

OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL

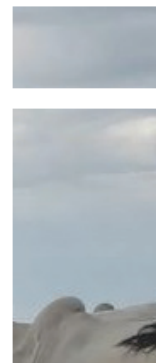


OBJETIVOS DE  
DESENVOLVIMENTO  
SUSTENTÁVEL



## Produção de carne com baixa emissão de carbono em pastagens tropicais

Resultados de validação das diretrizes  
técnicas em fazenda comercial



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
54**

**Produção de carne com baixa emissão  
de carbono em pastagens tropicais**

**Resultados de validação das diretrizes  
técnicas em fazenda comercial**

*Márcia Cristina Teixeira da Silveira*

*Flávia Cristina dos Santos*

*Roberto Giolo de Almeida*

*Manoel Ricardo de Albuquerque Filho*

*João Herbert Moreira Viana*

*Lourival Vilela*

*Mariana de Aragão Pereira*

*Gelson Luís Dias Feijó*

*Manuel Claudio Motta Macedo*

*Fabiana Villa Alves*

*Christiane Abreu de Oliveira Paiva*

*Iêda Carvalho Mendes*

*Rosângela Maria Simeão*

*Allan Bruno Almeida de Figueiredo*

*Antonio Carlos Reis de Freitas*

*Tomaz Andrade Barbosa*

**Embrapa Pecuária Sul**

**Bagé, RS**

**2023**

**Embrapa Pecuária Sul**  
BR 153, Km 632,9. Caixa postal 242  
96401-970 - Bagé - RS  
Tel/Fax: (53) 3240-4650  
www.embrapa.br/pecuaria-sul  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações

Presidente  
*Marcos Flávio Silva Borba*

Secretário-Executivo  
*Gustavo Trentin*

Membros  
*Gustavo Martins da Silva, Graciela Olivella  
Oliveira, Marco Antonio Karam Lucas, Ana  
Cristina Mazzocato, João Carlos Pinto Oliveira,  
Magda Vieira Benavides, Márcia Cristina  
Teixeira da Silveira, Lisiane Bassols Brisolara*

Supervisão editorial  
*Lisiane Bassols Brisolara*

Revisão de texto  
*Fernando Goss*

Normalização bibliográfica  
*Graciela Olivella Oliveira*

Tratamento das ilustrações  
*Daniela Garcia Collares*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Daniela Garcia Collares*

Fotos da capa  
*Manoel Ricardo*

**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)**

Nome da unidade catalogadora

---

Produção de carne com baixa emissão de carbono em pastagens tropicais : resultados de  
validação das diretrizes técnicas em fazenda comercial / Márcia Cristina Teixeira da  
Silveira ... [et al.]. — Bagé : Embrapa Pecuária Sul, 2023.  
PDF (44 p.). — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Pecuária Sul, ISSN  
1983-0467 ; 54)

1. Produção de Carne. 2. Pastagem. 3. Agricultura de baixa emissão de carbono. I.  
Silveira, Márcia Cristina Teixeira da. II. Título. III. Série.

CDD (21. ed.) 636.213

## Sumário

---

Resumo .....	4
Abstract .....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos .....	9
Resultados e Discussão .....	17
Conclusões.....	39
Agradecimentos.....	39
Referências .....	40

# Produção de carne com baixa emissão de carbono em pastagens tropicais

## Resultados de validação das diretrizes técnicas em fazenda comercial

Márcia Cristina Teixeira da Silveira<sup>1</sup>

Flávia Cristina dos Santos<sup>2</sup>

Roberto Giolo de Almeida<sup>3</sup>

Manoel Ricardo de Albuquerque Filho<sup>4</sup>

João Herbert Moreira Viana<sup>5</sup>

Lourival Vilela<sup>6</sup>

Mariana de Aragão Pereira<sup>7</sup>

Gelson Luis Dias Feijó<sup>8</sup>

Manuel Claudio Motta Macedo<sup>9</sup>

Fabiana Villa Alves<sup>10</sup>

Christiane Abreu de Oliveira Paiva<sup>11</sup>

Iêda Carvalho Mendes<sup>12</sup>

Rosângela Maria Simeão<sup>13</sup>

Allan Bruno Almeida de Figueiredo<sup>14</sup>

Antonio Carlos Reis de Freitas<sup>15</sup>

Tomaz Andrade Barbosa<sup>16</sup>

**Resumo** – A marca-conceito Carne Baixo Carbono (CBC) busca valorizar sistemas pecuários que apresentam potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEEs).

<sup>1</sup>Zootecnista, doutora em Manejo e Avaliação de Plantas Forrageiras e Pastagens, pesquisadora, Embrapa Pecuária Sul, Bagé, RS

<sup>2</sup>Engenheira-agrônoma, doutora em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

<sup>3</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Zootecnia, pesquisador, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

<sup>4</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo

<sup>5</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

<sup>6</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador, Embrapa Cerrados, Sobradinho, DF

<sup>7</sup>Zootecnista, PhD. Gestão Agrícola, pesquisadora, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

<sup>8</sup>Médico-veterinário, doutor em Melhoramento Animal e Genética, pesquisador, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

<sup>9</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor, em Ciências do Solo, pesquisador, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

<sup>10</sup>Zootecnista, doutora em Ciência Animal e Pastagens, pesquisadora, Secretaria Executiva do Ministério da Agricultura e Pecuária, Brasília, DF

<sup>11</sup>Engenheira-agrônoma, doutora em Interação Planta-Microrganismos, pesquisadora, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

<sup>12</sup>Engenheira-agrônoma, doutora em Ciências do Solo, pesquisadora, Embrapa Cerrados, Sobradinho, DF

<sup>13</sup>Bióloga, doutora em Genética, pesquisadora, Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS

<sup>14</sup>Zootecnista, gerente, Fazenda da Trijunção, Jaborandi, BA

<sup>15</sup>Engenheiro-agrônomo, doutor em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, pesquisador, Embrapa Cocais, São Luiz, MA

<sup>16</sup>Engenheiro-agrônomo, Extensionista rural, Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural, Setubinha, MG

Em Unidade de Referência tecnológica, no bioma Cerrado, buscou-se avaliar a produção de bovinos de corte validando as diretrizes técnicas CBC. Assim, avaliou-se: densidade; estoque de carbono e qualidade do solo, disponibilidade da forragem e cobertura do solo, ganho médio diário, ganho por área e emissões entéricas. Os resultados demonstram que a densidade do solo não diferiu entre áreas em 2019/2020; já em 2020/2021 as densidades foram maiores no CBC, mas mantiveram-se abaixo da faixa crítica. O estoque de C na camada de 0 cm-20 cm, a qualidade do solo, a massa de forragem e a cobertura do solo foram maiores no CBC. Os ganhos de peso por animal foram semelhantes entre áreas, mas no CBC foram registrados maiores ganhos por área, sem aumento nas emissões de metano entérico no sistema CBC em comparação ao MF no primeiro ano e, para o segundo ano, houve menor intensidade de emissão. Logo, os resultados indicaram que o protocolo CBC proporcionou aumento de lucratividade, manutenção do estoque de carbono do solo e mitigação da emissão GEEs, além do efeito poupa-terra.

**Termos para indexação:** Carne baixo carbono, cobertura do solo, marca-conceito, manejo do pasto, pecuária sustentável, qualidade do solo.

## Low-carbon beef production in tropical pastures Results of validation of technical guidelines in commercial farm

**Abstract** – The Low Carbon Brazilian Beef (LCBB) concept brand seeks to value pasture-based livestock systems that have the potential to mitigate greenhouse gas (GHG) emissions. In a technological reference unit, in the Cerrado biome, was evaluated the performance of nelore heifers by validating the LCBB technical guidelines. Thus, were evaluated: density, carbon stock and soil quality, forage mass and ground cover, weight gain per animal, per area and enteric emissions. The results demonstrate that the soil density didn't differ between the areas in the 2019/2020. In the 2020/2021, the soil densities were higher in the LCBB, but remained below the critical range. The stock of C in the 0 cm-20 cm layer, soil quality, forage mass and soil cover were higher in the LCBB. The weight gains per animal were similar between areas, but in the LCBB system greater gains per area were observed, with no increase in enteric methane emissions compared to the control MF in the first year. In the second year there was lower intensity of emissions. Therefore, the results indicate that the implementation of the LCBB protocol provided increased profitability, maintenance of soil carbon stock and promotes the mitigation of GHG emissions, in addition to land-saving effects.

**Index terms:** Low carbon meat, ground cover, brand concept, pasture management, sustainable livestock, quality of the soil.

## Introdução

---

Assim como a marca-conceito Carne Carbono Neutro (CCN) valoriza sistemas pecuários com a presença do componente florestal que neutralizam a emissão de gases de efeito estufa (Alves et al., 2015, 2017; Almeida et al., 2016), e representam cerca de 2% da área de pastagens cultivadas do Brasil, a marca Carne Baixo Carbono (CBC) surge no sentido de contemplar sistemas pecuários que não possuem o componente florestal, mas que apresentam potencial de mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Esses sistemas representam uma maior área no Brasil (Barioni et al., 2007; Boddey et al., 2012; Almeida et al., 2013; Medeiros et al., 2017a), sendo cerca de 100 milhões de hectares só em pastagem cultivada. Segundo Sano et al. (2010), no Bioma Cerrado as áreas de pastagem cultivadas ocupam 54,1 milhões de hectares, ou seja, 26,4 % do bioma, em sua maior parte formadas com cultivares do gênero *Urochloa*, das quais aproximadamente metade apresenta algum grau de degradação. Entretanto estudo realizado pelo LAPIG indica expansão de áreas de pastagem no Cerrado, chegando a uma ocupação de mais de 60 milhões de hectares em 2017 (Atlas..., 2020).

A marca-conceito CBC pressupõe produção em sistemas cujas emissões de metano sejam mitigadas durante o processo de produção em função da recuperação do pasto e/ou manejo sustentável de animais em pasto, bem como pelo aumento do estoque de carbono no solo (Almeida; Alves, 2020). Ressaltando que, globalmente, há de duas a três vezes mais carbono nos solos, em relação ao estocado na vegetação e cerca do dobro em comparação com a atmosfera, o que demonstra a importância que os solos assumem no cenário atual (Cerri et al., 2006).

Assim, considerando as pastagens, as perdas de carbono no solo podem ser mínimas ou até ter ganhos em comparação com a vegetação natural no bioma Cerrado (Corazza et al., 1999; Rosendo; Rosa, 2012), o que depende, essencialmente, do manejo (Medeiros et al., 2017a, 2017b; Oliveira, 2018). Portanto, o manejo de pastagens tem sido citado como a segunda tecnologia agrícola disponível mais importante para a mitigação das mudanças climáticas globais (Neely, 2009).



Estima-se que as pastagens armazenam de 20% a 30% do carbono do solo no mundo e que possuam potencial para sequestrar carbono por meio da melhoria no manejo do sistema de produção animal em pasto, trazendo benefícios significativos para a sustentabilidade ambiental, em virtude da grande extensão de área que ocupam (Neely, 2009; Smith et al., 2016).

Dentro deste contexto, as diretrizes para produção de CBC foram lançadas em 2020 e fazem parte de um conjunto de medidas que contribuem com as estratégias do Plano ABC (Agricultura de Baixa Emissão de Carbono) e se baseiam em critérios, conceitos e práticas para valorizar a condução de sistemas pecuários, no intuito de que esses sejam mais eficientes em mitigar a emissão de gases pelo rebanho durante seu ciclo produtivo (Almeida; Alves, 2020). Contudo, ainda não existe no Brasil um sistema de produção com as diretrizes CBC validadas e, como o Protocolo para certificação da Marca-Conceito CBC será disponibilizado para uso em fazendas comerciais, faz-se importante estudos em áreas de referência.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da primeira Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa para produção de carne mediante adoção das diretrizes CBC. A publicação está relacionada ao ODS 2: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável, meta 2.4: garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo. Também está relacionada à ODS 13: Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, meta 13.2: integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais.

