro fases da produção de milho no Brasil durante esse período de 120 anos.

Na primeira fase, englobando a República Velha (1889–1930) ao início do Estado Novo (1937–1946), a produção de milho passou por um período de estagnação. A despeito da falta de evolução, a cultura

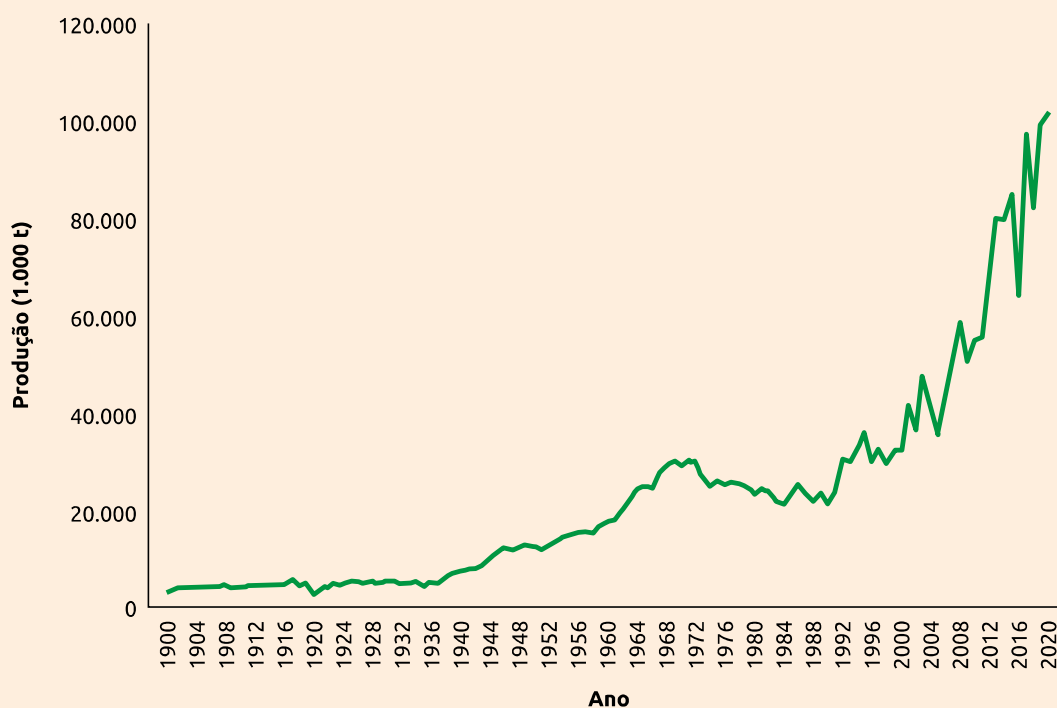


Figura 1. Evolução da produção de milho no Brasil, de 1900 a 2020.

Fonte: Conab (2020c) e Ipeadata (2020).

já demonstrava certa relevância, com safras de grãos superiores a 3 milhões de toneladas, e posicionando o milho como uma das principais culturas agrícolas do País.

A segunda fase é representada pelo primeiro grande ciclo de crescimento da cultura do milho no Brasil. As três décadas que separam o início do Estado Novo a meados do Milagre Econômico (1969–1973), a produção de milho cresceu 500%, passando de 5 milhões de toneladas em 1936/1937 para 30,2 milhões de toneladas em 1970/1971. Esse crescimento da produção brasileira de milho é explicado tanto pelo aumento da área plantada (acréscimo de 172% no período) como pelo aumento da produtividade (acréscimo de 121% no período) decorrente da adoção de novas tecnologias e práticas culturais.

Nesse ciclo de crescimento da produção, é importante destacar a mecanização, a tecnologia de sementes e a chamada Revolução Verde. No período, o número de tratores nos estabelecimentos agropecuários brasileiros aumentou consideravelmente, saltando de 3.380 unidades em 1940 para 165.870 unidades em 1970, acréscimo de 4.807% (IBGE, 2018). O avanço da tecnologia de sementes pode ser ilustrado pelo lançamento do primeiro milho híbrido comercial do Brasil, pela Agrocere, em 1945. Nas décadas seguintes, a tecnologia de sementes híbridas iria se tornar padrão e constituiu um elemento fundamental do desenvolvimento da cultura no País. A disseminação de novas práticas agrícolas e o uso intensivo de insumos no escopo da

Revolução Verde, nas décadas de 1960 e 1970, impactou consideravelmente não apenas a produção agrícola brasileira, mas a produção mundial de forma geral.

Após o pico de produção no início da década de 1970, a cultura do milho no País passou por um período de retração e só voltaria a superar a marca de 30 milhões na safra 1991/1992. A terceira fase é representada pela redução sistemática da produção brasileira de milho até meados da década de 1980. A principal razão dessa retração é a ascensão da soja, que passou a ocupar áreas do cereal na região Sul, então celeiro da produção de grãos do País. A competição com a soja pelo plantio no verão, durante o período chuvoso e quente, inicialmente estagnou a área plantada e a produtividade do milho, ao empurrar o cereal para áreas marginais, mas engendrou a grande revolução da produção do cereal nas últimas 3 décadas, alterando a geografia e época de plantio da cultura (Miranda, 2020).

Ao final da década de 1980, começou a ganhar relevância o milho plantado extemporaneamente, em fevereiro ou março, quase sempre em sucessão à soja. Esse milho de inverno, ou segunda safra, passou a ser popularmente conhecido como milho safrinha. Nas décadas seguintes, a produção do milho safrinha cresceu consideravelmente, a ponto de relegar o milho de verão (semeado durante a primavera/verão) a um segundo plano. Na safra 2019/2020, a primeira safra (verão) de milho respondeu por apenas 25,1% da produção total recorde de 102,1 milhões de toneladas (Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos, 2020). A safrinha de

milho é a grande marca desse segundo ciclo de crescimento da cultura, ao mudar a lógica e a estrutura da produção do cereal no Brasil.

A Figura 2 ilustra a trajetória de produção do milho na primeira e segunda safra nos últimos 30 anos. É possível visualizar que o cultivo no verão permaneceu estagnado, até mesmo com redução nos últimos anos, e é o milho safrinha que explica o crescimento da produção do cereal no País.

A soja não apenas induziu a mudança temporal de plantio da maior parte da produção de milho no País, mas também alterou a geografia da cultura. Na esteira do avanço da soja na fronteira agrícola, principalmente no Centro-Oeste, o milho

veio na sequência. A Figura 3 demonstra a evolução da produção de milho no País por região. Constata-se a evolução na região Centro-Oeste, tornando-se a principal região produtora de milho do País, com destaque para o estado do Mato Grosso substituindo o Paraná como grande estado produtor. Na safra 2019/2020, o Mato Grosso respondeu por 33,3% da produção de milho no País, com 34 milhões de toneladas colhidas, quantidade quase três vezes superior à colheita paranaense. No Centro-Oeste, o milho é produzido predominantemente em sucessão à soja, garantindo maior rentabilidade ao produtor, além também de proporcionar a sustentabilidade do sistema plantio direto (SPD) no bioma Cerrado.

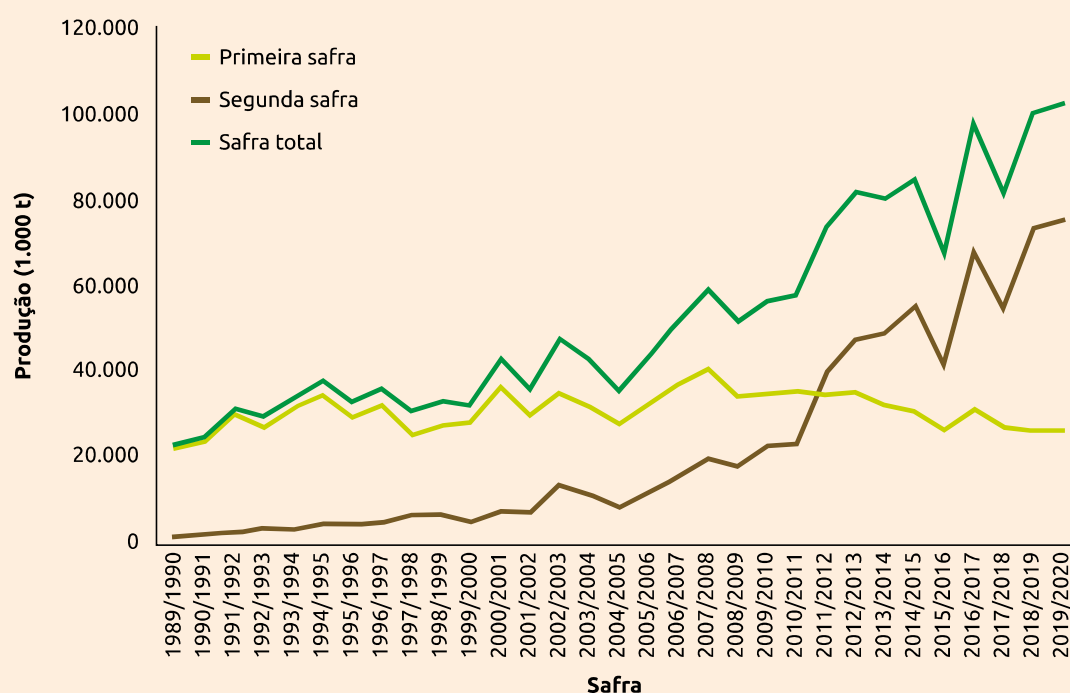


Figura 2. Evolução da produção na primeira e segunda safra de milho no Brasil, 1989/1990 a 2019/2020.

Fonte: Conab (2020a, 2020b, 2020c).

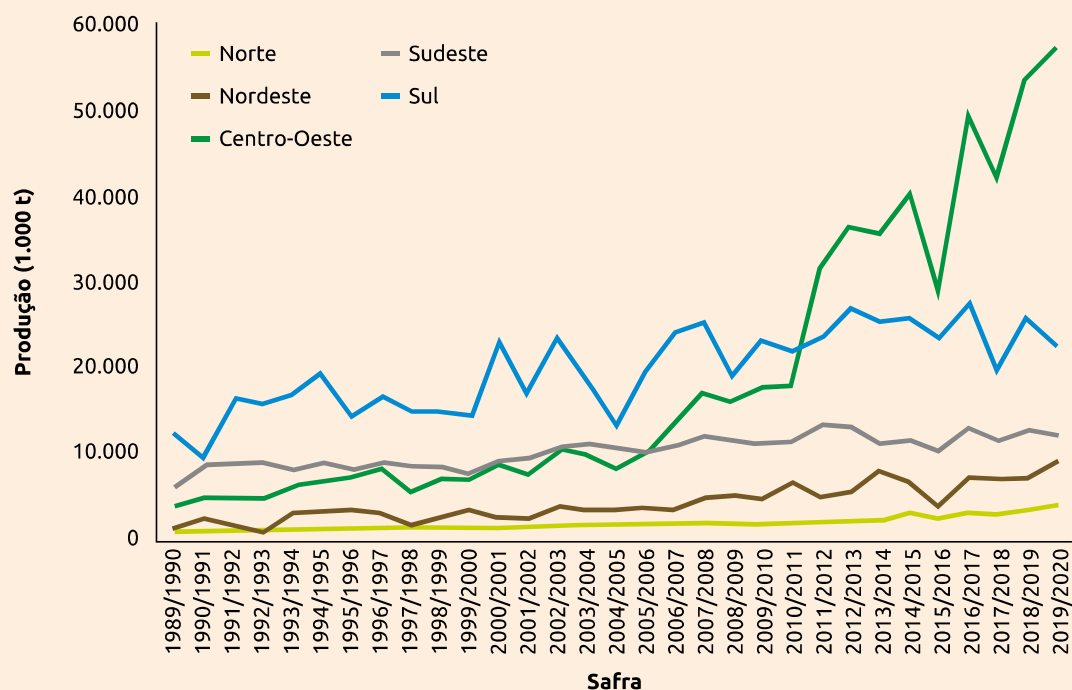


Figura 3. Evolução da produção brasileira de milho por região, 1989/1990 a 2019/2020.

