

## Palestras

Reunião Técnica Interna  
da Embrapa Cerrados

Mostra de Resultados 2022

1º/12/2022 a 2/12/2022

Brasília, DF



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

e-ISSN 0000-0000

**Eventos Técnicos  
& Científicos**

3

Março, 2025

## Palestras

Reunião Técnica Interna da  
Embrapa Cerrados

Mostra de Resultados 2022

1º/12/2022 a 2/12/2022  
Brasília, DF

**Embrapa Cerrados**  
Planaltina, DF  
2025

**Embrapa**

Parque Estação Biológica  
Av. W3 Norte (final)  
70770-901 Brasília, DF  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Responsável pelo conteúdo  
e pela editoração**

Embrapa Cerrados  
BR 020, Km 18, Rod. Brasília / Fortaleza  
Caixa Postal 08223  
73310-970 Planaltina, DF

**Comitê Local de Publicações**

Presidente  
*Eduardo Alano Vieira*  
Secretária-executiva  
*Lidiamar Barbosa de Albuquerque*

Membros  
*Alessandra de Jesus Boari*  
*Alessandra Silva Gelape Faleiro*  
*Angelo Aparecido Barbosa Sussel*  
*Fábio Gelape Faleiro*  
*Fabiola de Azevedo Araujo*  
*Giuliano Marchi*  
*Jussara Flores de Oliveira Arbues*  
*Karina Pulrolnik*  
*Maria Emília Borges Alves*  
*Natália Bortoleto Athayde Maciel*

Edição executiva e revisão de texto  
*Jussara Flores de Oliveira Arbues*

Normalização bibliográfica  
*Antonia Veras de Souza (CRB-1/2023)*

Projeto gráfico, diagramação e capa  
*Bruno de Andrade Imbroisi*

Fotos da capa:  
*Fabiano Bastos e Banco Multimídia Embrapa*

**1ª edição**

Publicação digital (2025): PDF

**Todos os direitos reservados**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Cerrados

---

R444 Reunião Técnica Interna da Embrapa Cerrados (3. : 2022 : Brasília, DF).  
Palestras Reunião Técnica da Embrapa Cerrados : Mostra de Resultados 2022.  
– Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2025.  
PDF (47 p.) : il. color. – (Eventos técnicos & científicos / Embrapa Cerrados,  
e-ISSN 0000-0000 ; 3).  
1. Pesquisa. 2. Cerrado. I. Título. II. Série.

CDD (23 ed.) 001.4

---

Marilaine Schaun Pelufe (CRB-1/2045)

© 2025 Embrapa

# SUMÁRIO

---

## Palestras

Bases para a implementação de seleção genômica em brachiaria.....	7
<i>Marco A. C. P. P. Filho</i>	
Desenvolvimento de cultivares de <i>Andropogon</i> para a intensificação sustentável dos sistemas agropecuários.....	11
<i>Carlos E. L. Fonseca, Allan K. B. Ramos, Francisco D. Fernandes, Giovana A. Maciel, Gustavo J. Braga, Marcelo A. Carvalho e Marco A. C. P. P. Filho</i>	
Caracterização e seleção genética para eficiência alimentar em bovinos Nelore avaliados no estado de Goiás.....	14
<i>Eduardo C. Eifert, Cláudio U. Magnabosco, Marcos F. O. Costa, Rodrigo da R. Fragoso e Ludmilla C. Brunes</i>	
Conforto térmico, produção de leite e desempenho reprodutivo de vacas zebuínas em sistema ILPF no Cerrado.....	17
<i>Isabel C. Ferreira, Juaci V. Malaquias, Carlos F. Martins, Karina Pulrolnik, Lourival Vilela, Roberto G. Júnior, Concepta M. M. Pimentel, Fernando A. M. Silva e Gustavo J. Braga</i>	
Consórcio de cana-de-açúcar e milho para intensificação sustentável da produção de açúcar e etanol no Cerrado: trigo BRS Tarumaxi.....	20
<i>João de D. G. dos Santos Júnior, Alceu Richetti, André May, César J. Silva, Daniel I. Kinpara, Kleber W. Souza, Nilza P. Ramos e Núbia M. Correia</i>	
Seleção e aplicação de parâmetros regionais como subsídios para a gestão da qualidade das águas superficiais no bioma Cerrado.....	22
<i>Eduardo C. Oliveira-Filho e Juaci V. Malaquias</i>	
Desenvolvimento de indicadores técnicos e econômicos para subsidiar o cultivo de palma de óleo irrigada em áreas de clima tropical de savana.....	24
<i>Jorge C. A. Antonini, Cornélio A. Zolin, Marcos E. C. Veloso, Ueliton Messias e Vanessa Q. R. Silva</i>	
Desenvolvimento de sistemas de produção de cana-de-açúcar no Cerrado.....	28
<i>Marcos A. C. Sá, Arminda M. Carvalho, Artur G. Muller, Charles M. Oliveira, Daniel I. Kinpara, Djalma M. G. Sousa (in memoriam), Fábio C. Silva, João de D. G. dos Santos Júnior, José de R. N. dos Anjos, Nilza P. Ramos, Pedro L. Freitas, Roberto T. Alves, Solange R. M. de Andrade, Thomaz A. Rein, Vinicius B. Bufon e Walter Q. Ribeiro Júnior</i>	
Laboratórios de inovação social para fortalecer e promover a sustentabilidade dos arranjos produtivos locais da agricultura familiar no Noroeste de Minas Gerais.....	31
<i>Suênia C. R. Almeida, Zará A. B. Soares, José H. V. Xavier e Odair Scatolini Júnior</i>	
Validação de ativos tecnológicos para promover a inovação e fortalecer o arranjo produtivo do leite com agricultores familiares no Noroeste de Minas Gerais.....	34
<i>José H. V. Xavier, Altino J. S. Silva, Carlos E. S. Santos, Francisco D. Fernandes, Giovana A. Maciel, Marcelo L. Gastal, Roberto Guimarães Júnior, Suênia C. R. Almeida, Zará A. B. Soares, Ana L. T. Caldas, Andra P. R. Ribeiro, Bruno S. Reis, Daniella S. S. Spíndola, Daniel S. Cardoso, Felipe O. Godoy e Leandro R. S. Lemes</i>	
Formação de argilo-minerais com elevada carga em solos do Distrito Federal pelo biointemperismo de agrominerais silicáticos.....	38
<i>Giuliano Marchi, Luise L. Krahl, Eder S. Martins e José C. S. Silva</i>	
Bioindicadores para avaliação da qualidade de solos em diferentes agroecossistemas brasileiros – fase III: inovação em estratégias e tabelas de interpretação.....	41
<i>Ieda C. Mendes, Fábio B. dos Reis Júnior, Guilherme M. Chaer, Anderson Ferreira, Djalma M. G. Sousa (in memoriam), Juliana J. C. Rodrigues, Krisle da Silva, Marco A. Nogueira, Mariangela H. Cunha, Michely Tomazi e Vinicius M. Benites</i>	
Índice de qualidade do solo com variáveis da fauna edáfica para avaliação da sustentabilidade ambiental de sistemas integrados de produção no Cerrado.....	44
<i>Cintia C. Niva, Robélio L. Marchão, Rodrigo Roani, Lilianne S. M. Bruz, Karina Pulrolnik, Ieberson W. Souza, Marcos A. C. Sá, George G. Brown, Juaci V. Malaquias, Marie L. C. Bartz, Lourival Vilela e Juvenil E. Cares</i>	



# Apresentação

---

Segundo o VII Plano Diretor da Embrapa (2021 a 2030), a missão da Embrapa é viabilizar soluções de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sustentabilidade da agricultura, em benefício da sociedade brasileira, levando-se em consideração, a visão estratégica de ser protagonista e parceira essencial na geração e uso de conhecimentos para o desenvolvimento sustentável da agricultura brasileira até 2030. A missão da Embrapa Cerrados é a mesma, porém, com foco no bioma Cerrado, que ocupa uma área de mais 200 milhões de hectares na porção central do País.

Os resultados de 13 projetos de pesquisa da Embrapa Cerrados finalizados entre 2020 e 2022 e as suas perspectivas para 2023 foram apresentados na Reunião Técnica Interna da Embrapa Cerrados, realizada no auditório Assis Roberto do Bem da Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia em Brasília, DF, nos dias 1º e 2 de dezembro de 2022. Os seguintes grandes temas foram contemplados por estes projetos: produção animal e pastagens; sistemas integrados; agroenergia e água; agricultura familiar; e agrominerais e qualidade do solo.

Este documento apresenta a memória da referida reunião técnica, destacando os principais resultados e as perspectivas para 2023 dos 13 projetos de pesquisa. Mais detalhes sobre os procedimentos metodológicos e os resultados alcançados podem ser encontrados em diversas publicações internas da Embrapa Cerrados, relacionadas aos respectivos projetos, bem como em revistas científicas especializadas, entre outras fontes.

Boa leitura!

*Sebastião Pedro da Silva Neto*  
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados



# Bases para a implementação de seleção genômica em brachiaria

Marco Aurélio Caldas de Pinho Pessoa Filho

Pesquisador, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

## Introdução

Espécies forrageiras, como os capins braquiária, são componentes importantes de sistemas de produção de carne, leite e integração lavoura-pecuária. O desenvolvimento de uma nova cultivar forrageira pode demandar até 15 anos. O processo de desenvolvimento de novas cultivares forrageiras tropicais pode ser otimizado com a aplicação de ferramentas baseadas em informações genéticas, ou seja, do genoma dessas espécies. A seleção genômica surge como alternativa para a seleção assistida por marcadores em características complexas. A implementação de um programa de seleção genômica em uma espécie de interesse exige, entre outros fatores, muitos marcadores moleculares com baixo custo de genotipagem e o delineamento adequado de uma população de treinamento para a cultura.

O projeto desenvolveu um banco de dados com aproximadamente 10 milhões de variantes simples (single nucleotide polymorphisms – SNPs) de alta qualidade, distribuídas nos nove cromossomos do genoma de referência de *Urochloa ruziziensis*. Isso foi realizado por meio do sequenciamento em plataforma Illumina de pools de indivíduos (pool-seq) e utilizando um pipeline iterativo de recalibração implementado com o genome analysis toolkit (GATK). Em paralelo, foi constituída uma população de treinamento de *U. ruziziensis* representativa da diversidade genética disponível para a espécie no Brasil, composta por 250 famílias de meios-irmãos. O projeto ampliou o conjunto de recursos genômicos disponíveis para *U. ruziziensis*, dando continuidade a uma linha de pesquisa iniciada em um projeto anterior (*Sequenciamento e Montagem do Genoma de Brachiaria Ruziziensis, Potencial Espécie Modelo Para Gramíneas Forrageiras*), que possibilitou a obtenção de um genoma de referência em escala cromossômica para a espécie. Os SNPs descobertos podem ser testados e transferidos para outras espécies do gênero, também utilizadas como forrageiras tropicais.

## Objetivo geral

Desenvolver recursos genômicos e populações de treinamento visando a implementação em médio prazo de um programa de seleção genômica em *B. ruziziensis* focado em aumento nos ganhos genéticos para produtividade e qualidade de forragem.

## Abordagem metodológica

### *Seleção de indivíduos para sequenciamento e germinação de sementes*

As populações selecionadas para sequenciamento foram compostas por 13 acessos de *U. ruziziensis* disponíveis na Coleção de Base e no Banco Ativo de Germoplasma (BAG) Forrageiras da Embrapa Cerrados, além de populações coletadas em pastos antigos no estado de Goiás e uma população de capim-ruziziensis comum, totalizando 21 populações de *U. ruziziensis*. As sementes foram germinadas em bandejas contendo solo e substrato, em casa de vegetação. Após a germinação, 15 plântulas de cada população foram transferidas para bandejas de 60 células, com uma plântula por célula. Tecido foliar de 12 plantas de cada população foi coletado para extração de ácido desoxirribonucleico (DNA) e composição dos pools de amostras para sequenciamento.

### *Coleta de tecido, extração de DNA e síntese de amostras compostas*

O tecido foliar coletado foi armazenado em envelopes de papel pardo e mantido em refrigerador (4 °C) até o momento da extração de DNA. O DNA foi extraído seguindo um protocolo baseado em lavagem com tampão contendo sorbitol e posterior extração com tampão brometo de cetiltrimetilamônio (CTAB) (Inglis et al., 2018), com maceração dos tecidos em agitador. Aproximadamente 240 amostras tiveram DNA extraído e quantificado em

espectrofotômetro e em fluorímetro, adquiridos no projeto.

As amostras compostas foram preparadas com quantidades equimolares de DNA de dupla fita, conforme a quantificação realizada por fluorimetria. O desenho experimental foi estabelecido com o seguinte formato: foram compostos cinco conjuntos, cada um contendo DNA de 12 indivíduos. Para cada conjunto, foram criadas três réplicas, montadas a partir de diluições realizadas separadamente, a fim de compensar o efeito de erros de pipetagem de pequenos volumes na construção das bibliotecas genômicas. Os conjuntos foram compostos com indivíduos dos acessos BRA-5541, BRA-5592, BRA-5622, BRA-5673, e da cultivar comercial disponível no Brasil (*ruzizensis* comum, ou Kennedy).

### **Seleção de indivíduos, germinação e plantio de sementes para a primeira etapa de cruzamentos ao acaso e coleta de sementes para recombinação**

Foram selecionados 13 acessos de *U. ruzizensis* disponíveis na Coleção de Base mantida na Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia e no BAG Forrageiras na Embrapa Cerrados (códigos BRA 5541, 5550, 5568, 5576, 5584, 5592, 5606, 5614, 5622, 5631, 5649, 5665, 5673). Além dos acessos, foram utilizadas populações coletadas em pastos antigos no estado de Goiás, e uma população de *ruzizensis* comum (semente comercial, Kennedy). As sementes foram germinadas, em setembro/outubro de 2018, em bandejas em casa de vegetação contendo solo e substrato, para composição de uma população de 2 mil plantas representativa da diversidade genética disponível de *U. ruzizensis*.

O transplântio das 2 mil plantas foi realizado em dezembro de 2018. As mudas foram transplantadas em uma área de 20 x 100 m, com parcelas contendo plantas individuais, com espaçamento de 1 m entre plantas. As sementes foram colhidas de forma mecanizada, em maio de 2019, de toda a área, representando a população base, ou de ciclo 0, resultante da polinização aberta entre as 2 mil plantas no campo. Essas sementes colhidas foram utilizadas para amostragem dos parentais das famílias de meios-irmãos no próximo ciclo de cruzamento.

### **Envio de amostras e construção de bibliotecas genômicas para sequenciamento**

Foram enviadas 15 amostras de DNA das cinco amostras compostas, com três réplicas de cada, para síntese de bibliotecas shotgun e sequenciamento de pequenos fragmentos de leitura. A construção das bibliotecas e o sequenciamento foram realizados na McGill University and Genome Québec Innovation Centre (Montreal, Quebec, Canadá).