## Materiais e Métodos

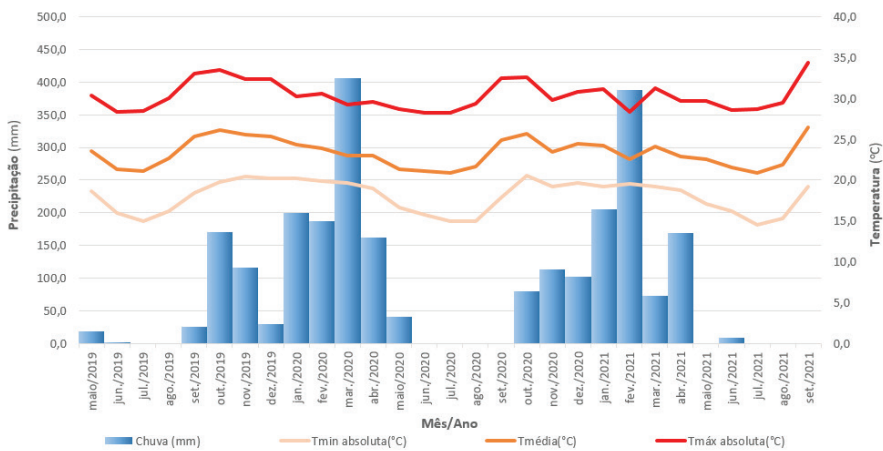
---

A condução da Unidade de Referência Tecnológica (URT) foi iniciada em maio de 2019, na Fazenda Santa Luzia, pertencente à matrícula principal Fazenda Trijunção, localizada em Cocos-BA, sob coordenadas 45° 56'11" W 14° 51'13" S. A fazenda referência é certificada (selo ouro) na produção de bovinos de corte mediante as Boas Práticas Agropecuárias (Valle, 2011), com dados estruturados e sequenciais de todo o sistema produtivo. O período utilizado nessa fase de validação das diretrizes técnicas foi de maio 2019 a setembro de 2021, totalizando dois ciclos completos de produção animal no sistema.

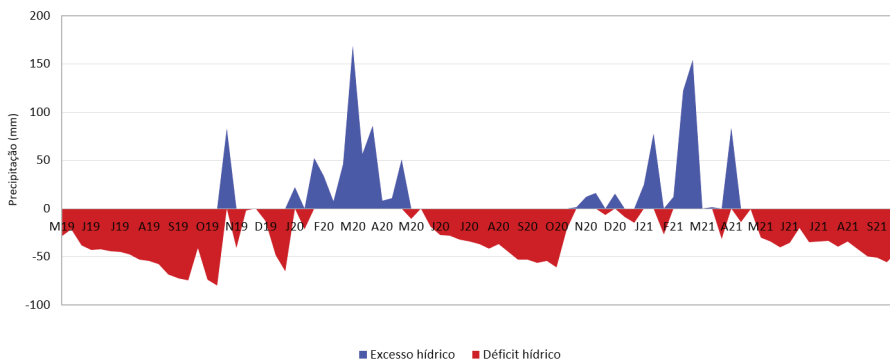
O clima da região é do tipo Aw, pela classificação de Köppen e Geiger, caracterizando-se como quente e seco, com chuvas concentradas no verão e temperatura média de 24°C<sup>1</sup>. A altitude local é de 933 m e a precipitação média anual varia de 700 mm a 1.400 mm, com déficit hídrico pronunciado do final de abril a outubro. As médias mensais das temperaturas média, máxima e mínima e da precipitação pluvial do período de avaliação são apresentadas na Figura 1, e o balanço hídrico mensal foi calculado em planilha eletrônica de Sentelhas et al. (1999), cujos valores de ETo originalmente de Thornthwaite e Mather foram substituídos pelos de Penman-Monteith, utilizando-se uma capacidade de água disponível do solo (CAD) de 25 mm (Figura 2).

---

<sup>1</sup>Disponível em: <https://pt.climate-data.org/americas-do-sul/brasil/bahia/jaborandi-312741/>



**Figura 1.** Médias mensais das temperaturas média, máxima e mínima (°C) e da precipitação pluvial (mm), no período de maio de 2019 a setembro de 2021 na estação meteorológica da Fazenda Trijunção.



**Figura 2.** Balanço hídrico mensal (mm) de maio de 2019 a setembro de 2021 na Fazenda Trijunção.

A URT é composta por duas áreas (talhões/glebas) onde são conduzidos os sistemas de manejo de bovinos. O tradicional, usualmente utilizado pela fazenda (MF), e o manejo alternativo denominado CBC. Em área anexa foi monitorada uma área de vegetação nativa (Cerrado), ao longo do tempo, a fim de aperfeiçoar a análise comparativa do histórico da propriedade e avaliação do carbono no solo das áreas inscritas no futuro processo de certificação CBC. Ambos sistemas são formados por pastagem com *Urochloa brizantha*, sendo um talhão com *Urochloa brizantha* “Marandu”, com 115 ha divididos em quatro piquetes, representando o manejo tradicional da fazenda (MF), e o outro talhão, de pastagem recuperada mediante cultivos de soja e milho desde a safra 2010/2011, sendo a pastagem de *Urochloa brizantha* “BRS Piatã” introduzida apenas na safra 2017/2018, com 85 ha também divididos em quatro piquetes, sendo manejado segundo as diretrizes técnicas para produção de carne com baixa emissão de carbono em pastagens tropicais (CBC), de acordo com Almeida e Alves (2020).

Os solos predominantes na região são os Neossolos Quartzarênicos, Latossolos e Argissolos Vermelho-Amarelos e Amarelos, nas classes texturais areia e areia franca ou franco-arenosa (Albuquerque Filho et al., 2020), sendo o solo da área do CBC classificado como Argissolo Amarelo Distrófico típico e o solo da área MF um Latossolo Amarelo Distrófico típico. O solo da área de Cerrado Nativo (testemunha) foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico argissólico. A vegetação local, que abrange todas as áreas da pesquisa, é de Cerrado “strictu sensu”.

Os critérios básicos para a escolha das áreas/talhões acompanhadas neste estudo foram os solos e teores de matéria orgânica semelhantes, bem como mesma espécie de forrageira utilizada nas pastagens, só diferindo a cultivar, a fim de se realizar o acompanhamento e comparação do teor e estoque de carbono do solo.

As áreas foram submetidas a avaliações da fertilidade do solo, qualidade biológica, caracterização física, quantificação do estoque de carbono e classificação pedológica dos solos (Albuquerque Filho et al., 2020). As amostragens de solo foram realizadas em minitrincheiras e em pontos georreferenciados, no final do período chuvoso (maio 2019 e de 2021) em cada um dos piquetes. Considerando a uniformidade das áreas estudadas foi aberta uma minitrincheira por piquete.

Cada minitrincheira possuía aproximadamente 0,8 m de comprimento por 0,8 m de largura e 0,4 m de profundidade (Figura 3A). Foi coletada uma amostra indeformada de solo, em cada uma das três paredes da minitrincheira, com anel volumétrico (anel com 7 cm de altura, Figura 3B) nas profundidades de 0 cm-10 cm; 10 cm-20 cm e 20 cm-40 cm, totalizando nove amostras por minitrincheira e 36 amostras por tratamento. Nestas amostras indeformadas foram analisadas a densidade do solo, bem como o teor de carbono total (C por calcinação a 1.200 °C), necessários para cálculo de estoque de C no solo.



**Figura 3.** Minitrincheira (A) e anel volumétrico (B) para avaliação das características do solo

Além disso, em cada minitrincheira, foram coletadas uma amostra composta, nas profundidades trabalhadas. Estas avaliações foram repetidas nos dois anos, visando acompanhar a dinâmica da evolução da fertilidade e do estoque de carbono no solo. Também foram realizadas quatro tradagens, no entorno e a cerca de 100 m da minitrincheira, com trado holandês, para completar as análises químicas e microbiológicas, nas mesmas profundidades das minitrincheiras, sendo que no caso das análises microbiológicas foi analisada a camada de 0 cm-10 cm, seguindo recomendação metodológica para BioAS.

Para avaliação dos dados de fertilidade do solo por meio dos resultados das análises químicas, foi realizada a interpretação para a classe de solos arenosos ( $CTC = T < 4 \text{ cmolc/dm}^3$ ) e para as espécies de *U. brizantha* “BRS Piatã” e *U. brizantha* “Marandu”, que são consideradas de média exigência em fertilidade do solo (Barrios et al., 2019; Caione; Prado, 2021). Foi utilizada a camada de 0 cm-20 cm de solo (média do valor do elemento na camada de 0 cm-10 cm e de 10 cm-20 cm), para fins de interpretação da disponibilidade dos nutrientes em equivalência com as tabelas de interpretação de resultados (Sousa et al., 2004; Vilela et al., 2004; Caione et al., 2021). Apresentam-se também os dados da área de Cerrado nativo (CER), tida como testemunha absoluta (Tabela 1).

As 36 amostras coletadas por sistema (CBC e MF) foram acondicionadas em sacos plásticos e identificadas para análises laboratoriais. As análises químicas, de carbono total e de densidade do solo foram realizadas segundo metodologias disponíveis em Teixeira et al. (2017), e os cálculos do estoque de carbono seguiram as recomendações de Urquiaga et al. (2016).

Neste trabalho, seguiu-se a diretriz para o protocolo de certificação da marca-conceito CBC (Almeida; Alves, 2020). Assim, considerando-se que os produtores brasileiros já utilizam as camadas de 0 cm-20 cm e de 20 cm-40 cm para interpretação das análises de solos, visando a correção e adubação dos mesmos, estabeleceu-se essas profundidades para o acompanhamento da evolução dos teores de C e das estimativas dos respectivos estoques, sendo os valores classificados em tabelas de dupla entrada em faixas consideradas: baixas, médias, adequadas e altas, para cada classe textural do solo (Santos et al., 2018).

As avaliações microbiológicas envolveram a análise das enzimas  $\beta$ -glicosidase (Eivazi; Tabatabai, 1988) e arilsulfatase no solo (Tabatabai, 1994). A metodologia utilizada para a  $\beta$ -glicosidase foi a determinação colorimétrica do p-nitrofenol liberado pela ação da  $\beta$ -glicosidase existente no solo, sobre o p-nitrofenil- $\beta$ -D-glicopiranosídeo (PNG), quando o solo é incubado com uma solução tampão (pH 6,0) (Tabatabai, 1994). A arilsulfatase foi determinada com a mesma metodologia utilizada para a enzima  $\beta$ -glicosidase, porém baseando-se na determinação colorimétrica da p-nitrofenol, que é liberada pelas sulfatases encontradas no solo quando o solo é incubado com uma solução tamponada de p-nitrofenol sulfato (PNS) (Tabatabai, 1994). Os dados de solo foram submetidos à análise de variância ao nível de 5% de probabilidade e as médias comparadas pelo teste de Tukey utilizando o software estatístico Sisvar (Ferreira, 2019).

