

OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



## Programa Trigo Baixo Carbono: um novo conceito de produção sustentável



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

## DOCUMENTOS 206

# Programa Trigo Baixo Carbono: um novo conceito de produção sustentável

*Álvaro Augusto Dossa*  
*Anderson Santi*  
*Genei Antonio Dalmago*  
*Oswaldo Vasconcellos Vieira*  
*Vanderlise Giongo*

Editores Técnicos

**Embrapa Trigo**  
Passo Fundo, RS  
2023

**Embrapa Trigo**  
Rodovia BR-285, Km 294  
Caixa Postal 78  
99050-970 Passo Fundo, RS  
Telefone: (54) 3316-5800  
<http://www.embrapa.br/trigo>  
<http://www.embrapa.br/fale-conosco>

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Trigo

Presidente  
*Leila Maria Costamilan*

Vice-Presidente  
*Eliana Maria Guarienti*

Secretária  
*Marialba Osorski dos Santos*

Membros  
*Alberto Luiz Marsaro Júnior, João Leodato Nunes  
Maciel, João Leonardo Fernandes Pires, Joaquim  
Soares Sobrinho, Jorge Alberto de Gouvêa,  
Martha Zavariz de Miranda e Sirio Wiethölter*

Normalização bibliográfica  
*Graciela Olivella Oliveira (CRB 10/1434)*

Tratamento das ilustrações e editoração eletrônica  
*Márcia Barrocas Moreira Pimentel*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Imagem da capa  
*Joseani Mesquita Antunes*

**1ª edição**  
Publicação digital (2023): 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)**  
Embrapa Trigo

---

Programa Trigo Baixo Carbono: um novo conceito de produção sustentável / Álvaro  
Augusto Dossa ... [et al.], editores técnicos. — Passo Fundo : Embrapa Trigo,  
2023.  
PDF (34 p.) : il. color. — (Documentos / Embrapa Trigo, ISSN 1518-6512 ; 206)

1. Trigo. 2. Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. 3. Agricultura Sustentável.  
I. Dossa, Álvaro Augusto. II. Santi, Anderson. III. Dalmago, Genei Antonio. IV. Vieira,  
Osvaldo Vasconcellos. V. Giongo, Vanderlise. VI. Embrapa Trigo. VII. Série.

---

*Graciela Olivella Oliveira* (CRB-10/1434) CDD 633.11  
© Embrapa, 2023

## Autores

### **Jorge Lemainski**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciências Agrárias/Gestão de Solo e Água, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Alexandre Lima Nepomuceno**

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Biologia Molecular e Fisiologia de Plantas, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

### **José Eloir Denardin**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Giovani Stefani Faé**

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Agronomia, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Alaerto Luiz Marcolan**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Álvaro Augusto Dossa**

Administrador, Ph.D. em Administração, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Anderson Ferreira**

Biólogo, doutor em Ciências (Genética), pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Anderson Santi**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Andre Julio do Amaral**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Carina Ferreira Gomes Rufino**

Jornalista, mestre em Comunicação Social, analista da Embrapa Soja, Londrina, PR

### **Casiane Salete Tibola**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Douglas Lau**

Biólogo, doutor em Agronomia/Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Eduardo Caierão**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Melhoramento Genético Vegetal, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Fabiano Daniel De Bona**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Francisco Tenório Falcão Pereira**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciência e Tecnologia de Sementes, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Genei Antonio Dalmago**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia/Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Gilberto Rocca da Cunha**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia/Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Henrique Debiasi**

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

### **João Leodato Nunes Maciel**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia/Fitossanidade, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **João Leonardo Fernandes Pires**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia/Plantas de Lavoura, Fisiologia e Manejo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Jorge Alberto de Gouvêa**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Biologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **José Maurício Cunha Fernandes**

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **José Pereira da Silva Júnior**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Joseani Mesquita Antunes**

Jornalista, especialista em Gestão Ambiental, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Leandro Vargas**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Lisandra Lunardi**

Jornalista, mestre em Engenharia de Produção, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Luciano Consoli**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Biologia Molecular, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Martha Zavariz de Miranda**

Farmacêutica bioquímica e industrial, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Osmar Conte**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Oswaldo Vasconcellos Vieira**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia/Produção Vegetal, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

### **Roberta Aparecida Carnevalli**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia/Ciência Animal e Pastagens, pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR

### **Sirio Wiethölter**

Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Química e Fertilidade do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

**Vanderlise Giongo**

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, pesquisadora da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

**Vladirene Macedo Vieira**

Engenheira-agrônoma, doutora em Agronomia/Produção Vegetal, analista da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS



## Apresentação

O trigo é uma das culturas agrícolas mais importantes. Isto é demonstrado pelo papel que o cereal possui na segurança alimentar e econômica dos inúmeros países produtores e consumidores de trigo. No Brasil isso não é diferente, e o país vem se destacando no avanço da fronteira do conhecimento, na ampliação da área de cultivo e no aumento da produtividade deste cereal de inverno. A Embrapa, ao criar o Programa Trigo Baixo Carbono, assume o compromisso de promover a produção de trigo por meio de boas práticas agrícolas que reduzem as emissões líquidas de carbono e melhoram a eficiência produtiva e a resiliência dos sistemas de cultivo, para o suprimento contínuo de alimentos para uma população em expansão.

O Programa Trigo Baixo Carbono definirá e estimulará a adoção de modelos de produção de trigo de baixa emissão líquida de carbono, permitindo assim que empresas requisitem certificações de sustentabilidade para suas operações com trigo. Primeiro, o Programa estimula a redução das emissões de gases de efeito estufa (GEE) associadas ao cultivo de trigo, utilizando práticas agrícolas como os sistemas de cultivo conservacionistas, a rotação de culturas, o manejo eficiente de fertilizantes e de irrigação, além do controle integrado de pragas e de doenças, que podem reduzir o balanço líquido do CO<sub>2</sub> liberado para a atmosfera.

Em segundo lugar, o Programa Trigo Baixo Carbono, ao estabelecer diretrizes aos modelos de produção de trigo de baixa emissão de carbono, promoverá a adoção do sistema plantio direto, o uso eficiente de recursos hídricos, a qualidade do solo, a biodiversidade e os recursos naturais. Isso é especialmente importante em um contexto de aumento da demanda global por alimentos,

com consumidores cada vez mais exigentes e no qual a produção agrícola precisa ser escalonada de maneira ambientalmente responsável.

Por fim, o Programa Trigo Baixo Carbono apresenta abordagem sistêmica para a produção de trigo, equilibrando aspectos ambientais, sociais e econômicos da agricultura moderna, para facear os desafios das mudanças climáticas, promover a sustentabilidade da triticultura, garantir a segurança alimentar e aproveitar oportunidades econômicas. Isso atende a todos os pontos do tripé da sustentabilidade.

*Jorge Lemainski*  
Chefe-Geral da Embrapa Trigo

## Sumário

Introdução .....	13
O que pode ser feito pela cadeia produtiva de trigo? .....	17
Trigo Baixo Carbono (TBC): marca-conceito .....	18
Como medir as reduções das emissões de gases de efeito estufa? .....	19
Como serão definidos os critérios para certificação? .....	21
Qual é o diferencial do selo TBC? .....	21
Qual é a experiência da equipe? .....	23
Quais são as etapas para a consolidação do Programa TBC? .....	24
Considerações finais .....	26
Referências .....	26

## Introdução

A demanda global por alimentos deve aumentar continuamente, devido ao crescimento populacional. Segundo projeções da FAO, mantida a atual conjuntura, mais de 650 milhões de pessoas estarão subnutridas em 2030, especialmente em países de baixa ou média renda (FAO, 2015). Além disso, cenários associados às mudanças climáticas tornam os sistemas agrícolas mais dependentes de variações que ocorrem em escala regional do que a maioria dos demais sistemas de produção (Piringer; Steinberg, 2006). Assim, as estratégias de produção agrícola devem melhorar para garantir a segurança alimentar da população mundial em cenários de mudanças climáticas, observando desafios e oportunidades regionais, delineados pelo potencial específico dos ambientes (FAO, 2017). Dadas as limitações de recursos naturais, como solo e água, as necessidades adicionais de alimentos para as próximas décadas deverão ser atendidas mais pelo aumento das produtividades das culturas do que pela expansão em novas áreas (FAO, 2018, 2022).

O trigo, juntamente com o arroz e o milho, faz parte do grupo das culturas alimentares mais importantes do mundo, em se tratando de segurança alimentar. Devido ao valor nutricional diferenciado, este cereal contribui, globalmente, com, aproximadamente, 20% do total das calorias e proteínas da dieta humana (Shiferaw et al., 2013; Erenstein et al., 2022). É cultivado em, aproximadamente, 217 milhões de hectares, e sua produção mundial em 2022 foi de 776,8 milhões de toneladas (Erenstein et al., 2022), prevendo-se queda de 0,8% como reflexo de menores produções esperadas na Austrália, na Índia, no Marrocos e na Ucrânia. Ao mesmo tempo, a produção de trigo precisa aumentar em 40% até 2050, para atender à demanda da população mundial prevista para aquele ano (Becker-Reshef et al., 2023).