Fonte: Conab (2020a, 2020b, 2020c).

As contribuições tecnológicas para o efeito poupa-terra

Segundo os dados da Companhia Nacional de Abastecimento – Conab (2020a, 2020b, 2020c), entre as safras 1989/1990 e 2019/2020, a produção de milho no Brasil passou de 22.258 mil toneladas para 102.142 mil toneladas (Figura 2). Em 30 anos, a produção aumentou 359%. Essa ampliação acentuada da produção se deve ao acréscimo da produtividade média, que passou de 1.841 kg ha⁻¹ em 1989/1990 para 5.520 kg ha⁻¹ em 2019/2020 (aumento de 200%) e uma maior área plantada, que passou de 12,1 milhões de hectares para 18,5 milhões de hectares (aumento de 53%) no referido período.

Para se produzir os 102,142 milhões de toneladas de milho colhido em 2019/2020 com a produtividade média vigente em 1989/1990 seriam necessários 55,5 milhões de hectares. Em decorrência do aumento de produtividade, foi possível produzir o montante da safra 2019/2020 em 18,5 milhões de hectares, em sucessão à soja. Assim, apesar do aumento da área plantada, foram poupados 37 milhões de hectares pelos ganhos de produtividade.

O aumento da área plantada de milho não significou uma necessidade de mais terras, pois a segunda safra de milho em rotação com a soja impulsionou a intensificação do uso do solo. Em 1989/1990, a área plantada total com milho grão, 12,1 milhões de hectares, era predominantemente de cultivo no verão, 95,7%



do total, com muitas áreas subutilizadas no inverno, após a colheita. Na safra 2019/2020, o milho grão no verão foi cultivado em apenas 4,2 milhões de hectares, sendo os demais 14,3 milhões de hectares plantados na segunda ou mesmo na terceira safra em sucessão a outras culturas. Fica evidente que, analisando os dados históricos, o crescimento significativo da produção de milho no Brasil foi evidenciado pela tecnologia disponível aos produtores brasileiros, aumentando a oferta de soja e milho na mesma área cultivada. Nos últimos 30 anos, a produção de milho grão quase quintuplicou, e a área de milho verão diminuiu dois terços. Nesse sentido, um efeito poupa-terra

ocorreu via intensificação do uso do solo pela viabilização do cultivo soja-milho.

Essa particularidade da cultura do milho em poder ser cultivada em diferentes épocas do ano de forma economicamente viável, resultando em múltiplas safras, confere um dinamismo adicional à cultura em termos de efeito poupa-terra, pois ele não é explicado somente pela produtividade. Ao longo das últimas décadas, a adoção e difusão de novas tecnologias e práticas agrícolas impactaram a produtividade e viabilizaram o plantio do milho em sucessão a outras culturas, em especial a soja, resultando no efeito poupa-terra, dentre os quais destacam-se o SPD, a genética e biotecnologia, a

construção de fertilidade do solo e os avanços nos tratamentos culturais para o controle de plantas daninhas, insetos-praga e doenças.

Sistema Plantio Direto

Entre as práticas conservacionistas que conciliam produtividade e conservação de recursos naturais, o SPD é adotado em aproximadamente 35 milhões de hectares no Brasil (Federação Brasileira de Plantio Direto e Irrigação, 2020). Para as condições tropicais, esse sistema de cultivo baseia-se em três princípios agrícolas: não revolvimento do solo com implementos agrícolas, cobertura do solo com resíduos vegetais (palha) o maior período de tempo possível, e rotação de culturas (Blanco-Canqui; Ruis, 2018). Entre as culturas agrícolas que garantem a versatilidade do SPD nos diferentes biomas brasileiros, o milho é considerado estratégico para a sustentabilidade dessa técnica, uma vez que apresenta características importantes como a ampla adaptabilidade e estabilidade produtiva mesmo em cultivos outonais, pois permite finalidades múltiplas para cultivos em rotação ou sucessão à soja e, ainda, é consorciado com outras espécies vegetais como nas modalidades de cultivos em integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (Borghiet al., 2013).

A escolha do milho para compor um sistema de rotação de culturas para o SPD se deve a muitas razões. Pertencente à família Poaceae, o milho tem grande capacidade de produção de palha, acima de 13 t ha⁻¹ (Resende et al., 2016) e de alta relação carbono/nitrogênio, o que

lhe confere uma decomposição lenta na superfície do solo. Em muitas regiões produtoras, essa palha sobre o solo permanece até o cultivo da soja do ano agrícola seguinte, diminuindo a presença de plantas daninhas e reduzindo a perda de solo pelo processo erosivo provocado pela chuva. Além disso, as raízes de milho, que ocupam grande volume em profundidade no solo, formam canais naturais que permitem maior infiltração de água e, por meio de sua decomposição, aumentam a ação de microrganismos benéficos, proporcionando melhorias das condições físicas, químicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, aumentando progressivamente a produtividade das culturas ao longo do tempo de adoção do SPD (Borghiet al., 2019).

No Brasil Central, o milho semeado após a soja (cultivo conhecido como milho safrinha) garante o avanço do SPD em muitos estados brasileiros. O cultivo soja/milho safrinha foi estabelecido graças aos avanços tecnológicos nas duas culturas, permitindo reduzir o ciclo da soja e, na sequência, garantir o plantio do milho em SPD. Kappes (2013) relatou que o melhoramento da soja ao longo das últimas décadas, buscando a precocidade aliada ao hábito de crescimento indeterminado na soja, provocou, também, uma antecipação na época de semeadura da soja em quase 50 dias, quando comparada à época de 1985/1990. Em 30 anos, graças aos avanços tecnológicos para essas duas culturas, a área cultivada de milho safrinha saltou de 256 mil hectares na safra 1989/1990 para 13,73 milhões de hectares na safra

2019/2020. Com pesquisas adaptativas nas regiões produtoras, técnicos capacitados e o produtor empregando as melhores práticas agrícolas visando potencializar a produção e otimizar os recursos naturais disponíveis, a produtividade de milho safrinha, considerando essa mesma série histórica, passou de 966 kg ha⁻¹ em 1989/1990 para 5.454 kg ha⁻¹ em 2019/2020.

De acordo com Contini et al. (2019), o milho cultivado em rotação, sucessão e consórcio, graças à ampla plasticidade e adaptabilidade dos cultivares disponíveis no mercado, apresenta produtividades na safrinha iguais ou superiores à época de cultivo no verão. Graças a essa amplitude de possibilidades, o milho safrinha representa a viabilidade econômica para adoção do SPD pelos produtores brasileiros (Miranda et al., 2011). Dados de área cultivada que compõem o relatório de acompanhamento de safra elaborado pela Conab, em agosto de 2020, demonstram que 37% da área cultivada de soja no Brasil recebeu o milho na sequência. A região Centro-Oeste adota esse sistema de cultivo em maior proporção (54%), e os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul são os maiores produtores dessa sequência soja/milho em SPD, representando,

respectivamente, 54% e 61% da área de soja da safra 2019/2020. Outros estados, como São Paulo, Rondônia e Tocantins, que vêm aumentando a área cultivada com soja nos últimos anos, também adotam o milho na sequência, consolidando o aumento expressivo de área do SPD no Brasil pelo o binômio soja/milho. Nestes estados, esse cultivo sequenciado já representa 48%, 58% e 23% da área cultivada com soja, respectivamente (Tabela 1).

A Tabela 2 demonstra uma análise da área cultivada e da produtividade das duas culturas na última década, também a partir dos dados da Conab (2020c, 2020d). Nesse período, enquanto a área cultivada com soja cresceu 163%

Tabela 1. Área cultivada de soja e de milho segunda safra nos principais estados produtores dessas culturas no Brasil, na safra 2019/2020.

Região/UF	Área cultivada (mil hectares)		
	Soja (a)	Milho segunda safra (b)	b/a
Brasil	36.949,0	13.735,8	37%
Centro-Oeste	16.640,1	8.926,2	54%
Mato Grosso	10.004,1	5.414,4	54%
Mato Grosso do Sul	3.016,4	1.840,0	61%
Goiás	3.545,1	1.633,7	46%
Distrito Federal	74,5	38,1	51%
Sul	12.085,1	2.259,2	19%
Paraná	5.502,7	2.259,2	41%
Sudeste	2.757,1	973,6	35%
Minas Gerais	1.647,3	442,8	27%
São Paulo	1.109,8	530,8	48%
Norte	2.110,0	531,2	25%
Rondônia	348,4	186,0	53%
Tocantins	1.078,0	240,7	22%
Pará	607,4	101,1	17%

Fonte: Conab (2020c, 2020d).

Tabela 2. Evolução de área (milhões de hectares), de produtividade (kg ha^{-1}) e percentual de crescimento das culturas da soja e do milho safrinha entre os anos agrícolas 2009/2010 a 2019/2020.

	Área	Produtividade (kg ha^{-1})
Soja		
2009/2010	18,1	2.671
2019/2020	29,5	3.466
Crescimento (%)	163	130
Milho		
2009/2010	4,9	13,7
2019/2020	4.164	5.454
Crescimento (%)	280	130

Fonte: Dados obtidos da série histórica disponível pela Conab, Acompanhamento da Safra Brasileira [de] Grãos (2020).

(incremento de 11,5 milhões de hectares na área cultivada), o milho safrinha aumentou em maior proporção de área cultivada (280%), porém, somente em 8,8 milhões de hectares. A produtividade das culturas, considerando essa mesma série de dados, cresceu de forma homogênea, 130% para ambas. Assim, é possível inferir que a área cultivada com milho safrinha expandiu em maior proporção considerando a última década, porém, esse aumento foi proveniente do avanço no cultivo da soja. Embora a expansão da leguminosa esteja em maior evolução pela possibilidade de cultivo sob áreas de pastagens degradadas no bioma Cerrado, o cultivo do milho no outono/inverno, semeado imediatamente (ou simultaneamente) à colheita da soja, consolidou a intensificação produtiva no Cerrado com essas culturas, resultando no aumento no volume de milho produzido em 52,9 milhões de

toneladas, graças à rotação soja/milho em SPD.

Como política pública, o SPD faz parte do Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC). Desde 2011, o Plano ABC incentiva produtores para adesão de tecnologias produtivas sustentáveis e comprovadamente eficientes na mitigação dos gases de efeito estufa. De acordo com a nota informativa elaborada em 2018 pela Coordenação de Agropecuária Conservacionista, Florestas Plantadas e Mudanças Climáticas sobre a adoção e mitigação de gases de efeito estufa pelas tecnologias do Plano ABC, foi demonstrado que, entre 2010 e 2016, o SPD expandiu em 9,97 milhões de hectares, correspondendo a 125% da meta proposta pelo governo para aumento da área cultivada com essa tecnologia no País até 2020 (8 milhões de hectares). Nesse mesmo período, de acordo com a série histórica da Conab, a área de milho safrinha aumentou 5,29 milhões de hectares, acompanhando o avanço da soja. Assim, considerando os dados do relatório e a área expandida de cultivo de milho safrinha no período de 2010 a 2016, pode-se observar que, com a tecnologia do SPD por meio do cultivo do milho semeado após a soja, esse sistema de rotação pode ter contribuído com 53% da meta proposta na política nacional do Plano ABC.

