

Sete Lagoas, MG / Outubro, 2025

Programa Sorgo Baixo Carbono Multifuncionalidade e Sustentabilidade



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

ISSN1518-4277 / e-ISSN 0000-0000

Documentos 287

Outubro / 2025

Programa Sorgo Baixo Carbono Multifuncionalidade e Sustentabilidade

Ciro Augusto de Souza Magalhães

Alexandre Ferreira da Silva

Álvaro Vilela de Resende

Arystides Resende Silva

Derli Prudente Santana

Henrique Debiasi

Marília Ieda da Silveira Folegatti

Miguel Marques Gontijo Neto

Nilza Patrícia Ramos

Embrapa Milho e Sorgo

Sete Lagoas, MG

2025

Embrapa Milho e Sorgo
Rodovia MG - 424, Km 65
Caixa Postal 151
35701-098 Sete Lagoas, MG
<https://www.embrapa.br/milho-e-sorgo>
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac>

Comitê Local de Publicações

Presidente

Cynthia Maria Borges Damasceno

Secretário-executivo

Antônio Carlos de Oliveira

Membros

*Guilherme Ferreira Viana, Rosângela
Lacerda de Castro, Arystides Resende
Silva, Ciro Augusto de Souza Magalhães,
Cláudia Teixeira Guimarães e Enilda Alves
Coelho*

Revisão de texto

Antonio Claudio da Silva Barros

Normalização bibliográfica

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Márcio Augusto Pereira do Nascimento

Foto da capa

Arystides Resende Silva

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Programa Sorgo Baixo Carbono: multifuncionalidade e sustentabilidade / Cyro Augusto de
Souza Magalhães... [et al.]. – Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2025.

PDF (13 p.) : il. -- (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo, ISSN 1518-4277; 287).

1. *Sorghum bicolor*. 2. Produção sustentável. 2. Gases de efeito estufa. 3. Impacto ambiental. I. Magalhães, Ciro Augusto de Souza. II. Silva, Alexandre Ferreira da. III. Resende, Álvaro Vilela de. IV. Silva, Arystides Resende. V. Santana, Derli Prudente. VI. Debiasi, Henrique. VII. Folegatti, Marília Ieda da Silveira. VIII. Gontijo Neto, Miguel Marques. IX. Ramos, Nilza Patrícia. X. Série.

CDD (21. ed.) 633.174

Rosângela Lacerda de Castro (CRB-6/2749)

©2025 Embrapa

Autores

Ciro Augusto de Souza Magalhães

Engenheiro agrícola, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Alexandre Ferreira da Silva

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia (Produção Vegetal), pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Álvaro Vilela de Resende

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Arystides Resende Silva

Engenheiro florestal, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Derli Prudente Santana

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo (Qualidade do solo), pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Henrique Debiasi

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

Marilia Ieda da Silveira Folegatti

Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Miguel Marques Gontijo Neto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Nilza Patrícia Ramos

Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Apresentação

O sorgo vem conquistando espaço de forma acelerada na agricultura brasileira, consolidando-se como uma das principais opções de cultivo na segunda safra. Essa expansão demonstra não apenas a versatilidade e a resiliência da cultura, mas também seu papel estratégico para a segurança alimentar, a diversificação produtiva e a competitividade do agronegócio nacional.

Diante das crescentes demandas de mercados cada vez mais exigentes em relação à sustentabilidade, a Embrapa Milho e Sorgo dá início ao desenvolvimento de métricas e indicadores para apoiar a certificação da produção de sorgo em sistemas de baixa emissão de carbono. Trata-se de um esforço que une ciência, inovação e responsabilidade socioambiental, visando consolidar o Programa Sorgo Baixo Carbono como uma referência para a agricultura brasileira.

Este documento apresenta as bases científicas e operacionais que fundamentam a implementação do Programa. A iniciativa, conduzida pela Embrapa Milho e Sorgo em colaboração com diversos especialistas, representa um avanço expressivo na adoção de

sistemas produtivos mais eficientes e ambientalmente responsáveis, fortalecendo o papel do sorgo como cultura estratégica na mitigação dos impactos ambientais da agropecuária.

Com critérios técnicos e científicos robustos, o Programa Sorgo Baixo Carbono permitirá que produtores e empresas sejam reconhecidos por práticas sustentáveis, garantindo maior competitividade e contribuindo para um modelo de produção agrícola alinhado às demandas globais de sustentabilidade e descarbonização.

Ao apresentar esta publicação, a Embrapa Milho e Sorgo reafirma seu compromisso com a geração de conhecimento, a inovação tecnológica e o desenvolvimento de soluções que impulsionem a agricultura brasileira rumo a um futuro mais sustentável. Estamos certos de que este material será uma valiosa referência para produtores, pesquisadores, técnicos e formuladores de políticas públicas, estimulando o uso responsável dos recursos naturais e a valorização da cadeia produtiva do sorgo.