Os pastos do sistema sob diretrizes CBC foram manejados sob pastejo rotacionado mediante critério de altura com recomendação de entrada dos animais a 30 cm-40 cm mantendo um resíduo mínimo de 20 cm para o capim-piatã. O monitoramento de altura foi realizado quinzenalmente, com auxílio de régua graduada adotando-se caminamento em zigue-zague e amostrando-se cerca de 100 pontos por piquete. Mediante esse monitoramento, foi orientado o ajuste de carga animal necessário no talhão CBC.

Com base nas análises de solo, foram aplicadas duas doses de 50 kg/ha de N na forma de ureia e uma dose de 50 kg/ha de  $K_2O$  na forma de KCl por ano durante o ciclo de verão após o pastejo nos piquetes, segundo as recomendações da Embrapa (Martha Júnior et al., 2007). Em 2020, além da adubação com N na forma de ureia e  $K_2O$ , foi realizada aplicação de 100 kg/ha de MAP no talhão CBC e realizada aplicação de calcário em cobertura em 2021 equivalente a 1,5 ton/ha.

Os pastos sob manejo da fazenda (MF) foram conduzidos de forma mais extensiva e as decisões de manejo dos animais ficaram sob a responsabilidade da equipe da fazenda, que manejava o lote de animais entre os quatro piquetes a cada intervalo de sete dias, independente da altura do pasto. Os quatro piquetes deste talhão receberam a correção da fertilidade do solo apenas em 2019 com aplicação de calcário em cobertura equivalente a 1,5 ton/ha e durante o período de verão foi realizada aplicação de 50 kg/ha de N, 36 kg/ha de  $K_2O$ , 100 kg/ha de MAP. Em 2021 foi realizada apenas aplicação de calcário em cobertura equivalente a 1,5 ton/ha.

Em períodos pré-determinados no ano (águas, transição águas-seca, seca e transição seca-águas) foi realizada a avaliação da cobertura do solo, altura do pasto e da disponibilidade de forragem em todos os piquetes. Dez pontos georreferenciados por piquete foram amostrados, utilizando-se moldura de ferro de 1mx1m. Dentro desta moldura era realizada a avaliação visual da cobertura do solo pelo pasto, por pelo menos três pessoas devidamente treinadas, sendo atribuídas notas de 0% a 100% de cobertura.

Adicionalmente, em cada um dos vértices do quadrado e na região central deste, era medida a altura do pasto (5 pontos), sendo essas as alturas utilizadas para caracterização nos momentos de avaliação por período. Após estas avaliações era realizado o corte de toda a forragem rente ao solo. O material era armazenado em sacos de papel para posterior pesagem da massa verde e encaminhado para secagem em estufa por 72 horas a 65 °C até peso constante, para determinar a massa seca da forragem e estimar a disponibilidade de forragem (kg/ha de MS).

Visando o monitoramento do componente animal, foram selecionados dois lotes de machos da raça Nelore com idade média de 8 meses-10 meses para uso como animais avaliadores, em conformidade com a Comissão de Ética para Uso de Animais da Embrapa (CEUA/CPPSUL n° 09/2019). No sistema CBC, no primeiro ano, utilizou-se 104 animais avaliadores e, no sistema MF, 72 animais avaliadores, com peso médio de 259 kg e 241 kg, respectivamente. No segundo ano, o sistema CBC foi composto por 128 animais avaliadores e o sistema MF composto por 74 animais avaliadores, com peso médio de 206 kg e 167 kg, respectivamente. Esses animais entraram nos sistemas CBC e MF nos meses de julho em 2019 e 2020, permaneceram ao longo de um ano no mesmo pasto, recebendo apenas sal mineral (80 g por cabeça dia) nas águas e um sal proteinado com 53,5% PB e 15,2% de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) na estação seca (300 g por cabeça dia), sendo pesados pelo menos uma vez por período do ano, concomitante à amostragem de forragem.

Em cumprimento às diretrizes, para caracterização do desempenho, os animais avaliadores foram pesados no início do monitoramento (julho/2019), no período de seca (agosto), na transição seca-águas (outubro), no período das águas (janeiro), na transição águas-seca (maio) e no final do monitoramento (junho/2020).



No segundo período de avaliação, as pesagens foram realizadas no início do monitoramento (julho/2020), no período de seca (setembro), na transição secas-águas (novembro), no período das águas (fevereiro), na transição águas-seca (maio) e, novamente, quando saíram da pastagem para entrar em confinamento (julho/2021).

Em determinados períodos foi necessário realizar a entrada de animais adicionais na área, chamados reguladores, para manter o manejo adequado do pasto, preconizado nas diretrizes do CBC. Dessa forma, quando isso ocorreu, foram feitas anotações quanto à data de entrada, número de animais, peso médio e data de saída desses animais. Após este período, os animais avaliadores foram encaminhados para confinamento, na própria fazenda, garantindo que o produto final (carne) tivesse sido produzido, na maior parte do tempo, em pasto, sob a premissa de manutenção dos estoques de carbono no solo, conforme as diretrizes CBC. Todos os dados foram organizados e serão apresentados na forma de médias com seus respectivos desvios-padrão.

As emissões de metano entérico foram estimadas por meio da equação proposta por Medeiros et al. (2014) e de acordo com Alves et al. (2017), levando em consideração o teor de FDN da dieta e o ganho médio diário em cada período a pasto e no confinamento. A intensidade de emissão de metano foi calculada com base no ganho de peso vivo total e rendimento de carcaça.

Todas as operações nos sistemas CBC e sob MF foram monitoradas, sendo as quantidades de insumos, serviços e produção acompanhados, desde a implantação das URTs, para fins de cálculos econômicos. Considerando o horizonte de apenas dois anos de dados experimentais, optou-se, nesta etapa, pela análise e comparação do fluxo de caixa dos sistemas sob manejo CBC e MF no período.

Além dessa comparação, também foi utilizada a técnica da orçamentação parcial, por meio da qual são analisados apenas os benefícios e custos adicionais, oriundos de uma mudança proposta na situação atual (neste estudo, representada pelo manejo tradicional da fazenda). Neste processo, observam-se os seguintes tipos de resultados econômicos: aumento da renda (+), redução de custo (+), perda de alguma fonte de renda (-) e aumento de custo (-) (Olson, 2011).

A partir dos cálculos, de acordo com essa técnica, uma vez que o saldo econômico da nova técnica seja positivo, o manejo CBC poderia ser recomendado.

Os preços foram obtidos em sites e boletins especializados no mercado agrícola e pecuário, sendo utilizadas as médias dos anos 2020 e 2021, para isolar, minimamente, os efeitos das grandes oscilações de preços de mercado resultantes da conjuntura instável do período. Do contrário, os resultados poderiam refletir mais esta conjuntura do que a eficácia dos sistemas de produção em análise.

## Resultados e discussão

---

### Caracterização do solo

#### **Avaliação da fertilidade do solo das áreas monitoradas ao longo de 2019 e 2021**

Apesar dos solos das áreas deste estudo terem se enquadrado em classes diferentes do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), devido a pequenas diferenças no conteúdo de argila na composição granulométrica em subsuperfície, morfologicamente, em termos de mineralogia e funcionamento no sistema solo-planta-atmosfera, são solos muito semelhantes.

No ano de 2019, a disponibilidade da maioria dos nutrientes no sistema CBC se encontrava no nível adequado de disponibilidade no solo, dadas as exigências da forrageira utilizada (Sousa et al., 2004; Vilela et al., 2004; Caione et al., 2021) (Tabela 1). Já no sistema MF, a disponibilidade dos nutrientes se encontrava em níveis considerados baixos, à exceção do P, que estava com média disponibilidade (Tabela 1). Esses resultados refletem o manejo que vem sendo adotado no sistema CBC com amostragens mais frequentes de solo e realização de adubações de manutenção. O CBC se diferencia do MF pois este último preconiza a adubação e/ou correção a cada 3 anos.

**Tabela 1.** Resultados da análise de fertilidade solo nas camadas de 0 cm-10 cm, 10 cm-20 cm e 20 cm-40 cm, nos anos de 2019 e 2021, para as áreas em estudo.

Área	pH	P- M1	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	T	V	MO										
H <sub>2</sub> O																				
----- (g/dm <sup>3</sup> )-----																				
----- (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )-----																				
----- (%)-----																				
-----da(g/kg)-----																				
0 cm-10 cm																				
Ano	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021										
CBC	6,6 Aa	6,5 Aa	25,0 Aa	16,8 Ba	52,1 Aa	37,9 Ba	1,9 Aa	1,0 Ba	0,6 Aa	0,7 Ba	0,0 Ab	0,0 Ab	0,7 Ac	0,9 Ab	2,6 Ba	78,9 Aa	67,8 Ba	1,0 Aa	0,9 Aa	
MF	5,9 Bb	6,4 Aa	8,1 Ab	9,2 Ab	3,7 Bb	8,4 Ab	1,1 Ab	0,7 Bb	0,4 Bb	0,6 Aa	0,0 Ab	0,0 Ab	1,5 Ab	1,2 Bb	3,0 Aa	2,5 Ba	50,0 Ab	52,0 Ab	0,8 Ab	0,8 Aa
CER	4,5 Ac	4,3 Ac	1,0 Ac	0,6 Bc	4,6 Ab	2,3 Bb	0,2 Ac	0,0 Bc	0,0 Ac	0,0 Bb	0,6 Aa	0,6 Aa	3,2 Aa	3,1 Aa	3,4 a	7,0 Ac	0,8 Bc	1,1 Aa	1,1 Aa	
10 cm-20 cm																				
Ano	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021										
CBC	6,5 Aa	6,5 Aa	17,32 Aa	9,2 Ba	33,3 Aa	24,3 Aa	1,4 Aa	0,8 Ba	0,4 Aa	0,4 Aa	0,0 Ab	0,0 Aa	0,7 Ac	0,8 Aa	2,6 Aa	2,1 Ba	71,5 Aa	63,4 Aa	0,7 Ab	0,5 Bb
MF	6,0 Bb	6,2 Ab	4,78 Ab	3,5 Ab	3,0 Ab	5,3 Ab	1,1 Ab	0,6 Bb	0,3 Ab	0,4 Aa	0,0 Ab	0,0 Aa	1,4 Ab	1,3 Aa	2,8 Aa	2,2 Ba	50,5 Ab	43,4 Bb	0,7 Ab	0,7 Aa
CER	4,5 c		0,64 b		2,7 b		0,2 c		0,0 c		0,6 a		2,7 a		2,9 a		7,9 c		1,2 a	
20 cm-40 cm																				
Ano	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021	2019	2021										
CBC	6,3 Ba	6,6 Aa	4,25 Aa	5,3 Aa	18,8 Aa	28,6 Aa	0,9 Aa	0,6 Ba	0,3 Aa	0,3 Aa	0,0 Ab	0,0 Aa	0,8 Ac	0,8 Ab	2,0 Ab	1,7 Ba	61,6 Aa	56,9 Aa	0,5 Ab	0,4 Bb
MF	5,9 Bb	6,1 Ab	1,84 Ab	1,4 Ab	1,2 Ab	2,3 Ab	0,8 Aa	0,4 Bb	0,2 Ab	0,3 Ab	0,0 Ab	0,0 Aa	1,3 Ab	1,2 Aa	2,4 Aa	1,9 Ba	44,9 Ab	36,2 Bb	0,6 Ab	0,5 Aa
CER	4,6 c		0,46 b		0,2 b		0,2 b		0,0 c		0,5 a		2,2 a		2,4 a		9,3 c		0,9	

Letras minúsculas comparam entre os tratamentos em cada ano. Letras maiúsculas comparam cada tratamento entre os anos. Obs.: Métodos de análises descritos em Teixeira et al. (2017).