### **Descoberta de polimorfismo de nucleotídeo único**

Dois conjuntos de dados foram utilizados para a implementação do fluxo de trabalho de descoberta e recalibração de variantes:

- a) Dados de (RNA-Seq) de tecido foliar de 11 indivíduos de diferentes acessos de *U. ruzizensis* mantidos pelo Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT, Cali, Colômbia) e disponíveis publicamente no Banco de Dados Repositório de Fragmentos de Leitura de Sequenciamento (SRA) do Centro Nacional para Informação Biotecnológica (National Center for Biotechnology Information – NCBI), depositados pelo Earlham Institute. Os arquivos de formato FASTQ foram gerados com `fastq-dump` a partir dos arquivos baixados do SRA.
- b) Dados das três réplicas de cada amostra composta, disponibilizados como arquivos FASTQ pelo provedor de serviço de sequenciamento.

A descoberta de SNPs a partir dos dados de RNA-seq foi realizada seguindo as boas práticas estabelecidas no pacote de análise computacional *genetic analysis toolkit* GATK4 (conjunto de ferramentas de análise genética) para esse tipo de dados, com a função de chamada conjunta de genótipo (Brouard et al., 2019). Arquivos FASTQ foram convertidos para o formato uBAMs e mapeados no genoma de referência marcado para regiões repetitivas e de baixa complexidade usando o programa computacional STAR (Dobin et al., 2013). As variantes foram filtradas usando alta estríngência, já que não é possível realizar recalibração de escores de variantes com dados de RNA-seq no GATK4.

Para a descoberta de SNPs nas amostras compostas, o fluxo de trabalho inicial seguiu as orientações de boas práticas do GATK4 (DePristo et al., 2011; Van der Auwera et al., 2013), com a opção de ploidia da fun-

ção computacional HaplotypeCaller em 24 (levando em consideração os 24 conjuntos cromossômicos dos 12 indivíduos diploides sequenciados em cada conjunto). Foram utilizadas as variantes descobertas a partir do RNA-seq, juntamente com um conjunto de variantes descoberto nos conjuntos pelo programa CRISP (Bansal, 2016), na implementação do fluxo de trabalho de recalibração e interrelação de dados genômicos (McCormick et al., 2015), visando a recalibração iterativa de qualidade de base e de escores de qualidade de variantes.

### **Seleção de progênies aleatórias, germinação e plantio no campo, segunda etapa de policruzamento e coleta de sementes de meios-irmãos**

Uma amostra aleatória de sementes colhidas na geração Ciclo 0 foi semeada em bandejas mantidas em casa de vegetação, em setembro de 2019. O transplante de 250 plantas ocorreu em novembro de 2019, com um espaçamento de 1,5 m entre plantas individuais (10 linhas de 25 plantas). As sementes geradas a partir da fertilização cruzada entre os parentais em policross foram colhidas individualmente em maio de 2020. Cada conjunto de sementes colhido de cada uma das plantas mãe constitui uma família de meios-irmãos, que comporá a população de treinamento para seleção genômica em capim-ruziziensis.

### **Germinação de sementes da população de treinamento e plantio no campo**

As sementes colhidas das famílias de meios-irmãos foram beneficiadas e pesadas, e foram utilizadas para plantio e montagem de experimento de fenotipagem no ano safra 2020/2021.

## **Dados obtidos**

O projeto gerou um banco de dados contendo 10.189.604 variantes simples (SNPs) de alta qualidade, distribuídas nos nove cromossomos do genoma de referência de *U. ruziziensis*. Considerando o tamanho aproximado do genoma de referência de 604 Mpb, o banco de dados inclui 1 SNP a cada 59 pb. Devido à proximidade filogenética entre *U. ruziziensis*, *U. decumbens* e *U. brizantha* (Pessoa-Filho et al., 2017), estima-se que uma grande porcentagem (aproximadamente 80% dos marcadores) seja transferível

entre as três espécies. Um arquivo VCF contendo informações de anotação de cada um dos marcadores foi incorporado a um repositório das informações genômicas de forrageiras em desenvolvimento na Embrapa, para visualização de informações de cada variante.

Um conjunto de 250 famílias de meios-irmãos foi obtido a partir da recombinação de germoplasma representativo da diversidade genética de *U. ruziziensis* disponível no Brasil, proporcionando uma ampla base genética para seleção e melhoramento. Essas famílias foram plantadas em um experimento de campo na safra 2020/2021, dando início à coleta de dados fenotípicos, com foco na produtividade e qualidade da forragem.

## **Desdobramentos e perspectivas**

O banco de dados de SNPs permite, por exemplo, a seleção criteriosa de variantes a partir de parâmetros específicos. A depender da pergunta do pesquisador ou melhorista, subconjuntos de variantes podem ser definidos rapidamente para a implementação de plataformas de genotipagem customizadas. A título de ilustração, uma filtragem do conjunto de 10 milhões de SNPs para marcas livres de SNPs secundários em uma janela de 60 pb resulta em um conjunto aproximado de 595 mil SNPs. É possível selecionar variantes que atendam a tipos de substituição compatíveis com plataformas específicas, variantes livres de InDels (inserções ou deleções) próximas em janelas definidas, e que estejam próximas ou contidas em modelos gênicos preditos no genoma de referência, e fora de regiões repetitivas anotadas no genoma.

Um banco de dados de variantes dessa magnitude coloca o capim-ruziziensis em uma posição de destaque entre as forrageiras tropicais em relação aos recursos genômicos disponíveis para aplicação em genética e melhoramento. A metodologia aplicada no projeto pode ser utilizada em outras espécies forrageiras tropicais com foco a médio e longo prazo na dinamização de programas de melhoramento com o uso de ferramentas biotecnológicas.

A população de treinamento representativa da diversidade genética do capim-ruziziensis poderá ser

caracterizada exaustivamente para seu melhor aproveitamento como população experimental.

Projetos já em execução com financiamento da Embrapa pretendem unir os dois resultados obtidos nesse projeto da seguinte forma: um subconjunto de alta qualidade de marcadores será selecionado a partir do banco de dados de variantes para a genotipagem dos parentais e dos indivíduos da população de treinamento; em paralelo, a população de treinamento será fenotipada a campo para produtividade de forragem, caracteres morfoagronômicos (como tempo de florescimento e hábito de crescimento) e qualidade de forragem, com uso de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). Os dados genotípicos e fenotípicos serão utilizados na elaboração de equações de predição de estimativas de valor genômico (GEBVs) e avaliação de acurácia de seleção para as características alvo do programa de melhoramento.

## Considerações finais

O sequenciamento de amostras compostas permitiu a descoberta de mais de 10 milhões de variantes simples (SNPs), superando em ordens de magnitude a expectativa inicial do projeto.

A combinação de populações representativas de capim-ruziense disponíveis na Embrapa Cerrados possibilitou o estabelecimento de uma população de treinamento composta por famílias de meios-irmãos com ampla diversidade genética.

## Referências

- BANSAL, V. A statistical method for the detection of variants from next-generation resequencing of DNA pools. **Bioinformatics**, v. 32, n. 20, 3213, 2016.
- BROUARD, J. S.; SCHENKEL, F.; MARETE, A.; BISSONNETTE, N. The GATK joint genotyping workflow is appropriate for calling variants in RNA-seq experiments. **Journal of Animal Science and Biotechnology**, v. 10, n. 44, p. 6, 2019.
- DePRISTO, M. A.; BANKS, E.; POPLIN, R.; GARIMELLA, K. V.; MAGUIRE, J. R.; HARTL, C.; PHILIPPAKIS, A. A.; DEL ANGEL, G.; RIVAS, M. A.; HANNA, M.; MCKENNA, A.; FENNEL, T. J.; KERNYTSKY, A. M.; SIVACHENKO, A. Y.; CIBULSKIS, K.; GABRIEL, S. B.; ALTSHULER, D.; DALY, M. J. A framework for variation discovery and genotyping using next-generation DNA sequencing data. **Nature Genetics**, v. 43, n. 5, p. 491-498, 2011.
- DOBIN, A.; DAVIS, C. A.; SCHLESINGER, F.; DRENKOW, J.; ZALESKI, C.; JHA, S.; BATUT, P.; CHAISSON, M.; GINGERAS, T. R. STAR: Ultrafast universal RNA-seq aligner. **Bioinformatics**, v. 29, n. 1, p. 15-21, 2013.
- INGLIS, P. W.; PAPPAS, M. C. R.; RESENDE, L. V.; GRATTAPAGLIA, D. Fast and inexpensive protocols for consistent extraction of high quality DNA and RNA from challenging plant and fungal samples for high-throughput SNP genotyping and sequencing applications. **PLoS One**, v. 13, n. 10, e0206085, 2018.
- McCORMICK, R. F.; TRUONG, S. K.; MULLET, J. E. RIG: Recalibration and interrelation of genomic sequence data with the GATK. **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 5, n. 4, p. 655-665, 2015.
- PESSOA-FILHO, M. A. C. P.; MARTINS, A. M.; FERREIRA, M. E. Molecular dating of phylogenetic divergence between *Urochloa* species based on complete chloroplast genomes. **BMC Genomics**, v. 18, 516, 2017.
- VAN DER AUWERA, G. A.; CARNEIRO, M. O.; HARTL, C.; POPLIN, R.; DEL ANGEL, G.; LEVY-MOONSHINE, A.; JORDAN, T.; SHAKIR, K.; ROAZEN, D.; THIBAUT, J.; BANKS, E.; GARIMELLA, K. V.; ALTSHULER, D.; GABRIEL, S.; DePRISTO, M. A. From fastQ data to high confidence variant calls: The genome analysis toolkit best practices pipeline. **Current Protocols in Bioinformatics**, v. 11, p. 1110, 2013.

# Desenvolvimento de cultivares de *Andropogon* para a intensificação sustentável dos sistemas agropecuários

Carlos Eduardo Lazarini da Fonseca, Allan Kardec Braga Ramos, Francisco Duarte Fernandes, Giovana Alcântara Maciel, Gustavo José Braga, Marcelo Ayres Carvalho e Marco Aurélio Caldas de Pinho Pessoa Filho

Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

## Introdução

O problema está relacionado à vulnerabilidade das pastagens cultivadas em uma vasta extensão do território nacional, caracterizada pelo uso de pouca diversidade de espécies forrageiras, bem como, em muitas situações, por uma baixa variabilidade genética intraespecífica. Vislumbrou-se a oportunidade de explorar soluções alternativas por meio do desenvolvimento de novas variedades de *Andropogon* com características agronômicas e nutricionais superiores para ambientes e sistemas de produção específicos, como aqueles para áreas marginais e de expansão da pecuária, contribuindo assim para uma melhor diversificação do mercado de sementes de forrageiras e, conseqüentemente, maior sustentabilidade das pastagens do País.

Em 1980, a Embrapa Cerrados lançou a primeira cultivar de gramínea forrageira tropical, o *A. gayanus* cv. Planaltina, a partir da população CIAT-621, com características de resistência às cigarrinhas-das-pastagens, boa adaptação aos solos e ao clima da região, com tolerância a solos ácidos e de baixa fertilidade, tolerância ao fogo, fácil estabelecimento com leguminosa, boa produção de sementes, ausência de pragas e doenças, boa aceitabilidade por bovinos e equinos e bons ganhos de peso animal. As atividades de pesquisa na Embrapa Cerrados foram retomadas em 2008 por meio da coleta de sementes de oito subpopulações da cultivar Planaltina em diferentes locais dos biomas Cerrado e Caatinga. Os experimentos de campo tiveram início no período chuvoso de 2009/2010 com o plantio dessas oito subpopulações em bloco de recombinação (G0), gerando uma população com alta variabilidade fenotípica (G1), na qual se iniciou um processo de seleção massal, focada no vigor de perfilhamento, na proporção de folhas/colmo e na conformação semiereta das plantas, até a quarta geração de seleção (G4), a qual derivou a população CPAC-1, objeto de validação agronômica e avaliações para registro e proteção no presente projeto.

## Objetivos

Desenvolver novas variedades de *Andropogon gayanus* com características agronômicas superiores e com maior qualidade nutricional, como alternativa para aumentar a diversificação do mercado de sementes de forrageiras e, conseqüentemente, contribuir para diminuir os riscos associados a pouca diversidade nas pastagens e melhorar o processo de intensificação sustentável dos sistemas de produção agropecuários dos cerrados brasileiros.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Avaliar, selecionar e recombinar genótipos superiores, via seleção fenotípica, com foco no vigor do perfilhamento, na proporção de folhas em relação ao colmo e na conformação semiereta da planta, visando o lançamento de cultivares agronomicamente superiores e adaptados ao Cerrado e Caatinga.
- Desenvolver populações sintéticas por meio de seleção genotípica com base em famílias de meios-irmãos, com foco em produtividade de matéria seca e qualidade forrageira.
- Calibrar e validar equações visando o uso da espectroscopia de reflectância do infravermelho próximo (NIRS) para selecionar plantas com características superiores de qualidade.
- Multiplicar sementes, realizar ensaios agrônômicos diversos como os de distinguibilidade, homogeneidade e estabilidade (DHE), ganho de peso animal sob pastejo e valor de cultivo e uso (VCU) de corte de uma população avançada selecionada para atributos agrônômicos relacionados à produção.

## Abordagem metodológica

O projeto foi estruturado em quatro planos de ação, cada um refletindo a consolidação de atividades afins. O plano gerencial contemplou articulação operacional do projeto e os meios para garantir a

sua execução, bem como a integração da equipe nos respectivos planos de ação. Também contemplou o componente de transferência de tecnologia, focando no processo de registro, proteção e divulgação de uma nova cultivar, a BRS Sarandi. Foram produzidos materiais de divulgação, com destaque para as características superiores da cultivar e orientações técnicas de cultivo.

O plano de ação de seleção fenotípica e genotípica tratou de duas frentes: a primeira contemplando o desenvolvimento de novas populações com maior frequência de indivíduos com características superiores para relação folha/colmo, número de perfilhos e porte semiereto por meio de seleção massal; e a segunda contemplando o desenvolvimento de populações sintéticas para produtividade de matéria seca e qualidade de forragem, por meio da avaliação de progênies e recombinação entre parentais superiores.

O plano de ação de desempenho e validação tecnológica contemplou inúmeros ensaios agrônômicos como DHE, VCU, regionais de validação de cultivo, pastejo e ganho animal, fertilidade em respostas ao N e P, nível de resistência à cigarrinha Mahanarva e produção e processamento de sementes.

O plano de ação de NIRS contemplou o desenvolvimento de modelos calibrados para análises bromatológicas, visando a seleção de materiais com qualidade forrageira superior.

## Dados obtidos

Pelo menos duas populações avançadas, provenientes das seleções fenotípicas e genotípicas: Resultado alcançado por meio do registro no Banco Ativo Germoplasma (BAG) da população avançada CPAC 3944 oriunda da seleção de plantas superiores na geração G6 para o plantio da geração G7 da seleção massal. Houve ganhos de seleção no aumento da frequência de plantas com porte semiereto, maior relação folha/haste e em número de perfilhos, bem como o registro no BAG da população avançada CPAC 3948 selecionada a partir da avaliação de 51 famílias de meios-irmãos. Foi feito um poli-cruzamento de 8 clones de 12 parentais selecionados (CPAC 3940) para qualidade e produtividade de matéria seca.

Calibração de equações NIRS para o desenvolvimento de modelo de predição de características de qualidade bromatológicas: Resultado alcançado com duas aproximações concluídas para todas as seguintes características de qualidade bromatológica: fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, celulose, hemicelulose, lignina, matéria seca, matéria orgânica, cinzas, N, proteína bruta, digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e digestibilidade in vitro da matéria orgânica (DIVMO).