Vinícius Pereira Guimarães
Chefe-Geral da Embrapa Milho e Sorgo

Sumário

Introdução.....	6
Ações a serem realizadas pela cadeia produtiva do sorgo.....	7
Mensuração da redução das emissões de gases de efeito estufa.....	7
Definição dos critérios para certificação	9
Diferencial do selo Sorgo Baixo Carbono.....	9
Experiência da equipe.....	9
Elaboração e implantação do Programa Sorgo Baixo Carbono	9
Considerações finais.....	10
Referências.....	11

Introdução

O Brasil é uma das grandes potências agropecuárias, e talvez a única capaz de atender à crescente demanda alimentar do mundo, produzindo grãos e proteínas de forma sustentável. No entanto, a disponibilidade de terras e de condições favoráveis para atender a essa demanda tende a ser cada vez mais escassa, sendo necessário, para tanto, investimento em sistemas de produção mais resilientes e equilibrados, culturas mais versáteis e estratégias de desenvolvimento territorial disruptivas, para vencer os desafios da produção agropecuária “a céu aberto”.

Com características complementares às principais culturas graníferas produzidas no Brasil, e com diferenciais estratégicos para superar os desafios atuais da agropecuária, o sorgo vem conquistando lugar e tem sido uma cultura de grande importância na composição dos sistemas de produção, principalmente em regiões com desafios edafoclimáticos. A cultura do sorgo vem ganhando espaço nas últimas safras no cenário nacional, e o Brasil já se configura como o terceiro maior produtor

mundial, com potencial e perspectivas positivas para se tornar o maior produtor mundial (Estados Unidos, 2024).

O sorgo é o quinto cereal mais produzido no mundo, ficando atrás apenas das culturas do milho, do trigo, do arroz e da cevada. Embora de uso múltiplo, como alimentação humana, produção de vassouras e produção de etanol, no Brasil, o uso do sorgo é quase exclusivo para alimentação animal, seja na forma de ração ou de forragem (pastejo e silagem) (Cardoso et al., 2017; Sarshad et al., 2021).

Atualmente, no País, o sorgo é cultivado quase exclusivamente na safrinha, principalmente em áreas onde a janela de plantio fica arriscada ou mesmo imprópria para o cultivo do milho. De acordo com os dados de estimativa de safra da Conab, na última década, houve um incremento de 162% na produção nacional. Na safra 2023/2024, a área de cultivo chegou a 1,54 milhão de hectares, produtividade média de 2.969 kg/ha, resultando em uma produção de aproximadamente 4,6 milhões de toneladas, com grande destaque para os estados de Goiás e Minas Gerais, além de áreas em rápida expansão na Bahia, em São Paulo, no Mato Grosso, no Mato Grosso do Sul e em Tocantins (Figura 1).