Considerando o potencial de mitigação anual proposto no Plano ABC para o SPD ($1,83 \text{ Mg CO}_2 \text{ equivalente ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Plano..., 2012) e o período de 2010 a 2016,



Foto: Gisele Rosso

o SPD foi responsável pela mitigação de 18,25 milhões Mg CO₂ equivalente, e, deste total, o cultivo do milho safrinha contribuiu com 9,6 milhões Mg CO₂ equivalente¹.

O milho é a segunda cultura produtora de grãos no Brasil, atrás apenas da soja. Assim, com a possibilidade de cultivo em safrinha, a rotação soja/milho safrinha aumentou o rendimento econômico do produtor na mesma área, tornando este sistema sustentável. De acordo com

Borghi et al. (2019), fatores como os descritos acima tornam o milho indispensável para a intensificação sustentável da agricultura brasileira, possibilitando aumentar a oferta de alimentos em áreas já ocupadas pela agricultura, com sistemas produtivos cada vez mais intensivos, resilientes e otimizando o uso dos recursos naturais disponíveis (Resende et al., 2019).

Contribuições da intensificação tecnológica da cultura do milho nas áreas de genética e biotecnologia para o efeito poupa-terra

Para atender a demanda mundial por alimentos e biocombustíveis nas próximas décadas, será necessário duplicar os rendimentos de culturas como milho, arroz,

¹ O cálculo efetuado, neste documento, refere-se apenas a uma estimativa, com o objetivo de evidenciar uma contribuição pelo cultivo do milho safrinha, tendo como referência o valor de mitigação proposto pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) para o SPD. Para maior assertividade sobre a contribuição do milho safrinha, novos estudos devem ser conduzidos para conhecer o valor real de mitigação, considerando exclusivamente o sistema soja/milho.

trigo e soja (Ronald, 2011; Alexandratos; Bruinsma, 2012; FAO, 2012). Os aumentos de produtividade de milho no mundo ocorrem a uma taxa de 1,6% ao ano, e é necessário que essa taxa se eleve a 2,4% para garantir as demandas globais previstas para 2050 (Ray et al., 2013).

Estudos para avaliar os ganhos em produtividade obtidos para a cultura do milho nos EUA nos últimos 50 anos indicaram que 48% desses ganhos foram por causa do melhoramento genético e 52% por mudança nas práticas de manejo da cultura (Duvick, 2005). Esses estudos mostraram, ainda, que o ganho em produtividade na cultura do milho foi em razão, principalmente, da melhoria de características que promove maior eficiência na produção de grãos e maior resistência aos estresses bióticos e abióticos.

O progresso genético obtido pelo melhoramento de milho no Brasil foi estudado por Von Pinho et al. (2016). Verificou-se que entre 1976 e 2015 a produtividade de grãos da cultura aumentou 2,3 vezes (de 1.632 kg ha⁻¹ para 5.396 kg ha⁻¹) e que esse aumento em produtividade foi o maior responsável para que a produção nacional passasse de 19,3 milhões de toneladas para 84,3 milhões de toneladas nesse período. Um dos principais fatores para explicar esse aumento em produtividade do milho no Brasil foi a disponibilização de novos híbridos mais produtivos em conjunto com os ajustes realizados no sistema de produção. Oliveira (2013) compilou dados de produtividade oriundos de propriedades consideradas de médio a alto investimento, observando uma elevação da produtividade de 120 sacas ha⁻¹

em 1976 para 185 sacas ha⁻¹ em 2009, com um ganho médio de 2 sacas ha⁻¹ ano⁻¹. Essas mudanças decorreram de estratégias de substituição de cultivares no Brasil, passando de híbridos duplos na década de 1970, para híbridos triplos nas décadas de 1980 e 1990. A partir de 2000, predominam no País os híbridos simples e transgênicos que permitem a máxima expressão da heterose. Esta última característica é definida como o aumento em produção ou vigor nas progênies a partir do inter cruzamento entre indivíduos contrastantes, possibilitando obter cultivares mais produtivas, resistentes a estresses e de manejo facilitado (Shull, 1908; Hallauer; Carena, 2009; Tang et al., 2010).

Cabe destacar, no Brasil, o grande impacto das mudanças em programas de melhoramento de milho decorrentes do advento da produção de milho segunda safra, conhecido como milho safrinha, implantado principalmente numa mesma área em sucessão às lavouras de soja. Figueiredo et al. (2015) relatam os efeitos da interação genótipo x ambiente quando os mesmos híbridos eram utilizados em condições de primeira safra e de safrinha. O melhoramento genético direcionado para seleção de cultivares de milho para a segunda safra tem focado em características como maior precocidade (ciclo mais curto permite que a cultura aproveite o final da estação chuvosa após a colheita da soja), *dry down* (secagem rápida que permite antecipar a colheita), *stay green* (planta continua verde e fotossintetizando enquanto os grãos secam), maior tolerância a acamamento e quebramento (para permitir colheita

mecânica) e maior resistência a doenças. Isso permitiu que os novos híbridos para cultivo em segunda safra mostrassem maior adaptabilidade (produzir bem em diferentes regiões) e estabilidade de produção (menores variações na produção em diferentes épocas e anos).

Dentre as tecnologias que permitiram uma maior intensificação da produção de milho no País está a adoção da transgenia. O uso de lavouras com resistência ao glifosato possibilitou o controle de plantas daninhas em grandes áreas com um aumento na janela de aplicação do herbicida na cultura, permitindo realizar-se a dessecação da área antes do plantio. A segunda grande intervenção tecnológica da biotecnologia em milho foi o controle de insetos que, associado ao manejo integrado de pragas, foi fator fundamental para a obtenção de melhores resultados.

Com a liberação dos primeiros eventos transgênicos para a cultura do milho no País a partir do ano de 2007, a dinâmica na cadeia produtiva se alterou a tal ponto

que, na safra 2018/2019, cerca de 90% da área cultivada de milho correspondeu a cultivares geneticamente modificadas (Isaaa, 2018). De 166 cultivares de milho disponíveis para comercialização na safra 2018/2019, 123 eram portadoras de eventos transgênicos (Pereira Filho; Borghi, 2020). Esses dados atestam a aceitação dessa tecnologia por parte do agricultor e a resposta do mercado de sementes a essa demanda.

Estudo de 2018, conduzido pela Agroconsult e o Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB), intitulado *Impactos econômicos e socioambientais da tecnologia de resistência a insetos no Brasil: análise histórica, perspectivas e desafios futuros* (Impactos..., 2018), analisou o impacto econômico da adoção da transgenia nas culturas de soja, milho e algodão no período de 2010 a 2018. A receita adicional das três culturas somadas foi de R\$ 25,1 bilhões. Esse resultado é oriundo de uma produção adicional com o uso da tecnologia organismo geneticamente modificado (OGM) de controle de insetos



da ordem de 55,4 milhões de toneladas de grãos, sendo 4,55 milhões de toneladas de soja, 50,8 milhões de toneladas de milho e 46 mil toneladas de algodão. Em relação a custos, constatou-se a ocorrência de um investimento adicional de R\$ 3,6 bilhões, com os gastos em sementes transgênicas, superando a economia com a redução de defensivos. Isso resultou em R\$ 21,5 bilhões de lucros agregados e R\$ 17,5 bilhões em relação ao milho. O estudo ressalta ainda que parte expressiva dos benefícios atribuídos à tecnologia de resistência a insetos pode ser analisada sob o ponto de vista ambiental. De acordo com as estimativas, houve uma retirada de 2,6 milhões de toneladas de CO₂ equivalente da atmosfera, com a redução de 112 mil toneladas de inseticida, 144 milhões de litros de combustível e redução de área plantada no período de 2013 a 2018. Ademais, o estudo da Agroconsult/CIB (Impactos..., 2018) é uma projeção até 2027/2028, mensurando benefícios agregados da ordem de 107,1 milhões de toneladas, R\$ 70,5 bilhões em faturamento, redução total dos custos em R\$ 15,8 bilhões e R\$ 86,3 bilhões em lucros totais. Essas informações desagregadas para a cultura do milho foram estimadas em 86,1 milhões de toneladas, R\$ 40,4 bilhões em faturamento, redução total dos custos em R\$ 3,2 bilhões e R\$ 86,3 bilhões em lucros totais. Em termos de tecnologias portadoras de futuro para avanço da genética de milho no Brasil, percebe-se cada vez mais a importância de tecnologias como:

- Introgressão de germoplasma elite, principalmente de origem temperada em combinação com material tropical,

visando aumentar os efeitos de heterose para ganhos genéticos na cultura.

- Aplicação de fenotipagem em larga escala, como uso de drones e câmeras hiperespectrais para avaliação do desenvolvimento de cultivos.
- Aplicação de estratégias para relacionar de forma mais fidedigna o fenótipo com o genótipo, o que inclui o uso de técnicas para genotipagem e/ou sequenciamento de genomas.
- Busca de estratégias que possibilitem a redução do tempo para desenvolvimento de novas cultivares, como aumento dos ciclos/ano de avaliação/avanço de cultivares, a seleção assistida para acelerar a introgressão de caracteres, o uso de tecnologia de duplo-hápidos, e o resgate de embrião dentre outras estratégias.
- Uso de transgenia e/ou edição de genomas para obtenção de cultivares com características de interesse de forma mais direcionada e assertiva.

Fertilidade do solo e sua relação com a intensificação sustentável da cultura do milho

A maior parte da superfície agricultável do Brasil é composta por solos muito intemperizados, oxidicos e naturalmente desprovidos de reservas abundantes de nutrientes. Por isso, a construção química da fertilidade constitui a etapa inicial e a base indispensável para que a intensificação de uso das terras seja bem sucedida. Como resultado de pesquisas iniciadas há mais de 50 anos, já estão

bem estabelecidas e razoavelmente disseminadas as práticas envolvendo a utilização de corretivos e fertilizantes para que solos ácidos e nutricionalmente deficitários possam se tornar aptos a suportar atividades de produção agropecuária rentáveis.

Onde a terra é cultivada de forma tecnicizada, com lavouras há mais tempo, o efeito residual das adubações sucessivas promove o incremento gradual das reservas de nutrientes no sistema. Como consequência desse processo, consolida-se uma tendência de aumento de áreas em que a disponibilidade atual de nutrientes já se encontra acima dos níveis críticos, caracterizando os solos de fertilidade construída. Para as lavouras nessa condição, emergem oportunidades de uso mais racional de fertilizantes, sem perda de rendimento das culturas, mantendo a fertilidade do solo e aumentando a rentabilidade ao produtor (Resende et al., 2019).

A consolidação do uso de sistemas conservacionistas de manejo, como o SPD com diversificação de espécies, é outro fator que tem favorecido a melhoria da fertilidade. Essa vantagem decorre da prevenção de perdas por processos erosivos e por indisponibilização de nutrientes, mas, sobretudo, pela conservação da matéria orgânica do solo, incrementando o potencial produtivo das lavouras e, por consequência, o efeito poupa-terra. Dados da Embrapa Cerrados comprovaram que o SPD consolidado possibilita produtividade de milho 6% maior que no sistema de preparo convencional do solo (Sousa et al., 2016). Conforme o histórico de

manejo cultural e de adubações, é possível produzir satisfatoriamente com ajustes para redução das doses de fertilizantes nas adubações de manutenção, a exemplo dos adubos fosfatados, cujas taxas de aproveitamento podem aproximar-se de 100% no SPD (Sousa et al., 2016), condição de eficiência muito superior às reportadas até então.

Historicamente, o desempenho da agricultura brasileira tem mantido estreita e direta relação com a utilização de adubos. Ao longo das últimas 5 décadas, a produção e a produtividade das principais culturas vêm aumentando, em paralelo com o crescimento no consumo de fertilizantes. Entre 2000 e 2015, o uso de fertilizantes cresceu 87%, convergindo no significativo aumento de 150% na produção de grãos, no mesmo período (Embrapa, 2018). Ao constituir um dos fatores que promovem a elevação do rendimento por área, a adubação tem contribuído para reduzir a pressão de abertura de novas terras para uso agrícola no País (Lopes; Guilherme, 2007). Portanto, como a expansão de área cultivada vem ocorrendo em proporção bem menor do que os acréscimos na demanda de fertilizantes, fica claro que esse investimento na manutenção da fertilidade dos solos é uma das tecnologias de produção agropecuária que contribuem para o efeito poupa-terra no Brasil.