O Brasil, embora seja um dos principais exportadores mundiais de grãos, ainda precisa importar trigo para atender à demanda interna para consumo humano. Anualmente, a indústria nacional moageira de trigo trabalha com cerca de 12,5 milhões de toneladas de grãos (Abitrigo, 2021). Em 2022, o Brasil atingiu seu recorde histórico, com produção de 10,5 milhões de toneladas de grãos de trigo, cultivado principalmente nos Estados da região Sul (área tradicional) e em regiões de expansão da cultura no Sudeste e no Centro-Oeste do País (Conab, 2023a). Objetivando não somente o mercado

interno, soluções estruturais e técnicas têm sido desenvolvidas desde 2016 para a viabilização de modelos de produção que atendam às exigências de mercados no exterior (Pires et al., 2020), tendo atingido mais de 3 milhões de toneladas em 2022 (Dossa, 2021; Brasil, 2023), o que reduz, gradativamente, o impacto negativo da importação do cereal na balança comercial. O trigo destinado à exportação é proveniente, principalmente, do Rio Grande do Sul, uma vez que, por questões logístico-financeiras, o aproveitamento dos grãos provenientes deste Estado torna-se oneroso em moinhos do Norte e Nordeste do País. A oferta de grãos no Sul do País pode ser deslocada para países diversos, em especial da África e do Sudoeste Asiático. Isso reforça a posição brasileira de fornecedor mundial de alimentos (Contini; Aragão, 2023), mas também aumenta a obrigatoriedade de manter a qualidade e a sustentabilidade dos produtos. Esse contexto indica que a cadeia agroindustrial de trigo no Brasil precisa se adequar às demandas por quantidade, qualidade e sustentabilidade.

Por ser considerado um alimento universal, há urgência em aumentar a produção mundial de trigo para garantir a segurança alimentar global, sem, contudo, perder a perspectiva de sustentabilidade diante de cenários de mudanças climáticas. Em relação ao impacto destas mudanças, modelos indicam redução de até 6% na produção mundial de trigo a cada grau Celsius de aumento na temperatura global (Asseng et al., 2015). Os efeitos das mudanças climáticas ora em curso podem afetar tanto a produção quanto a área apta ao cultivo de trigo no Brasil. Nóia Junior et al. (2021), com base em modelos projetados pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), apontaram que extremos de baixa produção de trigo serão até 90% mais frequentes até o final deste século no Brasil, sendo que, historicamente, estes extremos ocorreram, em média, uma vez a cada 20 anos. Santi et al., (2017), considerando os cenários de mudanças climáticas, verificaram redução no período indicado de cultivo de trigo pelo Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para toda a região Sul do País, sendo a temperatura do ar a principal variável responsável pela limitação do número de decêndios indicados para semeadura. Estudos dessa natureza evidenciam a necessária atenção aos sistemas de produção visando a mitigar a emissão de gases de efeito estufa, bem como a centrar esforços buscando adaptar as culturas aos extremos climáticos, aproveitando, de maneira mais eficiente, os recursos do ambiente (Quiggin et al., 2021).

Embora a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera possa aumentar a produção de trigo, são descritos impactos negativos potenciais associados ao aumento do CO<sub>2</sub> e da temperatura (Asseng et al., 2015, 2019; Wang; Liu, 2021). Em relação ao aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, Asseng et al. (2019) e Wang e Liu (2021) destacaram o efeito de diluição de proteínas no grão pelo maior acúmulo de assimilados fotossintéticos de carbono e pela menor absorção radicular de nitrogênio, associado às menores taxas de transpiração e de fluxo de massa, relacionando à qualidade de grão e à nutrição humana. O estresse térmico geralmente neutraliza o efeito positivo da maior concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico nos componentes do rendimento de grãos, e pode agravar o efeito negativo do CO<sub>2</sub> ambiental na qualidade dos mesmos. Isso ocorre porque o trigo é bastante sensível ao estresse por temperatura elevada do ar, especialmente durante a antese e o estágio de enchimento do grão, o que leva a danos irreversíveis durante a floração e o desenvolvimento de grãos (Wang; Liu, 2021; Thompson et al., 2022). A qualidade do grão é fortemente dependente da cultivar (componente genético) e do ambiente, sendo que diferentes atributos de qualidade têm mostrado respostas diferenciadas aos estresses bióticos e abióticos em função do genótipo (Thompson et al., 2022). Assim, o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> poderá não compensar os estresses que as plantas de trigo são submetidas pelo aumento da temperatura do ar, em termos de produtividade e de qualidade de grãos.

O impacto de fatores abióticos na qualidade e na produção de trigo, relacionados com maior concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, pode ser mitigado pelo que se chama de “quota de carbono na atmosfera” (do inglês *carbon budget*), que é a quantidade de CO<sub>2</sub> que se pode emitir dentro do limite do aumento da temperatura em 2 °C acima dos níveis pré-industriais (Masson-Delmotte et al., 2022). O exato tamanho da quota de carbono é ainda impreciso, mas estima-se que a quantidade de CO<sub>2</sub> que pode ser emitida para atingir as metas de 1,5 °C, até 2050, é de 510 gigatoneladas (Gt) (Masson-Delmotte et al., 2022; Forster et al., 2023).

Com o intuito de estabelecer programas de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas, os países têm reportado, há mais de uma década, o impacto ambiental dos sistemas de produção de trigo, fornecendo informações, por exemplo, sobre a emissão total de gases de efeito estufa (potencial global de aquecimento por quilograma ou tonelada de grãos produzidos).

Nesse sentido, para a Austrália, Biswas et al. (2010) e Brock et al. (2012) encontraram emissões variando de 150 kg a 400 kg de CO<sub>2</sub> equivalente por tonelada de trigo (CO<sub>2</sub>e/t trigo). Nos Estados Unidos, as emissões variaram entre 260 kg e 500 kg CO<sub>2</sub>e/t trigo em diferentes modelos de produção tritícola (Shrestha et al., 2020). Na China, em função do uso de diferentes fontes nitrogenadas, foram observadas variações entre 629 kg e 1.210 kg CO<sub>2</sub>e/t trigo (Jiang et al., 2021). No Irã, o impacto da irrigação causou emissões totais de gases de efeito estufa de 318 kg CO<sub>2</sub>e/t trigo cultivado em área irrigada, e de 380 kg CO<sub>2</sub>e/t trigo em sequeiro. No Reino Unido, Polônia, Suíça e Chile, houve registros de emissões de 700 kg, 364 kg, 381 kg e 792 kg CO<sub>2</sub>e/t trigo, respectivamente (Charles et al., 2006; Williams et al., 2010; Huerta et al., 2012; Holka et al., 2016). Por meio destes estudos, observam-se grandes variações derivadas dos sistemas de produção, das condições edafoclimáticas, do uso de tecnologias (a exemplo de fertilizantes nitrogenados e de irrigação) e, possivelmente, dos fatores de emissões usados nas estimativas.

Para aumentar a produtividade das culturas em bases sustentáveis, sem comprometer os limites de suporte da vida no planeta, há necessidade de investimentos substanciais em pesquisa e desenvolvimento, incluindo conscientização e motivação de produtores e atores da cadeia de valor quanto à mitigação e à adaptação à mudança do clima (Moerkerken et al., 2019). O Brasil está assumindo importante protagonismo na cadeia tritícola, mesmo no âmbito internacional, incluindo componentes de produtividade e de sustentabilidade, mediante o aproveitamento do potencial pedoclimático (Cunha et al., 1999; Cunha; Assad, 2001). Assim, como as emissões totais de gases de efeito estufa ainda não foram reportadas para o cultivo de trigo nas diferentes regiões de produção brasileiras, há oportunidades de realização de estudos de avaliação de impacto ambiental (utilizando-se ferramentas reconhecidas internacionalmente) e do desenvolvimento do Programa Trigo Baixo Carbono (PTBC), ou seja, de buscar, de maneira mais eficiente, a fixação do carbono no solo e a configuração de sistemas de produção que promovam a redução da emissão de CO<sub>2</sub> equivalente durante o processo produtivo.

Considerando a estreita relação entre mudanças climáticas e agricultura, especificamente a possibilidade de inserção da cadeia de produção do trigo nos cenários propostos pelo IPCC (Leitzell et al., 2021; Pörtner et al., 2022), este documento apresenta à sociedade as principais diretrizes do Programa

Trigo Baixo Carbono. Adicionalmente, são apresentados desafios de inovação e oportunidades, além da análise de resultados e ativos previamente obtidos e previstos em projetos, que são basilares para a estruturação do referido programa. O PTBC está diretamente relacionado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 – Fome zero e agricultura sustentável (acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável) e 13 – Ação contra a mudança global do clima (tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos).