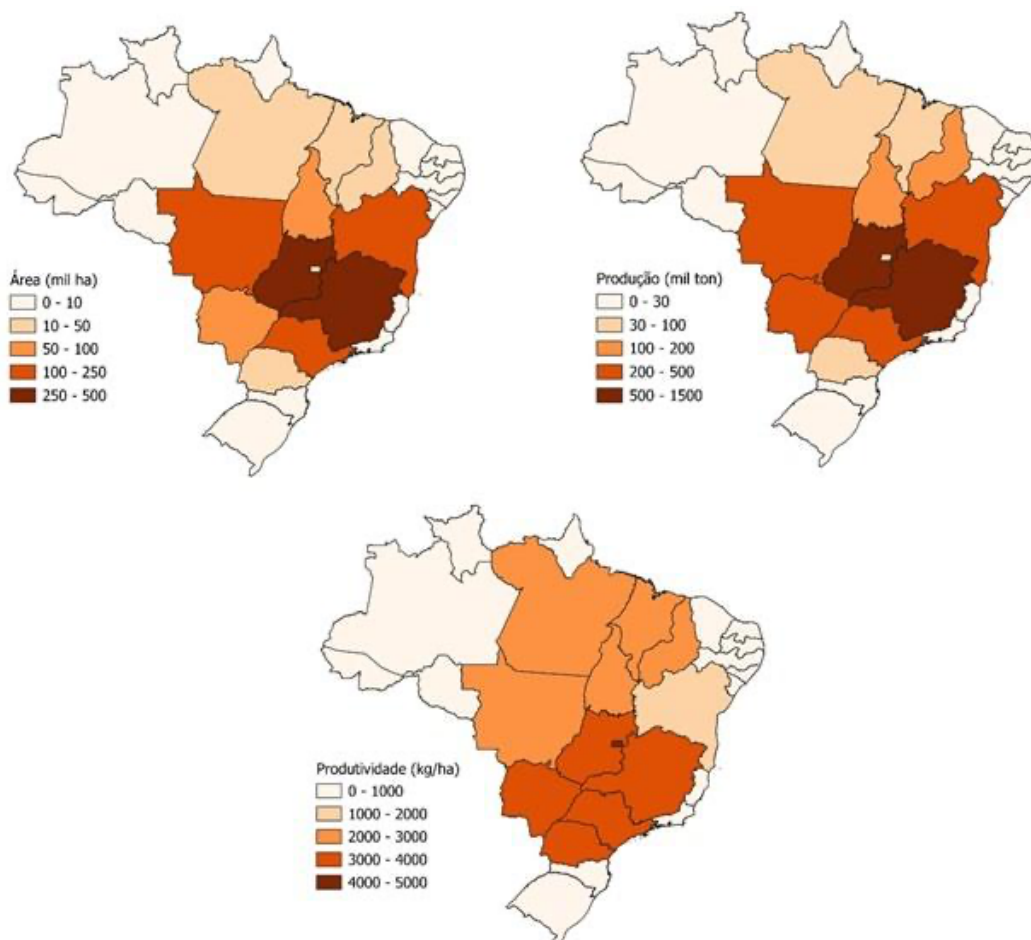


Figura 1. Distribuição das áreas, produção e produtividade de sorgo por estado na safra de 2023/2024 no Brasil. Adaptado de Conab (2024).

Anualmente, o Brasil vem enfrentando adversidades climáticas, principalmente relacionadas a déficits hídricos na estação destinada aos cultivos da segunda safra ou, tradicionalmente, chamada de safrinha. Isso vem impactando fortemente as produtividades das culturas, principalmente naquelas implantadas no limite da janela de cultivo, definido pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (Zarc), e no plantio feito fora da janela de semeadura recomendada. O sorgo se apresenta como uma das culturas mais viáveis e estratégicas, dadas a versatilidade para uso, a tolerância a déficit hídrico e a ampla adaptação aos diversos ambientes (Weltzien et al., 2006; Reddy, 2019), podendo ser produzido em diferentes regiões do Brasil, predominantemente na região do Cerrado (IBGE, 2023).

Por outro lado, há uma forte pressão internacional quanto aos presumíveis impactos ambientais da agropecuária brasileira, especialmente quanto às emissões de gases de efeito estufa (GEEs). Indicadores distorcidos têm sido massivamente utilizados como argumentos em campanhas negativas sobre a produção de grãos brasileiros no exterior, podendo resultar em criação de barreiras não tarifárias, desvalorização do produto e perdas de mercado.

Frente a esse cenário e como uma contribuição direta para as estratégias globais de descarbonização da economia e alcance das metas de redução das emissões de GEEs, a Embrapa iniciou a proposição de desenvolvimento de marcas-conceito, com adoção voluntária, atrelada a sistemas de certificação de terceira parte, que assegurem um produto diferenciado, produzido sob condições favoráveis à mitigação das emissões de GEEs, com critérios objetivos, mensuráveis e reportáveis. Inicialmente, foi estabelecida a marca-conceito (selo) Carne Baixo Carbono (CBC) (Almeida; Alves, 2020). Na sequência, foram criadas as marcas Soja Baixo Carbono (SBC) (Nepomuceno et al., 2023) e Trigo Baixo Carbono (TBC) (Dossa et al., 2023).

Nesse sentido, a Embrapa Milho e Sorgo propõe a criação de uma marca-conceito nomeada Sorgo Baixo Carbono, desenvolvendo protocolos e métricas para certificação de sorgo proveniente de sistemas de produção sustentáveis, contribuindo para o sequestro de carbono no solo e a redução da emissão de GEEs. O processo de concessão do selo será estruturado por meio de certificação privada, voluntária e de terceira parte, segundo sistema de controle do tipo mensurável, reportável e verificável (MRV) (OECD, 2023 citado por Dossa et al., 2023).

Ações a serem realizadas pela cadeia produtiva do sorgo

A proposta de criação da marca conceito Sorgo Baixo Carbono é um passo significativo em direção à sustentabilidade da produção de sorgo no Brasil, alinhada com as demandas do mercado e os desafios climáticos globais. Ao certificar o sorgo proveniente de sistemas de produção sustentáveis, a iniciativa busca valorizar os produtores que adotam práticas e tecnologias que resultem em menor perda de solo e água, uso de bioinsumos, manejo integrado de pragas e doenças, uso eficiente de nutrientes e redução de perdas na colheita e pós-colheita, garantindo a rastreabilidade e a qualidade do produto final. A iniciativa está em consonância com as diretrizes do Plano de Adaptação e Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (ABC+) (Brasil, 2021), demonstrando um compromisso com as políticas públicas de sustentabilidade.

A marca incentivará a adoção de tecnologias e práticas que reduzam as emissões de gases de efeito estufa e aumentem a resiliência dos sistemas produtivos. A implementação de sistemas MRV garante a rastreabilidade e a verificabilidade das informações, conferindo maior credibilidade à marca e ao produto certificado.

A marca Sorgo Baixo Carbono poderá ser um diferencial competitivo para os produtores e para os produtos derivados, atraindo consumidores cada vez mais exigentes em relação à origem e à sustentabilidade dos alimentos. A implementação bem-sucedida dessa iniciativa dependerá da definição de critérios claros e objetivos, de um sistema de certificação eficiente e acessível, do engajamento de todos os atores da cadeia produtiva e do investimento em pesquisa, desenvolvimento e comunicação.