Uma cultivar de *Andropogon gayanus* validada, registrada, protegida e suas sementes disponibilizadas para multiplicação: Resultado alcançado com a disponibilização da cultivar BRS Sarandi para regiões com precipitação oscilando entre 1 mil a 2 mil milímetros por ano e com solos ácidos e de baixa fertilidade natural. Responde satisfatoriamente à aplicação de doses moderadas de fósforo (100 a 200 kg/ha de  $P_2O_5$ ) e apresenta resistência à cigarrinha das pastagens e a nematoides. É uma cultivar que pode ser usada em sistemas de cria de bovinos de corte e leite no bioma Cerrado, concentrando o período de utilização de seus pastos no período das chuvas. Registrada no Mapa com o Formulário nº. 201900060, Registro nº. 41670, data do registro 29/10/2019 (CPAC 3940).

## Desdobramentos e perspectivas

O programa de melhoramento tem sua continuidade por meio do projeto SEG 20.19.01.014.00.00 – Desenvolvimento de Cultivares de *Andropogon gayanus* para a Intensificação Sustentável dos Sistemas Agropecuários – Fase II, sob liderança do pesquisador Marcelo Ayres. Novas atividades de melhoramento contemplando a avaliação de seis novas populações avançadas oriundas de três frentes de seleção genotípica e uma frente de seleção fenotípica. Serão avaliados os avanços das seleções genotípicas para características de qualidade e produtividade de matéria seca, bem como os avanços das seleções fenotípicas sequenciais para maior uniformidade e frequência de indivíduos com maior número de perfilhos, porte semiereto e maior proporção folha/haste.

Adicionalmente, novas atividades para criação das bases para seleção genômica em *Andropogon*

foi contemplada no projeto 10.19.03.038.00.00 – Genômica Aplicada à Otimização de Programas de Melhoramento Genético de Espécies Forrageiras Tropicais, sob liderança do pesquisador Marco Pessoa.

## Considerações finais

Há variabilidade genética suficiente para obtenção de ganhos de seleção em *Andropogon* para características correlacionadas com a qualidade forrageira e a produtividade animal.

Há também variabilidade genética suficiente para obtenção de ganhos em produtividade de

matéria seca. Entretanto, estudos com base em 120 parentais individuais mostraram correlações genéticas negativas da produtividade de matéria seca com atributos de qualidade como proteína bruta (PB) e DIVMS e positiva com fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e celulose.

A continuidade das ações de melhoramento é imprescindível para a obtenção de avanços reais na produtividade dos sistemas de produção animal e disponibilização de novas alternativas para as pastagens brasileiras.

# Caracterização e seleção genética para eficiência alimentar em bovinos Nelore avaliados no estado de Goiás

Eduardo da Costa Eifert<sup>(1)</sup>, Cláudio Ulhoa Magnabosco<sup>(1)</sup>, Marcos Fernando Oliveira e Costa<sup>(1)</sup>, Rodrigo da Rocha Fragoso<sup>(1)</sup> e Ludmilla Costa Brunes<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Bolsista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

## Introdução

O problema está relacionado à baixa eficiência produtiva de bovinos Nelore em sistemas de produção tropicais, caracterizada pela baixa eficiência alimentar apresentada e pelo baixo aproveitamento dos insumos produtivos utilizados. Embora a bovinocultura seja uma das principais atividades econômicas brasileiras, os índices produtivos têm sido considerados baixos e a rentabilidade apresentando quedas, levando à necessidade de buscar ferramentas que aumentem a eficiência e o lucro do sistema, como a seleção genética para animais com melhor uso do alimento.

Vislumbrou-se a oportunidade de explorar a fenotipagem de alto rendimento, associada a técnicas de genética quantitativa e informações genômicas para calibração de modelos de predição que permitam a estimação precisa dos valores genéticos dos animais para características indicadoras de eficiência alimentar, como o consumo alimentar residual (CAR). Além disso, buscou-se identificar regiões genômicas que abrigam genes e que possam ser utilizadas como marcadores moleculares para características indicadoras de eficiência alimentar, auxiliando na seleção genética e na compreensão dos mecanismos biológicos que regulam essas características.

## Objetivos

Quantificar o CAR em teste de desempenho de touros jovens e selecionar animais e linhagens da raça Nelore superiores para eficiência alimentar.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Identificar touros jovens e linhagens da raça Nelore fenotipicamente superiores para características de eficiência alimentar.
- Estimar os componentes de variância (por exemplo, herdabilidade, correlações genéticas) para efi-

ciência alimentar na raça Nelore e identificar animais e linhagens da raça Nelore geneticamente superiores para esta característica (diferenças esperadas na progênie – DEPs).

- Identificar variantes simples (single nucleotide polymorphisms – SNPs) relacionadas à eficiência alimentar bovina.

## Abordagem metodológica

O projeto foi estruturado em quatro planos de ação. O plano gerencial contemplou a gestão das atividades e orçamentária, articulação da equipe e divulgação dos resultados. O plano de ação Fenotipagem de Bovinos Nelore para Eficiência Alimentar contemplou a coleta de cerca de 860 fenótipos de consumo de matéria seca e ganho de peso de bovinos Nelore, utilizando equipamentos eletrônicos, informações utilizadas para o cálculo do CAR. O plano de ação Avaliação Genética de Animais para Estimar o Mérito Genético para Eficiência Alimentar contemplou o uso de dados fenotípicos, de pedigree e genotípicos coletados no Centro de Desempenho Animal e fornecidos pela Associação Nacional de Criadores. A herdabilidade e correlações genéticas entre eficiência alimentar e características de crescimento, reprodução e carcaça foram estimados utilizando o método do melhor preditor linear não viesado de passo único genômico (ssGBLUP). O plano de ação Caracterização Molecular de Bovinos Nelore Fenotipados para Eficiência Alimentar contemplou a comparação dos valores genéticos obtidos utilizando seis métodos de predição genômica, três variáveis respostas e três abordagens de validação. Foi realizado um estudo de associação genômica ponderado para identificar as regiões genômicas que respondem por mais de 0,5% da variação genética aditiva.

## Dados obtidos

Foi validado o uso de equipamentos eletrônicos para determinação do peso vivo dos animais, reduzindo o período de avaliação em 20 dias com o uso de plataformas de pesagem voluntária em relação à pesagem tradicional. Observou-se que o modelo de cálculo de CAR pode variar com o uso da ultrassonografia em provas de diferentes categorias, por exemplo, fêmeas jovens têm sua hierarquia de CAR alterada quando se insere o acabamento inicial e final nas equações de estimativa, enquanto, para machos, apenas a medida de acabamento final já é suficiente.

Observou-se que o CAR apresenta baixa herdabilidade (0,17). Além disso, essa característica possui baixa associação genética com características de crescimento, reprodução e carcaça, de forma que a

seleção para CAR deve ser realizada de forma direta e não implica em respostas negativas em outras características usadas como critério de seleção para bovinos Nelore.

Foi possível prever o valor genético molecular para CAR dos animais avaliados, sendo o ssGBLUP (Tabela 1) o modelo de predição mais indicado devido à maior habilidade de predição, além de outras vantagens como menor demanda computacional e possibilidade de incluir animais com e sem informação fenotípica na análise. A baixa herdabilidade limitou a acurácia dos valores genéticos genômicos preditos (GEBVs), que variaram de baixa a moderada, sendo necessário mais estudos para calibrar os efeitos dos marcadores e os modelos de predição. Ainda assim, os métodos de predição genômica podem fornecer uma estimativa confiável dos valores genéticos para CAR.

**Tabela 1.** Acurácia (Acc) e viés de predição dos valores genômicos para consumo alimentar residual (CAR) em bovinos Nelore, utilizando diferentes modelos, variáveis respostas e métodos de validação.

Acurácia/ Viés	Variável resposta	BayesA	BayesB	BayesCπ	Blasso <sup>(1)</sup>	BayesR	ssGBLUP <sup>(2)</sup>
Validação cruzada							
Acc	Y*	–	–	–	–	–	0,220 ± 0,02
	Y**	0,264 ± 0,01	0,251 ± 0,02	0,272 ± 0,01	0,259 ± 0,02	0,262 ± 0,02	–
	EBV <sup>(3)</sup>	0,143 ± 0,01	0,121 ± 0,01	0,182 ± 0,02	0,153 ± 0,01	0,152 ± 0,01	–
	DEBV <sup>(4)</sup>	0,112 ± 0,01	0,148 ± 0,01	0,134 ± 0,02	0,136 ± 0,01	0,121 ± 0,01	–
Validação por idade							
Acc	Y*	–	–	–	–	–	0,160
	Y**	0,190	0,180	0,180	0,190	0,220	–
	EBV	0,100	0,110	0,100	0,110	0,140	–
	DEBV	0,110	0,110	0,110	0,120	0,120	–
Validação por acurácia do valor genético							
Acc	Y*	–	–	–	–	–	0,170
	Y**	0,220	0,240	0,260	0,250	0,240	–
	EBV	0,180	0,180	0,180	0,190	0,150	–
	DEBV	0,180	0,160	0,150	0,140	0,150	–
Validação cruzada							
Viés	Y*	–	–	–	–	–	1,081
	Y**	1,026	1,033	1,043	1,024	1,026	–
	EBV	1,057	1,044	1,045	1,053	1,057	–
	DEBV	1,049	1,071	1,058	1,075	1,049	–
Validação por idade							
Viés	Y*	–	–	–	–	–	1,073
	Y**	0,980	1,090	1,020	0,940	1,120	–
	EBV	1,140	1,120	1,070	1,110	1,080	–
	DEBV	1,160	1,110	1,120	1,080	1,120	–
Viés	Y*	–	–	–	–	–	1,073
	Y**	1,090	0,910	0,940	0,930	1,040	–
	EBV	1,150	1,120	1,030	1,020	0,940	–
	DEBV	1,080	1,120	1,150	1,130	1,090	–

<sup>(1)</sup>Acurácia.

<sup>(2)</sup>Lasso bayesiano.

<sup>(3)</sup>Melhor preditor linear não viesado genômico em passo único.

<sup>(4)</sup>Valor genético estimado.

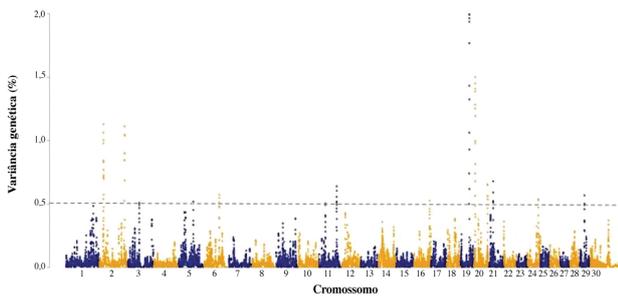
<sup>(5)</sup>Valor genético estimado desregredido.

Traço (–): informação não aplicável.

\*Fenótipo.

\*\* fenótipo ajustado.

Diversas regiões genômicas foram identificadas associadas ao CAR (Figura 1), abrigando genes relacionados ao metabolismo da insulina, leptina, glicose, lipídios e proteínas, balanço energético, estresse térmico e oxidativo, sistema zinc fingers, secreção biliar, saciedade, comportamento alimentar, salivação e digestão e absorção de nutrientes. A identificação dessas regiões genômicas e seus respectivos genes fornece informações sobre a base genética e regulação biológica para características relacionadas à eficiência alimentar da Nelore.



**Figura 1.** Proporção da variância genética aditiva explicada por janelas de 10 SNPs consecutivos para consumo alimentar residual (CAR) em bovinos Nelore.

## Desdobramentos e perspectivas

É possível alcançar um novo patamar em eficiência de produção pecuária com menor uso de insumos (alimentos) e recursos naturais por meio da seleção para CAR. O modelo de gestão adotado neste projeto pode ser aplicado a outras características de importância econômica dentro da área de melhoramento genético.

O projeto de pesquisa teve continuidade por meio de fomento oriundo da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAPDF), projeto cofinanciado SEG 20.22.00.075.00.00 – Estudo de Seleção e Associação Genômica como Ferramenta Fundamental para Melhoria da Qualidade da Carne e da Eficiência Alimentar em Bovinos Nelore no Bioma Cerrado. Novas atividades contemplam a calibração dos efeitos dos marcadores moleculares para CAR, por meio de modelos de predição genômica, e a validação de marcadores, com a confirmação da eficácia do uso desses como ferramenta de seleção. Para tal, serão avaliadas as progênie dos animais identificados na primeira etapa do projeto.

## Considerações finais

Além de viável, a seleção para CAR tem pouca relação com características de crescimento, carcaça ou reprodutivas.

O ssGBLUP foi o modelo de predição genômica de melhor acurácia.

O CAR tem natureza poligênica com diversas regiões de pequeno efeito sobre a variação genética aditiva.

As vias metabólicas identificadas associadas ao CAR estão relacionadas à produção e gasto de energia, devendo esses mecanismos serem avaliados para melhor compreensão dessa característica.

Há segurança e economia de anos de pesquisa e de recursos financeiros de centenas de milhões de reais.

# Conforto térmico, produção de leite e desempenho reprodutivo de vacas zebuínas em sistema ILPF no Cerrado

Isabel Cristina Ferreira<sup>(1)</sup>, Juaci Vitoria Malaquias<sup>(2)</sup>, Carlos Frederico Martins<sup>(1)</sup>, Karina Pulrolnik<sup>(1)</sup>, Lourival Vilela<sup>(1)</sup>, Roberto Guimarães Júnior<sup>(1)</sup>, Concepta Margaret McManus Pimentel<sup>(3)</sup>, Fernando Antônio Macena da Silva<sup>(1)</sup> e Gustavo José Braga<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(3)</sup>Professora, Universidade de Brasília, Brasília, DF

## Introdução

A produção de leite a pasto é o principal sistema de produção no Brasil, envolvendo vacas mestiças de origem europeia e zebuína. Geralmente, não há sombras adequadas ou esta é insuficiente em relação ao número de animais na propriedade. Isso ocorre em conjunto com a presença de vacas com genótipos não adaptados ou pouco adaptados ao ambiente tropical. A adaptação requer animais resistentes ao calor, mas esses geralmente são menos produtivos. Portanto, os produtores optam por animais especializados na produção de leite, mas que demandam modificações ambientais para atender às exigências nutricionais, de manejo em geral e de conforto térmico.

Em ambientes onde os animais leiteiros enfrentam estresse de calor aos animais leiteiros, ocorre a redução do consumo de matéria seca, o que leva a uma conseqüente queda na produção de leite e nos índices reprodutivos. Entretanto, ainda não se sabe, no ambiente do Cerrado, como as respostas produtivas e reprodutivas se comportam em zebuínos, mesmo em condições climáticas sem desafios extremos.

Este estudo foi realizado para determinar se a inclusão de árvores no meio da pastagem, fornecendo sombra, tem impacto positivo nos aspectos produtivos, reprodutivos e financeiros. Em outras palavras, busca-se entender se a oferta de sombra, por meio da inserção de árvores em sistemas de produção de leite a pasto, utilizando o sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), evita a redução da produção de leite individual, produtividade e índices reprodutivos, e qual o valor desses impactos.

## Objetivo

Avaliar e quantificar os efeitos da disponibilidade de sombra sobre o conforto térmico, os aspectos produtivos e reprodutivos de vacas mestiças e zebuínas, criadas em sistemas de ILPF com eucalipto, na região do Cerrado.