Considerando os dois anos avaliados, os teores de MO, tanto no CBC como no MF estão baixos ( $< 1,0$  dag/kg) (Tabela 1), o que é comum em solos arenosos onde não há a proteção física da argila e relações funcionais eficientes entre os compostos orgânicos e os coloides do solo. Esses valores de MO, abaixo do observado na área de Cerrado, refletem o histórico de uso da área com a introdução da agropecuária, em que houve supressão da vegetação original. No sistema CBC houve os cultivos de soja e milho desde a safra 2010/2011, sendo a pastagem de Piatã introduzida apenas na safra 2017/2018. Já na área do MF, o sorgo foi introduzido na safra 2013/2014, sendo que na safra seguinte foi implantada a pastagem de Marandu. Os resultados obtidos nas análises de solo da área de Cerrado, apresentados na Tabela 1, confirmam a baixa disponibilidade natural de nutrientes dos solos arenosos, com insuficiência de todos os nutrientes, alto teor de alumínio e acidez potencial, e baixos valores de CTC (T) e MO.

No ano de 2021, o sistema CBC teve os teores de vários nutrientes reduzidos em relação ao ano de 2019 (Tabela 1), mesmo tendo sido realizadas adubações de manutenção com N, P e K após pastejo em dois momentos dentro do período chuvoso. Essa diminuição pode estar relacionada com fatores relacionados à amostragem, desigualdade na aplicação dos fertilizantes, bem como com o manejo mais intensivo da área, com maior produtividade da forragem e extração de nutrientes (cerca de 45 kg/ha de P e 368 kg/ha de K, no período de avaliação com produção total de 29,18 t/ha de MS de forragem). Cabe ressaltar que, mesmo com esta redução, os valores dos nutrientes no solo permaneceram dentro do nível adequado de disponibilidade para a forrageira cultivada na área. Os resultados, também, reforçam o fato de a reposição de nutrientes na adubação de manutenção ter por base a análise de solo, no sentido de repor o que as plantas realmente necessitam para produção e garantir sua persistência em sistemas com explorações medianamente intensivas ou mais intensivas.

Desta forma, foram seguidos os critérios propostos por Macedo (2004), com ênfase no nível tecnológico de exploração em termos de peso vivo por hectare para ajustes nas doses a serem aplicadas. Além disso, esse resultado confirma o baixo poder tampão dos solos arenosos determinada pela baixa CTC (T) (Tabela 1), em que mudanças nos teores dos nutrientes, principalmente de potássio, são mais frequentes e detectáveis na análise do solo. Já no MF, praticamente não ocorreram mudanças na fertilidade do solo no ano de 2021 em relação ao de 2019 (Tabela 1), havendo ligeiro aumento do K.

## **Avaliação da qualidade do solo, por meio da atividade enzimática, das áreas monitoradas**

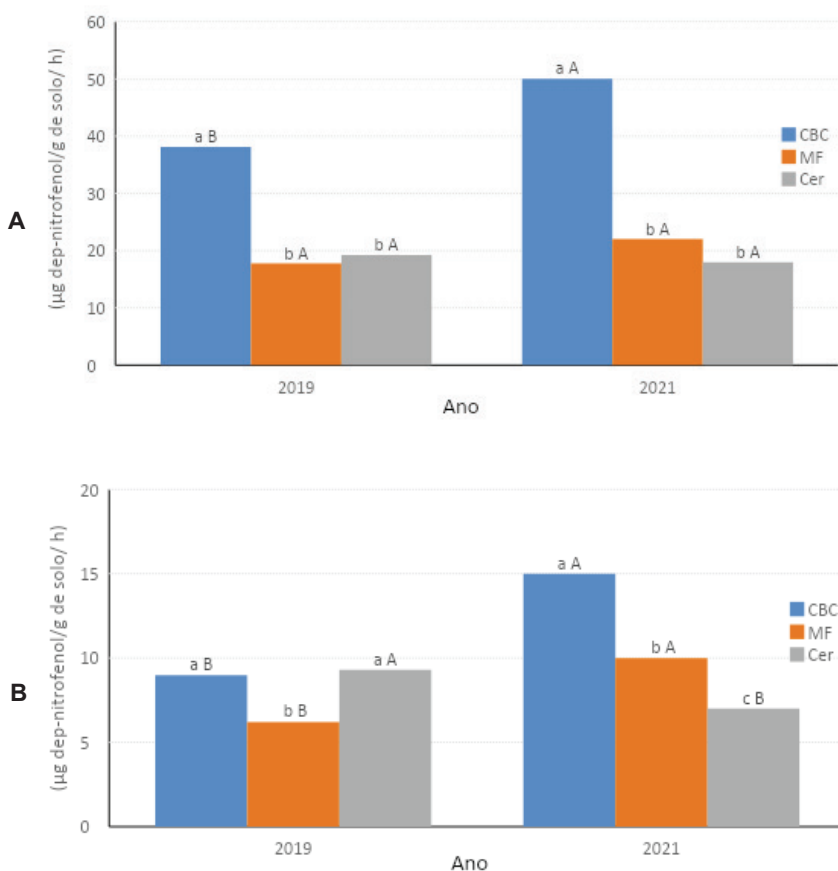
As alterações na atividade das enzimas podem refletir modificações no funcionamento metabólico do solo e na ciclagem de nutrientes, as quais são explicadas por mudanças na composição da comunidade microbiana (Acosta-Marínez et al., 2011; Fernandes et al., 2011). Os atributos biológicos do solo reagem rapidamente a quaisquer alterações ocorridas no ambiente, podendo servir, portanto, como indicadores da qualidade do solo e da sustentabilidade de agroecossistemas (Dick et al., 1996; Islam; Weil, 2000).

Dentre as atividades enzimáticas, a  $\beta$ -glicosidase é responsável por catalisar a hidrólise de vários  $\beta$ -glicosídeos, com papel essencial na ciclagem de nutrientes. As glicosidases são umas das mais comuns e abundantes enzimas dos solos (Tabatabai, 1994; Sousa, 2014). Tais enzimas realizam a hidrólise limite da celulose e são detectadas em diversos organismos, como animais, plantas, bactérias e fungos, e sua atividade pode ser influenciada pela temperatura do solo, pH, qualidade e conteúdo de matéria orgânica (Tabatabai, 1994; Daroit et al., 2007; Balota et al., 2014).

Considerando essa enzima, observou-se melhoria de qualidade do solo na área sob manejo CBC, que apresentou maior atividade, tanto no ano de 2019 quanto em 2021, e em relação à área sob MF e área de Cerrado (Figura 4A). Esses benefícios observados no sistema CBC podem ser explicados em função da calagem e adubação de manutenção realizadas (Tabela 1), e do manejo do pastejo adequado para a forrageira (Tabela 2).

A enzima arilsulfatase participa da ciclagem de S no sistema solo-planta, sendo também sua atividade um importante indicador de qualidade do solo. Considerando que aproximadamente 95% do enxofre no solo é orgânico, constituindo um importante reservatório deste nutriente, o processo de mineralização se torna muito relevante. A atividade microbiana é responsável pela maioria dos processos de mineralização deste elemento (Balota et al., 2004). A arilsulfatase é uma enzima que está envolvida neste processo de mineralização, hidrolisando as ligações de enxofre e oxigênio do sulfato de éster (Deng; Tabatabai, 1997). Sua atividade está diretamente relacionada à matéria orgânica, devido à atividade microbiana, e umidade do solo. (Zwikel et al., 2007). Verificou-se que a atividade desta enzima diminui com a profundidade e também sofre interferência do manejo do solo (Balota et al., 2014).

O monitoramento da arilsulfatase nos dois sistemas avaliados indicou que a atividade biológica no solo do CBC foi igual à do Cerrado em 2019, maior em relação ao MF nos dois anos agrícolas e maior que o Cerrado no ano de 2021, bem como aumentou de 2019 para 2021 (Figura 4B). Vale ressaltar que para a área de Cerrado esses resultados devem ser vistos com cautela uma vez que essa área não passa por ações antrópicas de correção, adubação e práticas de manejo como os dois sistemas monitorados, logo os valores são vistos mais como balizadores da intervenção que vem sendo feita nos sistemas.

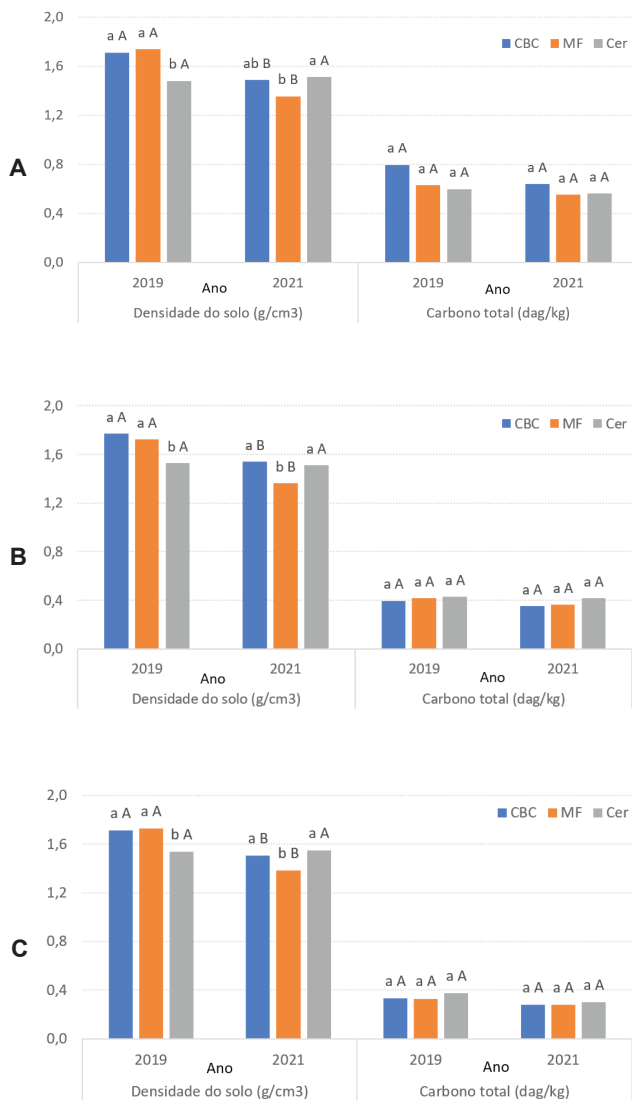


**Figura 4.** Atividades das enzimas  $\beta$ -glicosidase (A) e arilsulfatase (B) na camada de 0 cm-10 cm de solo entre as áreas (Carne Baixo Carbono (CBC), manejo da fazenda (MF) e Cerrado (CER)) e anos 2019 e 2021. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre os tratamentos no mesmo ano e maiúscula entre os anos no mesmo tratamento, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De maneira geral, a melhoria da atividade enzimática sob o manejo CBC se deve à existência de um ambiente mais propício ao desenvolvimento dos microrganismos do solo, onde se espera temperaturas mais amenas e com menor oscilações, bem como maior retenção de umidade, devido maior cobertura do solo deixada pelo resíduo de massa vegetal de cerca de 20 cm advindo do manejo do pasto por altura, e de uma possível maior ciclagem de nutrientes em função das adubações realizadas.

### **Avaliação da densidade do solo e carbono total das áreas monitoradas**

As densidades do solo (DS) nas três áreas, CBC, MF e Cerrado, apresentaram valores um pouco acima da faixa esperada para solos arenosos, que é de 1,25 g/cm a 1,60 g/cm, e nas três camadas avaliadas (Figuras 5A, B e C). Entretanto, as densidades mantiveram-se abaixo da faixa considerada crítica para o crescimento de plantas em solos arenosos (1,7 g/cm a 1,8 g/cm) (Reichert et al., 2003).