Mensuração da redução de emissões de gases de efeito estufa

A proposta de criar o Programa Sorgo Baixo Carbono, seguindo os modelos bem-sucedidos da Embrapa Gado de Corte e da Embrapa Soja, demonstra um compromisso com a sustentabilidade e a produção de alimentos de baixo impacto ambiental (Almeida; Alves, 2020; Debiasi et al., 2023; Nepomuceno et al., 2023). A utilização de métodos reconhecidos internacionalmente e o embasamento em informações científicas são fundamentais para

garantir a credibilidade e a acurácia das estimativas de emissões de GEE e do balanço de carbono.

A intensidade das emissões de gases de efeito estufa (IEGEE) será baseada no índice proposto por Mosier et al. (2006), que é definido como a razão entre o balanço de dióxido de carbono (CO_2) equivalente (CO_2eq) e a produtividade, em um dado sistema de produção agropecuário, expressa em quilo de CO_2eq por unidade de massa produzida. O cálculo do CO_2eq leva em consideração os diferentes potenciais de aquecimento global (PAG) dos GEEs em um horizonte de tempo de 100 anos (PAG100), em que o metano (CH_4) apresenta um PAG 30 e 27 vezes maior que o CO_2 para o gás de origem fóssil e não fóssil, respectivamente. Já o óxido nítrico (N_2O) apresenta um PAG 273 vezes maior que o CO_2 (Armour et al., 2021). Portanto, o PAG será representado pelo balanço de CO_2eq de um determinado sistema de produção agropecuário, calculando-se a diferença entre as quantidades

de CO_2eq fixada e emitida, considerando-se o solo e a biomassa vegetal e o CO_2eq liberados nas operações agrícolas e nos processos de fabricação e transporte de insumos, máquinas e equipamentos (Shen et al., 2018; Cerri et al., 2022; Dossa et al., 2023; Nepomuceno et al., 2023; Zhang et al., 2024) usados no sistema de produção de sorgo (Telhado; Capdeville, 2021).

O produtor de sorgo candidato ao selo será incentivado a buscar uma redução do IEGEE, por meio de uso de boas práticas agrícolas (Figura 2). Essa redução do IEGEE será calculada com base em uma referência (*baseline*). Assim, o programa Sorgo Baixo Carbono definirá as referências com ampla discussão entre especialistas em função da região de produção do sorgo. Com as referências estabelecidas, será possível identificar os pontos críticos e as oportunidades para mitigar as emissões de GEEs e potencializar a adoção de sistemas de produção que atendam aos requisitos do selo Sorgo Baixo Carbono.



Figura 2. Modelo esquemático de redução da intensidade das emissões de gases de efeito estufa (IEGEE) em função da adoção de tecnologias e práticas sustentáveis na produção de sorgo.

Definição dos critérios para certificação

O processo de certificação do selo Sorgo Baixo Carbono seguirá o modelo adotado para o selo Soja Baixo Carbono, garantindo a credibilidade e a transparência do sistema. Para definir os critérios de certificação, serão realizados levantamentos direcionados da literatura científica e promoção de debates com especialistas em protocolos e certificação. Equipes capacitadas e consultorias especializadas trabalharão em conjunto para definir os critérios, seguindo padrões internacionais, como o Código de Boas Práticas da ISEAL Alliance (*International Social and Environmental Accreditation and Labelling*, 2014). Na sequência, será desenvolvido o protocolo de certificação, composto por indicadores mensuráveis, reportáveis e verificáveis (MRV), para serem adotados para fins de certificação e concessão do selo Sorgo Baixo Carbono.

Diferencial do selo Sorgo Baixo Carbono

O programa Sorgo Baixo Carbono posiciona-se como uma marca-conceito inovadora e diferenciada por integrar as seguintes características:

Foco no produto (sorgo) e não na propriedade.

Foco no balanço das emissões e remoções de GEEs.

Possibilidade não só de garantir a redução das emissões, mas também de quantificá-las, à luz do conhecimento científico.

Base no conceito de intensidade das emissões por tonelada de grãos, o que permite valorizar o sorgo com maior eficiência de produção por unidade de CO₂eq emitida.

Uso de critérios, diretrizes e indicadores definidos com base em ciência (*science-based approach*) e protocolo público reconhecido pela comunidade internacional.

Certificação voluntária e de terceira parte, com sistema de controle do tipo mensurável, reportável e verificável (MRV).

Experiência da equipe

A Embrapa possui experiência na criação de marcas-conceitos, como Carne Baixo Carbono (CBC) e Soja Baixo Carbono (SBC), além da criação de ferramentas (calculadoras) para estimativa da pegada de carbono por avaliação de ciclo de vida (ACV) de produtos agrícolas em sistemas

de produção. As equipes responsáveis por essas iniciativas integrarão o desenvolvimento da marca Sorgo Baixo Carbono, garantindo celeridade, padronização e assertividade ao programa.