## Abordagem metodológica

O experimento foi conduzido no Centro de Tecnologias para Raças Zebuínas leiteiras (CTZL), em Brasília, DF (15°57'09" S, e 48°08'12" W). Os tratamentos consistiram em dois sistemas de produção de leite a pasto, cada um com 8 ha de *Panicum maximum* cv. Mombaça. Um sistema adotou a integração lavoura-pecuária (ILP) (animais mantidos em pastagens a pleno Sol), enquanto o outro utilizou a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) (animais mantidos em pastagens com sombreamento proporcionado pelo *Eucalyptus urograndis*). As árvores de eucalipto foram dispostas em linhas simples com 1,5 m de distância entre elas, e com renques a cada 25 m de distância, no sentido leste-oeste, totalizando 267 árvores por hectare.

Ao longo de 33 meses de estudo (de janeiro de 2017 a setembro de 2019), foram coletados parâmetros produtivos e reprodutivos de vacas Gir e Girolando (Figura 1). As vacas foram distribuídas nos tratamentos em delineamento inteiramente ao acaso, com medidas repetidas ao longo do tempo (Ferreira et al., 2021; Martins et al., 2021). As análises foram realizadas por meio de modelos mistos. Os efeitos fixos testados incluíram tratamento (pleno sol da ILP e sombra da ILPF), grupo genético (Gir e Girolando) e época (chuvosa, de novembro a abril, e seca, de maio a outubro), bem como todas as interações entre essas variáveis.



**Figura 1.** Vacas leiteiras Gir e Girolando sob pastejo em ambiente sombreado no sistema integrado com árvores no Centro de Tecnologia para Raças Zebuínas Leiteira da Embrapa Cerrados.

## Dados obtidos

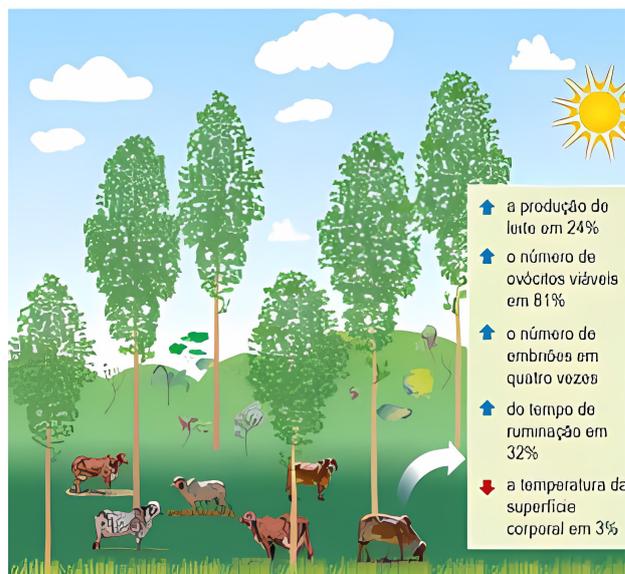
A presença de árvores e de sombra no sistema integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) influenciou positivamente a produção de leite individual. Nas vacas Gir sob sombra da ILPF, a produção foi 24% maior do que nas vacas Gir sob pleno sol do sistema integração lavoura-pecuária (ILP) (9,9 x 12,3 kg;  $p = 0,0042$ ) (Figura 2). No início da lactação (1 a 75 dias), a produção das vacas sob sombra foi 18% superior (14,9 x 17,6 kg;  $p = 0,0001$ ). No período da seca, o aumento foi de 17% (12,1 x 14,2 kg;  $p = 0,0001$ ).

Os consumos de matéria seca total (CMST) e da forragem (CMSF) foram iguais nos dois tratamentos. Na média de 3 anos de avaliação, a produção de massa de forragem no pré-pastejo no sistema sombreado foi 22% menor do que a pleno sol (4,1 x 5,3 t/ha;  $p = 0,0002$ ). A altura do dossel foi 15% menor (66 x 78 cm;  $p < 0,0001$ ), enquanto que a fibra em detergente ácido (FDA) foi 5% menor (34,8 x 36,7%;  $p = 0,0438$ ). A proteína bruta foi cerca de 30% superior no capim sob sombra (12,5 x 9,5%;  $p = 0,0014$ ), e a digestibilidade in vitro (DIVMS) foi 6% superior (68,9 x 65%;  $p = 0,0199$ ).

A sombra não teve efeito no desempenho reprodutivo das vacas Girolando, no entanto, para as vacas Gir, no período da seca, a sombra aumentou o número de folículos em 16% (31,7 x 37;  $p = 0,0336$ ), o número de ovócitos totais por vaca em 75% (6,5 x 11,4;  $p = 0,0001$ ), o número de ovócitos viáveis em 81% (3,44 x 6,27;  $p = 0,0031$ ) e o número de embriões em quatro vezes (0,55 x 2,27;  $p = 0,0017$ ) quando comparada ao pleno sol. Em média, as árvores interceptaram 26% da radiação solar. O efeito da sombra no comportamento e fisiologia animal foi observado nas vacas sob sombra, com 34% mais tempo de ruminação, e a temperatura da superfície corporal foi reduzida em 3%.

## Desdobramentos e perspectivas

O sistema de produção de leite a pasto sombreado pelo ILPF apresenta vantagens competitivas quando se analisam os benefícios produtivos e reprodutivos dos animais, o aumento no preço da madeira, a demanda de laticínios e cooperativas por alternativas tecnológicas para zerar o balanço de carbono no sistema de produção de leite.



**Figura 2.** Principais resultados obtidos no sistema de produção de leite a pasto em ILPF no bioma Cerrado no Centro de Tecnologia para raças Zebuínas Leiteiras (CTZL), Brasília, DF.

Ilustração: Wellington Cavalcanti

Com este propósito, a manutenção da área experimental, a reforma da pastagem e o correto manejo florestal são atividades necessárias para dar continuidade aos estudos e compreender melhor as inter-relações dos diferentes genótipos com o ambiente e, assim, garantir robustez nas respostas medidas para apoiar políticas públicas associadas aos sistemas integrados e outras demandas que envolvam responsabilidade ambiental para a intensificação sustentável da produção de leite em um cenário de mudanças climáticas.

## Considerações finais

O conforto térmico é fundamental para a produção e a reprodução de vacas zebuínas leiteiras no bioma Cerrado. O sistema ILPF sombreado proporciona conforto térmico para as vacas, melhora a qualidade da forragem, o bem-estar animal, a qualidade e a quantidade dos embriões e aumenta a produção de leite individual. Por isso, recomenda-se a criação de vacas leiteiras a pasto, em sistema ILPF, sob sombra, no bioma Cerrado.

## Referências

FERREIRA, I. C.; FONSECA NETO, A. M.; MARTINS, C. F.; BRAGA, G. J.; VILELA, L.; BALBINO, L. C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. **Produção de leite em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no bioma Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 26 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 375). Disponível em: [http://www.infoteca.](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1136305)

[cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1136305](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1136305). Acesso em: 30 jan. 2024.

MARTINS, C. F.; FONSECA NETO, A. M.; BESSLER, H. C.; DODE, M. A. N.; LEME, L. O.; FRANCO, M. M.; McMANUS, C. M.; MALAQUIAS, J. V.; FERREIRA, I. C. Natural shade from integrated crop-livestock-forestry mitigates environmental heat and increases the quantity and quality of oocytes and embryos produced in vitro by Gyr dairy cows. **Livestock Science**, v. 244, 104341, 2021.

# Consórcio de cana-de-açúcar e milho para intensificação sustentável da produção de açúcar e etanol no Cerrado: trigo BRS Tarumaxi

João de Deus Gomes dos Santos Júnior<sup>(1)</sup>, Alceu Richetti<sup>(2)</sup>, André May<sup>(3)</sup>, César José da Silva<sup>(4)</sup>, Daniel Ioshiteru Kinpara<sup>(5)</sup>, Kleberson Worsley de Souza<sup>(1)</sup>, Nilza Patrícia Ramos<sup>(3)</sup> e Núbia Maria Correia<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Analista, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. <sup>(3)</sup>Pesquisadores, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. <sup>(4)</sup>Analista, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. <sup>(5)</sup>Pesquisador, Embrapa, Superintendência de Comunicação, Brasília, DF

## Introdução

Por meio do consórcio da cana-de-açúcar e milho, é possível antecipar o plantio de cana-de-açúcar do final do período chuvoso (cana-de-açúcar de 1,5 ano para o início deste período (cana-de-açúcar de 1 ano e subsequente), alterando o ciclo da cultura da cana que seria de um ano para um ano e meio, com possíveis aumentos de produtividade. Esse tipo de consorciação permite que o plantio de cana-de-açúcar e milho seja realizado no início do período chuvoso (setembro-novembro). Após o plantio de ambas as culturas, ocorrerá um domínio da cultura do milho em relação a cana-de-açúcar. Quando consorciada com milho, a cana apresenta excelente brotação, porém, o crescimento é paralisado devido à competição por luz. O perfilhamento e crescimento são retomados somente após a colheita do milho no final do período chuvoso. Assim, ela passa o período seco com pouca área foliar, mas com o sistema radicular consolidado e pronto para retomar o rápido crescimento no próximo período chuvoso. O grande diferencial das usinas de etanol de milho no Brasil é que a matriz energética é renovável, provenientes da queima do bagaço da cana-de-açúcar, o que lhes confere bom desempenho econômico e ambiental. Por uma questão de logística de plantio, o produtor pode optar por aumentar sua área de cana-de-açúcar de 1,5 ano, intensificando os plantios de cana-de-açúcar de ano consorciada com milho, sem os problemas inerentes ao cultivo da cana-de-açúcar de 1 ano. Por outro lado, o consórcio de cana-de-açúcar e milho pode ser realizado não somente no início do período chuvoso, mas também até a última data recomendada para o plantio de milho safrinha em cada região. Isso intensifica a produção de milho em áreas já ocupadas pelo plantio de cana-de-açúcar solteira, mitigando a questão de prioridade entre alimentos e energia no uso da terra.

## Objetivo

Desenvolver sistemas integrados de cultivo de cana-de-açúcar e milho que aumentem, de forma sustentável, a produção de açúcar e etanol no Cerrado.

## Abordagem metodológica

A primeira etapa, com duração de 24 meses, foi alcançada por meio da condução de experimentos denominados "Base" em três regiões agroclimáticas: Noroeste de São Paulo, Sul de Mato Grosso do Sul e Centro de Goiás. Os experimentos foram implantados no início do período chuvoso de cada região agroclimática no ano de 2017. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso com quatro tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram: (a) cana-de-açúcar consorciada com milho no início do período chuvoso (Figura 1); (b) cana-de-açúcar solteira no início do período chuvoso; (c) milho solteiro no início do período chuvoso; e (d) cana-de-açúcar solteira plantada em sucessão ao tratamento C após a colheita do milho no final do período chuvoso.

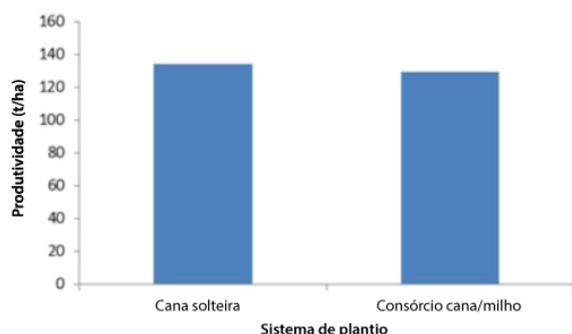
Após a conclusão da Etapa 1, com duração de 12 meses, deu-se início às atividades de avanço para escala de talhão em usinas parceiras. Ferramentas de tráfego controlado, como navegação GPS RTK e pilotos automáticos nos implementos agrícolas utilizados, foram necessárias para garantir o não pisoteamento da linha de plantio de cana-de-açúcar por ocasião do plantio do milho e da realização de tratos culturais. Concomitantemente à Etapa 2, foi realizado o acompanhamento dos custos financeiros incorridos na produção do milho safra, da cana-de-açúcar (cana-planta) e do consórcio da cana + milho safra, com base nos insumos, equipamentos e serviços utilizados.



**Figura 1.** Consórcio de cana-de-açúcar com milho.

## Dados obtidos

Os resultados já obtidos demonstram que a renovação do canavial por meio do plantio da cana consorciada com milho é promissora e economicamente viável. Nos estudos já realizados, observou-se que a produtividade do milho não foi afetada pela competição com a cultura da cana-de-açúcar, bem como a produtividade, expressa em toneladas de cana por hectare (TCH), da cana-de-açúcar não foi afetada pela consorciação, após a colheita do milho (Figura 2).



**Figura 2.** Produtividade de cana-de-açúcar (t/ha) em sistemas de cultivos de cana solteira e consorciada. TCH: toneladas de cana por hectare.

## Desdobramentos e perspectivas

Como grande parte do avanço do plantio de cana-de-açúcar ocorreu recentemente próximo ou em áreas tradicionais de cultivo de grãos, regiões em que existem conhecimento técnico no plantio de milho e disponibilidade de maquinário, produtores especializados podem inicialmente conduzir as lavouras consorciadas. Ferramentas como o zoneamento agroecológico para a cultura de cana-de-açúcar e o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) para a cultura de milho, respeitando, para essa última, as datas de plantio recomendadas, já estão disponíveis e também são úteis para os sistemas consorciados. Atualmente, usinas da região Centro-Oeste já realizam o consórcio de cana com milho em áreas comerciais.

## Considerações finais

A principal recomendação às usinas, fornecedores e arrendatários de áreas de reforma de canavial é iniciar, de forma gradual, a adoção do sistema para que haja uma curva de aprendizagem que leve ao seu aperfeiçoamento para cada situação e necessidade específica.

# Seleção e aplicação de parâmetros regionais como subsídios para a gestão da qualidade das águas superficiais no bioma Cerrado

Eduardo Cyrino de Oliveira-Filho<sup>(1)</sup> e Juaci Vitória Malaquias<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisador, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

## Introdução

A Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Trata-se da normativa que dispõe sobre a classificação dos corpos hídricos do Brasil. Essa resolução define valores máximos de diversos parâmetros físicos, químicos e biológicos. Entretanto, a multiplicidade de parâmetros torna inviável a sua utilização nos programas de monitoramento, levando várias agências e órgãos estaduais a utilizarem os famosos índices de qualidade de água, os quais também apresentam deficiências, sobreposições, redundâncias, ausências e falta de critérios regionais.

Nesse contexto, é necessário conduzir estudos para selecionar os parâmetros regionais mais apropriados para melhor enquadrar os corpos hídricos superficiais do Cerrado brasileiro nas classes previstas na referida resolução.

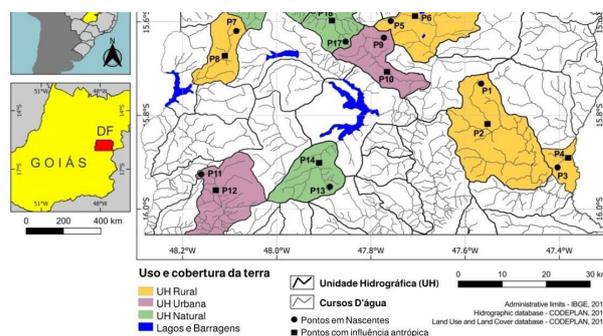
## Objetivo

Selecionar e aplicar parâmetros regionais para melhor enquadrar os corpos hídricos superficiais do Cerrado brasileiro, nas classes previstas na Resolução Conama nº 357/2005.