**Figura 5.** Densidade do solo (DS, g/cm<sup>3</sup>) e carbono total (C tot, dag/kg) (Teixeira et al., 2017) nas diferentes camadas de solo (A: 0 cm-10 cm; B: 10 cm-20 cm e C: 20 cm-40 cm), entre as áreas (Carne Baixo Carbono (CBC), manejo da fazenda (MF) e Cerrado (CER)) e anos 2019 e 2021. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre os tratamentos no mesmo ano e maiúscula entre os anos no mesmo tratamento, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.



As áreas CBC e MF tiveram maiores valores de DS em relação ao Cerrado no ano de 2019, no entanto, no ano de 2021 a DS da área CBC foi semelhante a do Cerrado, uma vez que de 2019 para 2021 houve uma queda na DS do CBC e MF enquanto a do Cerrado permaneceu estável (Figuras 5A, B e C). Essa diminuição da DS comparando-se os anos não seria esperada, visto que houve uma intensificação no uso da área do CBC com maior taxa de lotação. No entanto, essa diminuição, possivelmente, expressa o impacto do manejo adequado da pastagem, preconizado pelas diretrizes do CBC (Almeida; Alves, 2020), resultando em melhor cobertura vegetal (Tabela 2) e possivelmente em maior crescimento radicular, que contrapuseram à maior taxa de lotação, de forma a diminuir a densidade do solo.

O carbono total do solo representa o carbono mineral (proveniente de compostos carbonáticos e recalcitrantes) e o carbono orgânico (proveniente de resíduos de plantas e animais) (Teixeira et al., 2017). Em relação ao carbono orgânico, os solos da região do Cerrado, no geral, contêm teor médio a alto (Resck et al., 2000) e somente 17% deles apresentam teor abaixo de 0,87 dag/kg de C orgânico, representados principalmente pelos Neossolos Quartzarênicos. Os valores de C orgânico do Cerrado refletem nos valores de C total, estando estes também abaixo de 1,0 dag/kg, conforme mostrados nas Figuras 5A e 5B, e estão de acordo com o padrão encontrando em solos arenosos. Os valores do C total no solo não diferiram entre as áreas e entre os anos, em todas as profundidades (Figuras 5A, 5B e 5C). Os maiores valores de C total observados nas camadas mais superficiais são o resultado do aporte de resíduos vegetais na superfície do solo e, provavelmente, pelo maior desenvolvimento radicular nestas camadas, além da realização de calagem (Pulrolnik et al., 2009; Nunes et al., 2011).

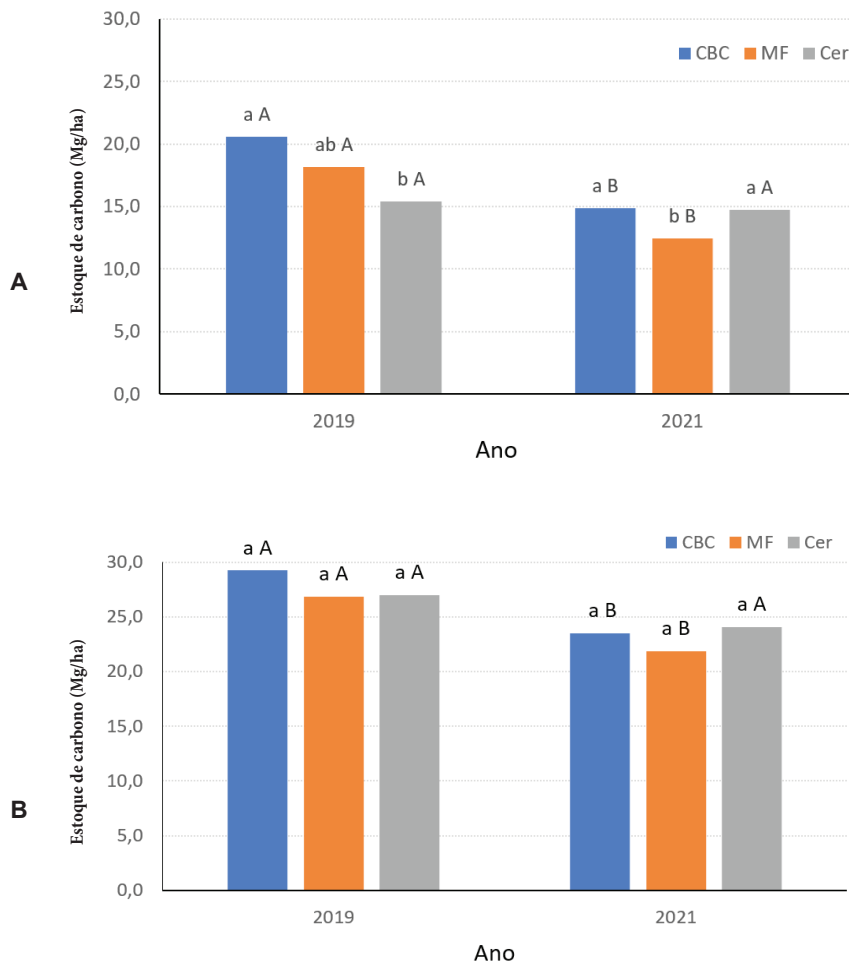
### **Avaliação do estoque de carbono entre as áreas**

O estoque de carbono na camada de 0 cm-20 cm de solo, para a classe de textura arenosa, está adequado para as áreas dos sistemas CBC e MF; e considerado médio para o Cerrado no ano de 2019 (Figura 6A) (Almeida; Alves, 2020). Na avaliação feita em 2021 houve queda no estoque de C das áreas CBC e MF (Figura 6A). O sistema sob a lógica CBC foi classificado como médio estoque de C e o sistema sob MF como baixo (Almeida; Alves, 2020). Isso se deve à redução da densidade do solo e aos déficits hídricos que ocorreram ao longo das avaliações (Figura 2).

Além disso, é possível verificar uma menor massa de forragem no segundo ano de avaliação da URT em relação ao primeiro ciclo (Tabela 2), o que pode ter contribuído para baixar o estoque de C do solo na avaliação realizada em 2021. Essa variação no estoque de C mostra a fragilidade dos solos arenosos, em que as alterações na dinâmica de carbono no solo são frequentes e imediatas, demonstrando a importância de monitoramento de médio a longo prazo para melhor descrever o comportamento do estoque de carbono no solo da URT CBC.

Em trabalho de Nanzer et al. (2019) com diferentes sistemas de uso do solo no Cerrado do Mato Grosso do Sul, em solo arenoso com 9 dag/kg de argila, foi verificado maior estoque de carbono na camada de 0 cm-20 cm em área com pastagem de capim-marandu por 30 anos e de vegetação nativa (ambas com estoque de cerca de 30 Mg/ha), em comparação à área de pastagem de capim-marandu por 3 anos (cerca de 20 Mg/ha). O valor de estoque de C da pastagem de capim-marandu de 3 anos é praticamente o mesmo do sistema CBC deste trabalho no ano de 2019 (Figura 6A).

O estoque de C, na camada de 0 cm-20 cm, foi maior no sistema CBC em relação ao Cerrado (5,4 Mg/ha a mais) no ano de 2019, porém igual no ano de 2021. Ao mesmo tempo, foi igual ao MF no ano de 2019 e foi maior (2,5 Mg/ha a mais) no ano de 2021. Considerando a camada de solo de 0 cm-40 cm, que foi a total avaliada, não se observou diferença entre as áreas, tanto no ano de 2019 quanto de 2021 (Figura 6B). Contudo, entre os anos, o estoque de C do CBC e do MF foi reduzido no ano de 2021 comparado ao ano de 2019, sendo justificado pelos mesmos fatores já relatados anteriormente, sendo eles, redução na massa de forragem, da densidade do solo e déficits hídricos.



**Figura 6.** Estoque de carbono (Mg/ha) nas camadas de 0 cm-20 e 0 cm-40 cm de solo, entre as áreas (Carne Baixo Carbono (CBC), manejo da fazenda (MF) e Cerrado (CER)) e anos 2019 e 2021. Médias seguidas pela mesma letra, minúscula entre os tratamentos no mesmo ano e maiúscula entre os anos no mesmo tratamento, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Trabalho de Ferreira et al. (2022) conduzido em Luís Eduardo Magalhães, BA, em solo arenoso, bastante semelhante ao deste trabalho, mas com avaliação do estoque de C no solo com diferentes manejos de culturas anuais/ algodão, soja e milho/por cinco anos, mostrou valores de 9,3 Mg/ha e 20,1 Mg/ha de C acumulado na área de Cerrado, nas camadas de 0 cm-20 cm e 0 cm-40 cm de solo, respectivamente, e uma variação de 16,2 Mg/ha a 18,7 Mg/ha na camada de 0 cm-20 cm envolvendo as culturas anuais em sistema plantio direto, e uma variação de 31,7 Mg/ha a 37,5 Mg/ha considerando a camada de 0 cm-40 cm. Observa-se que os valores do estoque de C do Cerrado em Ferreira et al. (2022) estão um pouco abaixo dos obtidos neste trabalho. Enquanto o valor de estoque de C dos sistemas com as culturas anuais sob plantio direto na camada de 0 cm-20 cm de solo foi muito próximo do obtido no sistema CBC.

Cabe dizer que há escassez de referências de trabalhos em áreas com solos arenosos, que vêm sendo incorporadas recentemente ao processo produtivo (Donagemma et al., 2016) e este trabalho representa uma importante contribuição neste sentido, pois percebe-se que a dinâmica de C nos solos mais arenosos é bem diferente da dos argilosos.

Ainda referente à vegetação de Cerrado utilizada como testemunha, vale ressaltar que o fato de o sistema CBC, nestes dois anos de condução da URT, não apresentar diferença estatística no estoque de carbono é um resultado satisfatório. O Cerrado, enquanto condição natural, entrega serviços ecossistêmicos importantes que os sistemas CBC e MF não vão entregar. Por outro lado, o sistema CBC entrega produção animal que será apresentada a seguir, sem penalizar atributos físicos, biológicos e o estoque de carbono no solo como evidenciado pelos resultados desse trabalho.

## Caracterização do pasto

Na Tabela 2 observa-se que as médias de altura do pasto nas áreas sob manejo CBC estiveram sempre muito próximas da recomendada para o manejo do capim-piatã, e a altura mínima recomendada para a cultivar foi respeitada (Costa; Queiroz, 2017; Barrios et al., 2019) durante os dois anos de monitoramento. A cobertura do solo permaneceu sempre acima dos 70%, de acordo com o recomendado na diretriz CBC (Almeida; Alves, 2020).

Essa cobertura do solo sempre alta no CBC visa contribuir com palhada para a matéria orgânica do solo e sequestro de carbono no sistema. Como observado na Figura 6, na camada de 0 cm-20 cm houve maior estoque de carbono na área CBC do que no Cerrado no primeiro ano, e maior que no MF no segundo ano.

De janeiro 2020 a novembro de 2021 a altura dos pastos do sistema MF foi maior e, provavelmente, pelo maior acúmulo de forragem nesse período, consequência de maiores precipitações (Figura 1) e da disponibilidade hídrica no solo (Figura 2), o que proporcionou melhoria na cobertura do solo (Tabela 2) de 30% para 60%. Esse fato também é reflexo de redução da taxa de lotação na área em função das baixas alturas observadas em agosto e novembro de 2020, e de uma mudança de hábito de crescimento da forrageira buscando ocupar espaços vazios de solo.