A Embrapa Milho e Sorgo, ao longo de quase cinco décadas, se dedica ao aprimoramento da agricultura brasileira. Por meio de avanços científicos e tecnológicos, a equipe desenvolveu cultivares, práticas de manejo integrado para pragas, doenças e plantas daninhas (Mendes et al., 2019; Valicente, 2020; Cruz, 2022; Cota et al., 2021; Silva et al., 2023a, 2023b), processos otimizados para uso eficiente de insumos e recursos naturais (Campanha et al., 2019; Resende et al., 2023; Marques et al., 2024; Oliveira-Paiva et al., 2024), além de indicações para locais e épocas ideais de cultivo, minimizando riscos climáticos (Santana et al., 1996; Andrade et al., 2022; Amaral et al., 2023).

Estudos aprofundados aprimoraram o sistema plantio direto e a agricultura conservacionista (Nobre; Oliveira, 2018; Campanha et al., 2021; Resende et al., 2021; Simeão et al., 2022), permitindo a diversificação dos usos do sorgo para produção animal, exportação, etanol e outros fins. Essas conquistas científicas e tecnológicas, aliadas a materiais genéticos, práticas e processos agrícolas específicos, têm potencial para aumentar o estoque de carbono no solo e a mitigação de emissões de GEE em sistemas de produção (Campanha et al., 2019; Gontijo Neto et al., 2019). Indicadores químicos, físicos e biológicos foram desenvolvidos para avaliar a qualidade do solo, explorar o papel da microbiota e potencializar seu uso na proteção e produção de grãos (Mendes et al., 2021; Oliveira et al., 2023).

Dessa forma, a criação da marca Sorgo Baixo Carbono e seu selo simboliza um avanço no contínuo aprimoramento da agricultura brasileira, impulsionado por uma ciência em constante evolução. Com expertise e confiabilidade, a Embrapa Milho e Sorgo está preparada para contribuir com um futuro sustentável para a produção de sorgo no Brasil.

Elaboração e implantação do Programa Sorgo Baixo Carbono

Na criação do programa, serão definidas premissas e protocolos técnico-científicos para o processo de certificação por terceiros, além da formalização de parcerias públicas e privadas que apoiarão a iniciativa. As etapas serão:

Revisão da literatura e organização da base de dados: levantamento, compilação, organização e análise de resultados de pesquisas já publicadas sobre o tema “mitigação de emissões de GEEs”, com foco nas publicações em periódicos bem avaliados e com revisão por pares. Os dados coletados, juntamente com os resultados de experimentos realizados pela Embrapa, serão analisados em conjunto, fornecendo subsídios para o desenvolvimento da marca.

Definição da marca-conceito e seu escopo: elaboração de nota técnica descrevendo o escopo da marca-conceito e da logomarca (selo) e seu respectivo manual de identidade visual.

Registro da marca no Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI): envio da documentação a esse órgão.

Definição e publicação das diretrizes técnicas: serão elaboradas com a participação de pesquisadores de diferentes especialidades e com base no conhecimento científico existente (compilado na etapa 1 e validado na etapa 5) e em consultores. Essas diretrizes poderão ser atualizadas periodicamente, conforme previsto no protocolo de normatização ISEAL (International Social and Environmental Accreditation and Labelling, 2014), de forma a adequá-las ao avanço do conhecimento científico e tecnológico, bem como às mudanças de mercado e modelos de negócio.

Validação das diretrizes técnicas: serão realizadas simulações com diferentes abordagens metodológicas aplicadas a diversos cenários que representam os níveis tecnológicos, utilizando informações e dados levantados. Também serão feitas simulações com base em sistemas de produção de sorgo contrastantes, em experimentos de longa duração conduzidos pela Embrapa e por parceiros. Essa etapa fornecerá subsídios para a elaboração das diretrizes técnicas e do protocolo de certificação. Em seguida, serão realizadas validações de campo, utilizando as metodologias desenvolvidas, em lavouras comerciais de sorgo nas principais regiões produtoras do Brasil e em unidades de referência tecnológica (URTs) conduzidas pela Embrapa Milho e Sorgo. Em cada região, será realizado levantamentos para coleta de dados sobre o uso de insumos, com o objetivo de definir o sistema de cultivo de sorgo predominante, que servirá para estabelecer a *baseline* da pegada de carbono da cultura nessa região.

Elaboração do protocolo de certificação: o protocolo de certificação será desenvolvido de maneira colaborativa, por meio de oficinas técnicas entre os especialistas envolvidos, e resultará

na elaboração de dois documentos: memorial descritivo e lista de verificação, juntamente com seus anexos. O memorial descritivo será público e seu conteúdo estará disponível em formato digital. A lista de verificação (checklist a ser aplicado ao sorgo candidato) será elaborada em parceria com a entidade certificadora, sendo de acesso restrito a essa entidade. Em seguida, o protocolo será submetido ao Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa) ou à entidade designada para registro. Assim como as diretrizes técnicas, o memorial descritivo, a lista de verificação e seus anexos serão periodicamente atualizados.