## O que pode ser feito pela cadeia produtiva de trigo?

A área de trigo no Brasil vem se expandindo continuamente nas últimas cinco safras, passando de 1,9 milhão de hectares, em 2017, para 3,1 milhões de hectares em 2022, em um crescimento de 61% (Conab, 2023b). A quantidade recorde produzida, bem como o crescimento de área cultivada, decorre de diversos fatores, incluindo preços atrativos no mercado nacional e internacional, clima adequado, iniciativas público-privadas de incentivo à produção e necessidade do produtor em agregar renda aos seus empreendimentos (Luz, 2023). Esse contexto conecta-se à demanda crescente por produtos em bases mais sustentáveis, para os quais a transparência é chave para o acompanhamento dessa conduta por parte de atores interessados na mitigação de mudanças climáticas e em seu uso como ativo econômico.

A maior parte da produção mundial de trigo é usada para consumo humano, especialmente na forma de pães, massas e biscoitos (Dossa, 2021). No Brasil não é diferente, mas há destino crescente para outros usos, como alimentação animal (forragem, silagem ou composição de rações para suínos e aves), além do potencial recente da produção de bioetanol com cereais de inverno (Kersting et al., 1994; D’Amico et al., 2010; Antunes; Cardoso, 2020). O conjunto de oportunidades aumenta a liquidez do trigo e o poder de barganha por melhores preços para o produtor, ampliando a segurança de retorno financeiro e, portanto, o interesse em produzir trigo. Diversas linhas de trabalho vêm sendo desenvolvidas na busca de opções para o produtor rural e para a liquidez de sua lavoura de trigo. Um exemplo disso está nos progra-



mas de melhoramento genético para fins específicos. Os resultados estão cada vez mais associados à visão de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), seja de forma direta ou indireta, ao dar suporte a estratégias de sustentabilidade buscadas e/ou desenvolvidas pelos diferentes sistemas de produção. Dentre as principais características de plantas buscadas nos programas de melhoramento para a redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), destacam-se: o aumento do rendimento de grãos; a incorporação de resistências a diferentes estresses bióticos (levando à economia de aplicação de defensivos agrícolas); o incremento do conteúdo amiláceo dos grãos visando à aptidão para produção de etanol; e as cultivares mais eficientes no uso de nitrogênio e de água.

Diante do conjunto de oportunidades que aumenta a liquidez do trigo produzido no Brasil, os atores do setor, juntamente com outros setores da sociedade, são chamados a adotar tecnologias que permitam reduzir as emissões de GEE ou sequestrar mais carbono da atmosfera, desde a geração do grão até a venda no varejo de seus produtos finais, como farinha, pães, massas e biscoitos. Para tal, torna-se essencial a elaboração de critérios ou procedimentos para a produção de trigo de baixa emissão de carbono, que promova o acúmulo de carbono nos solos e propicie a adaptação dos cultivos a um cenário de mudanças climáticas.

Além disso, estratégias de adaptação a impactos das mudanças climáticas na produção agrícola envolvem a proposição de novos modelos de cultivo de trigo para diferentes condições ambientais, que afetam tanto a produtividade quanto a qualidade do cereal (Wang; Liu, 2021).

## Trigo Baixo Carbono (TBC): marca-conceito

A Embrapa Trigo, seguindo os exemplos da Embrapa Soja e da Embrapa Gado de Corte, propõe a criação de uma marca-conceito, chamada de Trigo Baixo Carbono (TBC), desenvolvendo protocolo para a certificação de trigos provenientes de sistemas de produção que inferem sustentabilidade. O processo de concessão do selo TBC será estruturado por meio de certificação privada, voluntária e de terceira parte, segundo sistema de controle do tipo MRV (mensurável, reportável e verificável) (OECD, 2023), também estabele-

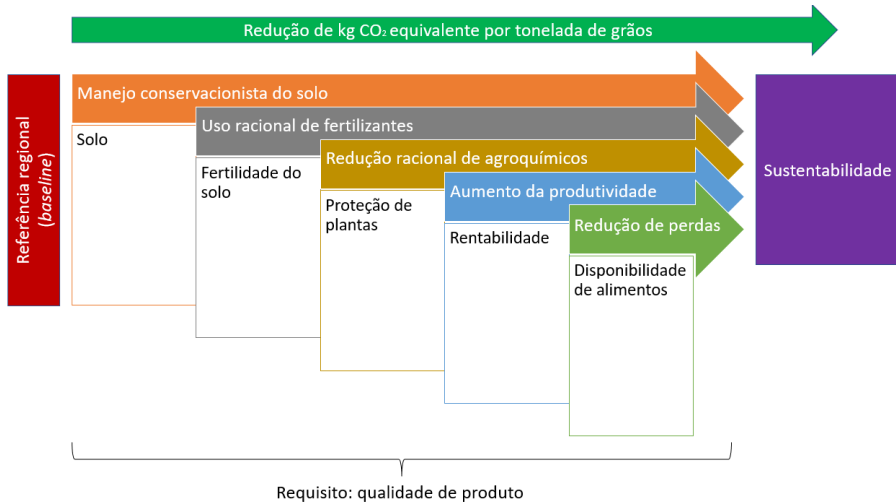
cido pela Embrapa Soja e descrito por Nepomuceno et al. (2023) para o selo SBC (Soja Baixo Carbono).

## Como medir as reduções das emissões de gases de efeito estufa?

Métodos e enfoques diferentes podem ser utilizados e definidos para medir emissões de GEE e para realizar o balanço de carbono, decorrentes da produção agrícola. No Brasil, os sistemas de produção que contemplam o trigo como um dos produtos podem produzir também soja, milho, carne e leite, por exemplo. Assim, a visão de sistema de produção não é somente necessária, mas imperativa para que as emissões de GEE e o balanço de carbono sejam adequadamente mensurados e analisados. Nessa perspectiva, os princípios, critérios e diretrizes fundamentais para a mitigação das emissões de GEE no Programa Trigo Baixo Carbono, à semelhança dos Programas Soja Baixo Carbono, Carne Baixo Carbono e Carne Carbono Neutro, elaborados pelas Unidades Embrapa Soja e Embrapa Gado de Corte (Alves et al., 2015, 2019; Almeida; Alves, 2020; Henrique et al., 2022; Nepomuceno et al., 2023), serão embasados em evidências científicas, seguindo regras, normas e metodologias preconizadas e aceitas, com rigor científico.

A Intensidade das Emissões de Gases de Efeito Estufa (IEGEE), baseada na visão de sistema de produção que contemple trigo, soja, milho e carne ou leite, terá como fundamento o índice proposto por Mosier et al. (2006), que é definido como a razão entre o balanço de  $\text{CO}_2\text{e}$ , em um dado sistema de produção agropecuário, e a produtividade comercializável, expressa em kg de  $\text{CO}_2\text{e}$  por unidade produzida. O cálculo do  $\text{CO}_2\text{e}$  leva em consideração os diferentes potenciais de aquecimento global dos GEEs, como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que apresentam, respectivamente, potencial de aquecimento global (PAG) 23 vezes e 296 vezes maior que o  $\text{CO}_2$  (Eggleston et al., 2006). O PAG será representado pelo balanço de  $\text{CO}_2\text{e}$  de um determinado sistema de produção agropecuário, calculado como a diferença entre as quantidades de  $\text{CO}_2\text{e}$  fixada e emitida, considerando o solo, a biomassa vegetal, as operações agrícolas e os processos de fabricação e transporte de insumos, máquinas e equipamentos (Fontana et al., 2021; Cerri et al., 2022; Henrique et al., 2022; Nepomuceno et al., 2023) utilizados no sistema de produção de trigo

(Williams et al., 2010; Shrestha et al., 2020; Jiang et al., 2021). Um modelo esquemático simplificado pode ser visualizado na Figura 1.



**Figura 1.** Modelo simplificado para redução da Intensidade de Emissão de Gases de Efeito Estufa (IEGEE) em função da adoção de práticas sustentáveis no sistema de produção de trigo e de seus derivados.

Inicialmente, o programa que rege a marca-conceito TBC estabelecerá as referências, ou *baselines*, em função da região tritícola e do sistema de produção médio vigente. As referências serão estabelecidas para as regiões Sul-Brasileira (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Sul do Paraná), Centro-Sul-Brasileira (Centro-Oeste do Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul) e Brasil Central (Goiás, Distrito Federal, Bahia, Mato Grosso e Minas Gerais), sendo que, nesta última região, ocorrem os sistemas de produção irrigado e de sequeiro. Com o estabelecimento das referências, será possível identificar processos críticos e oportunidades para mitigar as emissões líquidas de GEE e potencializar os sistemas de produção que convergem para o cultivo de TBC.