## Abordagem metodológica

O projeto de pesquisa envolveu a amostragem de água superficial em nove unidades hidrográficas naturais, rurais e urbanas localizadas no Distrito Federal, bem como a análise laboratorial de 31 variáveis

físicas, químicas e biológicas. Uma pequena parte das análises foi analisada em campo por meio da utilização de sonda multiparâmetro e a grande maioria nos laboratórios de química de água e de ecotoxicologia da Embrapa Cerrados. Para cada unidade hidrográfica, foram selecionados dois pontos de coleta, um localizado na nascente e outro na jusante, totalizando 18 pontos de amostragem (Figura 1) durante 12 meses de coleta. Os principais parâmetros regionais para a composição de futuros índices foram selecionados após a realização de testes estatísticos descritivos e com base na técnica de análise das componentes principais.



**Figura 1.** Pontos de amostragem na área do Distrito Federal em diferentes unidades hidrográficas sob diferentes usos de solo. Fonte: Muniz (2022).

## Dados obtidos

Após a seleção dos parâmetros regionais mais adequados, foi proposto o estabelecimento de pelo menos dois índices de qualidade regionais, sendo um para rios de áreas urbanas e outro para rios de áreas rurais (Tabela 1).

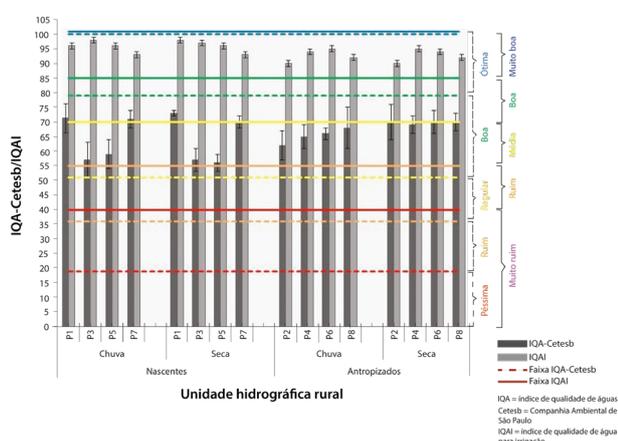
Nesse contexto, foi elaborado e proposto um índice de qualidade de água para irrigação (IQAI), o qual, em comparação com o IQA tradicional, melhora significativamente a qualidade das águas do ambiente rural (Figura 2).

**Tabela 1.** Comparação entre os parâmetros do tradicional índice de qualidade de água (IQA) da Companhia Ambiental do estado de São Paulo/Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Cetesb/ANA) e as os parâmetros regionais propostos para um IQA Urbano e um IQA Rural.

IQA-Cetesb <sup>(1)</sup>	IQA-Urbano	IQA-Rural
OD	OD	Condutividade
pH	pH	Fósforo
Turbidez	Condutividade	Potássio
Demanda Biológica de Oxigênio	Dureza	Amônio
Nitrogênio Total	Turbidez	Cálcio
Fósforo Total	Sódio	Magnésio
Total de Resíduos	Potássio	Cloreto
Temperatura	Amônio	Nitrato
<i>E. coli</i>	Cálcio	<i>E. coli</i>
–	Magnésio	–
–	Fluoreto	–
–	Cloreto	–
–	<i>E. coli</i>	–

<sup>(1)</sup>IQA: índice de qualidade de águas. Cetesb: Companhia Ambiental do estado de São Paulo.

Traço (-): informação não aplicável.



**Figura 2.** Comparação entre o clássico índice de qualidade de águas elaborado pela Cetesb/SP (IQA-Cetesb) e o índice de qualidade de água para irrigação (IQAAR), proposto no presente estudo, para os pontos definidos como de unidades hidrográficas rurais.

Fonte: Oliveira-Filho (2020).

## Desdobramentos e perspectivas

Com novo financiamento da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), o projeto será continuado com a validação do IQAAR e com a elaboração de um índice de qualidade de água para abastecimento rural (IQAAR), bem como com as relações desses com o meio biótico e com a paisagem.

## Considerações finais

Foram selecionados parâmetros mais adequados para a avaliação de qualidade da água na região do Distrito Federal/Cerrado.

Há a necessidade do estabelecimento de diferentes IQAs para ambientes urbanos e rurais.

O IQAAR valoriza mais a qualidade da água no ambiente rural, em comparação com o tradicional IQA.

## Referências

MUNIZ, D. H. F. **Ferramentas para avaliação e comunicação da qualidade da água:** subsídios para a gestão integrada de recursos hídricos. 2022. 137 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Campus de Planaltina, Universidade de Brasília, Planaltina, DF, 2022.

OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Seleção e aplicação de parâmetros regionais como subsídio para a gestão da qualidade das águas superficiais do bioma Cerrado.** Relatório científico final apresentado à FAP-DF, 2020. 32 p

PASSOS, A. L. L.; MUNIZ, D. H. F.; RANGEL, L. P.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. Selection of variables in the definition of a water quality index for the Brazilian Federal District. **Revista Ambiente e Água**, v. 14, n. 4, e2385, 2019.

# Desenvolvimento de indicadores técnicos e econômicos para subsidiar o cultivo de palma de óleo irrigada em áreas de clima tropical de savana

Jorge César dos Anjos Antonini<sup>(1)</sup>, Cornélio Alberto Zolin<sup>(2)</sup>, Marcos Emanuel da Costa Veloso<sup>(3)</sup>, Ueliton Messias<sup>(4)</sup> e Vanessa Quitete Ribeiro da Silva<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisador, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Pesquisador, Embrapa Agrossilvipastoral, Sinop, MT. <sup>(3)</sup>Pesquisador, Embrapa Meio Norte, Teresina, PI. <sup>(4)</sup>Pesquisador, Ministério da Agricultura, Brasília, DF

## Introdução

A palma de óleo (*Elaeis guineenses Jacq.*), denominada dendê no Brasil é, atualmente, a oleaginosa mais promissora para atender à demanda por óleo vegetal, tanto para a utilização da indústria de alimentos e cosméticos quanto para a produção de matéria-prima destinada à fabricação de biodiesel. A competitividade da palma de óleo se dá pela elevada produtividade e baixo custo de produção de óleo. Além de possibilitar a integração da agricultura familiar nos programas de agroenergia do País, geração de emprego e renda, a cultura já conta com todo o processo tecnológico necessário para o seu cultivo, processamento e aproveitamento de coprodutos.

As áreas de cultivo estão restritas à Amazônia úmida e ao litoral sul da Bahia. No Brasil, há extensas áreas com temperaturas favoráveis ao cultivo da palma de óleo, com grande disponibilidade de águas fluviais, porém, com índices pluviométricos abaixo daqueles exigidos pela espécie. Dessa forma, o cultivo da palma de óleo nas áreas de clima tropical de savana, consideradas inaptas devido à deficiência hídrica, pode ser uma excelente opção. No entanto, no Brasil, ainda não existem resultados referentes aos parâmetros de manejo de água e de nutrientes, bem como do comportamento fisiológico da cultura nessas áreas. Portanto, é necessário gerar conhecimentos e ter um estoque de dados e informações a respeito da viabilidade econômica, nível de exigência de água e nutrientes e comportamento fisiológico da cultura nesta região.

## Objetivo

Estabelecer indicadores técnicos e econômicos para o cultivo da palma de óleo em sistemas irrigados nas áreas de clima tropical de savana do Brasil.

## Abordagem metodológica

A primeira área experimental foi implantada em 2006 com as cultivares BRS 2301, BRS 2501, BRS 2528 e BRS 1001. A disposição de plantio foi em triângulo equilátero de 9 m de lado, sendo as plantas irrigadas por microaspersão, com área molhada de 43% da ocupada pela planta e as irrigações realizadas quando se constatava um consumo de 50% da capacidade de água disponível do solo (CAD) até a profundidade de 0,4 m. O desempenho dos cultivares foi estimado pela produtividade de cacho, óleo de palma e óleo de palmiste. O coeficiente de cultivo (Kc), determinado na fase produtiva da 'BRS 2501', 7 anos de idade, em que o esgotamento permitido foi 30% da CAD, sendo o consumo de água monitorado pela tensão de água do solo.

A segunda área experimental, implantada em 2012, utilizando-se a 'BRS 2501', plantado na disposição de triângulo equilátero de 8 m de lado, irrigado por microaspersão com área molhada em relação a ocupada pela planta, variável em função do desenvolvimento da cultura (primeiro ano, 11%; segundo ano, 12%; terceiro ano, 43%; e a partir do quarto ano, 48%). As irrigações foram processadas quando a cultura consumiu 20, 40, 60 e 80% da CAD. A lâmina de água aplicada por irrigação foi estimada pelo produto da ETo do período considerado e o Kc (primeiro ano, Kc = 0,75; segundo ano, Kc = 0,81; terceiro ano, Kc = 0,87; quarto ano, Kc = 0,92; quinto ano, Kc = 0,98; sexto ano, Kc = 1,04; e sétimo ano, Kc = 1,10). Foram monitorados o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da cultura para estimar o momento de irrigação com base no esgotamento da CAD.

## Dados obtidos

Os resultados obtidos indicaram que a palma de óleo, após 4,5 anos de desenvolvimento no local definitivo, apresenta um sistema radicular que se

estende em torno de 80% no sentido perpendicular até a profundidade de 1,2 m e, no sentido horizontal, até 2,5 m. No entanto, 92% da água extraída pela cultura se dá até a profundidade de 0,5 m. Esses parâmetros de desenvolvimento do sistema radicular indicam que, na fase produtiva da palma de óleo, o bulbo molhado tem que ter, no mínimo, uma área de 28 e 35% da área ocupada pela planta em sistema de plantio disposto em triângulo equilátero e de 9 m e 8 m de lado, respectivamente, e o limite de controle da aplicação de água de até 0,5 m.

As produtividades de cachos de frutos frescos (CFF), óleo de palma e óleo de palmiste, estão discrimi-

nados na Tabela 1 e pode-se observar um bom desempenho dos cultivares avaliados em relação às produções obtidas nas áreas de cultivo tradicional no Brasil. Os parâmetros de manejo da irrigação, relativos ao quanto e quando irrigar, estimados para as condições de solo e clima do Cerrado, estão apresentados nas Tabelas 2 e 3. Observa-se que a maior produtividade, significativa pelo teste t pareado ao nível de 5% de probabilidade, da sequência de pares de tratamento de CFF, foi obtida quando as irrigações foram processadas em  $f = 0,6$  no primeiro ano. No entanto, no segundo ano,  $f = 0,6$  não diferiu significativamente de  $f = 0,8$ .

**Tabela 1.** Estimativa da taxa de extração industrial e produtividade de óleo e de cacho de fruto fresco de cultivares de palma de óleo, com 7 anos de idade, cultivados com irrigação suplementar, em condições de clima tropical de savana.

Cultivar	Taxa de extração industrial de óleo (%)		Produtividade (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Palma	Palmiste	Cacho de fruto fresco	Óleo de palma	Óleo de palmiste
BRS 2301	20,1 a	1,5 a	23.856 a	4.795 a	358 a
BRS 2501	18,3 a	1,5 a	23.445 ab	4.290 a	352 a
BRS 2528	20,5 a	1,7 a	21.498 ab	4.407 a	365 a
BRS 1001	21,8 a	1,0 b	17.446 b	3.803 a	174 b

**Tabela 2.** Valores de coeficiente de cultivo (Kc) determinados em trabalhos de pesquisa na região do Cerrado e estimados em função de dados de literatura.

Ano após o plantio definitivo	Coeficiente de cultivo (Kc)
1	0,75*
2	0,81*
3	0,87**
4	0,92**
5	0,98**
6	1,04**
7	1,10*
8	1,16**
9	1,21**
10	1,25**

\* Determinado em trabalho de pesquisa realizada na região do Cerrado (Fanaya Júnior, 2017; Antonini et al., 2015).

\*\* Estimado em função de dados de literatura.

**Tabela 3.** Produtividade mensal de cachos de frutos frescos (CFF), no primeiro e segundo ano de produção da cultivar de palma de óleo BRS 2501 em função do nível do fator de disponibilidade de água adotado como indicativo do momento de irrigação nas condições do DF.

MAPD <sup>(1)</sup>	Fator de disponibilidade de água no solo (ad) <sup>(2)</sup>							
	Primeiro ano de produção				Segundo ano de produção			
	0,2	0,4	0,6	0,8	0,2	0,4	0,6	0,8
	CFF <sup>(3)</sup> (kg ha <sup>-1</sup> )							
Março	372,3	173,1	75,3	119,3	472,1	149,0	506,3	341,3
Abril	289,5	190,7	220,8	164,8	405,9	292,7	66,9	126,7
Maió	646,3	388,1	728,5	272,9	245,7	329,3	255,7	289,9
Junho	259,3	80,3	372,7	283,9	553,0	867,9	941,7	648,8
Julho	690,1	624,8	686,6	510,1	82,6	98,5	573,1	321,2
Agosto	667,7	473,0	932,7	568,6	518,4	676,5	829,7	725,2
Setembro	1.014,0	1.062,3	888,9	1.139,5	773,5	1.843,9	1.805,3	1.300,3
Outubro	2.359,9	1.762,5	2.435,9	1.759,4	3.845,6	3.238,0	4.407,6	3.949,1
Novembro	2.394,1	1.999,7	2.603,1	3.282,1	4.333,3	4.002,0	4.177,9	5.148,3
Dezembro	827,7	771,0	1.315,5	774,0	1.577,0	1.487,8	2.478,8	3.024,9
Janeiro	1.401,1	1.062,8	1.387,6	1.262,1	1.672,3	1.453,1	2.146,7	1.698,6
Fevereiro	701,5	331,8	416,6	582,3	1.262,6	1.219,9	1.289,9	1.753,9
Total	11.623,6	8.920,1	12.064,3	10.719,0	15.742,0	15.658,5	19.479,7	19.328,3

<sup>(1)</sup> Meses após o plantio definitivo.

<sup>(2)</sup> Fator de disponibilidade de água no solo (adimensional).

<sup>(3)</sup> Produtividade mensal de cachos de frutos frescos.

## Desdobramentos e perspectivas

Avaliar o desenvolvimento de um maior número de cultivares sob irrigação no Cerrado.

Desenvolver melhoramento de plantas visando o menor porte com vistas ao adensamento de plantio e facilidade de colheita.

Desenvolver manejo da adubação, ferti-irrigação e de polinizadores.

Avaliar métodos e sistemas de irrigação com vistas à eficiência do uso de água e determinação dos parâmetros de consumo de água, considerando o ciclo total da cultura.

Quantificar a exportação de nutrientes pela palma de óleo irrigada nas condições de Cerrado.

Identificar a dinâmica de emissão de gases de efeito estufa em função do manejo de cultivo da palma de óleo.

Identificar e avaliar, a partir do manejo de irrigação adotado, o N mineral e as frações de C e N.

## Considerações finais

A resposta produtiva da palma de óleo, em pomares experimentais, nas condições edafoclimáticas do Cerrado, indicou viabilidade de exploração desta oleaginosa em sistemas de produção irrigado. A evapotranspiração (ET<sub>c</sub>), na fase produtiva desta cultura e na estação seca da região do Cerrado, variou de 4,1 mm dia<sup>-1</sup> nos meses de baixa demanda (maio, junho e julho) a 5,7 mm dia<sup>-1</sup> nos meses de alta demanda (agosto e setembro), enquanto que a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) variou de 3,7 a 5,0 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente.