Comunicação do Programa Sorgo Baixo Carbono: o programa será amplamente divulgado, para diferentes públicos, com uso de estratégias de comunicação de massa e ações direcionadas, conteúdos para mídias e plataformas digitais, além de eventos técnicos e peças de comunicação exclusivas.

Mercado: ao oferecer oportunidades para mensuração e valorização de práticas que contribuam para a redução das emissões de GEEs, a marca Sorgo Baixo Carbono criará um novo ambiente de negócios, com o objetivo de diferenciar o sorgo produzido por meio do uso integrado de práticas e tecnologias sustentáveis, que diminuam o potencial de aquecimento global por tonelada de grão produzida.

Considerações finais

A criação da marca Sorgo Baixo Carbono representará um passo importante para promover o uso de indicadores e métricas que comprovem a sustentabilidade do sorgo produzido por agricultores brasileiros. O selo incentivará a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, contribuindo para o estabelecimento de uma agropecuária nacional mais resiliente, capaz de reduzir as emissões de GEE. Além disso, o Sorgo Baixo Carbono contribuirá para a construção de uma cadeia de suprimentos com baixa pegada de carbono.

O Programa Sorgo Baixo Carbono é uma ação relevante para o fortalecimento da produção agropecuária no Brasil, apresentando impactos positivos no tocante à mitigação da mudança climática global, e deverá contar com a participação de diversos atores envolvidos na cadeia de produção do sorgo.

Referências

- ALMEIDA, R. G. de; ALVES, F. V. (ed.). **Diretrizes Técnicas para Produção de Carne com Baixa Emissão de Carbono Certificada em Pastagens Tropicais**: Carne Baixo Carbono (CBC). Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. 36 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 280). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1120985/1/Diretrizestecnicasparaproducaodecarne.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- AMARAL, T. A.; ANDRADE, C. de L. T. de; CUADRA, S. V.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; GUIMARAES, P. E. de O.; TRINDADE, R. dos S. **Metodologia para o Zoneamento Agrícola de Risco Climático da produtividade do milho**: ZarcPro-Milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. 35 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 279). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159479/1/Metodologia-para-o-Zoneamento-Agricola-de-Risco-Climatico-da-produtividade-do-milho.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- ANDRADE, C. de L. T. de; AMARAL, T. A.; VIANA, J. H. M.; SOUZA, I. R. P. de. **Atributos de solo aplicáveis à modelagem de processos biofísicos em áreas agrícolas de Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2022. 27 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 243). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148393/2/Boletim-243-Atributos-de-solo-aplicaveis-a-modelagem-de-processos-biofisicos-em-areas-agricolas-de-MG.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- ARMOUR, K.; COLLINS, W.; DUFRESNE, J. L.; FRAME, D.; LUNT, D. L.; MAURITSEN, T.; PALMER, M. D.; WATANABE, M.; WILD, M.; ZHANG, H. The earth's energy budget, climate feedbacks, and climate sensitivity. In: MASSON-DELMONTE, V.; ZHAI, P.; PIRANI, A.; CONNORS, S. L.; PÉAN, C.; BERGER, S.; CAUD, N.; CHEN, Y.; GOLDFARB, L.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; LEITZELL, K.; LONNOY, E.; MATTHEWS, J. B. R.; MAYCOCK, T. K.; WATERFIELD, T.; YELEKÇI, R.; YU, R.; ZHOU, B. (ed.). **Climate Change 2021**: the physical science basis contribution of working group 1 to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 923-1054. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial para Adaptação à Mudança do Clima e Baixa Emissão de Carbono na Agropecuária 2020-2030**: plano operacional ABS+ 2020-2030. Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/arquivos/abc_final.pdf. Acesso em: 27 ago. 2024.
- CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. e C. da; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, A. V. de; BORGHI, E. **Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta como estratégia para neutralização da emissão de metano entérico de bovinos na região do Cerrado de Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 25 p. Milho e Sorgo. Circular Técnica, 275). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135355/1/CIRC-TEC-275-ILPF-estrategia-neutralizacao-emissao-metano.pdf>. Acesso em: 27 out. 2024.
- CAMPANHA, M. M.; OLIVEIRA, A. D.; MARRIEL, I. E.; RESENDE, A. V. de; GIEHL, J.; SIMÃO, E. de P.; ABREU, S. C.; FERREIRA, A. C. de B.; BORIN, A. L. D. C.; MARRIEL, I. E.; MELO, I. G.; MARQUES, L. de S.; GONTIJO NETO, M. M.; MALAQUIAS, J. V.; LANDAU, E. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R.; CARVALHO, A. M. Effect of soil tillage and N fertilization on N₂O mitigation in maize in the Brazilian Cerrado. **Science of the Total Environment**, v. 692, p. 1165-1174, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.315>.
- CARDOSO, L. M.; PINHEIRO, S. S.; MARTINO, H. S. D.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.): nutrients, bioactive compounds, and potential impact on human health. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 2, p. 372-390, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.887057>.
- CERRI, C. E. P.; CHERUBIN, M. R.; DENNY, D. M. T.; CANTARELLA, H.; NOGUEIRA, L. A. H.; MATSUURA, M. I. da S. F.; GANDINI, M.; STUCHI, A. A. Carbon balance in the sugarcane sector: conference report. **Journal of Cleaner Production**, v. 375, 134090, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134090>.
- CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**: safra 2023/24: décimo primeiro levantamento. Brasília, DF, 2024. 129 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 27 out. 2024.
- COTA, L. V.; OLIVEIRA, I. R.; SILVA, D. D.; MENDES, S. M.; COSTA, R. V. da; SOUZA, I. R. P. de; SILVA, A. F. **Manejo da cigarrinha e enfezamentos na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 16 p. Cartilha. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1130346/1/Cartilha-Manejo-cigarrinha-enfezamentos-milho.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- CRUZ, I. **Controle biológico de pragas do milho**: uma oportunidade para agricultores. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 124 p. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143210/1/Controle-biologico-de-pragas-do-milho.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.
- DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; CARNEVALLI, R. A.; HIRAKURI, M. H.; RUFINO, C. F. G.; NEPOMUCENO, A. L. **Diretrizes**