## Como serão definidos os critérios para certificação?

A definição de critérios para certificação do TBC será realizada em conjunto, entre Embrapa Trigo e Embrapa Soja, abrangendo a certificação da SBC. Assim, a construção metodológica do TBC, conforme descrita para soja (Nepomuceno et al., 2023), incluirá as fases de levantamento, análise e compilação de dados científicos, seguidas pelas fases de discussão e validação, por meio de reuniões de trabalho com equipes especializadas em protocolos de certificação. Todos os critérios serão contemplados no formato de protocolo passível de ser adotado para fins de certificação e concessão do selo TBC. O protocolo deverá seguir padrões internacionais de preparação de normas, com ênfase no Código de Boas Práticas da ISEAL Alliance (Setting..., 2014).

## Qual é o diferencial do selo TBC?

Variações na IEGEE são derivadas do sistema de produção de trigo, de condições edafoclimáticas e do uso de tecnologias, a exemplo de fertilizantes nitrogenados e de irrigação (Charles et al., 2006; Williams et al., 2010; Huerta et al., 2012; Holka et al., 2016; Shrestha et al., 2020; Jiang et al., 2021), e precisam ser consideradas adequadamente.

O selo TBC é uma ferramenta que auxiliará a reportar as emissões diretas e indiretas de GEE associadas ao trigo, além de reunir as informações disponíveis, facilitando a interpretação das mesmas e seu uso na tomada de decisões. Adicionalmente, por meio do selo TBC, será possível demonstrar que os incrementos de rendimento de grãos que o Brasil vêm alcançando são resultantes de cultivos que obedecem a princípios de sustentabilidade, respeitando limites de suporte planetário, por meio da utilização de material genético (Soares et al., 2021; Albrecht et al., 2022; Caierão et al., 2022a, 2022b), de estratégias de tolerância e/ou resistência a patógenos (Santos et al., 1990; Lima et al., 2021; Costamilan et al., 2022; Lau et al., 2022; Maciel et al., 2022), do uso de fertilizantes e corretivos (Armelin et al., 2022), de práticas de manejo de solo e planta (Silva et al., 2022; Woord et al., 2022) e do aproveitamento adequado do potencial pedológico e climático (Cunha et

al., 1999, 2011a, 2011b; Cunha; Assad, 2001; Pires et al., 2011; Santi et al., 2017).

O PTBC, a ser operacionalizado por meio de protocolo e da atribuição do selo TBC, demonstrará como o Brasil está assumindo protagonismo na produção mundial de trigo, incluindo os componentes produtividade e sustentabilidade. Assim, uma vez que as emissões totais de GEE serão reportadas para os cultivos de trigo nas diferentes regiões de produção, há oportunidade para realizar estudos adicionais de avaliação de impacto social e econômico, utilizando ferramenta internacionalmente reconhecida, para reportar não somente o balanço de carbono, mas, também, indicadores ESG (*Environmental, Social, and Governance*) (The Global Compact, 2004).

Em síntese, o selo TBC pretende ser posicionado como uma marca-conceito irmã à SBC (Figura 2), pois, por ambos cultivos derivarem dos mesmos sistemas de produção, destaca-se o potencial para compartilhamento do mesmo protocolo de certificação, com foco no produto e no balanço das emissões de GEE, tendo por base o conceito de intensidade das emissões por tonelada de grãos, o que permite valorizar os grãos com maior eficiência de produção por unidade de CO<sub>2</sub>e. Outros aspectos importantes são a utilização de critérios, diretrizes e indicadores definidos cientificamente (*science-based approach*) e a constituição de protocolo público reconhecido pela comunidade internacional. Por fim, a adoção de certificação voluntária e de terceira parte, com sistema de controle do tipo MRV, tornará o selo TBC um processo prático e de importância para a produção agrícola.



**Figura 2.** Marcas-conceito Trigo Baixo Carbono (A) e Soja Baixo Carbono (B).

Ilustração (A): Raoni Vanzo Locatelli.

Fonte (B): Nepomuceno et al. (2023).

## Qual é a experiência da equipe?

A Embrapa possui experiência com o estabelecimento de marcas-conceito, a exemplo de Carne Carbono Neutro - CCN (Alves et al., 2015), Carne Baixo Carbono - CBC (Almeida; Alves, 2020) e Soja Baixo Carbono - SBC (Nepomuceno et al., 2023). As equipes responsáveis pelo desenvolvimento dessas marcas estarão apoiando ou integrando a equipe de desenvolvimento da marca TBC. A experiência das equipes que trabalharam com carne e soja trarão celeridade, padronização e assertividade ao estabelecimento do PTBC.

A Embrapa Trigo possui corpo técnico e científico que vem concentrando esforços, desde 1974, no desenvolvimento da triticultura brasileira. Ao longo de cinco décadas, o modelo de produção vem se desenvolvendo por meio de avanços na fronteira do conhecimento traduzidos em novas cultivares (Scheeren et al., 2011, Soares et al., 2021; Caierão et al., 2022b), em práticas de manejos integrados de insetos-praga, doenças e plantas daninhas (Baldessarini et al., 2020; Lima et al., 2021; Costamilan et al., 2022; Lau et al., 2022; Maciel et al., 2022), em processos para aprimorar a eficiência de utilização de insumos e de recursos naturais (Pozza et al., 2019; Armelin et al., 2022) e em indicação dos melhores locais e épocas de cultivo visando à redução do risco climático (Cunha et al., 1999; Cunha; Assad, 2001; Santi et al., 2017; Soares Sobrinho et al., 2022). Adicionalmente, estudos aprimoraram o sistema plantio direto e, conseqüentemente, a agricultura conservacionista (Silva et al., 2022; Stralio et al., 2022), e diversificaram os usos (produção animal, exportação para mercados específicos, produção de etanol, entre outros).

Os avanços científicos e tecnológicos da triticultura brasileira possibilitaram, por meio de material genético, de práticas e de processos agrícolas (Pires et al., 2020, 2021a, 2021b), acumular carbono no solo (Lopes et al., 2015) e mitigar emissões de GEE em modelos de produção que contemplam trigo e soja (Veeck et al., 2022). Também foram desenvolvidos indicadores químicos, físicos e biológicos para avaliar a qualidade do solo, para prospectar o papel da microbiota e para potencializar usos na proteção e na promoção da produção de grãos (Ferreira et al., 2016; Berber et al., 2020). Assim, as criações da marca-conceito e do selo TBC serão conseqüências naturais do apromo-

ramento contínuo da agricultura brasileira, baseada em ciência em constante evolução.

## Quais são as etapas para a consolidação do Programa TBC?

A estruturação do PTBC parte da construção e do fortalecimento de protocolos técnico-científicos que permitirão o estabelecimento de certificações, cuja operação possa se dar por terceira parte. Além disso, também permite a formalização de parcerias entre órgãos participantes do programa, sejam eles públicos ou privados. Os passos para a construção do PTBC são:

- Revisão de literatura e organização de base de dados: aquisição e análise de publicações técnico-científicas, preferencialmente em periódicos de alto impacto, que abordem a redução de emissões de GEE na cadeia agroindustrial do trigo. Essas informações, juntamente com dados obtidos em experimentos realizados pela Embrapa Trigo e por seus parceiros, serão analisadas de forma conjunta, buscando o desenvolvimento da marca-conceito.
- Definição, publicação e divulgação das diretrizes técnicas da marca-conceito do TBC: serão construídas de forma multidisciplinar e tendo por base o estado da arte do tema. Visando à manutenção da qualidade das orientações, essas diretrizes serão avaliadas periodicamente, podendo ser atualizadas seguindo os protocolos de normatização ISEAL (Setting..., 2014), de forma a adequá-las ao avanço do conhecimento científico e tecnológico, bem como às mudanças de mercado e de modelos de negócio.
- Validação das diretrizes técnicas: serão realizadas simulações com metodologias diversas, aplicadas a diferentes cenários, dentro das Regiões Homogêneas de Adaptação de Cultivares de Trigo (RHACT). Essas metodologias e cenários serão baseados em dados e informações compilados pela equipe técnica do PTBC. Os experimentos de longa duração conduzidos pela Embrapa Trigo, com foco em sistemas de produção que envolvam trigo, também serão utilizados para embasar as diretrizes técnicas e o protocolo de certi-

ficação. Posteriormente, será realizada validação em escala de produtor rural, aplicando as metodologias desenvolvidas em lavouras de diferentes RHACT, em unidades de referência tecnológicas (URTs) conduzidas pela Embrapa Trigo e por parceiros.