Com relação à massa de forragem, observa-se que as estratégias de manejo e adubação adotadas no CBC proporcionaram, ao longo desses dois anos de condução da URT, maior massa de forragem disponível para consumo dos animais quando comparada à estratégia de manejo adotada pela fazenda, o que possibilitou manter taxas de lotação médias de 2,33 UA/ha e 2,77 UA/ha na área CBC contra 0,89 UA/ha e 0,70 UA/ha no manejo sob MF no primeiro e segundo ano de monitoramento da URT, respectivamente.

**Tabela 2.** Caracterização da altura do pasto (cm), cobertura do solo (%), massa de forragem seca (kg/ha de MS) ao longo de dois anos de condução da Unidade de Referência Tecnológica (URT CBC), sob manejo CBC e sob manejo da fazenda (MF).

Ano/mês	CBC			MF		
	Altura	Cobertura	Forragem	Altura	Cobertura	Forragem
<b>2019/2020</b>						
2019						
Maio	39±6,31	86±1,14	5549±154,5	25±3,22	32±5,19	1804±46,07
Agosto	22±3,34	91±3,51	3326±447,9	13±2,21	33±3,21	1464±93,46
Novembro	27±3,45	92±3,12	2237±48,11	18±3,23	41±4,96	1313±436,2
2020						
Janeiro	42±4,14	90±3,93	3838±586,6	23±1,52	75±5,00	2141±108,80
Maio	36±6,45	80±1,96	2901±704,4	25±1,98	64±4,73	1740±341,20
<b>2020/2021</b>						
2020						
Setembro	30±1,25	87±4,40	2467±152,0	26±0,17	79±2,93	1513±33,12
Novembro	32±2,88	92±2,39	2171±258,0	21±0,39	81±0,39	1391±157,6
2021						
Fevereiro	33±1,66	83±7,58	2402±309,2	15±1,29	72±2,11	1640±136,1
Maio	32±6,24	90±7,14	2307±152,8	17±1,36	67±1,39	1346±163,6
Agosto	27±0,96	88±2,81	1983±70,67	11±0,31	64±2,12	990±86,99

Valores médios, por talhão, nas épocas de amostragem seguidos pelo desvio-padrão.

De forma geral, é possível observar que a partir de novembro 2019 os ajustes de manejo no sistema CBC proporcionaram uma disponibilização de forragem mais uniforme ao longo dos períodos de avaliação. No sistema sob MF houve uma maior variação na disponibilidade de forragem, chegando em agosto de 2021 com a menor quantidade de forragem disponível (990 kg/ha de MS).

## Caracterização da produção animal

Os dados de ganho médio e taxa de lotação por período de avaliação são apresentados na Tabela 3. Os maiores GMDs foram registrados na transição secas-águas e no período das águas. Esses dados nos permitem observar que, apesar do GMD não ter sido muito diferente entre os manejos, as taxas de lotação adotadas são bem diferentes. Ressalta-se que os dois lotes receberam as mesmas quantidades de sal no período das águas e de proteinado a pasto nas secas.

**Tabela 3.** Ganho médio diário (GMD) e Taxa de lotação (TL) por período de avaliação, ao longo de dois anos da condução da Unidade de Referência Tecnológica, nos pastos sob manejo CBC e MF.

Ano/mês	CBC		MF	
	GMD (kg/dia)	TL (UA/ha)	GMD (kg/dia)	TL (UA/ha)
<b>2019/2020</b>				
2019				
Julho-Agosto	0,17±0,11	1,96	0,15±0,11	0,53
Agosto-Novembro	0,20±0,20	0,83	0,21±0,16	0,82
Novembro-Janeiro	0,80±0,11	2,46	0,90±0,14	0,63
2020				
Janeiro-Maio	0,76±0,16	3,50	0,75±0,14	1,30
Maio-Junho	0,22±0,10	2,87	0,13±0,20	1,11
<b>2020/2021</b>				
2020				
Julho-Setembro	0,22±0,10	0,83	0,15±0,21	0,74
Setembro-Novembro	0,45±0,12	2,69	0,20±0,10	1,05
Novembro-Fevereiro 2021	0,70±0,13	3,12	0,75±0,13	0,54
2021				
Fevereiro-Maio	0,52±0,09	3,56	0,52±0,12	0,39
Maio-Julho	0,17±0,53	3,64	0,25±0,11	0,80

Valores médios, por talhão, nas épocas de amostragem seguidos pelo desvio padrão.

Já os dados médios dos lotes são apresentados na Tabela 4. Observa-se que, ao longo do primeiro ano de avaliação, os animais dos sistemas CBC e MF ganharam em média 155 kg e 150 kg por cabeça, respectivamente. Portanto, além do maior número de UA/ha, observando os pesos finais é possível verificar que os animais do CBC entraram no confinamento e chegaram ao peso de abate 20 dias antes que os animais do talhão sob MF. Assim, os animais sob MF permaneceram no confinamento por 100 dias e os animais sob manejo CBC por 80 dias e já estavam prontos para abate. Além do mais, o ganho por área foi cerca 3,2 vezes maior na área CBC no primeiro ano agrícola.

**Tabela 4.** Desempenho animal ao longo de dois anos de condução da Unidade de Referência Tecnológica, nos pastos sob manejo CBC e MF.

CBC				MF			
2019/2020							
Peso Vivo médio (kg)		GMD (g/d)	Ganho por área (kg/ha/ano)	Peso Vivo médio (kg)		GMD (g/d)	Ganho por área (kg/ha/ano)
Inicial	Final			Inicial	Final		
259±15	414±26	440±170	538±146	241±11	391±71	430±240	166±46
2020/2021							
Peso Vivo médio (kg)		GMD (g/d)	Ganho por área (kg/ha/ano)	Peso Vivo médio (kg)		GMD (g/d)	Ganho por área (kg/ha/ano)
Inicial	Final			Inicial	Final		
208±16	352±18	404±229	455±67	167±15	301±23	375±133	87±19

Valores médios, por talhão, nas épocas de amostragem seguidos pelo desvio padrão.

Primeiro ano de condução do manejo a pasto (maio de 2019 a junho de 2020); segundo ano de condução do manejo a pasto (julho 2020 a julho de 2021).

Os animais do segundo ano comprados pela fazenda e selecionados como avaliadores, em que se busca homogeneidade do lote e idade entre 8 e 10 meses, se apresentaram mais leves que os selecionados no ano anterior (Tabela 4), uma vez que a fazenda teve dificuldades em encontrar animais machos com peso médio à desmama ajustado para 240 dias acima de 220 kg.



Em função do manejo da fazenda não foi possível “bloquear” os animais quanto ao peso inicial. Desta forma, os lotes apresentaram diferença média de peso igual a 41 kg, o que não permitiu avaliar de forma comparativa os dados de produção animal dos dois sistemas neste segundo ano.

Assim como no primeiro ano, os dois lotes receberam as mesmas quantidades de sal mineral e de proteinado. Os animais dos sistemas CBC e MF ganharam em média 144 kg e 134 kg em pasto, respectivamente. Neste segundo ano, além dos animais serem mais leves, a condição climática foi desfavorável à produção de forragem com uma estiagem que acometeu a região a partir de março de 2021 (Figura 1). Além disso, houve problemas sanitários que impactaram no desempenho dos animais em toda a fazenda. Adicionalmente, o fato dos animais da área sob MF terem entrado 41 kg mais leves contribuiu para que não alcançassem um peso mínimo (330 kg estipulados pela fazenda) que justificasse a entrada no confinamento para terminação, sendo mantidos a pasto por 180 dias a mais que os animais CBC. Já os animais da área sob manejo CBC, com peso médio de 352 kg, seguiram normalmente para o confinamento, onde permaneceram por 74 dias e foram abatidos. Este fato reforça a importância de se trabalhar com animais jovens mais pesados, como recomendado nas diretrizes CBC.

De qualquer forma, os resultados do primeiro ano demonstram o potencial efeito poupa-terra, além da resiliência observada no sistema com uso das diretrizes CBC. Essa resiliência se apresenta ao se observar que, mesmo com um período de precipitação abaixo da média de março a setembro de 2021 (Figura 1), foi possível manter a produção de forragem e ter uma taxa de lotação de 2,33 UA/ha. Logo, avaliando os ganhos por área, nos dois anos, houve redução de cerca de 15% e 48% do primeiro para o segundo ano nas áreas CBC e MF, respectivamente. De forma geral, para os dois anos de monitoramento, olhando só o sistema CBC, sem comparação com o MF, observa-se que, com a fertilização dos pastos, fornecimento de sal mineral, proteinado e manejo adequado do pastejo, é possível garantir alta produção por unidade de área, sendo que os valores de produtividade animal registrados estão acima da média brasileira (Beef..., 2020).

## Estimativas de emissão de metano entérico e da intensidade de emissão da carne

Para a avaliação do primeiro ano de condução da URT, foram calculadas as emissões de metano entérico a partir dos teores de FDN do pasto e da dieta de confinamento, de 74% e 32,4% e de 76% e 32,3% para os sistemas CBC e MF, respectivamente. As emissões de metano estimadas foram de 169 g CH<sub>4</sub>/dia e 159 g CH<sub>4</sub>/dia, de 75,88 kg CH<sub>4</sub> e 71,10 kg CH<sub>4</sub> por animal e de 236 kg/ha e 90 kg/ha, para o manejo CBC e MF, respectivamente. Entretanto, a intensidade de emissão não variou entre os manejos, com valor médio de 0,251 kg CH<sub>4</sub>/kg de carcaça. O manejo CBC possibilitou um aumento de 146% no número de animais por hectare e de 162% em quilograma de carcaça por hectare em relação ao manejo MF, indicando um importante efeito poupa-terra, além do potencial de maior incorporação de carbono no solo para manutenção da condição produtiva da pastagem e de mitigação das emissões de gases do efeito estufa do sistema.

Para a avaliação das emissões de metano entérico do segundo ano de avaliação foram calculadas as emissões totais do manejo CBC (pasto + confinamento), entretanto os teores de FDN do pasto e da dieta de confinamento considerados para o manejo CBC e MF foram de 74% e 35,75% e de 76% e 35,75%, respectivamente.

As emissões de metano estimadas para o manejo CBC e MF foram de 139 g CH<sub>4</sub>/dia e 135 g CH<sub>4</sub>/dia, de 59,98 kg CH<sub>4</sub> e 82,27 kg CH<sub>4</sub> por animal e de 267 kg CH<sub>4</sub>/ha e 100 kg CH<sub>4</sub>/ha, respectivamente. As emissões calculadas, em g CH<sub>4</sub>/dia, para o manejo CBC foram iguais as estimadas por equação proposta por Lingen et al. (2019) e para o manejo MF foram 2,27% maiores.

No segundo ano de avaliação a intensidade de emissão para o manejo CBC e manejo MF foram de 0,205 kg CH<sub>4</sub>/kg e 0,281 kg CH<sub>4</sub>/kg de carcaça, respectivamente, em decorrência do maior tempo demandado pelos animais no pasto (180 dias) sob manejo MF muito, como relatado anteriormente, em função desses animais terem entrado no sistema mais leves que os animais do manejo CBC. Este fato reforça a importância de se trabalhar com animais jovens e mais pesados dentro da faixa etária de 8 meses-10 meses de idade, no intuito de obter melhores respostas a pasto e reduzir a permanência dos mesmos no sistema, diminuindo a intensidade de emissão de metano entérico.