Os coeficientes de cultivo da palma de óleo, apresentaram os valores de 0,75, 0,81 e 1,1, respectivamente, no primeiro, segundo e sétimo ano de desenvolvimento da cultura, após o plantio definitivo e o fator de disponibilidade de água (f), obtido em Latossolo argiloso, adequado para o manejo da irrigação da palma de óleo, nas condições climáticas do Cerrado, foi de 0,6, para as fases vegetativa e produtiva.

## Referências

ANTONINI, J. C. A.; VELOSO, R. F.; MALAQUIAS, J. V.

**Evapotranspiração e coeficiente de cultivo na fase produtiva da palma de óleo (*Elaeis Guineensis* Jacq) nas condições de clima tropical de savana.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015. 21 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 325). Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1023835>. Acesso em: 30 jan. 2024.

FANAYA JÚNIOR, E. D. **Determinação do consumo hídrico e desenvolvimento inicial da palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) fertirrigada com vinhaça.** 2017. 128 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

# Desenvolvimento de sistemas de produção de cana-de-açúcar no Cerrado

Marcos Aurélio Carolino de Sá<sup>(1)</sup>, Arminda Moreira de Carvalho<sup>(1)</sup>, Artur Gustavo Muller<sup>(1)</sup>, Charles Martins de Oliveira<sup>(1)</sup>, Daniel Ioshiteru Kinpara<sup>(2)</sup>, Djalma Martinhão Gomes de Sousa (*in memoriam*)<sup>(1)</sup>, Fábio César da Silva<sup>(3)</sup>, João de Deus Gomes dos Santos Júnior<sup>(1)</sup>, José de Ribamar Nazareno dos Anjos<sup>(1)</sup>, Nilza Patrícia Ramos<sup>(4)</sup>, Pedro Luiz de Freitas<sup>(5)</sup>, Roberto Teixeira Alves<sup>(1)</sup>, Solange Rocha Monteiro de Andrade<sup>(1)</sup>, Thomaz Adolpho Rein<sup>(1)</sup>, Vinicius Bof Bufon<sup>(1)</sup> e Walter Quadros Ribeiro Júnior<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Pesquisador, Embrapa, Superintendência de Comunicação, Brasília, DF. <sup>(3)</sup>Pesquisador, Embrapa Agricultura Digital, Campinas, SP. <sup>(4)</sup>Pesquisadora, Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP. <sup>(5)</sup>Pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

## Introdução

Na última década, houve substancial expansão da cultura da cana-de-açúcar no Cerrado, sobretudo nos estados de Goiás e Minas Gerais. Entretanto, no início desta expansão, muita tecnologia foi “importada” de áreas de produção tradicional, sobretudo no estado de São Paulo. Nesse contexto, desde 2008, a equipe de pesquisa em cana-de-açúcar da Embrapa Cerrados vem atuando com o intuito de validar e gerar tecnologias mais adaptadas à região, no tocante ao sistema de produção de cana-de-açúcar. O referido projeto foi proposto, aprovado e conduzido visando a continuação e finalização das ações de pesquisa desenvolvidas em projetos anteriores.

## Objetivo

Aprimorar, finalizar e validar tecnologias agrícolas para os sistemas de cultivo de cana-de-açúcar tradicional, irrigado e plantio direto, visando a sustentabilidade do setor sucroalcooleiro no Cerrado.

## Abordagem metodológica

O projeto, inicialmente um Macroprograma 3, foi convertido segundo as novas normas do Sistema Embrapa de Gestão (SEG) para um Projeto tipo III – Inovação aberta, com seis soluções para inovação (SI), cujos títulos refletem o objeto de estudo. Além da SI gerencial, contou com a SI 2: PA2 - Manejo da Fertilidade do Solo; SI 3: PA3 - Sistemas de Preparo de Solo e Plantio Direto; SI 4: PA4 - Manejo Cultural da Cultura da Cana-de-Açúcar no Cerrado; SI 5: PA5 -Estratégias para Uso Eficiente e Sustentável da Água na Produção de Cana no Cerrado; e SI 6: PA6 - Aspectos de Fitossanidade em Cana-de-Açúcar no Cerrado. A maioria dos experimentos foi conduzida por uma equipe multidisciplinar, com apoio de parceiros externos (usinas e fornecedores) e em áreas comerciais.

## Dados obtidos

Ao todo, foram obtidos oito resultados, sendo sete processos agropecuários e um estudo prospectivo, a saber:

- 1) Processo Agropecuário (TRL 7): Atualização das recomendações de adubação fosfatada para cana-de-açúcar cultivada no sistema de sequeiro ou apenas com irrigação de salvamento, associada a melhores informações sobre a eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforo e recomendações de adubação fosfatada corretiva para sistemas de cultivo com menor mobilização do solo (cultivo mínimo e plantio direto) (Rein et al., 2022).
- 2) Processo Agropecuário (TRL 7): Complementação das atuais recomendações de correção da acidez superficial e subsuperficial do solo para cana-de-açúcar no Cerrado, contemplando doses de corretivos (calcário e gesso) no plantio e aplicações na soqueira em sistemas de preparo do solo convencionais e conservacionistas (cultivo mínimo e plantio direto). Publicação em fase de redação, atualização da publicação anterior de Sousa et al. (2015).
- 3) Processo Agropecuário (TRL 7): Complementação e atualização das recomendações para implementação do sistema de plantio direto de cana-de-açúcar no Cerrado (Sá et al., 2022).
- 4) Processo Agropecuário (TRL 6): Recomendação de arranjos de plantas que proporcionem maior produtividade e redução de custos com mecanização. Capítulo de livro em elaboração pela equipe da Embrapa Agricultura Digital.
- 5) Processo Agropecuário (TRL 7): Recomendações de cultivares, regimes hídricos ótimos, parâmetros de gerenciamento da irrigação para atingir esses regimes, parâmetros e estratégias para dry-off, além da recomendação de insumos

(bioestimulantes e maturadores) para aumentar a eficiência de uso de água e a sustentabilidade em sistema de produção irrigada de cana-de-açúcar para o Cerrado (Bufon et al., 2021a).

- 6) Processo Agropecuário (TRL 7): Recomendações de estratégias de salvamento da soqueira para cultivares (lâminas e momento adequado de aplicação) que permitirão otimizar a infraestrutura e eficiência do uso da água da irrigação de salvamento e atingir novos patamares de produtividade, longevidade das soqueiras e sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar de sequeiro no Cerrado (Bufon et al., 2021b).
- 7) Estudo Prospectivo: TRL: Não se aplica. Estudo sobre a distribuição geográfica da podridão do colmo para direcionar as pesquisas sobre a reação de cultivares de cana-de-açúcar ao agente causal e a patogenicidade de seus agentes etiológicos (relatório técnico).
- 8) Processo Agropecuário (TRL 7): Recomendação técnica para controle de cigarrinhas nas condições do Cerrado (Alves et al., 2020).

## Desdobramentos e perspectivas

Dadas as dificuldades financeiras, corte e contingenciamento de recursos, atualmente a equipe tem buscado fortalecer parcerias com o setor privado, sobretudo usinas e fornecedores. Ações de pesquisa em fertilidade do solo sempre serão necessárias, visando sempre ajustar e adaptar as recomendações de corretivos e fertilizantes às novas variedades e realidades do sistema de produção. O mesmo raciocínio também é válido para as recomendações de manejo de irrigação. Ações de pesquisa em sistemas de plantio direto ou mesmo sistemas conservacionistas de cultivo mínimo ainda são necessárias, sobretudo em ambientes de produção mais restritivos e também focando na rotação/diversificação de culturas por ocasião da renovação. Considerando o caráter dinâmico do sistema de produção, estudos na área de fitossanidade sempre serão necessários, visando monitorar a evolução de pragas existentes bem como se antecipar ao surgimento de novas pragas e patógenos, tendo por base fortalecer o sistema de produção e subsidiar programas de melhoramento.

## Considerações finais

Ao longo dos anos, verificou-se que muitas das recomendações estão sendo adotadas pelo setor produtivo, sobretudo, as recomendações de adubação fosfatada e a correção da acidez do solo.

A área de renovação sob plantio direto vem aumentando ano após ano, embora ainda não ocupe a maior parte da área plantada, requerendo ainda mais estudos e divulgação.

Com relação ao arranjo de plantas, o espaçamento de 1,5 m entre linhas ainda é largamente adotado em função da capacidade de colheita do maquinário, requerendo mais estudos.

Boa parte das informações sobre manejo de irrigação também vem sendo adotada, requerendo ainda mais divulgação.

Com relação ao manejo fitossanitário, as recomendações do afastamento de palha para manejo das cigarrinhas já vêm sendo adotadas em áreas onde o problema é relevante. Entretanto, mais pesquisas são necessárias com relação ao conhecimento de patógenos associados à podridão do colmo, visando subsidiar programas de melhoramento.

## Referências

- ALVES, R. T.; MALAQUIAS, J. V.; JORGE, L. P. M.; BORTOLLETO, L. A. **Influência do afastamento do palhço na deposição e na eficiência de inseticidas químicos e biológico no controle da cigarrinha-da-raiz da cana-de-açúcar**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020. 21 p. (Embrapa Cerrados. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 357). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1124656>. Disponível em: 30 jan. 2024.
- BUFON, V. B.; MAIA, F. C. O.; PEREIRA, R. M. Sistema irrigado de produção de cana-de-açúcar no Brasil: história, mitos e desafios. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. Piracicaba: ESALQ, 2021a. p. 539-562.
- BUFON, V. B.; MAIA, F. C. O.; PEREIRA, R. M. Sistema irrigado de produção de cana-de-açúcar no Brasil: métodos, recomendações e resposta produtiva. In: PAOLINELLI, A.; DOURADO NETO, D.; MANTOVANI, E. C. **Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura**. Piracicaba: ESALQ, 2021b, p. 563-592.
- REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; NUNES, R. S.; KORNDORFER, G. H. **Atualizações das recomendações de adubação fosfatada para a cana-de-açúcar no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2022, 34 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 54). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1148000>. Acesso em: 30 jan. 2024.

SÁ, M. A. C.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G.; SOUZA, K. W.; FRANZ, C. A. B. Produtividade da cana-de-açúcar e atributos de um Latossolo Acriférrico do Cerrado sob plantio direto e convencional, **STAB**, v. 40, n. 1, p. 23-30, 2022.

SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; NUNES, R. S.; SANTOS JÚNIOR, J. D. G. **Recomendações para correção da acidez do solo para cana-de-açúcar no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2015, 6 p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 177). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1026363>. Acesso em: 30 jan. 2024.

# Laboratórios de inovação social para fortalecer e promover a sustentabilidade dos arranjos produtivos locais da agricultura familiar no Noroeste de Minas Gerais

Suênia Cibeli Ramos de Almeida, Zará Augusto Brum Soares<sup>(1)</sup>, José Humberto Valadares Xavier<sup>(1)</sup> e Odair Scatolini Júnior<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Diretor, Instituto de Tecnologias Apropriadas para a Sustentabilidade Invento, Brasília, DF.

## Introdução

A Embrapa, desde 2001, vem participando do processo que instituiu o movimento pela Tecnologia Social, visibilizado por meio do concurso coordenado pela Fundação Banco do Brasil (FBB), com 31 tecnologias sociais, entre produtos e processos sociais, certificadas e registradas, contribuindo efetivamente para o fortalecimento de comunidades e organizações da agricultura familiar e camponesa, em diferentes regiões do País (Banco de Tecnologias Sociais-FBB, 2018). A Embrapa Cerrados, desde 2002 (Oliveira et al., 2009), vem desenvolvendo projetos no território do noroeste mineiro e desde 2016, no município de Paracatu, MG, com agricultores assentados da reforma agrária e tradicionais. O projeto Labins foi realizado no assentamento Santa Rosa<sup>1</sup> (Paracatu, MG), visando coconstruir conhecimentos, ferramentas e processos por meio de diagnóstico, planos de inovação e oficinas de cocriação de tecnologias sociais, a partir dos problemas e das condições socioeconômicas e ambientais vivenciadas pelos agricultores(as). Assim, foram desenvolvidos sistemas alternativos de criação de galinhas caipira, sistema de coleta e armazenamento de água de chuva e sistema de irrigação de quintal produtivo e biodigestor sertanejo selado. O presente relato visa registrar esse processo, seus avanços, recuos, aprendizagens e lacunas.

## Objetivo

Desenvolver, por meio de Laboratórios de Inovação Social, tecnologias sociais como soluções integradas para o fortalecimento e ampliação da sustentabilidade dos arranjos produtivos locais da agricultura familiar no território do Noroeste de Minas Gerais.

## Abordagem metodológica

A abordagem conceitual e metodológica foi baseada na tecnologia social que pressupõe coconstruir as tecnologias com os agricultores/agricultoras e a rede sociotécnica aí inserida, considerando o contexto socioeconômico e ambiental (Jesus e Costa, 2013; Dagnino et al., 2004). O processo foi realizado no Projeto de Assentamento (PA) Santa Rosa, por meio de diagnóstico rápido e dialogado, cujos resultados foram analisados, sistematizados e restituídos para a comunidade e construído o plano de inovação nos seguintes temas: criação de galinhas caipira, sistema de coleta e armazenamento de água de chuva e sistema de irrigação de quintal produtivo e biodigestor Sertanejo Selado. Para cada um dos temas escolhidos, foi criado um grupo de trabalho com coordenador(a) cuja função foi de articular o processo no assentamento e nas comunidades vizinhas. Na sequência foram realizadas quatro oficinas de construção das capacidades criativas (CCB)<sup>2</sup>, nas três propriedades selecionadas para acolher e desenvolver o processo (Figuras 1 a 4).

<sup>1</sup> Assentamento selecionado para o locus das atividades iniciais que no processo tornou-se o único espaço de atuação do projeto em virtude da situação pandêmica que se instalou no País a partir de março de 2020.

<sup>2</sup> A metodologia utilizada para a construção das oficinas foi de desenho e inovação com comunidades desenvolvida no D-Lab/MIT, intitulada Construindo a Capacidade Criativa nas Comunidades (Creative Capacity Building – CCB).

Foto: Zané Brum Soares



**Figura 1.** Participantes da I Oficina de Cocriação de Biodigestor, realizada de 29 a 31 de agosto de 2019 no Projeto de Assentamento Santa Rosa, município de Paracatu, MG.

Foto: Poliana Silva Santo



**Figura 2.** Oficina de Coconstrução de Sistemas Alternativos de Criação de Galinha Caipira, realizada de 13 a 14 de setembro de 2019 nos lotes da dona Terezinha e do senhor João, Projeto de Assentamento Santa Rosa, município de Paracatu, MG.

Foto: Poliana Silva Santo



**Figura 3.** Oficina de Coconstrução de Sistema de Coleta e Armazenamento de Água de Chuva e Sistema de Irrigação de Quintal Produtivo, realizado de 19 a 21 de dezembro de 2019 no lote do senhor Vicente de dona Dora, Projeto de Assentamento Santa Rosa, município de Paracatu, MG.

Foto: Poliana Silva Santo



**Figura 4.** II Oficina CCB Biodigestor Sertanejo Selado, realizado em 3 a 7 de novembro de 2021 no lote 27 de propriedade da Elza e do Evaldo, Projeto de Assentamento Santa Rosa, município de Paracatu, MG.