- Elaboração de protocolo de certificação: ocorrerá através de fóruns técnicos entre especialistas. Parte do programa deverá produzir duas publicações: um memorial descritivo (que terá ampla divulgação e será disponibilizado eletronicamente) e um *checklist* (destinado às lavouras de trigo candidatas ao TBC; será formulado de forma colaborativa com as certificadoras, e restrito a elas). Este protocolo será submetido a registro no Ministério da Agricultura e Pecuária (ou entidade indicada). Assim como as diretrizes técnicas, o memorial descritivo, *checklist* e anexos poderão ser atualizados periodicamente, conforme recomendação da ISEAL (Setting..., 2014), sendo flexíveis para adaptações necessárias no futuro.
- Definição da marca-conceito e de seu escopo: a produção de nota técnica, que caracterize o escopo da marca-conceito, seguirá o modelo desenvolvido pela Embrapa Soja (Nepomuceno et al., 2023). Também será desenvolvido o “selo” ou “logomarca”, bem como o manual de identidade visual, seguindo padrão definido na marca-conceito conectada aos sistemas de produção de trigo-soja baixo carbono.
- Registro da marca no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI).
- Comunicação do Programa TBC: o programa utilizará estratégias de comunicação de massa e ações específicas dirigidas, buscando atingir diferentes públicos, sejam eles nacionais e/ou internacionais. Os conteúdos envolverão plataformas digitais, impressos e peças de comunicação visual, bem como divulgação em eventos diversos.
- Mercado: a marca-conceito TBC permitirá que diferentes modelos de negócios sejam viabilizados, porque criará oportunidades de mensuração e de valorização para o produtor rural e para parceiros envolvidos, ao diferenciar o trigo e seus produtos derivados no que tange à



mitigação de GEE, reduzindo o potencial de aquecimento global por tonelada de grão produzido.

## Considerações finais

O trigo é uma das culturas básicas da alimentação humana. Sua importância econômica e sua contribuição para as dietas dos seres humanos e animais é incontestável, principalmente considerando a demanda crescente dos países nos quais os processos de urbanização e industrialização estão em crescimento, acompanhados da ocidentalização dos padrões/hábitos alimentares no mundo. Adicionalmente, a produção de trigo no Brasil está aumentando e assumindo protagonismo nas cadeias alimentares humana e animal. Admite-se que o Brasil se encontra no rumo da autossuficiência em trigo, em termos de produção e consumo e ampliação das exportações, sendo importante comunicar, por meio do selo TBC, que o trigo brasileiro é competitivo também em termos ambientais.

## Referências

- ABITRIGO. **Estatísticas**. Estimativa de moagem de trigo no Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.abitrigo.com.br/categoria-estatisticas/farinha-de-trigo/>. Acesso em: 21 fev. 2023.
- ALBRECHT, J. C.; ANDRADE, S. R. M. de; CHAGAS, J. H. O desenvolvimento do trigo no Cerrado do Brasil Central: tecnologias geradas pela Embrapa Cerrados e parceiros. In: FALEIRO, F. G.; SILVA NETO, S. P. da (ed.). **Tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Cerrados e parceiros que transformaram o Cerrado e o Brasil: especial 40 anos**. Planaltina, DF: Embrapa, 2022. p. 279-292.
- ALMEIDA, R. G. de; ALVES, F. V. **Diretrizes técnicas para produção de carne com baixa emissão de carbono certificada em pastagens tropicais: Carne Baixo Carbono (CBC)**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2020. 36 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 280).
- ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A. **Carne carbono neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2015. 29 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).
- ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; GOMES, R. C.; BUNGENSTAB, D. J. Marcas-conceito e a proposta de uma Plataforma de Pecuária de Baixo Carbono. In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (org.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 169-179.

ANTUNES, J. M.; CARDOSO, L. S. Cereais de inverno podem substituir o milho na alimentação de suínos e aves. **Portal Embrapa**, 27 out. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/56781287/cereais-de-inverno-podem-substituir-o-milho-na-alimentacao-de-suinos-e-aves>. Acesso em: 16 fev. 2023.

ARMELIM, M. C.; MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C. Alteração do estado nutricional do trigo em resposta a aplicação de cálcio e cobre. In: JORNADA ACADÊMICA DA EMBRAPA SOJA, 17., 2022, Londrina. **Resumos expandidos...** Londrina: Embrapa Soja, 2022. p. 44-48. (Embrapa Soja. Documentos, 446).

ASSENG, S.; EWERT, F.; MARTRE, P.; RÖTTER, R. P.; LOBEL, D. B.; CAMMARANO, D.; KIMBALL, B. A.; OTTMAN, M. J.; WALL, G. W.; WHITE, J. W.; REYNOLDS, B. M. P.; ALDERMAN, P. D.; PRASAD, P. V. V.; AGGARWAL, P. K.; ANOTHAI, J.; BASSO, B.; BIERNATH, C.; CHALLINOR, J.; DESANCTIS, G.; DOLTRA, J.; FERERES, E.; GARCIA-VILA, M.; GAYLER, S.; HOOGENBOOM, G.; HUNT, L. A.; IZAURRALDE, R. C.; JABLON, M.; JONES, C. D.; KERSEBAUM, K. C.; KOEHLER, A. -K.; MÜLLER, C.; NARESHKUMAR, S.; NENDEL, C.; O'LEARY, G.; OLESEN, J. E.; PALOSUO, T.; PRIESACK, E.; EYSHIREZAEI, E.; RUANE, A. C.; SEMENOV, M. A.; SHCHERBAK, I.; STÖCKLE, C.; STRATONOVITCH, P.; STRECK, T.; SUPIT, I.; TAO, F.; THORBURN, P. J.; WAHA, K.; WANG, E.; WALLACH, D.; WOLF, J.; ZHAO, Z.; ZHU, Y. Rising temperatures reduce global wheat production. **Nature Climate Change**, v. 5, p. 143-147, Feb. 2015. DOI: [doi.org/10.1038/nclimate2470](https://doi.org/10.1038/nclimate2470).

ASSENG, S.; MARTRE, P.; MAIORANO, A.; RÖTTER, R. P.; O'LEARY, G. J.; FITZGERALD, G. J.; GIROUSSE, C.; MOTZO, R.; GIUNTA, F.; BABAR, M. A.; REYNOLDS, M. P.; KHEIR, A. M. S.; THORBURN, P. J.; WAHA, K.; RUANE, A. C.; AGGARWAL, P. K.; AHMED, M.; BALKOVIČ, J.; BASSO, B.; BIERNATH, C.; BINDI, M.; CAMMARANO, D.; CHALLINOR, A. J.; DE SANCTIS, G.; DUMONT, B.; EYSHI REZAEI, E.; FERERES, E.; FERRISE, R.; GARCIA-VILA, M.; GAYLER, S.; GAO, Y.; HORAN, H.; HOOGENBOOM, G.; IZAURRALDE, R. C.; JABLON, M.; JONES, C. D.; KASSIE, B. T.; KERSEBAUM, K. -C.; KLEIN, C.; KOEHLER, A. K.; LIU, B.; MINOLI, S.; MONTESINO SAN MARTIN, M.; MÜLLER, C.; NARESH KUMAR, S.; NENDEL, C.; OLESEN, J. E.; PALOSUO, T.; PORTER, J. R.; PRIESACK, E.; RIPOCHE, D.; SEMENOV, M. A.; STÖCKLE, C.; STRATONOVITCH, P.; STRECK, T.; SUPIT, I.; TAO, F.; VAN DER VELDE, M.; WALLACH, D.; WANG, E.; WEBBER, H.; WOLF, J.; XIAO, L.; ZHANG, Z.; ZHAO, Z.; ZHU, Y.; EWERT, F. Climate change impact and adaptation for wheat protein. **Global Change Biology**, v. 25, n. 1, p. 155-173, Jan. 2019. DOI: [doi.org/10.1111/gcb.14481](https://doi.org/10.1111/gcb.14481).

BALDESSARINI, R.; GALON, L.; VARGAS, L.; MÜLLER, C.; BRANDLER, D.; SILVA, J. D. G. da; FORTE, C. T.; FRANCESCHETTI, M. B.; TIRONI, S. P.; PERIN, G. F. Morphophysiological responses of wheat cultivars in competition with diploid and tetraploid ryegrass. **Journal of Agricultural Studies**, v. 8, p. 546-568, 2020.

BECKER-RESHEF, I.; BARKER, B.; WHITCRAFT, A.; OLIVA, P.; MOBLEY, K.; JUSTICE, C.; SAHAJPAL, R. Crop type maps for operational global agricultural monitoring. **Science Data**, v. 10, n. 1, 172, Mar. 2023. DOI: [doi.org/10.1038/s41597-023-02047-9](https://doi.org/10.1038/s41597-023-02047-9).

BERBER, G. C. M.; BONALDO, S. M.; CARMO, K. B.; GARCIA, M.; FARIAS NETO, A.; FERREIRA, A. Integrated production systems revealing antagonistic fungi biodiversity in the tropical region. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 6, p. 46-56, 2020.