O milho ocupa a segunda posição em área cultivada, após a soja, e o consumo de nutrientes nessas duas culturas corresponde a mais de 50% dos fertilizantes aplicados aos solos brasileiros atualmente. Na esteira dos avanços tecnológicos,

as estatísticas do uso de fertilizantes no Brasil confirmam que a cultura do milho evoluiu quanto à eficiência produtiva, em que os crescentes ganhos de rendimento por área ocorreram paralelamente a uma menor dependência de fornecimento de nutrientes.

Comparando as entregas de fertilizantes NPK no ano de 2008 com a média dos anos de 2013 a 2016, verifica-se um aumento de cerca de 27% no consumo global da cultura no período (Figura 4). Já a correspondente quantidade aplicada por hectare de milho cultivado teve um incremento menor, de 17%, enquanto a relação de consumo de NPK para cada tonelada de grãos produzida apresentou decréscimo de 13% no mesmo período (Figura 5). Portanto, esses indicadores reforçam a percepção de que a crescente produção de milho ao longo da série histórica se concretizou, muito mais pelos

ganhos de eficiência produtiva decorrentes do desenvolvimento e aplicação das tecnologias de cultivo, do que pelo aumento da área plantada.

Tratos culturais

O manejo de plantas daninhas

As plantas daninhas deveriam ser consideradas o principal problema para a agricultura mundial, uma vez que a organização ambiental da Nova Zelândia (*Land Care of New Zealand*) estima as perdas mundiais ocasionadas pelas plantas daninhas na ordem de 95 bilhões de dólares por ano, e 78% deste valor é perdido nos países em desenvolvimento (FAO, 2009). As perdas estimadas pelas plantas daninhas, em porcentagem de redução do rendimento, estão entre 5% e 10% em países desenvolvidos e de 20% a 30% em



Figura 4. Evolução do consumo global de fertilizantes NPK na cultura do milho no Brasil, no período de 2008 a 2016.

Fonte: Adaptado de Cunha et al. (2010, 2014, 2018).

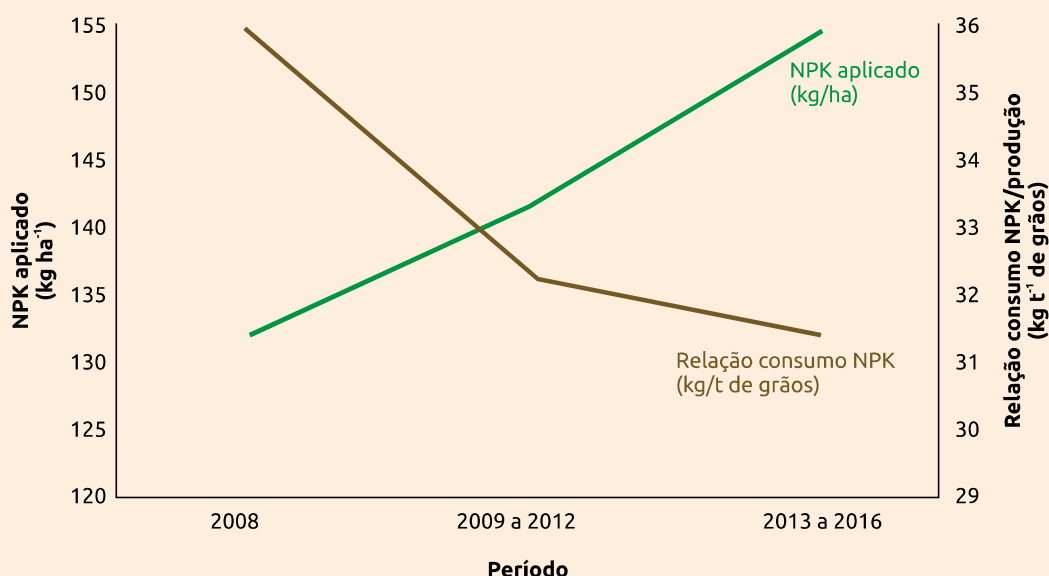


Figura 5. Evolução da taxa de aplicação de NPK por hectare e da relação consumo de fertilizante/produção de grãos na cultura do milho no Brasil, no período de 2008 a 2016.

Fonte: Adaptado de Cunha et al. (2010, 2014, 2018).

países em desenvolvimento (FAO, 2006). Já para Oerke (2006), o potencial de perda por plantas daninhas é de 34%, enquanto a perda média atual está na casa de 10%, isto em razão do uso de tecnologias para o controle dessas plantas. Considerando a perda de 10% como certa, pode-se dizer que, nas últimas três safras, o Brasil pode ter deixado de colher mais de 50 milhões de toneladas de grãos em função da presença de plantas daninhas no campo. Contudo, no cenário mais otimista, considerando que as perdas nacionais estão entre as mais baixas no mundo, o Brasil deixou de produzir por volta de 12 milhões de toneladas de grãos na safra 2019/2020.

As reduções na produtividade do milho pelo efeito das plantas daninhas foram

estimadas mundialmente, em 2001 a 2003, entre 5% e 19%, sendo o menor valor encontrado na Europa e o maior índice encontrado na África. Entretanto, o potencial médio de perda pode chegar a 40% (Oerke, 2006).

O efeito ocasionado pelas plantas daninhas pode ser classificado de duas maneiras:

- 1) Direto, ocasionado pela interferência no quantitativo da redução da produtividade
- 2) Indireto, em que ocorre a depreciação da qualidade dos grãos colhidos no momento da comercialização.

Com a introdução de tecnologias que propiciaram o agricultor manejar as plantas daninhas de maneira mais

econômica e prática, cita-se a introgressão de genes tolerantes a plantas daninhas. Atualmente, a eficácia do manejo de plantas daninhas por meio da aplicação de boas práticas agrícolas tem reduzido os custos de produção no sistema soja/milho sem degradação do meio ambiente, embora possam ser vistos casos pontuais de infestação de plantas daninhas de difícil controle e da presença de espécie que apresenta resistência a herbicidas.

Tecnologias como o uso de herbicidas na dessecação de plantas, sejam elas daninhas ou de cobertura, visando à implantação do SPD, contribuíram com o sucesso da rotação e/ou sucessão de culturas, beneficiando assim os produtores e o meio ambiente. Isso propiciou a não abertura de novas áreas para o cultivo de milho. A rotação soja/milho ocupa 74% da área de milho no Brasil, o que só foi possível com uso de tecnologias, em especial, o manejo de plantas daninhas.

Manejo integrado de pragas

Quando se usa corretamente as tecnologias para o manejo integrado de pragas (MIP) do milho, observamos o efeito poupa-terra a partir da manutenção dos ganhos em produtividade alcançados nas últimas décadas, incluindo diferentes tecnologias nas mais diversas áreas, a exemplo da genética (milho *Bt*). O controle de pragas é uma questão crucial na produção, pois, se não for bem conduzido e utilizar os métodos corretos, pode causar perda de boa parte dos investimentos financeiros na lavoura, o que interferirá

diretamente no retorno financeiro almejado pelos produtores. Em casos extremos, o custo para o controle torna-se inviável levando ao abandono de lavouras, o que, por si só, pode representar um aumento no foco de pragas para toda a região onde tal situação ocorrer.

Não é possível ignorar o fato de que, no Brasil, a principal safra de milho é a segunda (safrinha), a qual ocorre em períodos do ano com maiores riscos climáticos, como o estresse hídrico. Essas condições climáticas favorecem a ocorrência de pragas importantes que têm causado grandes prejuízos, como a cigarrinha-do-milho (*Dalbulus maidis*), inseto-vetor de patógenos responsáveis pelo enfezamento do milho, cujas perdas podem representar 80% da safra dependendo do clima e da cultivar utilizada. Outro inseto importante na cultura da segunda safra é o percevejo barriga-verde (*Diceraeus ssp.*), sobretudo para lavouras de milho cultivadas após a soja, onde esse inseto também é praga. Esse inseto reduz o potencial produtivo da lavoura quando seu ataque ocorre na fase inicial do cultivo, pois suga a seiva da planta nova, introduz toxinas que causam o sintoma conhecido como encharutamento da planta, que fica suprimida na lavoura. Já a lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) ocorre em todas as regiões onde se cultiva milho no País, na primeira e na segunda safra. Suas injúrias causam danos econômicos desde a germinação da lavoura e grandes infestações podem reduzir o estande final de plantas na lavoura e ainda ser porta de entrada para fungos e micotoxinas, que também trazem prejuízos. No entanto, o maior problema causado pelo



Foto: Fábio Gomes da Silva

ataque da lagarta-do-cartucho é mesmo na fase vegetativa, em que causa desfolhas nas lavouras e reduz o potencial produtivo. Esses insetos-praga têm sido manejados tanto com o uso de tecnologias transgênicas *Bt* incorporadas às cultivares (voltada principalmente para o controle de lagartas como a *Spodoptera*), quanto pelo uso de inseticidas químicos, muito embora nos últimos anos tenha sido crescente a adoção de inseticidas biológicos.

Em 2020, a área cultivada com milhos transgênicos representou 93% da área total cultivada com o cereal (Galvão, 2019; Conab, 2020c). Pereira Filho e Borghi (2020) identificaram 196 novas cultivares de milho para diferentes finalidades e

regiões de cultivo; desse total, 131 apresentam tecnologias transgênicas. Esse grande percentual de adoção da tecnologia deve-se, sobretudo, às vantagens de utilização. Em um estudo de impacto global do uso de plantas geneticamente modificadas, entre 1996 e 2005, sobre os ganhos econômicos dos agricultores, foi demonstrado que houve ganhos econômicos significativos para o agricultor, com um total acumulado favorável de 27 bilhões de dólares, comparado ao que seria ganho se a tecnologia *Bt* não fosse adotada (Brookes; Barfoot, 2006). Além dos ganhos econômicos, tem-se a redução na aplicação de inseticidas, principalmente daqueles de amplo espectro (Munkvold et al., 1999; Dowd et al., 2000; Giles et al., 2000; Huang et al., 2002; Colli,

2011). No Brasil, além dos benefícios supracitados, a facilidade nos tratos culturais e a melhoria da logística no campo são citados como principais vantagens dessa tecnologia. Como uma desvantagem dela, pode-se citar o crescente registro de resistência da lagarta-do-cartucho às tecnologias *Bt*.

Os insetos-praga podem impactar a produção das lavouras de milho por meio da redução de estande, redução da capacidade produtiva das plantas, redução da qualidade e inviabilização das partes comercializadas da cultura. Os danos às estruturas comercializadas influenciam diretamente nas produtividades das culturas (Pereira et al., 2000; Giolo et al., 2006). Nesse sentido, medidas de controle são adotadas com intuito de minimizar tais perdas. Atualmente, existe tendência da adoção de medidas de controle com menor impacto ao ambiente. Contudo, independente de qual tecnologia se adote para o controle de pragas, não se pode negar que elas representam uma boa fatia no custo de produção. Apenas os inseticidas chegaram a representar 5,69% do custo de produção. Se forem considerados todos os agrotóxicos utilizados durante o ciclo do milho, estes podem representar 16,6% do custo de produção da cultura, na safra 2019/2020 (Conab, 2019). Estima-se que sejam gastos, anualmente, no Brasil, algo em torno de US\$ 60 milhões em inseticidas para o manejo das principais pragas do milho, sem contar custos relativos ao uso das tecnologias *Bt*, que já vêm embutido no custo da semente.