## Resultados

No âmbito dos labins, foram desenvolvidas tecnologias sociais tangíveis a partir da realização das Oficinas de Co-criação e da dinamização da Rede Sociotécnica que participaram do projeto, notadamente, a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM), a Universidade de Brasília (UnB), a Cooperativa Mista dos Assentados e Agricultores Familiares do Noroeste de Minas (Cooperfan), a Associação do PA Santa Rosa, o Instituto de Tecnologias Apropriadas para a Sustentabilidade Invento, a Embrapa e os agricultores e agricultoras envolvidos. Nesse sentido, ainda que, em parte, o planejado não tenha se concretizado plenamente, entende-se que a tecnologia social (seja o método ou os protótipos

produzidos) resultou dos processos de construção social da inovação estruturados pelos valores da comunidade, pelas dinâmicas da economia territorial, dos fatores ambientais, entre outros, nos quais os atores se inserem, confirmando a concepção de Jesus e Costa (2013).

O desenvolvimento das capacidades criativas das famílias dos agricultores e da equipe sociotécnica e especialistas envolvidos, e dos recursos socioambientais disponíveis, tais como a água da chuva, os ventos e os resíduos dos animais (esterco de boi) dinamizaram as escolhas realizadas e trouxeram novos olhares para materiais antes não percebidos como fonte de inovação. Portanto, o trabalho coletivo e os diferentes olhares sobre o espaço que se habita permitiram, a partir da abordagem da tecnologia social, construir

inovações sociais a partir do espaço local, como foi o caso da construção do biodigestor Sertanejo Selado que representou efetivamente uma troca de saberes entre agricultores (as) dessa região.

## Desdobramentos e perspectivas

Os agricultores continuam aperfeiçoando os protótipos, especialmente o biodigestor.

Aprovação de projeto com essa abordagem no edital de demanda induzida da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) em 2021.

A criação do Departamento de Tecnologia Social (TS) (Secretaria de Ciência e Tecnologia para o Desenvolvimento Social) na nova estrutura do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico/ Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (CNPq/MCTI), certamente abre novas perspectivas para projetos dessa envergadura – TS com editais e reconhecimento do campo.

Fortalecimento do ecossistema de inovação em produção orgânica e agroecológica do Distrito Federal e Entorno.

Necessidade de reformulação do Sistema Embrapa de Gestão (SEG) para acolher projetos com a abordagem em tecnologia social, atualizando as exigências do período e a diversidade das realidades presente no campo brasileiro.

## Considerações finais

Entre as lacunas percebidas, uma das principais foi a temporalidade necessária para o desenvolvimento de projetos dessa envergadura que necessitam articulação e mobilização de grupos diversos com tempos, modos e compromissos diversos. O próprio desenvolvimento dos protótipos com ajustes constantes para funcionarem plenamente exigiu a presença dos especialistas nas comunidades na medida em que envolveu conhecimentos comple-

xos e especializados. Esse processo pressupõe um trabalho contínuo no tempo e não apenas eventos pontuais como costumeiramente ocorre nas oficinas. Certamente, a pandemia da Covid-19 prejudicou sobremaneira a realização plena do projeto que exigia a presença física das pessoas para o desenvolvimento dos processos desenhados e o envolvimento da comunidade para as experimentações que ficou restrita às famílias nas quais os equipamentos foram instalados.

A abordagem da tecnologia social e o potencial de desenvolver processos em ambientes reais em conformidade com os problemas vivenciados e nas condições socioeconômicas e ambientais dos agricultores(as) traz o processo de inovação social pretendido pela empresa mais próximo de ser concretizado, pois considera não apenas os conhecimentos especializados produzidos em espaços distantes, muitas vezes pensado exclusivamente pelos cientistas, sob condições irreplicáveis em conhecimentos dialogado, expressão das trocas de saberes pelos atores locais e pela rede sociotécnica construída no processo. Portanto, uma abordagem com potencial em transformar conhecimentos em desenvolvimento.

## Referências

DAGNINO, R.; BRANDÃO, F. C.; NOVAES, H. T. Sobre o marco analítico-conceitual da tecnologia social. In: FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento**. Rio de Janeiro: FBB, 2004. p. 15-64.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Disponível em: <https://transforma.fbb.org.br/>. Acesso: 2 set. 2018.

JESUS, V. M. B.; COSTA, A. B. Tecnologia social: breve referencial teórico e experiências ilustrativas. In: COSTA, A. B. **Tecnologia social e políticas públicas**. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília, DF: Fundação Banco do Brasil, 2013. p. 17-23.

OLIVEIRA, M. N.; XAVIER, J. H. V.; ALMEIDA, S. C. R.; SCOPEL, E. **Projeto Unai: pesquisa e desenvolvimento em assentamentos de reforma agrária**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 264 p.

# Validação de ativos tecnológicos para promover a inovação e fortalecer o arranjo produtivo do leite com agricultores familiares no Noroeste de Minas Gerais

José Humberto Valadares Xavier<sup>(1)</sup>, Altino José Severino Silva<sup>(2)</sup>, Carlos Eduardo Silva Santos<sup>(3)</sup>, Francisco Duarte Fernandes<sup>(1)</sup>, Giovana Alcântara Maciel<sup>(1)</sup>, Marcelo Leite Gastal<sup>(1)</sup>, Roberto Guimarães Júnior<sup>(1)</sup>, Suênia Cibeli Ramos de Almeida<sup>(1)</sup>, Zaré Augusto Brum Soares<sup>(1)</sup>, Ana Luiza Tauffer Caldas<sup>(4)</sup>, Andra Paula Rodrigues Ribeiro<sup>(4)</sup>, Bruno Sousa Reis<sup>(4)</sup>, Daniella Santana Silva Spíndola<sup>(4)</sup>, Daniel Santos Cardoso<sup>(4)</sup>, Felipe Otávio de Godoy<sup>(5)</sup> e Leandro Ricardo Silveira Lemes<sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Vice-presidente da Cooperativa Agropecuária do Vale do Paracatu Ltda, Paracatu, MG.

<sup>(3)</sup>Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(4)</sup>Técnica, Cooperativa Agropecuária do Vale do Paracatu Ltda, Paracatu, MG. <sup>(5)</sup>Desenvolvedor de software, GSA Sistemas Ltda, Paracatu, MG

## Introdução

A região Noroeste de Minas Gerais produz diariamente 1,5 milhão de litros de leite em 10.486 estabelecimentos, sendo 80% deles familiares e que contribuem com cerca de 50% do total produzido (IBGE, 2017). De acordo com dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2017), esses agricultores possuem recursos limitados. Exploram áreas reduzidas (menos de 100 ha). O acesso à mecanização é precário. A mão de obra familiar é limitada, com média de pessoal ocupado do núcleo familiar por estabelecimento de duas pessoas. Os rebanhos são pequenos (média de 40 cabeças) e a produção diária média dos estabelecimentos é de apenas 94 L. Além disso, estão localizados em áreas com altitudes mais baixas (700 m), com relevo movimentado (suave ondulado a ondulado) e com temperaturas mais altas que nas chapadas localizadas em altitudes maiores (1.000 m).

O problema geral abordado é a baixa produtividade e rentabilidade dos sistemas de produção de leite da agricultura familiar da região, comprometendo a sustentabilidade dos estabelecimentos. O projeto enfatiza três problemas específicos: (a) pastagens degradadas não permitem o fornecimento de forragem em quantidade suficiente no período das chuvas; (b) sistemas de cultivo para produção de volumoso para a seca, focados na produção de silagem devido à limitada mão-de-obra familiar, não produzem quantidade suficiente para o rebanho; e (c) necessidade de melhorias na qualidade do leite para atender as normativas do Mapa.

Verificou-se que era necessário estabelecer um processo de validação de tecnologias nas condições ambientais e socioeconômicas mais limitadas desses agricultores, como uma fase estratégica prévia para a inovação técnica. O projeto atua com cem agri-

cultores familiares que formam uma rede de estabelecimentos que é acompanhada mensalmente (coleta de dados técnicos e socioeconômicos) por uma equipe da Cooperativa Agropecuária do Vale do Paracatu Ltda (Coopervap), composta por dois agrônomos e dois veterinários. É nessa rede que o processo de validação tecnológica ocorre.

## Objetivo

contribuir para aumentar a rentabilidade e a sustentabilidade dos estabelecimentos de produção de leite da agricultura familiar na região Noroeste de Minas Gerais, por meio da validação de tecnologias em ambiente real que permitam aumentar a disponibilidade de forragens para alimentação do rebanho e melhorar a qualidade do leite produzido.

## Abordagem metodológica

São desenvolvidas ações de validação na rede de agricultores para adequação e adoção de tecnologias promissoras à sua realidade socioeconômica e ambiental, visando a produção de soluções tecnológicas adaptadas. Em relação aos cultivos, essas tecnologias buscam, simultaneamente, aumentar a produtividade e limitar os efeitos dos veranicos. Foi definido e negociado o sistema alternativo (SA) para produção de silagem (milho/sorgo), agregando os seguintes ajustes fitotécnicos em relação ao sistema tradicional (ST) praticado pelos agricultores: (a) uso de gesso para correção da acidez subsuperficial (Sousa; Lobato, 2004); (b) uso de bioinsumo (tecnologia Auras), contendo a rizobactéria *Bacillus aryabhattai* que atua como um redutor dos efeitos do estresse hídrico (Kavamura et al., 2013); (c) adubação complementar com nitrogênio devido à alta demanda do milho e do sorgo por este nutriente (Cruz et al., 2001).

As ações são materializadas na forma de unidades de referência tecnológica (URTs), monitoradas e avaliadas pela equipe. Em relação aos sistemas de cultivo, a área da URT é dividida em duas parcelas (Figura 1): (a) sistema planejado pelo agricultor (sistema tradicional); (b) sistema proposto pela equipe do projeto.

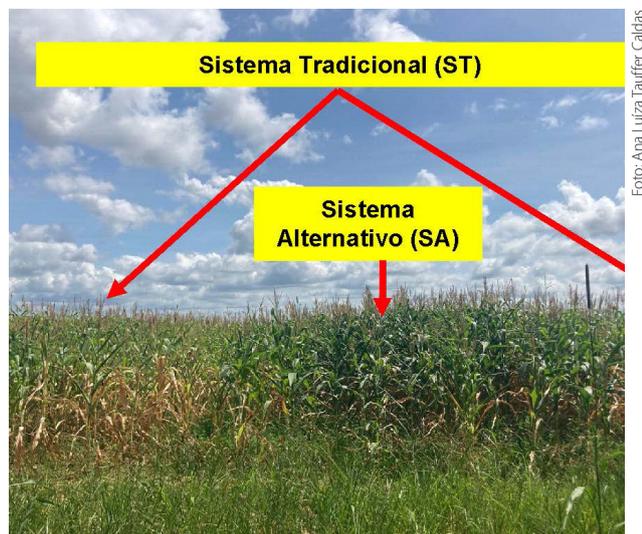


Foto: Ana Luíza Tauffer Galdas

**Figura 1.** Unidade de referência tecnológica (URT) sobre milho para silagem instalada em estabelecimento da rede do projeto.

São coletados dados referentes às práticas realizadas no itinerário técnico e os fatores de produção usados (insumos, mecanização, mão de obra). São avaliados indicadores técnicos: produtividade de massa verde e massa seca da forragem, composição química – proteína bruta (PB), digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS), fibra em detergente neutro (FDN), Ca e P; e econômicos (custo de produção, relação benefício/custo). É realizada ava-

liação participativa das tecnologias testadas para incorporar o ponto de vista dos agricultores.

A dinâmica das URTs é complementada pela geração de conhecimentos por meio de experimentos, com tratamentos constituídos pelas combinações dos ajustes técnicos dos sistemas alternativos em comparação com o sistema tradicional. Os resultados são sistematizados para produzir informações, visando à ampliação do uso das tecnologias validadas por meio de atividades de capacitação de agentes multiplicadores.

São executadas também atividades para obter resultados de apoio à inovação, visando dar suporte ao desenvolvimento do território. Esses resultados buscam avaliar os resultados dos estabelecimentos sob o ponto de vista da sustentabilidade, assim como compreender os fatores que facilitam e os que dificultam o uso das tecnologias empregadas no projeto. Espera-se que esses resultados contribuam para melhorias das políticas públicas destinadas à agricultura familiar na região.

## Dados obtidos

A pandemia de Covid-19 afetou o projeto. Houve restrições à realização de viagens e também receio dos agricultores em receber pessoas nos estabelecimentos. Só foi possível a instalação das URTs de maneira mais próxima ao planejado no projeto no ano agrícola 2021/2022. Outro aspecto a ser considerado é que o ano agrícola em questão teve abundância de oferta pluviométrica. Dessa forma, os resultados alcançados, sintetizados na Tabela 1, são preliminares.

**Tabela 1.** Síntese dos resultados do projeto e respectivos níveis de alcance.

Resultado	Síntese dos trabalhos
1) Sistema de cultivo de sorgo ou milho para silagem com ajustes fitotécnicos, testado em ambiente produtivo, com produtividade superior à média regional do noroeste de Minas Gerais.	Os dois sistemas alcançaram produtividades médias elevadas e superiores ao coeficiente técnico (28.000 kg/ha): 37.310 kg/ha e 45.484 kg/ha, respectivamente para o Sistema Tradicional (ST) e o Sistema Alternativo (SA). A produtividade do SA foi superior ao ST e os gastos por hectare também. No entanto, devido à maior produtividade do ST, não houve diferença em relação aos gastos por tonelada de matéria verde e nem em relação ao benefício/gasto.
2) Sistema de cultivo de BRS Capiçu para silagem com ajustes fitotécnicos, validado em ambiente produtivo, visando a adaptação às condições dos sistemas de produção de leite da agricultura familiar da região noroeste de Minas Gerais.	O SA apresentou produtividade superior ao ST (77.431 kg/ha e 54.101 kg/ha, respectivamente). Contudo, esses valores ficaram abaixo do coeficiente técnico (90.000 kg/ha). Os ajustes fitotécnicos do SA acarretaram gastos maiores para esse sistema. No entanto, devido à maior produtividade, não houve diferenças nos gastos por tonelada e na relação benefício/gasto.

Continua....