## Avaliação Econômica da Unidade de Referência Tecnológica

A partir do fluxo de caixa, monitorado nas safras 2019/2020 e 2020/2021, foram obtidos os seguintes valores de custos, receitas e margens para o sistema sob manejo CBC e para o sistema sob manejo da fazenda (MF):

**Tabela 5.** Custos\*, receitas e margens ao longo de dois anos da condução da Unidade de Referência Tecnológica, nos pastos sob manejo CBC e MF (R\$/hectare).

Componente econômico	Manejo da Fazenda		Manejo CBC	
	Valor total 2019/2020	Valor total 2020/2021	Valor total 2019/2020	Valor total 2020/2021
<b>Custos</b>				
Calcário	162,00	-	162,00	-
Gesso	-	-	105,00	-
Sementes forrageiras	128,60	-	-	-
KCI	321,60	-	482,40	268,00
Ureia	490,00	-	245,00	1.347,50
MAP	505,00	-	505,00	505,00
Sal mineral	110,29	145,34	241,78	242,04
Proteinado de seca	87,89	119,03	195,37	197,14
Vacinas	20,79	21,16	47,27	48,45
Medicamentos	28,47	28,98	64,73	66,35
Custos do protocolo	-	-	38,81	39,14
Serviços mecanizados	176,61	-	419,94	14,53
<b>Subtotal</b>	2.031,24	314,52	2.507,29	2.728,14
<b>Custo total 2019/2021</b>		<b>2.345,75</b>		<b>5.235,44</b>
<b>Receitas</b>				
Carne bovina	1.523,14	1.784,73	3.436,01	3.168,52
Bônus CBC			98,76	92,97
<b>Subtotal</b>	1.523,14	1.784,73	3.534,78	3.261,49
<b>Receita total 2019-2021</b>		<b>3.307,87</b>		6.796,27
Margem anual (R\$ por ano)	(508,10)	1.470,21	1.027,48	533,35
Margem total (R\$/2019/2021)		962,11		1.560,83

\*Os custos de aquisição de animais não são considerados nesta análise e que enfoca apenas o adicional de peso adquiridos por eles uma vez que entram e saem dos sistemas de produção.

De modo geral, os resultados apontam um melhor desempenho econômico do manejo seguindo as diretrizes do protocolo CBC em comparação ao manejo tradicional da fazenda (MF) (Tabela 5). A margem total do CBC por hectare, que resulta das receitas menos os custos, foi R\$ 598,72 superior à do MF para o período total analisado, ou o equivalente a uma média de R\$ 299,36 hectares por ano. Destaca-se que, embora haja mais gastos no sistema CBC, as receitas também aumentam, compensando os custos adicionais.

Analisando os resultados de forma mais detalhada, nota-se que no primeiro ano o manejo CBC conseguiu assegurar receitas suficientes para cobrir todos os custos operacionais<sup>2</sup> apresentados na Tabela 5, enquanto o MF obteve margem negativa de R\$ 508,10 hectares. Apesar de os animais de ambos os lotes, MF e CBC, serem da mesma origem, terem entrado na área com idades semelhantes e pesos semelhantes, receberem o mesmo nível de suplementação e os pastos terem sido fertilizados em proporções semelhantes (exceto gessagem), o desempenho por área foi bastante inferior para o MF comparado ao CBC (Tabela 4). Na safra 2020/2021, porém, o desempenho econômico do CBC caiu, embora do ponto de vista produtivo o resultado tenha sido consideravelmente maior que o MF. A justificativa foi o aumento do preço dos fertilizantes, dos quais o CBC é mais dependente. Enquanto o MF usa adubações a cada três anos, o CBC preconiza adubações anuais. Logo, houve um impacto nos custos do CBC, pressionando as margens econômicas no segundo ano.

A análise da orçamentação parcial, apresentada na Tabela 6, torna mais evidente as diferenças econômicas decorrentes da mudança de um sistema de pecuária tradicional (MF) para um sistema seguindo as diretrizes CBC, tudo o mais permanecendo constante. Especificamente sobre o protocolo CBC, os custos foram estimados considerando a visita de empresas certificadoras credenciadas e as taxas para abate dos lotes. Estes custos podem, eventualmente, vir a ser assumidos pelos frigoríficos e outros parceiros, desonerando o produtor.

---

<sup>2</sup>Neste exercício, os custos operacionais excluem a aquisição de animais e a mão de obra, pois são equivalentes entre os sistemas. Ainda assim, quando considerado o fluxo de caixa da atividade pecuária como um todo, estas deverão ser computadas

Já o bônus foi estimado em 3% do valor da arroba de carne bovina, baseando-se em outros protocolos existentes. Apesar de o bônus CBC, apresentado nas Tabelas 5 e 6, parecer baixo, é importante lembrar que muitas fazendas têm margem bruta total por hectare de igual montante ou menor.

**Tabela 6.** Orçamentação parcial considerando a mudança do manejo da fazenda (MF) para o manejo CBC, na Unidade de Referência Tecnológica, no período experimental (2019/2021), (R\$).

Componentes Econômicos (1 ha)	MF=>CBC
<i>Benefícios diretos</i>	
Gastos com pastagens	2.012,70
Gastos com animais	541,17
Gastos com protocolo	77,95
Gastos com serviços mecanizados	257,86
<b>Total de gastos 2019/2021</b>	<b>2.889,68</b>
Receitas com carne bovina	3.296,66
Receitas com protocolo CBC	191,74
<b>Total de receitas 2019/2021</b>	<b>3.488,40</b>
Margem bruta	598,72

Estes resultados deixam claro que o nível de desembolso em sistemas melhorados (CBC), com mais tecnologia e de maior produtividade, é maior. No período de estudo, os gastos por hectare com o CBC superaram os gastos com o MF em quase três mil reais. Por outro lado, as receitas adicionais por hectare chegaram a quase R\$ 3.500,00 e a margem bruta adicional do período foi de cerca de R\$ 600,00 (ou R\$ 300,00 hectare por ano).

Além dos benefícios diretos do manejo CBC, apresentados nas Tabelas 5 e 6, Pereira et al. (2020) destacam importantes benefícios indiretos, frequentemente associados com a intensificação da produção e que devem ser observados pelos produtores, tais como: a) redução de custos por antecipação de abate; b) ganhos por liberação de área; e, c) ganhos por antecipação da receita. Embora não se possa afirmar, categoricamente, que o CBC tenha resultado em ganhos indiretos, é possível hipotetizar que a “entrada antecipada” em 180 dias dos animais CBC no confinamento deveu-se ao uso do protocolo em detrimento aos animais sob MF<sup>3</sup>. Uma simulação dos benefícios econômicos potenciais indica um adicional de R\$ 551,03 por hectare (Tabela 6). O desafio aos produtores é perceber e valorar estes benefícios, que são de natureza intangível.

**Tabela 7.** Simulação de benefícios indiretos potenciais, devido à antecipação de abate dos lotes na safra 2020/2021 (R\$ por hectare).

Componente econômico (1 ha )	MF	CBC
<i>Benefício indiretos</i>		
Redução de custos	0,0	225,32
Aluguel de pasto liberado	0,0	264,67
Juros de receita liberada	0,0	61,04
<b>Total</b>		<b>551,03</b>

Na tabela acima, observa-se o ganho potencial por redução nos custos decorrente da redução do tempo (180 dias) para a entrada do lote mais pesado (lote CBC) no confinamento, tendo em conta os gastos diários (R\$ 1,14 cab por dia) com o rebanho, exceto mão de obra, cujos salários são fixos. Para o cálculo do ganho por liberação de área, tomou-se a receita abdicada pelo produtor ao usar o pasto com os animais mais leves (lote MF) ao invés de, alternativamente, alugar para terceiros.

<sup>3</sup> A entrada antecipada dos animais sob CBC no confinamento pode ter decorrido de várias causas, como por exemplo, peso inicial maior do que dos animais sob MF, uso do protocolo CBC etc.

Este custo de oportunidade do pasto considerou o valor de R\$ 40,00/cab. por mês praticado em Campo Grande/MS, segundo a SCOT Consultoria, e uma lotação de 1,1 cab. por dia pelo período de seis meses. O ganho por antecipação da receita refere-se aos juros relativos ao período, considerando-se uma taxa de 0,57% ao mês. Este ganho indica o valor, por hectare, que o produtor poderia ter recebido adicionalmente caso tivesse vendido os animais na categoria magra e aplicado o dinheiro na caderneta de poupança, por exemplo.

Apesar de ser pouco provável que os produtores, de fato, venham a alugar estes pastos ou aplicar os recursos da venda antecipada, estes são benefícios econômicos importantes e que precisam ser considerados, pois contribuem para a estratégia e a viabilidade de longo prazo do negócio como um todo. Tanto é assim que, intuitivamente, muitos produtores desejam aumentar o giro de capital (encurtando ciclos, antecipando receitas) ou usar o confinamento para liberar áreas de pasto para outras categorias animais (próprias ou de terceiros), reconhecendo, portanto, o valor econômico destas alternativas (Pereira et al., 2020). A estes benefícios indiretos podem ainda ser somados outros, tais como a valorização da propriedade rural pelo bom manejo das pastagens, a obtenção de premiação adicional oferecida por alguns frigoríficos devido à precocidade e acabamento dos animais etc.

Os resultados iniciais aqui apresentados sugerem um grande potencial para os sistemas de produção de Carne Baixo Carbono (CBC), uma vez que tecnicamente superam o manejo tradicional das fazendas típicas de pecuária de corte. Não obstante, do ponto de vista econômico, é necessário monitorar os custos e as receitas para assegurar margens adequadas, já que, de forma geral, sistemas de produção de maior nível tecnológico incorrem em maiores riscos, já que dependem mais de insumos e tecnologias. Vale lembrar também que, em se tratando de sistemas de produção, tal qual o CBC, um horizonte de dois anos de acompanhamento é bastante incipiente para conclusões definitivas, especialmente no tocante ao desempenho econômico, uma vez que mudanças nas relações de troca de insumos e produtos refletem na viabilidade econômica dos sistemas produtivos. Adicionalmente, por se tratar de solos arenosos, fica evidente também a importância da continuidade de monitoramento a médio e longo prazos para melhor avaliação e consolidação dos resultados, principalmente no que diz respeito a teor e estoque de carbono no solo.

Assim, verificou-se que o período de dois anos de acompanhamento do sistema trouxe importantes contribuições, mas ainda é insuficiente para demonstrar todo o potencial do sistema CBC. De qualquer forma, este trabalho contribui para um maior entendimento acerca da intensificação sustentável na produção de carne bovina nos trópicos na lógica das Diretrizes Técnicas CBC e para embasar políticas públicas brasileiras, em especial o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC+), entre outros.

## Conclusões

---

As diretrizes CBC foram validadas e demonstraram ser possível aumentar a taxa de lotação do pasto e garantir maior produtividade animal, aumentando a lucratividade do produtor. Tudo isso, sem abrir mão da cobertura do solo, que irá impactar na redução da erosão, na manutenção do estoque de carbono do solo dentro das faixas desejadas para a textura do solo em questão, mitigação da emissão de gases de efeito estufa, além do efeito poupa-terra.

Por se tratar de solos arenosos, fica evidente a importância da continuidade de monitoramento a médio e longo prazos para melhor avaliação e consolidação dos resultados, principalmente no que diz respeito a teor e estoque de carbono no solo.

## Agradecimentos

---

À Fazenda Trijunção, pelo financiamento e parceria na realização do trabalho. Ao gerente da Fazenda Trijunção Allan Figueiredo, aos colegas da Embrapa Virgínio Gonçalves e Magno Falcão, aos estagiários e toda equipe da Fazenda Santa Luzia por apoiar e possibilitar a execução deste trabalho. À Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento (Faped), pela gestão administrativa do projeto.