Minimizar o potencial destrutivo dos insetos-praga nas lavouras é fundamental

para manutenção da produtividade. Nesse contexto, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), as Organizações Estaduais de Pesquisa Agropecuária (Oepas), fundações e universidades, além da iniciativa privada, trabalham para suprir o mercado com técnicas e tecnologias de maior efetividade e menor custo. O uso de boas práticas agrícolas e a adoção do MIP, na condução das lavouras de milho como estratégia de monitoramento, podem contribuir para otimização das ferramentas de controle, mantendo a produtividade, ao mesmo tempo em que promovem a sustentabilidade do agroecossistema e ajudam a manter as áreas produtivas ao longo do tempo.

Novas tecnologias para incrementar a produtividade do milho sem necessidade de abertura de novas áreas

Zoneamento agrícola de risco climático

Os fatores climáticos determinam a produtividade agrícola. As adversidades climáticas como seca, excesso hídrico, geada, granizo e chuva na colheita são responsáveis por altas taxas de perdas em cada região do Brasil. Essas perdas significam redução na produção e na renda do agricultor, levando-o a acrescentar mais área na sua produção nas safras seguintes. Segundo o Banco Mundial, o Brasil perde, anualmente, mais de R\$ 11 bilhões, cerca de 1% do produto interno bruto (PIB) agrícola, em valores de 2015,

com riscos advindos de intempéries climáticas (Arias et al., 2015).

A fim de reduzir os riscos de frustrações de safra, o zoneamento agrícola de risco climático (Zarc), instrumento de políticas agrícolas e gestão de risco aplicado aos programas de crédito agrícola e seguro de safra do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), foi desenvolvido com o objetivo de minimizar perdas nas lavouras causadas por eventos climáticos adversos.

O Zarc identifica áreas ou regiões com condições edafoclimáticas satisfatórias ao desenvolvimento das culturas e as épocas de menor risco para o cultivo, o que assegura o melhor aproveitamento das suas potencialidades genéticas e apresenta ganhos de produtividade aliados às reduções de perdas (Santos; Martins, 2016). No caso do milho e do consórcio milho+braquiária, o Zarc indica datas ou períodos de plantio/semeadura para a cultura nas 1ª e 2ª safras, considerando as características do clima, dos tipos de solos e ciclos das cultivares recomendadas para cada município do Brasil, de forma a evitar que adversidades climáticas coincidam com as fases mais sensíveis da cultura, minimizando as perdas agrícolas.

A adoção pelos agricultores das janelas de plantio indicadas pelo Zarc tem possibilitado maiores produtividades e rentabilidade no cultivo do milho e demais culturas, aumentando a produção nacional. Com a ampliação das datas de plantio e oportunidades de expansão em áreas já cultivadas, há maior oferta de

grãos no mercado e, conseqüentemente, menor pressão por abertura de novas áreas, atuando como efeito poupa-terra.

É importante salientar que o Zarc é um elemento fundamental para o aumento da área plantada de milho na segunda safra, em sucessão a outras culturas. A revisão das informações contidas no Zarc possibilita a expansão do cultivo visando à redução de perdas e aumentando a viabilidade do cultivo de milho em determinadas regiões, haja vista as condições restritivas para safrinha de milho no Rio Grande do Sul e Santa Catarina (em razão do risco de geadas), ou mesmo as deficiências hídricas em épocas cruciais ao desenvolvimento do milho no outono/inverno na região Centro-Oeste.

Sistema Antecipe – Cultivo intercalar do milho nas entrelinhas da soja

Em termos de impactos futuros de novas tecnologias que contribuirão para o efeito poupa-terra, a Embrapa Milho e Sorgo desenvolveu um sistema de produção que envolve o plantio mecanizado da cultura do milho nas entrelinhas da soja, a partir do estágio de desenvolvimento R_5 da leguminosa, segundo a escala de desenvolvimento proposta por Fehr e Caviness (1977), citados por Farias et al. (2007). Esse sistema, denominado Antecipe (entrada com processo pra registro de marca), é inovador e disruptivo para a agricultura brasileira, planejado a partir de um conhecimento adquirido por mais de 13 anos de pesquisas visando à implantação da cultura do milho nas regiões agrícolas onde a safrinha ainda

não foi plenamente estabelecida. Essa estratégia de produção agrícola favorece o estabelecimento precoce da cultura do milho, com redução de riscos de perda de produtividade na safrinha, possibilitando o plantio de milho em regiões com restrições climáticas desfavoráveis a partir do final do período do verão e início de outono, bem como provável redução no custo com a exclusão da dessecação da cultura da soja, já que o plantio do milho é feito na entrelinha da oleaginosa antes de sua colheita. Com o Antecipec, será possível antecipar a plantio do milho safrinha em até 20 dias em determinadas regiões do País, a partir dos resultados obtidos em pesquisas realizadas em algumas regiões do bioma Cerrado descritos detalhadamente em Karam et al. (2020). Além disso, pode ser utilizado nas regiões com maior experiência em safrinha, permitindo o uso de cultivares de soja de ciclo mais longo, notadamente mais produtivas que as cultivares precoces, sem prejuízo

em produtividade do milho safrinha na sequência.

O início dos trabalhos foi realizado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Diversos profissionais especializados de diferentes áreas de conhecimento e especialização profissional em máquinas agrícolas desenvolveram um protótipo de semeadora-adubadora inexistente no mercado brasileiro, buscando realizar a operação mecanizada juntamente com a adubação de plantio nas entrelinhas da soja, sem que haja danos mecânicos, amassamento, perda de área foliar ou outro prejuízo que comprometa a produtividade da oleaginosa (pedido de patente BR 10 2020 009566 8, referente a protótipo de semeadora-adubadora para uso no sistema intercalar).

Um destaque do sistema é o fato do plantio de milho ocorrer nas entrelinhas da soja de maneira sincronizada, de forma que, no momento da colheita



Foto: Décio Karam

da oleaginosa, as plantas de milho estejam em desenvolvimento vegetativo na área, até estágio V5. O processo de corte da planta de milho pela colhedora não acarreta em prejuízo no seu desenvolvimento, uma vez que o seu meristema (ponto de crescimento) se encontra abaixo da superfície do solo, possibilitando uma plena recuperação fisiológica da planta de milho em condições de campo (Magalhães; Durães, 2006). Assim, após a passagem da colhedora retirando da área a cultura oleaginosa, as folhas remanescentes do milho serão responsáveis pela retomada do potencial produtivo da cultura.

Essa estratégia de cultivo promove ganhos consideráveis nos sistemas de sucessão e/ou rotação soja/milho, uma vez que:

- Favorece o estabelecimento precoce da cultura do milho com redução de riscos de frustração por perda de produtividade.
- Possibilita o plantio de milho em regiões com restrições climáticas desfavoráveis a partir do final do período do verão e início de outono.
- Permitirá o cultivo do milho em regiões onde o Zarc limita o cultivo desta cultura na época de outono.
- Possibilita redução no custo com a operação de dessecação da cultura da soja pois, com o Antecipe, não será necessária a dessecação da soja utilizando um herbicida de contato para antecipar a colheita da oleaginosa e permitir o plantio de milho safrinha dentro da época ideal.
- Possibilita aumento de produtividade de milho safrinha por meio de melhores práticas de tratos culturais.
- Permite redução no custo com a operação de dessecação das plantas daninhas pós-colheita da cultura da soja.

O papel do milho nas transformações da pecuária

Segundo Martha Júnior et al. (2012), existe uma crítica recorrente de alguns setores de que a produção de carne bovina no Brasil é caracterizada pela baixa produtividade e que só seria economicamente viável por meio da expansão da área de pastagem. Contudo, segundo os autores, esse é um quadro desatualizado da pecuária de corte brasileira, sendo mais representativo do período de 1950 a 1975, quando os ganhos de produtividade foram de apenas 0,28% ao ano. Segundo o estudo, a situação mudou consideravelmente nas últimas décadas. No período de 1975 a 1996, os aumentos de produtividade foram de 3,62% ao ano, enquanto, no período de 1996 a 2006, o acréscimo anual foi de 6,64%.

Sem tais ganhos de produtividade, para atender os níveis de produção de carne bovina em 2006 com a produtividade de 1950, seria necessária uma área adicional de pastagem de 525 milhões de hectares. Tal área seria 25% maior que o bioma da Amazônia. Somente para o período de 1996 a 2006, os ganhos de produtividade da pecuária de corte pouparam

73 milhões de hectares da Amazônia (Martha Júnior et al., 2012).

Apesar do claro avanço na produtividade da pecuária de corte, ainda há um longo caminho a percorrer para que o País se equipare à eficiência produtiva da pecuária intensiva dos EUA, que são o maior produtor mundial de carne bovina, segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes – Abiec (2020). Em 2019 esse país produziu 12,3 milhões de toneladas equivalente carcaça (TEC) de carne bovina a partir de um rebanho efetivo de 94,5 milhões de cabeças. Os EUA produzem mais carne com menos cabeças em decorrência de uma pecuária mais intensificada com um maior uso da prática de confinamento.

No confinamento, a terminação dos bovinos de corte é realizada em um período muito mais curto do que no sistema somente a pasto. Ao se produzir mais arrobas em menor tempo, o pecuarista libera a terra para a agricultura. Assim, sistemas intensivos pecuários também possuem um amplo efeito poupa-terra.

Nos sistemas de confinamento, a cultura do milho tem papel fundamental na alimentação do rebanho, seja utilizada como forragem (silagem) ou via subprodutos de outras atividades, como o *Dried Distillers Grains* (DDG) – Grãos Secos por Destilação. O DDG é um subproduto da moagem úmida do milho para a produção de etanol e, devido ao alto teor de





Foto: Gisele Rosso

proteína, é um substituto do farelo de soja na composição de rações, constituindo um produto de grande valor para a pecuária.

Segundo pesquisadores do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (Usda), o DDG se estabeleceu como um mercado de grande valor. A produção de etanol nos EUA consumiu 37% do milho colhido no País em 2017/2018, resultando na produção de 38,5 milhões de toneladas de DDG. Além de abastecer o grande mercado da pecuária doméstica, o DDG é cada vez mais comercializado internacionalmente. Em 2017/2018, os EUA exportaram 12 milhões de toneladas de DDG para países com pecuária em expansão, como México, Tailândia e Vietnã. Com as expectativas de crescimento da produção de etanol a partir do

milho no Brasil, o DDG pode se tornar um elemento-chave para a transformação da pecuária no País (Olson; Capehart, 2019).

O crescimento da prática de confinamento no Brasil tem dado uma contribuição significativa no aumento da produtividade da pecuária de corte. Segundo o anuário da pecuária brasileira produzido pela FNP Consultoria & Comércio (1999), em 1991 um efetivo de 785 mil cabeças de gado foi terminados em confinamento. Dados recentes fornecidos pela Abiec (2020) apontam que o número de bovinos confinados no Brasil em 2019 atingiu a marca de 6,09 milhões de cabeças, um aumento de quase oito vezes no período 1991–2019.

Os dados censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017) em relação à área de pastagens no Brasil dão um indicativo do investimento

na pecuária nas últimas décadas. Nesse levantamento, a área de pastagens em 1970 e 2017 foram, respectivamente, de 154 milhões e 160 milhões de hectares, mas há uma diferença qualitativa nesses números. Em 1970, as pastagens cultivadas representavam 19% da área total de pastagens, enquanto, em 2017, esse percentual subiu para 70%. Como resultado disso, a taxa de lotação (área/cabeças)² passou de 1,96 para 0,92 no período, indicando uma menor utilização de terras por cabeça de gado. Parte desse resultado pode ser atribuído ao fato da atividade extrativista da pecuária sem uso das tecnologias disponíveis para aumento da oferta de forragem.