BISWAS, W. K.; GRAHAM, J.; KELLY, K.; JOHN, M. B. Global warming contributions from wheat, sheep meat and wool production in Victoria, Australia - a life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 4, p. 1386-1392, Sept. 2010.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. **ComexVis**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/comex-vis>. Acesso em: 22 fev. 2023.

BROCK, P.; MADDEN, P.; SCHWENKE, G.; HERRIDGE, D. Greenhouse gas emissions profile for 1 tonne of wheat produced in Central Zone (East) New South Wales: a life cycle assessment approach. **Crop Pasture Science**, v. 63, n. 4, p. 319-329, 2012.

CAIERÃO, E.; CASTRO, R. L. de; SCHEEREN, P. L.; CARPENTIERI-PIPOLO, V. Avaliação exploratória de germoplasma de trigo durum: seleção e melhoramento de cultivares como alternativa para indústria de macarrão. In: REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE, 15., 2022. **Atas e resumos...** Brasília, DF: Embrapa: Passo Fundo: Embrapa trigo, 2022a.

CAIERÃO, E.; CASTRO, R. L. de; SCHEEREN, P. L.; EICHELBERGER, L.; PIRES, J. L. F.; GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; LAU, D.; SANTANA, F. M.; COSTAMILAN, L. M.; LIMA, M. I. P. M.; CUNHA, G. R. da; NASCIMENTO JUNIOR, A. do. BRS TR271: a high grain yield and super early wheat cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 22, n. 4, p. 1-4, 2022b.

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: doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.

CHARLES, R.; JOLLIET, O.; GAILLARD, G.; PELLET, D. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 113, n. 1-4, p. 216-225, Apr. 2006.

CONAB. **Safra brasileira de grãos**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 21 fev. 2023a.

CONAB. **Trigo**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/913-trigo>. Acesso em: 22 fev. 2023b.

CONTINI, E.; ARAGÃO, A. **O agro brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas**. Disponível em: <https://tinyurl.com/45juww55>. Acesso em: 22 fev. 2023.

COSTAMILAN, L. M.; SCHEEREN, P. L.; CAIERAO, E.; CASTRO, R. L. de; CLEBSCH, C. C. **Oídio de trigo**: avaliação histórica de linhagens e cultivares do programa de melhoramento da Embrapa Trigo, em 2021. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 19 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 71).

CUNHA, G. R. da; ASSAD, E. D. Uma visão do número especial da RBA sobre zoneamento agrícola no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 377-385, 2001.

CUNHA, G. R. da; HAAS, J. C.; ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de trigo no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 5, n. 1, p. 55-62, 1999.

CUNHA, G. R. da; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; HAAS, J. C.; MALUF, J. R. T.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A. Regiões para trigo no Brasil: ensaios de VCU, zoneamento agrícola e épocas de semeadura. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (ed.). **Trigo no Brasil**: bases para produção competitiva e sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011b. p. 27-40.

CUNHA, G. R. da; PIRES, J. L. F.; VARGAS, L. Bases para produção competitiva e sustentável de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011a. p. 19-26.

D'AMICO, S. D.; HRBALOVA, M.; MÜLLER, U.; BERGHOFER, E. Bonding of spruce wood with wheat flour glue - effect of press temperature on the adhesive bond strength. **Industrial Crops and Products**, v. 31, n. 2, p. 255-260, Mar. 2010.

DOSSA, A. A. **Wheat supply chain: a comparative study of sustainability issues concerning Brazil and the United Kingdom through circular economy lenses**. 2021 312 f. Tese (Doutorado em Philosophy) - University of Northampton, Northampton. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1133118>. Acesso em: 22 fev. 2023.

EGGLESTON, H. S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. (ed.). **2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Hayama: IGES, 2006. 5 v.

ERENSTEIN, O.; JALETA, M.; MOTTALEB, K. A.; SONDER, K.; DONOVAN, J.; BRAUN, H. J. Global trends in wheat production, consumption and trade. In: REYNOLDS, M. P.; BRAUN, H. J. (ed.). **Wheat Improvement**. London: Springer, 2022. p. 47-66. DOI: [doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90673-3_4)

FAO. **Achieving zero hunger: the critical role of investment in social protection and agriculture**. 2. ed. Rome: FAO: IFAD: WFP, 2015. 32 p.

FAO. **Conservation agriculture**. 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/conservationagriculture/en/>. Acesso em: 22 jun. 2023.

FAO. **The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050**. Rome, 2018. 224 p.

FAO. **The future of food and agriculture: trends and challenges**. Rome, 2017. 163 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2023.

FERREIRA, A.; CARMO, B. C.; BEHLING, M.; WEBER, O. L. S. Microbiologia de solo em sistemas integrados: biodiversidade e prospecção. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AGROPECUÁRIA SUSTENTÁVEL. 8.; INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE AGRICULTURE, 5. Sinop. **Ciência, tecnologia e inovação para o desenvolvimento sustentável das novas fronteiras agrícolas: anais de palestras**. Sinop: UFMT: Embrapa, 2016. p. 31-42.

FONTANA, A.; PIRES, A. M. M.; VENTURIERI, A.; JESUS, A. H. de; PAULA, A. J. de; MEDEIROS, A. de S.; VARGAS, A. de G.; BERNDT, A.; FERREIRA, A. L.; LUIZ, A. J. B.; ALVES, A. E.; PEREIRA, A. C.; FREITAS, A. F. de; PACKER, A. P.; CAVALCANTE, A. P. C. M.; FRASCA, A. V. da L.; FERNANDES, A.; ZIMBRES, B.; RUDORFF, B. F. T.; DENARDI, B. M.; BORDRON, B.; ALVES, B. J. R.; KRAHEMBUHL, C. B. B. P.; ARAÚJO, C. E. R.; DUBEUX, C. B. S.; MAEQUES, C. L.; SILVA, C. R.; BALDI, C.; JANTALIA, C. P.; GESTEIRA NETO, C. J. M.; BACK, C. D.; ANDRADE, C. A. de; AGUIAR, D. A. de; OBERLING, D. F.; OLIVEIRA, D. M. de; CALÇADO, D. M.; GONÇALVES, D. N. S.; MOLLETA, D. G. S.; GAROFALO, D. F. T.; FERREIRA, D.; GOULART, D.; OLIVEIRA, E. C. de; ROSA, E. R.; ALMEIDA, E. G. de; ALBUQUERQUE, E. R. G. M. de; LA ROVERE, E. L.; RIEGELHAUPT, E. M.; HENRIQUE, F. L.; FARIA, F. F. de; PATERNOST, F. F.; CESÁRIO, F. V.; PEREIRA, F. R. de S.; PAREYN, F. G. C.; RODRIGUES, G. A. H.; BERTANI, G.; LEMOS, G. da S.; RIBEIRO, G. H. P. de M.; CABRAL, G. H.; FROES, G. A. M.; GOES, G. V.; ANDRADE, G. S. de; CARVALHO, G. C. de; NASPOLINI, G. F.; CHRISTO, G. L. de; SANTOS, G. V. dos; BARROS, H. H. D. de; HASENACK, H.; TAVARES, H. C.; MARTINS, I. T.; FRANÇA, I. E. R.; ROITMAN, I.; SOARES,

I. M. de M.; SIMIONATO, J.; FREITAS, J.; OMETTO, J. P. H. B.; LINARES, J. A. H.; RISSO, J.; CRUZ FILHO, J. L. V. da; QUINTÃO, J. M. B.; SILVA, J. S. O.; LANA, J. T. de O.; ZANATTA, J. A.; MARACAHIPES, L.; RIBEIRO, L. da S.; VICENTE, L. E.; SCHRAMM, L. F. P.; ROSSI, L. M. B.; SILVA, M. G. da; SARAIVA, M.; D'AGOSTO, M. de A.; VIRTUOSO, M. A.; LIGO, M. A. V.; RACHWAL, M. F. G.; ROSA, M.; PICHARILLO, M. E.; SILVA, M. G. L. da; MATSUURA, M. I. da S. F.; DALLA BETTA, M. M.; PEREIRA, M. J.; CARON, M. L.; ASSIS, M. L. R. de; SANTOS, M. M. de O.; ROCHA, M. B.; BUSTAMANTE, M. M. da C.; WALTER, M. C.; AQUINO, M. F. S. de; SALGADO, M. P. G.; SERRUYA, N. M.; MOREIRA, N. de P.; FERREIRA, N. C.; RAMOS, N. P.; CABRAL, O. M. R.; MOSER, P.; COLTURATO, P. D.; GRÜTZMACHER, P.; AUGUSTO, R. C.; GRISOLI, R. P. S.; SOLARI, R.; PAZIANOTTO, R. A. A.; DUPONT, R. A. B.; CANTINHO, R. Z.; PEIXOTO, R. de A.; PADILHA, R. A.; NICOLOSO, R. da S.; OLIVEIRA, R. R. S. de; HIGA, R. C. V.; GUIDOTTI, R. M. M.; NOGUEIRA, S. F.; MAIA, S. M. F.; ASSIS, T. F. de; IGAWA, T. K.; RODRIGUES, T. da S.; CARMO, T. R. L. do; MIRANDA, V. S.; KONDO, V. Y.; SCIVITTARO, W. B.; WILLS, W.; HOLLER, W. A. Inventário nacional de emissões e remoções antrópicas de gases de efeito estufa. In: BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. **Quarta Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Brasília, DF, 2021. p. 80-181.