Técnicas para Certificação Soja Baixo Carbono – Primeira

Aproximação. Londrina: Embrapa Soja, 2023. (Embrapa Soja. Documentos, 457). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1160299/1/DOCUMENTOS-457.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

DOSSA, A. A.; SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; VIEIRA, O. V.; GIONGO, V. (ed.). **Programa Trigo Baixo Carbono: um novo conceito de produção sustentável.** Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023. 34 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 206). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1160710/1/Documentos-206-online.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **Production - corn.** Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/production/commodity/0440000>. Acesso em: 6 ago. 2024.

GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; RESENDE, A. V.; CAMPANHA, M. M.; COSTA, T. C. e. C.; SIMÃO, E. P.; ALMEIDA, R. G.; ALVES, F. V.; PORFIRIO-DA-SILVA, V. **Mitigação de Gases de Efeito Estufa em sistema de Integração Pecuária-Floresta e potencial de produção de Carne Carbono Neutro.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 35 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos, 230). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1103214/1/doc2301.pdf>. Acesso em: 27 ago. 2024.

IBGE. **PAM - Produção Agrícola Municipal.** Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html>. Acesso em: 24 nov. 2023.

INTERNATIONAL SOCIAL AND ENVIRONMENTAL ACCREDITATION AND LABELLING. **Setting social and environmental standards:** ISEAL code of good practice: versão 6.0. Londres: ISEAL Alliance, 2014. Disponível em: https://www.isealliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL_Standard_Setting_Code_v6_Dec_2014.pdf. Acesso em: 28 maio 2024.

MARQUES, D. M.; MAGALHÃES, P. C.; MARRIEL, I. E.; SILVA, A. B.; ALMEIDA, L. G.; SOUZA, T. C. *Azospirillum brasilense* inoculation improves the morphophysiological aspects of maize in soils with high and low nitrogen contents. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 23, e1356, 2024. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1165142/1/Azospirillum-brasilense-inoculation-improves-the-morphophysiological-aspects-of-maize.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2023.

MENDES, I. de C.; CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. dos; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, O. D. D. da; OLIVEIRA, M. I.;

MALAQUIAS, J. V. **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 50 p. (Embrapa Cerrados. Documentos, 369). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133109/1/Tecnologia-Bioas-Documentos-369.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MENDES, S. M.; WAQUIL, J. M.; OLIVEIRA, I. R. de; VIANA, P. A. Manejo de pragas no milho de segunda safra: com ou sem a utilização de milho Bt. **Revista Plantio Direto**, v. 29, n. 168, p. 4-8, 2019. DOI: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109425/1/Manejoprugas.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

MOSIER, A. R.; HALVORSON, A. D.; REULE, C. A.; LIU, X. J. J. Net global warming potential and greenhouse gas intensity in irrigated cropping systems in northeastern Colorado. **Journal of Environmental Quality**, v. 35, n. 4, p. 1584-1598, 2006. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2005.0232>.

NEPOMUCENO, A. L.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; RUFINO, C. F. G.; DEBIASI, H.; NOGUEIRA, M. A.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, F. V.; MONTEIRO, R. A. C.; ALMEIDA, R. G. de; BUNGENSTAB, D. J.; AGNOL, V. F. D. **Programa SBC - Soja Baixo Carbono: um novo conceito de soja sustentável.** 2. ed. Londrina: Embrapa Soja, 2023. 11 p. (Embrapa Soja. Comunicado Técnico, 100). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1152813/1/COMUNICADO-TEC-100-online.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. **Agricultura de Baixo Carbono: tecnologias e estratégias de implantação.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. 194 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1101744/1/LivroAgriculturabaixocarbono.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

OLIVEIRA, A. C.; MARRIEL, I. E.; RESENDE, A. V.; COELHO, E. A. **Análise não paramétrica aplicada em componente principal como uma alternativa à análise de variância multivariada:** estudo da qualidade biológica do solo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 258). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159435/1/Analise-nao-parametrica-aplicada-em-componente-principal.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; SOUSA, S. M.; RIBEIRO, V. P.; SANTOS, F. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F.; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E. Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v. 15, 1426166, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>.