Uma estratégia de produção que tem contribuído para a transformação da pecuária brasileira é a chamada ILPF, que integra diferentes sistemas produtivos dentro de uma mesma área. Esses diferentes sistemas produtivos integrados otimizam o uso da terra e podem ser articulados em quatro modalidades: integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF); integração lavoura-pecuária (ILP); integração pecuária-floresta (IPF); e integração lavoura-floresta (ILF). Segundo a Associação Rede ILPF (Rede ILPF, 2020), a área estimada de adoção de ILPF saltou de 1,87 milhão de

hectares em 2005 para 15 milhões em 2018, sendo que mais de 80% dessa área utilizou a modalidade ILP.

Na ILP, áreas de pecuária com baixa produtividade e pastagens degradadas são recuperadas com lavouras de grãos. Nesse ponto, destacam-se o milho e a soja que, além de aumentarem a capacidade de suporte do pasto, também fornecem alimentos ao rebanho sob confinamento, reduzindo os custos de suplementação e a necessidade de aquisição de fontes energéticas externas à propriedade. Segundo Martha Júnior e Vilela (2009), o efeito poupa-terra advindo de ganhos de produtividade na integração lavoura-pecuária, em particular o componente de pecuária, é tido como um fator-chave para permitir a expansão da produção de alimentos e de biocombustíveis no País, com mínima pressão sobre a vegetação nativa.

Integração Lavoura-Pecuária

Frente ao desafio de ampliação da produção de alimentos e fibra via aumentos na produtividade, a utilização das culturas de milho em sistemas de produção com ILP tem se mostrado extremamente viável do ponto de vista agrônomo, econômico e ambiental, contribuindo ainda para o processo de construção da fertilidade dos solos e para a intensificação sustentável de sistemas de produção convencionais. Esse modelo de exploração apresenta diversas vantagens, tais como: melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; quebra de ciclos de doenças; redução da infestação de insetos-praga e de plantas daninhas;

² Usualmente a literatura trata a taxa de lotação como uma razão número de cabeças por unidade de área (hectares) (Martha Júnior; Vilela, 2009; Martha Júnior et al., 2012; Vieira Filho, 2018). Contudo, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no Censo Agropecuário (IBGE, 2018), trata esse indicador como uma razão área por cabeças. Pode-se dizer que a definição da literatura é mais intuitiva e alinhada com o termo taxa de lotação, mas, como o presente documento utilizou a informação do IBGE do Censo Agropecuário, optou-se pelo uso dessa abordagem ao analisar a informação.

e redução no custo de recuperação e renovação de pastagens (Vilela et al., 2011).

Na maior parte do Brasil, onde a pecuária está embasada em áreas de pastagens, existe a necessidade de conservação de forragens/alimentos, principalmente para as épocas secas do ano, em que, por falta de água ou baixas temperaturas, as espécies de capins presentes não produzem forragem suficiente para alimentação do rebanho. Nesses sistemas de produção, com a utilização do milho pode-se obter grande produção de alimentos na propriedade rural.

Nesse processo de intensificação sustentável no âmbito da ILP, a cultura do milho se destaca como estratégica por causa das inúmeras aplicações que esse cereal tem dentro da propriedade agrícola, quer seja na alimentação animal na forma de grãos ou de forragem verde ou conservada (silagem), na alimentação humana ou na geração de receita mediante a comercialização da produção excedente.

Nesse consórcio, a principal cultura utilizada na ILP tem sido o milho (*Zea mays* L.), seja em função de sua versatilidade (produção de grãos ou forragem) ou pela sua competitividade no consórcio em virtude do rápido crescimento inicial e porte alto, o que facilita a competição com os outros componentes (ex.: pastagem plantada) e, no caso da colheita de grãos, permite que seja feita a colheita mecanizada (Borghí; Crusciol, 2007; Santos et al., 2011; Borghí et al., 2012, 2013; Pariz et al., 2016). Soma-se a isso a existência de um grande número de cultivares comerciais adaptadas às diferentes regiões do Brasil

(Pereira Filho; Borghí, 2020), possibilitando o cultivo desse cereal de Norte a Sul do País e a boa disponibilidade de herbicidas graminicidas pós-emergentes seletivos ao milho. Esses fatores permitem obter-se resultados excelentes com o consórcio milho + capim.

Outro aspecto da ILP tem sido a utilização de culturas anuais empregadas com sucesso em rotação, consorciação e/ou sucessão com forrageiras tropicais perenes em áreas visando à recuperação ou renovação das pastagens (Salton et al., 2013; Gontijo Neto et al., 2018). Nesse sentido, os sistemas de consorciações de culturas anuais, especialmente milho, com forrageiras tropicais perenes têm se apresentado bastante viáveis do ponto de vista agrônomo e, principalmente, econômico (Gontijo Neto et al., 2018).

Assim, tecnologias como os sistemas indiretos de recuperação/renovação de pastagens com base na consorciação de espécies vegetais são utilizadas por produtores rurais da região do Cerrado desde o início da década de 1980, com destaque para o Sistema Barreirão (Oliveira et al., 1996). Com ele foi possível recuperar ou reformar imensas áreas com pastagens degradadas, especialmente no Brasil Central. Ainda hoje ele é usado com essa finalidade, servindo como preparação inicial para implantação de sistemas integrados de produção. Posteriormente, para áreas onde se poderia utilizar o SPD, foi desenvolvido o Sistema Santa Fé (Kluthcouski et al., 2000), que se fundamenta na semeadura consorciada de culturas de grãos, especialmente o milho, com as principais espécies de forrageiras tropicais, principalmente as dos gêneros

Urochloa (Syn. *Brachiaria*) e *Megathirsus* (Syn. *Panicum*). Mais recentemente, foi desenvolvido o Sistema Santa Brígida, com a inclusão de leguminosas consorciadas ao milho (Oliveira et al., 2010). Nesse sistema, a cultura anual apresenta grande performance de desenvolvimento inicial e exerce alta competição sobre as forrageiras, evitando, assim, redução significativa na produtividade de grãos.

Nas diversas regiões do Brasil, a realização das semeaduras de milho em consórcio com forrageiras tropicais perenes, tanto na safra quanto na segunda safra (safrinha), tem contribuído significativamente no aumento da oferta de milho por meio da intensificação do uso da mesma área. Ela

tem ainda viabilizado a produção pecuária em áreas agrícolas, aumentando os índices de produtividade em empreendimentos pecuários, com consequente ampliação do período de utilização dos fatores de produção (Figura 6) e levado a uma redução da pressão por abertura de novas áreas. Assim, além da produção de grãos de alto valor energético, a ILP, por meio da consorciação do milho com capins, pode incrementar a produção de forragem na propriedade, seja com a produção de silagem ou corte verde. Isso tem sido feito pelo semeio consorciado dessas culturas com forrageiras tropicais perenes e tem permitido elevar a capacidade de suporte das áreas de pastagens recuperadas (após a cultura), disponibilizando essas áreas,

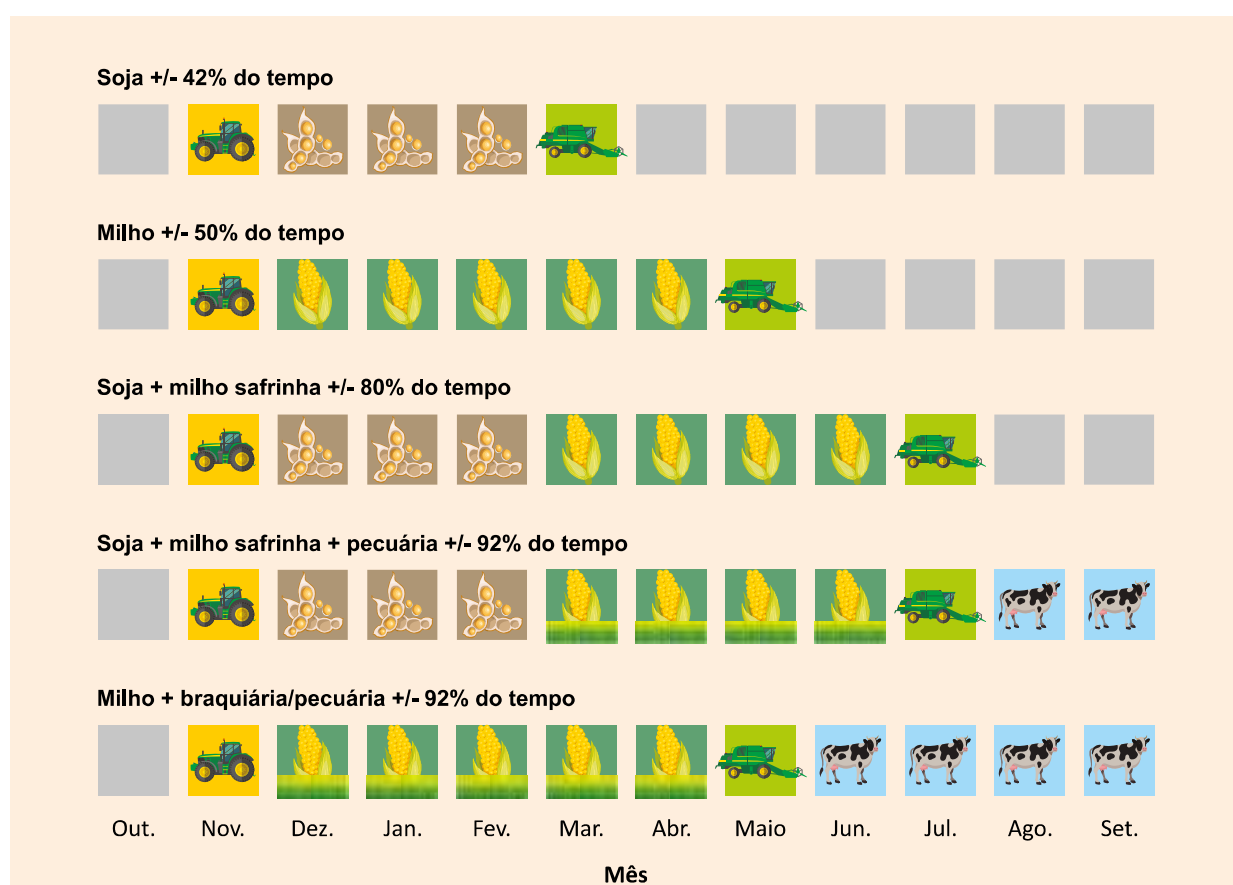


Figura 6. Intensificação na utilização dos fatores de produção em função da utilização da consorciação e sucessão de atividades.

Fonte: Vilela et al. (2016).

com uma pastagem de ótima qualidade nutricional, para pastejo no período crítico do ano (seca).

A integração de atividades agrícolas e pecuárias, alcançadas de forma prática pela sucessão e consorciação do cultivo do milho com capins, pode, assim, ampliar para 92% o tempo de utilização de áreas agrícolas com atividades com retorno econômico direto, e, nos casos em que a área seja utilizada como pastagem na safra seguinte, esse tempo de utilização chega a 100% durante o ano.

Perspectivas

A Conferência de Estocolmo, realizada em 1972, deu início a uma discussão mais ampla dos impactos negativos da ação humana sobre o meio ambiente. Contudo, foi com a presença maciça de autoridades de estados na Rio-92 que os países ao redor do mundo deram um indicativo de que a degradação ambiental passaria a se tornar, em algum momento nas décadas vindouras, uma questão prioritária.