FORSTER, P. M.; SMITH, C. J.; WALSH, T.; LAMB, W. F.; LAMBOLL, R.; HAUSER, M.; RIBES, A.; ROSEN, D.; GILLET, N.; PALMER, M. D.; ROGELJ, J.; VON SCHUCKMANN, K.; SENEVIRATNE, S. I.; TREWIN, B.; ZHANG, X.; ALLEN, M.; ANDREW, R.; BIRT, A.; BORGER, A.; BOYER, T.; BROERSMA, J. A.; CHENG, L.; DENTENER, F.; FRIEDLINGSTEIN, P.; GUTIÉRREZ, J. M.; GÜTSCHOW, J.; HALL, B.; ISHII, M.; JENKINS, S.; LAN, X.; LEE, J. -Y.; MORICE, C.; KADOW, C.; KENNEDY, J.; KILLICK, R.; MINX, J. C.; NAIK, V.; PETERS, G. P.; PIRANI, A.; PONGRATZ, J.; SCHLEUSSNER, C. -F.; SZOPA, S.; THORNE, P.; ROHDE, R.; ROJAS CORRADI, M.; SCHUMACHER, D.; VOSE, R.; ZICKFELD, K.; MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P. Indicators of Global Climate Change 2022: annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and human influence. **Earth System Science Data**, v. 15, n. 6, p. 2295-2327, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023>.

HENRIQUE, F. L.; MATSUURA, M. I. da S. F.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; NOVAES, R. M. L.; BERNDT, A. Development of a life cycle assessment calculation tool in a beef cattle production system in Brazil. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 57., 2022, Campinas. **Tropical animal science and practice to feed the planet**: proceedings. Brasília, DF: SBZ; São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2022. p. 83.

HOLKA, M.; JANKOWIAK, J.; BIEŃKOWSKI, J.; DĄBROWICZ, R. Life cycle assessment (LCA) of winter wheat in an intensive crop production system in Wielkopolska region (Poland). **Applied Ecology and Environment Research**, v. 14, p. 535-545, 2016.

HUERTA, J. H.; ALVEAR, E. M.; NAVARRO, R. M. Evaluation of two production methods of Chilean wheat by life cycle assessment (LCA). **Idesia**, v. 30, n. 2, p. 101-110, May/Aug. 2012.

JIANG, Z.; ZHENG, H.; XING, B. Environmental life cycle assessment of wheat production using chemical fertilizer, manure compost, and biochar-amended manure compost strategies. **Science of the Total Environment**, v. 760, 15 Mar. 2021.

KERSTING, H. -J.; LINDHAUER, M. G.; BERGTHALLER, W. Application of wheat gluten in non-food industry - wheat gluten as a natural cobinder in paper coating. **Industrial Crops and Products**, v. 3, n.1-2, p. 121-128, Oct. 1994.

LAU, D.; MAR, T. B.; CASTRO, R. L. de. **Reação ao BYDV-PAV de cultivares de trigo do ensaio estadual do Rio Grande do Sul, em 2021**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 23 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 103).

LEITZELL, K.; CONNORS, S.; GOLDFARB, L.; BERGER, S.; YU, R.; MAYCOCK, T. K.; ZHAI, P.; PÉAN, C.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; ZHOU, B.; WATERFIELD, T.; CAUD, N. (ed.). **Climate change 2021: the physical basis**. [Geneva]: IPCC, 2021. 31 p.

LIMA, M. I. P. M.; TIBOLA, C. S.; CASTRO, R. L. de; PIRES, J. L. F.; SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; CLEBSCH, C. C.; KOVALESKI, M. **Avaliação de giberela e deoxinivalenol em cultivares de trigo do Ensaio Estadual de Cultivares de Trigo - EECT, na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, em 2020 e 2021**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 11 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 76).

LOPES, E.; DE BONA, F. D.; SANTI, A.; DENARDIN, J. E.; BAYER, C.; DALMAGO, G. A.; ZEIST, C. Carbono acumulado por sistemas de manejo do solo em experimento de longa duração, em Passo Fundo, RS. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9.; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TRIGO, 6., 2014, Passo Fundo. **A construção de um cientista!**: resumos. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 26.

LUZ, A. da. **Projeto Duas Safras**: EMBRAPA, FARSUL, ABPA. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355291/59982034/Projeto+Duas+Safras/be051059-abaa-309b-3b9e-b51797bb7cd6>. Acesso em: 21 fev. 2023.

MACIEL, J. L. N.; CHAGAS, J. H.; PÁDUA, J. M. V.; GOUSSAIN, R. de C. S.; EIDES, J. R.; MORAIS, L. K. de; KOVALESKI, M.; CASTRO, R. L. de; SBALCHEIRO, C. C.; FRONZA, V.; COELHO, M. A. de O.; AITA, V. **Resultados da rede de ensaios cooperativos para a resistência à brusone da espiga de trigo (RECORBE), safras 2020 e 2021**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 20 p. (Embrapa Trigo. Circular técnica, 69).

MASSON-DELMOTTE, V.; PIRANI, A.; CHEN, Y.; ROBIN MATTHEWS, J. B.; YELEKÇI, O.; LONNOY, E.; LEITZELL, K.; CONNORS, S.; GOLDFARB, L.; BERGER, S.; YU, R.; MAYCOCK, T. K.; ZHAI, P.; PÉAN, C.; GOMIS, M. I.; HUANG, M.; ZHOU, B.; WATERFIELD, T.; CAUD, N. (ed.). **Climate change 2021: the physical basis**. [Geneva]: IPCC, 2021. 31 p.

MASSON-DELMOTTE, V.; PÖRTNER, H. -O.; SKEA, J.; SLADE, R.; FERRAT, M.; NEOGI, S.; PEREIRA, J. P.; KISSICK, K.; CALVO BUENDÍA, E.; CONNORS, S.; HAUGHEY, E.; PATHAK, M.; VYAS, P.; BELKACEMI, M.; ZHAI, P.; ROBERTS, D.; SHUKLA, P. R.; DIEMEN, R. van; LUZ, S.; PETZOLD, J.; HUNTLEY, E.; MALLEY, J. (ed.). **Climate change and land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 896 p. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2021/07/210714-IPCCJ7230-SRCCL-Complete-BOOK-HRES.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023.

MOERKERKEN, A.; BLASCH, J.; VAN BEUKERING, P. A new approach to explain farmers' adoption of climate change mitigation measures. **Climatic Change**, v. 159, n. 1, p. 141-161, Mar. 2020. DOI: doi-org.ez103.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s10584-019-02595-3.

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, July/Aug. 2006.

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).

NÓIA JUNIOR, R.; MARTRE, P.; FINGER, R.; VAN DER VELDE, M.; BEN-ARI, T.; EWERT, F.; WEBBER, H.; RUANE, A. C.; ASSENG, S. Extreme lows of wheat production in Brazil. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 10, 104025, Oct. 2021. DOI: doi.org/10.1088/1748-9326/ac26f3.

**OECD. Measurement, Reporting and Verification (MRV) of greenhouse gas (GHG) mitigation.** Disponível em: <https://www.oecd.org/env/cc/measurementreportingandverificationofghgmitigation.htm>. Acesso em: 29 abr. 2023.

PIRES, J. L. F.; CUNHA, G. R. da; DALMAGO, G. A.; PASINATO, A.; SANTI, A.; PEREIRA, P. R. V. da S.; SANTOS, H. P. dos; SANTI, A. L. Integração de práticas de manejo no sistema de produção de trigo. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 77-114.

PIRES, J. L. F.; PIRES, P. C. V.; ACOSTA, A. da S.; LEMAINSKI, J.; CAIERÃO, E.; GUARIENTI, E. M.; LAU, D.; VIEIRA, V. M.; KLEIN, M. A.; FELTRACO, S. L.; SANTOS, Í do B. da S. dos; RICHTER, R.; KUNTZLER, L.; PILECCO, M.; DEZORDI, J.; REGINATTO, T. I.; OERLECKE, D.; CORASSA, G.; ZENI, M.; MANFRON, A. C. A.; BOMBONATTO, M. C. P.; SILVA, D. da. **'Trigo padrão exportação': alternativa para sustentabilidade da cultura do trigo no Rio Grande do Sul**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2020. 43 p. (Embrapa Trigo. Documentos, 189).