REDDY, P. S. Breeding for abiotic stress resistance in sorghum. In: ARUNA, C.; VISARADA, K. B. R. S.; BHAT, B. V.; TONAPI, V. A. (ed.). **Breeding sorghum for diverse end uses**. Cambridge: Woodhead, 2019. p. 325-340. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00020-6>.

RESENDE, A. V.; GIEHL, J.; SIMÃO, E. P.; ABREU, S. C.; FERREIRA, A. C. B.; BORIN, A. L. D. C.; MARRIEL, I. E.; MELO, I. G.; MARQUES, L. S.; GONTIJO NETO, M. M. **Créditos de nutrientes e matéria orgânica no solo pela inserção do capim-braquiária em sistemas de culturas anuais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 29 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 277). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1135669/1/CIRC-TEC-277-Creditos-nutrientes-materia-organica-solo-capim-braquiaria.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

RESENDE, A. V. de; GONTIJO NETO, M. M.; HURTADO, S. M. C.; ABREU, S. C.; ALVARENGA, R. C.; SILVEIRA, M. C. T. da; SIMÃO, E. de P.; GIEHL, J. **Eficiência da adubação em sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) conforme níveis de investimento na fertilidade em solo de Cerrado da região Central Mineira**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 287). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1157614/1/Eficiencia-da-adubacao-em-sistemas-de-integracao-lavoura-pecuaria-floresta.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SANTANA, D. P.; MONTEIRO, J. A.; GARCIA, J. C.; BAHIA, F. G. F. T. C.; SANS, L. M. A.; PEREIRA FILHO, I. A. Caracterização de sistemas de produção por zonas agroecológicas: a experiência do Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 1, p. 67-91, 1996. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/472865/1/Caracterizacaosistemas.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

SARSHAD, A.; TALEI, D.; TORABI, M.; RAFIEL, F.; NEJATKHAH, P. Morphological and biochemical responses of *Sorghum bicolor* (L.) Moench under drought stress. **SN Applied Sciences**, v. 3, article 81, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-020-03977-4>.

SHEN, Y.; SUI, P.; HUANG, J.; WANG, D.; WHALEN, J. K.; CHEN, Y. Global warming potencial from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain. **Field Crops Research**, v. 225, p.117-127, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.007>.

SILVA, A. F.; BATISTA, A. C.; SILVA, R. S. **Dispersão de plantas daninhas resistentes a glifosato no Brasil**: recomendações de manejo. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023a. 9 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 259). Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1158894/1/Dispersao-de-plantas-daninhas-resistentes-a-glifosato-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

SILVA, A. F.; PADRÃO, V. A.; CONCENÇO, G.; GONTIJO NETO, M. M. **Efeitos da rotação de culturas na dinâmica de plantas daninhas**: um estudo em sistemas agrícolas. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2023b. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 254). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1159227/1/Efeitos-da-rotacao-de-culturas-na-dinamica-de-plantas-daninhas.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

SIMEÃO, R. M.; BORGHI, E.; FERNANDES, C. D.; GONTIJO NETO, M. M.; SILVA, D. D.; ANDRADE, C. L. T. **Forrageiras para rotação de culturas na produção do milho em sistema Integração Lavoura-Pecuária na região Central de Minas Gerais**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2022. 22 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado Técnico, 164). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1148126/1/Forrageiras-rotacao-culturas-2022.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2025.

TELHADO, S. F. P.; CAPDEVILLE, G. de (ed.). **Tecnologias poupa-terra**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. 162 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1131517/1/Tecnologias-poupa-terra-2021.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2025.

VALICENTE, F. H. **Posicionamento e tecnologia de aplicação de inseticidas biológicos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 8 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 248). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127880/1/COT-248.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2025.

WELTZIEN, E.; RATTUNDE, H.; CLERGET, B.; SIART, S.; TOURE, A.; SAGNARD, F. Sorghum diversity and adaptation to drought in West Africa. In: DEVRA, J.; MAR, I.; SEARS, L. (ed.). **Enhancing the use of crop genetic diversity to manage abiotic stress in agricultural production systems: proceedings of a workshop** [online]. Rome: IPGRI, 2006. p. 31-38.

ZHANG, W.; LU, J.; BAI, J.; KHAN, A.; LIUN, S.; ZHAO, L.; WANG, W.; ZHU, S.; LI, X.; TIAN, X.; LI, S.; XIONG, G. Introduction of soybean into maize field reduces N₂O emission intensity via optimizing nitrogen source utilization. **Journal of Cleaner Production**, v. 442, 141052, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141052>.