Em decorrência da grande extensão florestal e o desmatamento para a abertura de novas áreas para a atividade econômica, o Brasil tem sido colocado no centro dos holofotes da questão ambiental. O uso das imagens de satélites pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), a partir de 2004, permitiu ao País dimensionar e monitorar o problema. Nesse contexto, estratégias e políticas públicas que favoreçam a ocorrência do efeito poupa-terra devem ser incentivadas e divulgadas para o grande público. A cultura do milho, pelo dinamismo

intrínseco da cultura, é um elemento fundamental dentro dos sistemas agropecuários do País que contribuem para o chamado efeito poupa-terra.

Além das iniciativas focadas no meio ambiente, a Organização das Nações Unidas (ONU) também tem realizado ações para angariar esforços em prol do desenvolvimento humano. A cúpula da ONU, em 2000, estabeleceu oito objetivos internacionais de desenvolvimento para o ano de 2015, conhecidos como Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM). Em 2015, deram continuidade a iniciativa e trabalharam com os governos, a sociedade civil e outros parceiros para estabelecer uma nova agenda de desenvolvimento pós-2015. Nesse contexto, foi estabelecida a chamada Agenda 2030, com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas (Brasil, 2020).

A cadeia do milho e o efeito poupa-terra oriundo da adoção de tecnologias e práticas agrícolas também têm contribuições aos ODS. Nesse sentido, destaca-se a contribuição ao ODS 2 (Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável); ODS 13 (Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos) e ODS 15 (Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade).

Por fim, cabe ressaltar que várias das tecnologias atreladas à cultura do milho que resultaram no efeito poupa-terra também receberam apoio e incentivos por políticas públicas. Destaca-se o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC – Agricultura de Baixa Emissão de Carbono), composto por sete programas que contemplam diversas ações e disponibilização de linhas de crédito para a adoção e difusão de muitas das tecnologias apresentadas no documento.

O milho, pela sua importância na agropecuária brasileira, tem demonstrado ampla possibilidade de cultivo e uso. A expansão dessa cultura em sistemas de cultivo, sem a necessidade de abertura de novas áreas, possibilitou colocar o Brasil como um dos principais países produtores mundiais e com perspectivas de volumes ainda mais expressivos, respeitando o meio ambiente, otimizando o uso de recursos naturais e contribuindo com as principais políticas públicas e metas conservacionistas hoje vigentes no Brasil e no mundo.

Referências

- ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Beef report 2020**: perfil da pecuária no Brasil. 2020. Disponível em: http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/#dfip-df_2947/5. Acesso em: 3 set. 2020.
- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2019/20: décimo primeiro levantamento, v. 7, n. 11, p. 1-31, ago. 2020. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/32838_87577d7fa2076bdc97b6b96e7498a2f. Acesso em: 1 set. 2020.
- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050**: the 2012 revision. Rome: FAO, 2012. (FAO. ESA working paper, n. 12-03).
- ARIAS, D.; MENDES, P.; ABEL, P. **Revisão rápida e integrada da gestão de riscos agropecuários no Brasil**. Brasília, DF: Banco Mundial, 2015. 76 p.
- BLANCO-CANQUI, H.; RUIS, S. J. No-tillage and soil physical environment. **Geoderma**, n. 326, p. 164-200, Sept. 2018. DOI [10.1016/j.geoderma.2018.03.011](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011).
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 2, 163-171, 2007. DOI [10.1590/S0100-204X2007000200004](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200004).
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O. Intercropping time of corn and palisadegrass or guineagrass affecting grain yield and forage production. **Crop Science**, v. 53, n. 2, p. 629-636, Mar. 2013. DOI [10.2135/cropsci2012.08.0469](https://doi.org/10.2135/cropsci2012.08.0469).
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C.; NASCENTE, A. S.; MATEUS, G. P.; MARTINS, P. O.; COSTA, C. Effects of row spacing and intercrop on maize grain yield and forage production of palisade grass. **Crop and Pasture Science**, n. 63, n. 12, p. 1106-1113, 2012. DOI [10.1071/CP12344](https://doi.org/10.1071/CP12344).
- BORGHI, E.; PEREIRA FILHO, I. A.; RESENDE, A. V. de; GONTIJO NETO, M. M.; KARAM, D.; ABREU, S. C. Atenção ao PPP: perfil, palha e plano de manejo. **A Granja**, v. 75, n. 848, p. 32-35, ago. 2019.
- BRASIL. **Indicadores brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2020. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/home/agenda>. Acesso em: 1 set. 2020.
- BROOKES, G.; BARFOOT, P. Global impact of biotech crops: socio-economic and environmental effects 1996-2004. **AgbioForum**, v. 8, p. 187-196, 2006.
- COLLI, W. Organismos transgênicos no Brasil: regular ou desregular. **Revista USP**, v. 89, p. 148-173, 2011. DOI [10.11606/issn.2316-9036.v0i89p148-173](https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i89p148-173).

CONAB (Brasil). **Planilhas de custos de produção – culturas de 1ª safra**. 2019. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/download/27266_cdee010f43ad0355abc3ce79bad977e5. Acesso em: 11 ago. 2020.

CONAB (Brasil). **Série histórica das safras: milho 1ª safra**. 2020a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/35844_8541eadf3d9da3ba75b0c6af85b26304. Acesso em: 1 set. 2020.

CONAB (Brasil). **Série histórica das safras: milho 2ª safra**. 2020b. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/35845_19cf43b97219cb4be3b78ad7d21484f8. Acesso em: 1 set. 2020.

CONAB (Brasil). **Série histórica das safras: milho total (1ª, 2ª e 3ª Safras)**. 2020c. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/35846_e49005e3e07e61f02439848e1c850fe5. Acesso em: 1 set. 2020.

CONAB (Brasil). **Série histórica das safras: soja**. 2020d. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/item/download/35847_bf58a3a98569ef0210b113c66edb121a. Acesso em: 1 set. 2020.

CONTINI, E.; MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A. de; SILVA, A. F. da; SILVA, D. D. da; MACHADO, J. R. de A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENDES, S. M. **Milho: caracterização e desafios tecnológicos**. [Brasília, DF: Embrapa; Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo], 2019. 45 p. (Desafios do agronegócio brasileiro, 2). Nota técnica.

CUNHA, J. F.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, v. 130, p. 1-11, 2010.

CUNHA, J. F.; FRANCISCO, E. A. B.; CASARIN, V.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira – 2009 a 2012. **Informações Agronômicas**, v. 145, p. 1-13, 2014.

CUNHA, J. F.; FRANCISCO, E. A. B.; PROCHNOW, L. I. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira

no período de 2013 a 2016. **Informações Agronômicas**, v. 162, p. 3-14, 2018.

DOWD, P. F.; PINGEL, R. L.; RUHL, D.; SHASHA, B. S.; BEHLE, R. W.; PENLAND, D. R.; MCGUIRE, M. R.; FARON, E. J. Multiacreage evaluation of aerially applied adherent malathion granules for selective insect control and indirect reduction of mycotoxigenic fungi in specialty corn. **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 5, p. 1424-1428, 2000. DOI [10.1603/0022-0493-93.5.1424](https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.5.1424).

DUVICK, D. N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). **Advances in Agronomy**, v. 86, p. 83-145, 2005. DOI [10.1016/S0065-2113\(05\)86002-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)86002-X).

EMBRAPA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212 p.

FAO. **FAOSTAT**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 1 set. 2020.

FAO. **Recommendations for improved weed management**. 2006. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a0884e/a0884e00.htm>. Acesso em: 3 jan. 2021.

FAO. **The lurking menace of weeds**. 2009. Disponível <http://www.fao.org/news/story/pt/item/29402/icode>. Acesso em: 3 set. 2020.

FAO. **The state of food insecurity in the world 2012: economic growth is necessary but not sufficient to accelerate reduction of hunger and malnutrition**. Rome, 2012. 65 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3027e.pdf>. Acesso em: 1 set. 2020.

FARIAS, J. R.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9 p. (Embrapa Soja. Circular técnica 48).

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO E IRRIGAÇÃO. Disponível em: <https://febrapdp.org.br>. Acesso em: 1 set. 2020.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of soybean development**. Ames: State University of Science and Technology, 1977. 11 p.

FIGUEIREDO, A. G. de; VON PINHO, R. G.; SILVA, H. D.; BALESTRE, M. Application of mixed models for evaluating stability and adaptability of maize using unbalanced data. **Euphytica**, v. 202, n. 3, p. 393-409, 2015. DOI [10.1007/s10681-014-1301-3](https://doi.org/10.1007/s10681-014-1301-3).

FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **Anualpec 99**: anuário estatístico da produção animal. São Paulo: Argos Comunicação, 1999.

GALVÃO, A. (ed.). **Informativo de Biotecnologia Céleres®**. Uberlândia: Céleres, 2019. Disponível em: http://www.celeres.com.br/wp-content/uploads/2019/11/BoletimBiotecnologiaC%C3%A9leres_Novembro2019-2.pdf. Acesso em: 10 mar. 2020.

GILES, K. L.; ROYER, T. A.; ELLIOT, N. C.; KINDLER, S. D. Development and validation of a binomial sequential sampling plan for the greenbug (Homoptera: Aphidae) infesting winter wheat in the southern plains. **Journal of Economic Entomology**, v. 93, n. 5, p. 1522-1530, Oct. 2000. DOI [10.1603/0022-0493-93.5.1522](https://doi.org/10.1603/0022-0493-93.5.1522).

GIOLO, F. P.; BUSATO, G. R.; GARCIA, M. S.; MANZONI, C. G.; BERNARDI, O.; ZART, M. Biologia de *Helicoverpa zea* (Boddie, 1850) (Lepidoptera: Noctuidae) em duas dietas artificiais. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 2, p. 167-171, 2006.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V. de; ALVARENGA, R. C. Benefícios e desafios da integração lavoura-pecuária na melhoria da qualidade dos solos do cerrado. **Informações Agronômicas**, n. 161, p. 9-21, mar. 2018.

HALLAUER, A. R.; CARENA, M. J. Maize breeding. In: CARENA, M. J. (ed.). **Cereals**. New York: Springer Verlag, p: 3-98, 2009. DOI [10.1007/978-0-387-72297-9](https://doi.org/10.1007/978-0-387-72297-9).

HUANG, J.; ROZELLE, S.; PRAY, C. E.; WANG, Q. Plant biotechnology in the developing world: the case of China. **Science**, v. 295, n. 5555, p. 674-677, 2002. DOI [10.1126/science.1067226](https://doi.org/10.1126/science.1067226).

IBGE. Censo agropecuário 2017: resultados preliminares. **Censo Agropecuário**, v. 7, p. 1-108, 2017. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 1 set. 2020.

IBGE. **Séries históricas e estatísticas**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://serieestatisticas.ibge.gov.br>. Acesso em: 1 set. 2020.

IMPACTOS econômicos e socioambientais da tecnologia de resistência a insetos no Brasil: análise histórica, perspectivas e desafios

futuros: relatório final 2018. [S.l.]: Conselho de Informações sobre Biotecnologia; Agroconsult, 2018. 53 p. Disponível em: <https://apps.agr.br/wp-content/uploads/2019/01/Agroconsult-Estudo-Impacto-BT-no-Brasil-Versão-Final.pdf>. Acesso em: 1 set. 2020.

IPEADATA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – produção – milho**. 2020. Disponível em: www.ipeadata.gov.br. Acesso em: 1 set. 2020.

ISAAA. **Global status of commercialized biotech/GM crops**: 2018: biotech crops continue to help meet the challenges of increased population and climate change. Ithaca, 2018. (ISAAA. Brief nº 54).

KAPPES, C. Sistemas de cultivo de milho safrinha no Mato Grosso. In: SEMINÁRIO NACIONAL [DE] MILHO SAFRINHA, 12., 2013, Dourados. **Estabilidade e produtividade**: anais. Brasília, DF: Embrapa; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. p. 1-21. 1 CD-ROM.