PIRES, J. L. F.; SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; CASTRO, R. L. de; LAU, D.; SANTANA, F. M.; CUNHA, G. R. da; CARAFFA, M.; TOIGO, M. de C.; SANTOS, H. P. dos; GUARIENTI, E. M.; MIRANDA, M. Z. de; VIEIRA, V. M.; FAE, G. S.; KLEIN, M. A.; RIFFEL, C. T.; ZENI, M.; MANFRON, A. C. A.; PASINATO, A. **Indicações para o manejo da cultivar de trigo BRS Belajoia (RS, SC e sul do PR)**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2021a. 23 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico, 383).

PIRES, J. L. F.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. de; CAIERÃO, E.; GUARIENTI, E. M.; LAU, D.; CUNHA, G. R. da; SANTANA, F. M.; CARAFFA, M.; TOIGO, M. de C.; SANTOS, H. P. dos; MIRANDA, M. Z. de; FAE, G. S.; VIEIRA, V. M.; KLEIN, M. A.; RIFFEEL, S. T.; PASINATO, A. **Indicações para o manejo da cultivar de trigo BRS Reponte (RS, SC e sul do PR)**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2021b. 24 p. (Embrapa Trigo. Comunicado técnico, 380).

PIRINGER, G.; STEINBERG, L. J. Reevaluation of energy use in wheat production in the United States. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 149-167, Jan. 2006.

PÖRTNER, H. -O.; ROBERTS, D. C.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E. S.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; CRAIG, M.; LANGSDORF, S.; LÖSCHKE, S.; MÖLLER, V.; OKEM, A.; RAMA, B. (ed.). **Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability**. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. 3056 p. DOI: doi.org/10.1017/9781009325844.

POZZA, R.; WESCHENFELDER, P. M. P.; DE BONA, F. D. Absorção e uso de nitrogênio em genótipos de trigo. In: MOSTRA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 14.; MOSTRA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA TRIGO, 11., 2019, Passo Fundo. **Resumos...** Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 26.

QUIGGIN, D.; TOWNEND, R.; BENTON, T. G. **What near-term climate impacts should worry us most?** Supporting the most exposed and vulnerable societies to reduce regional and global climate risks. London: Chatham House, 2021. 49 p. (Environment and society programme).

REBESQUINI, R.; FONTANELI, R. S.; JUCHEM, S. O.; BONDAN, C.; FONTANELI, R. S.; SILVEIRA, D.; CASTRO, R. L.; SANTOS, H. P. dos; NASCIMENTO JUNIOR, A.; BIAZUS, V.; DALL'AGNOL, E.; PANISSON, F. T.; GEHLEN JÚNIOR, O. L.; BORGES, L. M.; ESCOBAR,

F. M.; PILGER, G. S.; KNOBLOCK, E. C.; MELO, V. M. Uso de grãos de cereais de inverno na suplementação de ruminantes em sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP). **Plantio Direto**, n. 174, p. 18-24, 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218935/1/PLANTIO-DIRETO-2020-174-MAR-ABR-SUPLEMENTACAO-Rebesquini-et-al.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2023.

SANTI, A.; VICARI, M. B.; PANDOLFO, C.; DALMAGO, G. A.; MASSIGNAM, A. M.; PASINATO, A. Impacto de cenários futuros de clima no zoneamento agroclimático do trigo na região Sul do Brasil. **Agrometeoros**, v. 25, n. 2, p. 303-311, dez. 2017.

SANTOS, H. P. dos; REIS, E. M.; PEREIRA, L. R. Rotação de culturas XVII. Efeitos no rendimento de grãos e nas doenças do sistema radicular do trigo de 1980 a 1987. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 25, n. 11, p. 1627-1635, 1990.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SÓ e SILVA, M.; BONOW, S. Melhoramento de trigo no Brasil. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. p. 427-452.

SETTING social and environmental standards: Iseal code of good practice – versão 6.0. Londres: Iseal Alliance, 2014. 22 p. Disponível em: [https://www.isealliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL\\_Standard\\_Setting\\_Code\\_v6\\_Dec\\_2014.pdf](https://www.isealliance.org/sites/default/files/resource/2017-11/ISEAL_Standard_Setting_Code_v6_Dec_2014.pdf). Acesso em: 14 fev. 2023.

SHEWRY, P. R.; HEY, S. J. The contribution of wheat to human diet and health. **Food and Energy Security**, v. 4, n. 3, p. 178-202, 2015. DOI: doi.org/10.1002/fes3.64.

SHIFERAW, B.; SMALE, M.; BRAUN, H. J.; DUVEILLER, E.; REYNOLDS, M.; MURICHO, G. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. **Food Security**, v. 5, n. 3, p. 291-317, June 2013. DOI: 10.1007/s12571-013-0263-y.

SHRESTHA, P.; KARIM, R. A.; SIEVERDING, H. L.; ARCHER, D. W.; KUMAR, S.; NLEYA, T.; GRAHAM, C. J.; STONE, J. J. Life cycle assessment of wheat production and wheat-based crop rotations. **Journal of Environmental Quality**, v. 49, n. 6, p. 1515-1529, Nov/Dec. 2020.

SILVA, S. R.; SANTOS, H. P. dos; LOLLATO, R. P.; SANTI, A.; FONTANELI, R. S. Long-term effects of tillage systems on liming efficiency, soil chemical properties and wheat yield in Southern Brazil. **Soil Research**, v. 60, n. 5-6, p. 497-510, 2022. DOI: doi:10.1071/SR21023.

SOARES SOBRINHO, J.; FRONZA, V.; CHAGAS, J. H.; ALBRECHT, J. C.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L. de. **Resposta de genótipos de trigo às diferenças de ambientes de clima tropical e temperado em Minas Gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2022. 32 p. (Embrapa Trigo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 104).

SOARES, G. F.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; PEREIRA, L. F.; LIMA, C. A.; SOARES, D. dos S.; MULLER, O.; RASCHER, U.; RAMOS, M. L. G. Characterization of wheat genotypes for drought tolerance and water use efficiency. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 5, e20190304, 2021.

STRALIOTTO, R.; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D.; SIMÕES, M.; FONTANA, A.; DENARDIN, J. E.; GIONGO, V.; AMARAL, A. J. do; BIANCHI, S. R.; BEDENDO, G. C. Intensificação da agricultura com sustentabilidade. In: TORRES, L. A.; CAMPOS, S. K. (ed.). **Megatendências da ciência do solo 2030**. Brasília, DF: Embrapa, 2022. E-book. cap. 5.



THE GLOBAL compact: who cares win: connecting financial markets to a changing world. Disponível em: [https://www.unepfi.org/fileadmin/events/2004/stocks/who\\_cares\\_wins\\_global\\_compact\\_2004.pdf](https://www.unepfi.org/fileadmin/events/2004/stocks/who_cares_wins_global_compact_2004.pdf). Acesso em: 29 jun. 2023.

THOMPSON, M.; OKAMOTO, M.; MARTIN, A.; SENEWEERA, S. Grain protein concentration at elevated [CO<sub>2</sub>] is determined by genotype dependent variations in nitrogen remobilisation and nitrogen utilisation efficiency in wheat. **Plant Physiology Biochemistry**, v. 192, p. 120-128, Dec. 2022. DOI: 10.1016/j.plaphy.2022.10.003.

VEECK, G. P.; DALMAGO, G. A.; BREMM, T.; BULIGON, L.; JACQUES, R. J. S.; FERNANDES, J. M. C.; SANTI, A.; VARGAS, P. R.; ROBERTI, D. R. CO<sub>2</sub> flux in a wheat-soybean succession in subtropical Brazil: a carbon sink. **Journal of Environmental Quality**, v. 51, n. 5, p. 899-915, 2022. DOI: [doi.org/10.1002/jeq2.20362](https://doi.org/10.1002/jeq2.20362).

WANG, X.; LIU, F. Effects of elevated CO<sub>2</sub> and heat on wheat grain quality. **Plants**, v. 10, n. 5, 1027, May 2021. DOI: [doi.org/10.3390/plants10051027](https://doi.org/10.3390/plants10051027).

WILLIAMS, A. G.; AUDSLEY, E.; SANDARS, D. L. Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using simulation and system modelling. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, n. 8, p. 855-868, Sept. 2010.

WOORD, A. C.; BARCELLOS, M.; MELLO, M. A. de; BASSOI, L. H. Desempenho do trigo com e sem restrição hídrica e com e sem aplicação de hidrogel ao solo. In: JORNADA CIENTÍFICA - EMBRAPA SÃO CARLOS, 14., 2022, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação: Embrapa Pecuária Sudeste, 2022. p. 15.



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA  
E PECUÁRIA



CGPE 018220