## Referências

---

ACOSTA-MARTÍNEZ, V.; LASCANO, R.; CALDERÓN, F.; BOOKER, J. D.; ZOBECK, T. M.; UPCHURCH, D. R. Dryland cropping systems influence the microbial biomass and enzyme activities in a semiarid sandy soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 47, n. 6, p. 655-667, 2011.

ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; VIANA, J. H. M.; FRANCELINO, M. R.; THOMAZINI, A.; SANTANA, D. P.; SANTOS, F. C. dos. **Caracterização pedológica da área do Projeto Trijunção no Oeste da Bahia, Região do Matopiba**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 64 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 217).

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).

ALMEIDA, R. G. de; GOMES, R. da C.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; ALVES, F. V.; FEIJO, G. L. D.; FERREIRA, A. D.; OLIVEIRA, E. B. de; BUNGENSTAB, D. J. Carbon Neutral Brazilian Beef: testing its guidelines through a case study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GREENHOUSE GASES IN AGRICULTURE, 2., 2016, Campo Grande, MS. **Proceedings...** Brasília, DF: Embrapa, 2016. p. 277-281. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 216).

ALMEIDA, R. G. de; MEDEIROS, S. R. de; MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N. Uso da integração lavoura-pecuária no balanço positivo de carbono. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO ANIMAL A PASTO, 2., 2013, Londrina. **Anais...** Maringá: Nova Sthampa, 2013. v. 1, p. 37-58.

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A. **Carbon Neutral Brazilian Beef: a new concept for sustainable beef production in the tropics**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 28 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 243).

ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; SILVA, V. P.; MACEDO, M. C. M.; MEDEIROS, S. R.; FERREIRA, A. D.; GOMES, R. C.; ARAÚJO, A. R.; MONTAGNER, D. B.; BUNGENSTAB, D. J.; FEIJÓ, G. L. D. **Carne Carbono Neutro: um novo conceito para carne sustentável produzida nos trópicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 29 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 210).

ATLAS digital das pastagens brasileiras. Disponível em: <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>. Acesso em: 22 jul. 2022.

BALOTA, E. L.; CALEGARI, A.; NAKATANI, A. S.; COYNE, M. S. Benefits of winter cover crops and no-tillage for microbial parameters in a Brazilian Oxisol: a long-term study. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 197, p. 31-40, Dec. 2014.

BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI, A.; ANDRADE, D. S.; DICK, R. P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 4, p. 300-306, Dec. 2004.

BARIONI, L. G.; LIMA, M. A. de; ZEN, S. de; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FERREIRA, A. C. A baseline projection of methane emissions by the Brazilian beef sector: preliminary results. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 2007, Christchurch, New Zealand. **Proceedings...** Christchurch: GGAA, 2007.

BARRIOS, S. C. L.; CARROMEU, C.; MATSUBARA, E. T.; CRIVELLARO, L. L.; SILVA, M. A. I.; VALLE, C. B.; SANTOS, M. F.; JANK, L. **Pasto Certo, versão 2.0@**: aplicativo para dispositivos móveis e desktop sobre forrageiras tropicais. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 13 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 148).

BEEF Report: perfil da agropecuária no Brasil. São Paulo: ABIEC, 2020. 50 p.

BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MACHADO, P. L. O. de A.; SOARES, L. H. de B.; URQUIAGA, S. Práticas mitigadoras das emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira. In: LIMA, M. A.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; URQUIAGA, S. (ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p. 327-347.

CAIONE, G.; PRADO, R. M. (ed.). **Nutrição e adubação de pastagens**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2021. 312 p.

CAIONE, G.; SCHONINGER, E. L.; PEREIRA, H. S.; MARIA, L. S.; LOURINI, S. H.; VILELA, L. Recomendação de adubação fosfatada para pastagens. In: CAIONE, G.; PRADO, R. M. (ed.). **Nutrição e adubação de pastagens**. Jaboticabal: FCAV/CAPES, 2021. p. 209-228.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; LAL, R. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.; CERRI, E. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: Haworth Press, 2006. p. 41-48.

CORAZZA, E. J.; SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C. Comportamento de diferentes sistemas de manejo como fonte ou depósito de carbono em relação à vegetação de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, n. 2, p. 425-432, jun. 1999.

COSTA, J. A. A. da; QUEIROZ, H. P. de. **Régua de manejo de pastagens**: edição revisada. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2017. 7 p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 135).

DAROIT, D. J.; SILVEIRA, S. T.; HERTZ, P. F.; BRANDELLI, A. Production of extracellular  $\beta$ -glucosidase by *Monascus purpureus* on different growth substrates. **Process Biochemistry**, v. 42, n. 5, p. 904-908, May 2007.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, n. 2, p. 141-146, Feb. 1997.

DICK, R. P.; BREAKWELL, D. P.; TURCO, R. F. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrative microbiological indicators. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p. 247-272.

DONAGEMMA, G. K.; FREITAS, P. L. de; BALIEIRO, F. de C.; FONTANA, A.; SPERA, S. T.; LUMBRERAS, J. F.; VIANA, J. H. M.; ARAUJO FILHO, J. C. de; SANTOS, F. C. dos; ALBUQUERQUE, M. R. de; MACEDO, M. C. M.; TEIXEIRA, P. C.; AMARAL, A. J.; BORTOLON, E.; BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1003-1020, 2016.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 5, p. 601-606, 1988.

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; MENDES, I. C.; DICK, R. P. Short-term response of physical and chemical aspects of soil quality of a kaolinitic Kandudalfs to agricultural practices and its association with microbiological variables. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 142, n. 3-4, p. 419-427, Aug. 2011.

FERREIRA, A. C. B.; BOGIANI, J. C.; SOFIATTI, V.; BORIN, A. L. D. C.; PERINA, F. J.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. A. S.; MACHADO, P. L. O. A. Organic carbon stock changes and crop yield in a tropical sandy soil under rainfed grains-cotton farming systems in Bahia, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, e71219, 2022.

FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, Jun. 2000.

LINGEN, H. J. van; NIU, M.; KEBREAB, E.; VALADARES FILHO, S. C.; ROOKE, J. A.; DUTHIE, C. A.; SCHWARM, A.; KREUZER, M.; HYND, P. I.; CAETANO, M.; EUGÈNE, M.; MARTIN, C.; MCGEE, M.; O'KIELY, P.; HÜNERBERG, M.; MCALLISTER, T. A.; BERCHIELLI, T. T.; MESSANA, J. D.; PEIREN, N.; HRISTOV, A. N. Prediction of enteric methane production, yield and intensity of beef cattle using an intercontinental database. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 283, 106575, Nov. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106575>

MACEDO, M. C. M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na região dos Cerrados. 2004. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003, São Pedro, SP. **Anais...** Piracicaba: Potafós, 2004. p. 359-396.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. Adubação nitrogenada. In: MARTHA JÚNIOR, G. B.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de (ed.). **Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. p. 117-144.

MEDEIROS, G. I. B.; FLORINDO, T. J.; RUVIARO, C. F. Potencial de estoque e sequestro de carbono orgânico no solo sob pastagens no Brasil. **Revista Espacios**, v. 38, n. 8, p. 23-44, 2017a.

MEDEIROS, S. R.; ALMEIDA, R. G.; BARIONI, L. G. Mitigação da emissão de gases de efeito estufa em sistemas de produção animal em pastagens: em busca da carne com emissão zero. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 28., 2017, Piracicaba. **As mudanças climáticas e as pastagens: desafios e oportunidades**. Piracicaba: Fealq, 2017b. p. 163-219.

MEDEIROS, S. R.; BARIONI, L. G.; BERNDT, A.; FREUA, M. C.; ALBERTINI, T. Z.; COSTA JUNIOR, C.; FELTRIN, G. Modeling enteric methane emission from beef cattle in Brazil: a proposed equation performed by principal component analysis and mixed modeling multiple regression. In: LIVESTOCK, CLIMATE CHANGE AND FOOD SECURITY CONFERENCE, 2014, Madri. **Proceedings...** [Paris]: INRA, 2014. p. 37.

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; de OLIVEIRA, T. P.; da SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do solo no Cerrado. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 1, p. 136-145, 2019.

NEELY, C.; BUNNING, S.; WILKES, A. (ed.). **Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change: implications and opportunities for mitigation and adaptation**. Rome: FAO, 2009. 38 p. (Land and water discussion paper, 8).

NUNES, R. D. S.; SOUSA, D. M. G. D.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 877-888, jun. 2011.

OLIVEIRA, D. C. **Potencial de sequestro de carbono no solo e dinâmica da matéria orgânica em pastagens degradadas no Brasil**. 2018. 83 f. (Tese de Doutorado) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo.

OLSON, K. **Economics of farm management in a global setting**. Hoboken: J. Wiley & Sons, 2011. 542 p.

PEREIRA, M. de A.; COSTA, F. P.; MONTAGNER, D. B.; EUCLIDES, V. P. B.; ARAUJO, A. R. de; BARBOSA, R. A.; SOUZA, J. A. B. A. **Pastagens: condicionantes econômicos e seus efeitos nas decisões de formação e manejo**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2020. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 150).

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F. D.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI, C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1125-1136, out. 2009.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v. 27, p. 29-48, jul./dez. 2003.

RESCK, D. V. S.; VASCONCELLOS, C. A.; VILELA, L.; MACEDO, M. C. M. Impact of conversion of Brazilian Cerrado to cropland and pastureland on soil carbon pool and dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; STEWART, B. A. (ed.). **Global climate change and tropical ecosystems**. Boca Raton: RCR Press, 2000. p. 169-196.

ROSENDO, J. D. S.; ROSA, R. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 359-375, ago. 2012.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal – bioma Cerrado – ano base 2002**. Brasília, DF: MMA/SBF, 2010. 96 p.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia agrícola**. Piracicaba: Universidade de São Paulo. Departamento de Ciências Exatas, fev. 1999. p.46-70.

SMITH, P.; HOUSE, J. I.; BUSTAMANTE, M.; SOBOCKÁ, J.; HARPER, R.; PAN, G.; WEST, P. C.; CLARK, J. M.; ADHYA, T.; RUMPEL, C. Global change pressures on soils from land use and management. **Global Change Biology**, v. 22, n. 3, p. 1008-1028, Mar. 2016.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p. il

SOUSA, H. M. **Atributos microbiológicos do solo em sistemas de integração Lavoura Pecuária no Ecótono Cerrado-Amazônia**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. (ed.). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. pt. 2, p. 778-835. (Special publication, 5).

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 573 p.

URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B. E.; MACHADO, P. L. O. A.; BODDEY, R. M. **Protocolo para avaliar o potencial de sistemas agrícolas no sequestro de C e acúmulo de N no solo**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2016. 23 p. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 303).

VALLE, E. R. do (ed.). **Boas práticas agropecuárias: bovinos de corte: manual de orientações**. 2. ed. rev. e ampl. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2011. 69 p.

VILELA, L.; SOARES, W. V.; SOUSA, D. M. G.; MACEDO, M. C.M. Calagem e adubação para pastagens. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 367-382.

ZWIKEL, S.; LAVEE, H.; SARAH, P. Temporal dynamics in arylsulfatase enzyme activity in various microenvironments along a climatic transect in Israel. **Geoderma**, v. 140, n. 1-2, p. 30-41, Jun. 2007.

**Embrapa**

**Pecuária Sul**

Parceria



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA E  
PECUÁRIA



CGPE 018294