KARAM, D.; BORGHI, E.; MAGALHAES, P. C.; PAES, M. C. D.; PEREIRA FILHO, I. A.; MANTOVANI, E. C.; SOUZA, T. C. de; ADEGAS, F. S. **Antecipe**: cultivo intercalar antecipado. Brasília, DF: Embrapa, 2020. 120 p.

KLUTHCOUSKI, J.; COBUCCI, T.; AIDAR, H.; YOKOYAMA, L. P.; OLIVEIRA, I. P. de; COSTA, J. L. da S.; SILVA, J. G. da; VILELA, L.; BARCELLOS, A. de O.; MAGNABOSCO, C. de U. **Sistema Santa Fé – tecnologia Embrapa**: integração lavoura-pecuária pelo consórcio de culturas anuais com forrageiras, em áreas de lavoura, nos sistemas direto e convencional. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. 28 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 38).

LEITE, N. A.; MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; PEREIRA, E. J. G. **O milho Bt no Brasil**: a situação e a evolução da resistência de insetos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. 46 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 133).

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Fisiologia da produção de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006. 10 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 76).

MARTHA JUNIOR, G. B.; ALVES, E.; CONTINI, E. Land-saving approaches and beef production growth in Brasil. **Agricultural Systems**, n. 110, p. 173-177, 2012. DOI [10.1016/j.agsy.2012.03.001](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2012.03.001).

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L. **Efeito poupa-terra de sistemas de integração lavoura pecuária**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2009. 4 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 164).

MIRANDA, R. A. Breve história da agropecuária brasileira. In: LANDAU, E. C.; SILVA, G. A. da; MOURA, L.; HIRSCH, A.; GUIMARAES, D. P. (ed.). **Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas**: cenário histórico, divisão política, características demográficas, socioeconômicas e ambientais. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, p. 31-59.

MIRANDA, R. A.; GARCIA, J. C.; DUARTE, J. O.; OLIVEIRA, A. P. de. A influência da soja na área de plantação do milho safrinha: um estudo de painel. In: SEMINÁRIO NACIONAL MILHO SAFRINHA, 11., 2011, Lucas do Rio Verde. **Anais**. Lucas do Rio Verde: Fundação Rio Verde, 2011. p. 111-116.

MUNKVOLD, G. P.; HELLMICH, R. L.; RICE, L. G. Comparison of fumonisin concentrations in kernels of transgenic Bt maize hybrids and non-transgenic hybrids. **Plant Disease**, v. 83, n. 2, p. 130-138, Feb. 1999. DOI [10.1094/PDIS.1999.83.2.130](https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.2.130).

OERKE, E. -C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31-43, Feb. 2006. DOI [10.1017/S0021859605005708](https://doi.org/10.1017/S0021859605005708).

OLIVEIRA, I. P. de; KLUTHCOUSKI, J.; YOKOYAMA, L. P.; DUTRA, L. G.; PORTES, T. de A.; SILVA, A. E. da; PINHEIRO, B. da S.; FERREIRA, E.; CASTRO, E. da M. de; GUIMARÃES, C. M.; GOMIDE, J. de C.; BALBINO, L. C. **Sistema Barreirão**: recuperação/renovação de pastagens degradadas em consórcio com culturas anuais. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1996. 87 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 64).

OLIVEIRA, M. **A evolução da produtividade no Cerrado**. 2013. Disponível em: <https://www.pioneersementes.com.br/media-center/artigos/160/a-evolucao-da-produtividade-no-cerrado>. Acesso em: 2 set. 2020.

OLIVEIRA, P. de; KLUTHCOUSKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. de C. **Sistema Santa Brígida – tecnologia Embrapa**: consorciação de milho com leguminosas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2010. 16 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 88).

OLSON, D. W.; CAPEHART, Y. **Dried Distillers Grains (DDGs) have emerged as a key ethanol coproduct**. Oct. 1, 2019. Disponível em: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2019/october/dried-distillers-grains-ddgs-have-emerged-as-a-key-ethanol-coproduct>. Acesso em: 1 set. 2020.

PARIZ, C. M.; COSTA, C.; CRUSCIOL, C. A. C.; MEIRELLES, P. R. L.; CASTILHOS, A. M.; ANDREOTTI, M.; COSTA, N. R.; MARTELLO, J. M.; SOUZA, D. M.; SARTO, J. R. W.; FRANZLUBBERS, A. J. Production and soil responses to intercropping of forage grasses with corn and soybean silage. **Agronomy Journal**, v. 108, n. 1, p. 2541-2553, Dec. 2016. DOI [10.2134/agronj2016.02.0082](https://doi.org/10.2134/agronj2016.02.0082).

PEREIRA FILHO, I. A.; BORGHI, E. **Sementes de milho**: nova safra, novas cultivares e continua a dominância dos transgênicos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 251).

PEREIRA, E. J. G.; PICANÇO, M. C.; GUEDES, R. N. C.; FALEIRO, F. G.; ARAÚJO, J. M. de. Suscetibilidade de populações de milho a *Spodoptera frugiperda* Smith e *Helicoverpa zea* Bod. (Lepidoptera: Noctuidae). **Acta Scientiarum**, v. 22, n. 4, p. 931-936, 2000. DOI [10.4025/actasciagron.v22i0.2840](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v22i0.2840).

PLANO setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2012. 173 p. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/arquivo-publicacoes-plano-abc/download.pdf>. Acesso em: 1 set. 2020.

PRADO JUNIOR, C. **História econômica do Brasil**. 38. ed. São Paulo: Brasiliense, 1990. 364 p.

RAY, D. K.; MUELLER, N. D.; WEST, P. C.; FOLEY, J. A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. **Plos One**, v. 8, n. 6, p. 1-8, 2013. DOI [10.1371/journal.pone.0066428](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0066428).

REDEILPF. **ILPF em números**. Disponível em: <https://www.redeilpf.org.br/index.php/rede-ilpf/ilpf-em-numeros>. Acesso em: 1 set. 2020.

RESENDE, A. V. de; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; FONTOURA, S. M. V.; BORIN, A. L. D. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CARVALHO, M. da C. S.; KAPPES, C. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. In: SEVERIANO, E. da C.; MORAIS, M. F. de; PAULA, A. M. de (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. v. 10. p. 342-398.

RESENDE, A. V. de; SILVA, C. G. M.; GUTIÉRREZ, A. M.; SIMÃO, E. de P.; GUIMARAES, L. J. M.; MOREIRA, S. G.; BORGHI, E. **Indicadores de demanda nutricional de macro e micronutrientes por híbridos modernos de milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 220).

RONALD, P. Plant genetics, sustainable agriculture and global food security. **Genetics**, v. 188, n. 1, p. 11-20, May 2011. DOI [10.1534/genetics.111.128553](https://doi.org/10.1534/genetics.111.128553).

SALTON, J. C.; KICHEL, A. N.; ARANTES, M.; KRUKER, J. M.; ZIMMER, A. H.; MERCANTE, F. M.; ALMEIDA, R. G. de. **Sistema São Mateus**: sistema de integração lavoura-pecuária para a região do Borsão Sul-Mato-Grossense. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2013. 6 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 186).

SANTOS, F. C. dos; KURIHARA, C. H.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; RESENDE, A. V. de; CARVALHO, M. da C. S.; ALVARENGA, R. C. Adubação nitrogenada e consorciação do milho com *Brachiaria ruziziensis* em sistema plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Solos nos biomas brasileiros**: sustentabilidade e mudanças climáticas: anais. [Uberlândia]: SBCS: UFU, ICIAG, 2011. 1 CD-ROM.

SANTOS, M. R. R. dos; MARTINS, J. I. F. O zoneamento agrícola de risco climático e sua contribuição à agricultura brasileira. **Revista de Política Agrícola**, ano 25, n. 3, p. 76-94, jul./ago./set. 2016.

SHULL, G. H. The composition of a field maize. **Journal of Heredity**, v. 4, n. 1, p. 296-301, Jan. 1908. DOI [10.1093/jhered/os-4.1.296](https://doi.org/10.1093/jhered/os-4.1.296).

SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. D. G. Manejo do fósforo na região do Cerrado. In: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P. da (ed.). **Práticas de manejo do solo para adequada nutrição de plantas no Cerrado**. Goiânia: UFG, 2016. p. 291-357.

TANG, J.; YAN, J.; MA, X.; TENG, W.; WU, W.; DAI, J.; DHILLOM, B. S.; MELCHINGER, A. E.; LI, J. Dissection of the genetic basis of heterosis in an elite maize hybrid by QTL mapping in an immortalized F2 population. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 120, p. 333-340, 2010. DOI [10.1007/s00122-009-1213-0](https://doi.org/10.1007/s00122-009-1213-0).

UNITED STATES. Department of Agriculture. **World agriculture production**. Aug. 2020. 38 p. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>. Acesso em: 2 set. 2020.

VIEIRA FILHO, J. E. R. A fronteira agropecuária brasileira: redistribuição produtiva, efeito poupa-terra e desafios estruturais logísticos. In: VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. (org.). **Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade**. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2016. p. 89-107.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Efeito poupa-terra e ganhos de produção no setor agropecuário brasileiro**. Brasília, DF: Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, abr. 2018. 48 p. (IPEA. Texto para discussão, 2386).

VILELA, L.; MARCHÃO, R. L.; CORDEIRO, L. A. M. Sistemas integrados como alternativa para intensificação ecológica. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 32.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 16.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 14.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 11., 2016, Goiânia. **Rumo aos novos desafios**: [anais]. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. Fertbio 2016.

VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, G. B.; MACEDO, M. C. M.; MARCHAO, R. L.; GUIMARAES JUNIOR, R.; PULROLNIK, K.; MACIEL, G. A. Sistemas de integração lavoura-pecuária na região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1127-1138, out. 2011. DOI [10.1590/S0100-204X2011001000003](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000003).

VON PINHO, R. G.; VON PINHO, E. V. R.; PIRES, L. P. M.; CAMARGOS, R. B.; BERNARDO JÚNIOR, L. A. Y. Contribuições da genética e da ciência e tecnologia de sementes para aumento na produtividade de grãos de milho e sorgo. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 31., 2016, Bento Gonçalves. **Milho e sorgo: inovações, mercado e segurança alimentar: livro de palestras**. Sete Lagos: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, 2016.

Literatura recomendada

AGROCERES. **Agroceres 70 anos: você vê, você confia**. [S.l.]: DBA Editora, 2015. 89 p. Disponível em: <https://agroceres.com.br/ebook.aspx>. Acesso em: 1 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997**. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9456.htm. Acesso em: 1 set. 2020.

CIOCCHI, E.; OLIVEIRA, H. L. M. **Integração lavoura-pecuária**. 2018. Disponível em: <http://>

www.pioneersementes.com.br/blog/48/integracao-lavoura-pecuaria. Acesso em: 3 set. 2020.

IBGE. **Censo agropecuário 2006**: segunda apuração. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuário/censo-agropecuário-2006/segunda-apuracao>. Acesso em: 1 set. 2020.

PEREIRA, J. L. A. R.; VON PINHO, R. G.; BORGES, I. D.; PEREIRA, A. M. A. R.; LIMA, T. G. Cultivares, doses de fertilizantes e densidades de plantio no cultivo de milho safrinha. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 3, p. 676-683, maio/jun. 2009. DOI [10.1590/S1413-70542009000300003](https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000300003).

SEVERIANO, E. da C.; MORAIS, M. F. de; PAULA, A. M. de (ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. v. 10, p. 342-398.

SHYLESHA, A. N.; JALALI, S. K.; GUPTA, A. N. K. I. T. A.; VARSHNEY, R. I. C. H. A.; VENKATESAN, T.; SHETTY, P. R. A. D. E. E. K. S. H. A.; BAKTHAVATSALAM, N. Studies on new invasive pest *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) and its natural enemies. **Journal of Biological Control**, v. 32, n. 3, 145-51, 2018.