**Tabela 1.** Continuação.

Resultado	Síntese dos trabalhos
3) Sistema de cultivo de sorgo ou milho para silagem com ajustes fitotécnicos, testado em ambiente produtivo, com produtividade superior à média regional do noroeste de Minas Gerais.	Os dois sistemas alcançaram produtividades médias elevadas e superiores ao coeficiente técnico (28.000 kg/ha): 37.310 kg/ha e 45.484 kg/ha, respectivamente para o Sistema Tradicional (ST) e o Sistema Alternativo (SA). A produtividade do SA foi superior ao ST e os gastos por hectare também. No entanto, devido à maior produtividade do ST, não houve diferença em relação aos gastos por tonelada de matéria verde e nem em relação ao benefício/gasto.
4) Sistema de cultivo de BRS Capiáçu para silagem com ajustes fitotécnicos, validado em ambiente produtivo, visando a adaptação às condições dos sistemas de produção de leite da agricultura familiar da região noroeste de Minas Gerais.	O SA apresentou produtividade superior ao ST (77.431 kg/ha e 54.101 kg/ha, respectivamente). Contudo, esses valores ficaram abaixo do coeficiente técnico (90.000 kg/ha). Os ajustes fitotécnicos do SA acarretaram gastos maiores para esse sistema. No entanto, devido à maior produtividade, não houve diferenças nos gastos por tonelada e na relação benefício/gasto.
5) Sistema ILP com forrageira e sorgo ou milho para silagem com ajustes fitotécnicos, testado em ambiente produtivo, com produtividade superior à média regional do noroeste de Minas Gerais.	Os dois sistemas alcançaram produtividades elevadas e superiores ao coeficiente técnico (28.000 kg/ha): 39.162 kg/ha e 41.470 kg/ha respectivamente para o ST e o SA. Em relação à contribuição do capim na matéria verde ensilada, ela foi de 14,3% e 10,2% para o SA e ST, respectivamente. Não foi observada diferença estatística significativa entre as produtividades e os critérios econômicos (gastos/hectare, gastos/tonelada e relação benefício/gasto) entre os dois sistemas. Em nenhuma das áreas foi necessário aplicar gesso, o que explica os gastos semelhantes.
6) Prática/processo de manejo da ordenha validado em ambiente produtivo, visando a adaptação às condições dos sistemas de produção de leite da agricultura familiar do noroeste de Minas Gerais.	Não foi possível estabelecer uma estratégia de pesquisa semelhante às URTS dos cultivos. Dessa forma, optou-se por identificar produtores da rede de estabelecimentos acompanhados com elevada qualidade do leite e sistematizar as práticas empregadas por esses agricultores. Os dados estão em análise.
7) Avaliação do impacto das soluções para inovação na sustentabilidade dos estabelecimentos.	Foi produzida análise do Marco Zero (ano agrícola 2019/2020) a partir das informações coletadas na rede de estabelecimentos e por meio da adaptação do método Marco para Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad – Mesmis (López-Ridaura, 2002). Foram definidos sete indicadores, contemplando as dimensões econômica, social e ambiental. Os resultados indicam que há baixa diversidade de fontes de ingresso da produção e que é necessário aumentar a renda agrícola dos estabelecimentos. Os dados dos demais anos agrícolas estão em análise. Esse resultado permitirá monitorar o processo de mudança técnica sob o olhar da sustentabilidade.
8) Avaliação do processo de inovação – fatores que favorecem e fatores limitantes.	Foram realizadas entrevistas do estudo piloto, conforme preconiza a Teoria da Ação Planejada – TAP (Fishbein; Ajzen, 2010). As entrevistas foram degradadas para elaboração da análise de conteúdo (Bardin, 2011) e elaboração do próximo questionário que contemplará o conjunto dos cem participantes do processo. Foi realizado treinamento preparatório da segunda fase de implementação da abordagem TAP, que está em fase inicial de execução. Esse resultado, aliado aos dados das unidades de referência tecnológica (URTs), dará suporte a programas locais para apoiar o processo de inovação no território.
9) Capacitação e atualização tecnológica de agentes multiplicadores pelo uso das informações geradas por meio de dias de campo, cursos, visitas.	Foram realizados e registrados nos sistemas institucionais seis eventos de capacitação relacionados tanto aos aspectos metodológicos quanto aos temas técnicos abordados pelo projeto.

## Desdobramentos e perspectivas

Ampliação das ações e dos resultados alcançados, passando de um município com cem fazendas para quatro municípios com 140 fazendas.

Apoiar a melhoria das políticas públicas (locais, regionais, Mapa) com vistas ao desenvolvimento do território.

## Considerações finais

O contexto real de produção dos agricultores familiares do noroeste de Minas Gerais apresenta um conjunto complexo de desafios que precisa ser superado para garantir sustentabilidade a esses estabelecimentos, que são de elevada relevância para a região (75% dos estabelecimentos produtores de leite e 50% da produção de leite do território).

Apesar da pandemia, o projeto e a parceria institucional alcançaram resultados de pesquisa relevantes e promissores.

São necessárias inovações para enfrentar esses desafios e garantir melhoria da qualidade de vida dos agricultores, assim como contribuir com o desenvol-

vimento do território. Para isso, a geração de conhecimentos e competências locais é estratégica.

## Referências

- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011. 229 p.
- CRUZ, J. C.; PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S.; FERREIRA, J. J. **Produção e utilização de silagem de milho e sorgo**. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. 544 p.
- FISHBEIN, M.; AJZEN, I. **Predicting and changing behavior: the reasoned action approach**. Nova Iorque, NY: Psychology Press, 2010. 518 p.
- IBGE. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 28 nov. 2022.
- KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L.; PARMA, M. M.; AVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183-191, 2013.
- LOPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems: The MESMIS framework. **Ecological Indicators**, v. 2, n. 1-2, p. 135-148, 2002.
- SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416 p.

# Formação de argilo-minerais com elevada carga em solos do Distrito Federal pelo biointemperismo de agrominerais silicáticos

Giuliano Marchi<sup>(1)</sup>, Luise Lottici Krahl<sup>(2)</sup>, Eder de Souza Martins<sup>(1)</sup> e José Carlos Sousa Silva<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Bolsista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

## Introdução

A rochagem constitui uma estratégia de manejo da fertilidade a partir da aplicação de determinadas rochas in natura diretamente ao solo agrícola. Algumas rochas moídas liberam macro (K, Ca, Mg) e micronutrientes (Si, Fe, Zn, Mn, Cu) que são importantes para o crescimento e desenvolvimento de plantas. A eficiência agrônômica da rochagem está diretamente relacionada ao processo de biointemperismo promovido pela rizosfera das plantas sobre os minerais das rochas. Rochas como biotita xisto, basalto e sienito, ao liberarem nutrientes da estrutura dos minerais componentes, podem formar argilominerais estáveis do tipo 2:1 (vermiculita e esmectita), que possuem alta densidade de cargas negativas permanentes e variáveis. Esses minerais neoformados dispersos no solo promovem a formação de propriedades emergentes, elevando consideravelmente a capacidade de troca de cátions em solos. Próximo ao Distrito Federal, há uma mina de biotita xisto em Abadiânia, GO, que se encontra à 100 km do Distrito Federal. O raio econômico para uso da biotita xisto pode alcançar até 200 km.

Em médio a longo prazos, a prática da rochagem no DF pode levar ao desenvolvimento de solos resilientes de elevada produtividade. Após a liberação do K e outros elementos, o biointemperismo pode transformar uma quantidade apreciável de minerais de biotita xisto em minerais do tipo 2:1, com elevada densidade de cargas permanentes. O estudo da cinética do biointemperismo aumentará o entendimento dos processos de dissolução, liberação de nutrientes e geração de cargas permanentes em rochas moídas e poderá levar à determinação de métodos de avaliação química das rochas que acelerem o processo de identificação das rochas mais promissoras para a

liberação de nutrientes e geração de cargas nos solos do DF.

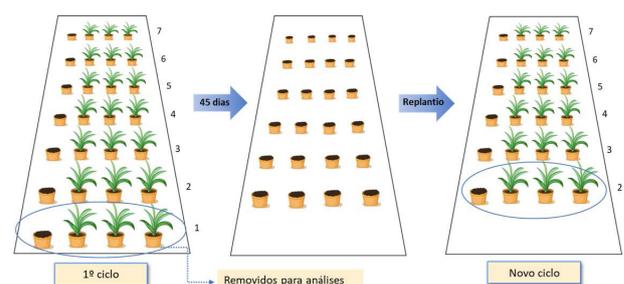
## Objetivo

Determinar a formação de novos minerais em solos misturados com pó de rochas silicáticas a partir da ação do biointemperismo da rizosfera de plantas cultivadas.

## Abordagem metodológica

Um experimento em vasos foi conduzido de forma que plantas e rochas moídas foram avaliadas por sete ciclos de cultivo sucessivos (Figura 1). As rochas biotita xisto, coletadas em uma pedreira em Abadiânia, GO, e a biotita sienito, coletada no sudoeste da Bahia, foram selecionadas para o experimento. As rochas puras, sem mistura com solo, foram colocadas em recipientes de 500 mL e, em seguida, duas plantas de milho foram semeadas por recipiente. Os elementos Fe, K e Al, dentre outros, foram adquiridos pelas plantas a partir da biotita xisto e da biotita sienito durante o cultivo. Após os cultivos sucessivos, as rochas foram analisadas por microanálise de sonda eletrônica (EPMA) para identificação dos minerais nas amostras, além de análises químicas por fluorescência de raios-X.

Após a digestão das amostras em solução ácida,



**Figura 1.** Esquema experimental. Ilustração: Luise Lottici Krahl.

foram analisadas por espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). A determinação da mineralogia de cada amostra foi analisada pela difração de raios-X, utilizando o refinamento de Rietveld para a determinação quantitativa da composição mineralógica das amostras. Além disso, a morfologia das amostras foi examinada pela microscopia eletrônica de varredura (SEM) para a detecção da dissolução de pequenas partículas de rocha e, finalmente, as amostras foram submetidas à análise de capacidade de troca de cátions (CTC) para se comprovar a formação de cargas pelo aumento da concentração das partículas neoformadas de hidrobiotita.

## Dados obtidos

A absorção de K pelas plantas foi específica para cada rocha, entretanto, não foi relacionada à concentração de K nas rochas. Embora a concentração de K na biotita sienito seja maior que do xisto, a quantidade total de K absorvida pelas plantas cultivadas no biotita sienito foi menor do que no biotita xisto.

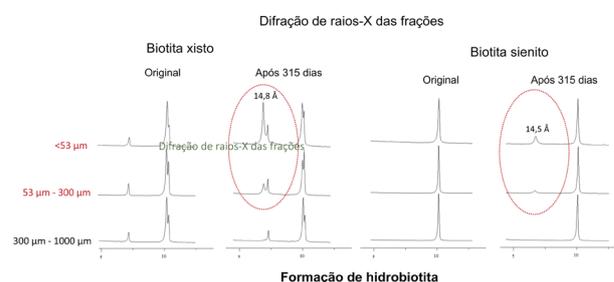
O intemperismo das biotitas promovido pela rizosfera causou mudanças mineralógicas nas amostras. A mudança mais expressiva nos padrões da difração de raios-X ocorreu na fração com partículas < 53 µm, mas as frações 53–300 µm também mudaram. A biotita analisada nas duas rochas variou em conteúdo de MgO e FeO conforme análise pelo EPMA. A alteração na biotita-Mg (xisto), que possui menor relação Fe/Mg nos sítios octaedrais do que a biotita-Fe, foi responsável pelo maior aumento na capacidade de troca de cátions nas frações < 300 µm. Entretanto, o processo de intemperismo da biotita-Fe (sienito), a qual apresenta alta relação Fe/Mg nos sítios octaedrais, não aumentou a capacidade de troca de cátions.

A análise das frações finas (< 53 µm), ao longo dos sucessivos cultivos, revelou que houve a formação de uma mica-vermiculita interestratificada, a hidrobiotita (Figura 2), que aumenta a CTC da amostra (Figura 3).

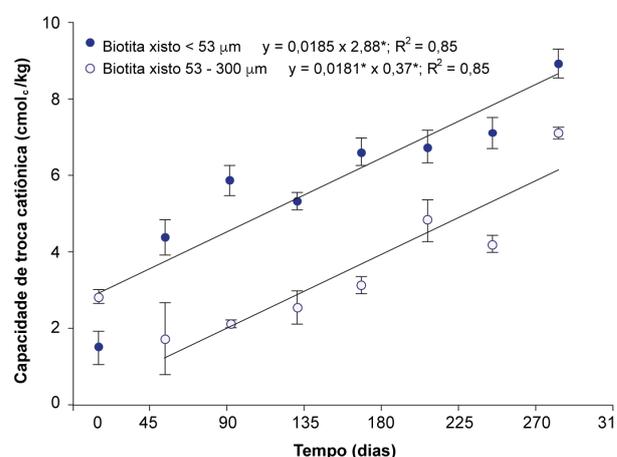
## Desdobramentos e perspectivas

Teoricamente, se toda a biotita contida nessas rochas (9,3% de biotita no biotita xisto) se trans-

formar em vermiculita, e a vermiculita tiver uma carga média de 150 cmol<sub>c</sub>/kg, resultaria em um aumento da CTC na rocha pura de 3,6 cmol<sub>c</sub>/kg para 13,95 cmol<sub>c</sub>/kg. Durante o experimento, por exemplo, a biotita quase que se transformou por completo, chegando a 8,91 cmol<sub>c</sub>/kg, mostrando uma alta taxa de intemperismo. Se aplicarmos 1 t/ha, considerando-se os dez primeiros centímetros de solo, teríamos um acréscimo médio no solo de 0,014 cmol<sub>c</sub>/kg a cada tonelada de biotita xisto adicionada. Se imaginarmos um cultivo, ao longo de 100 anos, em que são adicionadas periodicamente, 2 ou 3 t de biotita xisto a cada 2 a 3 anos, chegando a uma quantidade de 100 t, a CTC média do solo deve ser aumentada em 1,4 cmol<sub>c</sub>/kg. Entretanto, se for considerado que haverá um aumento no volume do solo, formando uma nova camada de solo a partir de biotita xisto transformada, teremos a CTC original do solo na camada de 0 a 10 cm e uma camada nova de 1 cm de rocha acima do solo que vai proporcionar um acréscimo adicional de 13,95 cmol<sub>c</sub>/kg nesse 1 cm.



**Figura 2.** Formação da hidrobiotita (aparecimento do pico a 14,8 Å) a partir do mineral biotita nas amostras de biotita xisto e biotita sienito.



**Figura 3.** Aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do biotita xisto e do biotita sienito em função do tempo de cultivo de milho, a partir das novas fases mineralis (hidrobiotita).

Além disso, pode haver aumento de matéria orgânica em decorrência das adubações na rocha, que deve se acumular no solo devido ao aumento do pH e à formação de complexos organominerais. Esses complexos seriam formados tanto com as partículas de rocha quanto com materiais amorfos de baixa cristalinidade que se formam abundantemente após a dissolução das rochas. Estima-se que a área superficial dessas fases de baixa cristalinidade seja de 1,5 mil metro quadrado por grama de material, uma área muito elevada que deve formar complexos em grande proporção com a matéria orgânica. A presença de matéria orgânica ligada a esses materiais deve causar um aumento muito significativo da CTC ao longo do tempo. Essas são questões de grande importância para solos, principalmente os do Cerrado, que possuem baixa CTC e baixo teor de matéria orgânica. Para investigar essa acumulação de matéria orgânica e da CTC em solos do Cerrado após a adição de remineralizadores, novos projetos já estão em andamento.

## Considerações finais

O biointemperismo da biotita foi observado a partir do menor período de cultivo do experimento (45 dias).

A liberação inicial de K ocorreu por dissolução congruente nas partículas mais finas. O intemperismo dos minerais também ocorreu de forma incongruente. Uma mica-vermiculita interestratificada (hidrobiotita) foi formada tanto no biotita xisto, quanto no biotita sienito.

O biotita xisto formou consideráveis quantidades de hidrobiotita, aumentando sua CTC.

A oxidação do  $Fe^{+2}$  no biotita sienito gerou um ambiente estável, diminuindo a liberação de potássio e o aumento da capacidade de troca de cátions.

# Bioindicadores para avaliação da qualidade de solos em diferentes agroecossistemas brasileiros – fase III: inovação em estratégias e tabelas de interpretação

Ieda de Carvalho Mendes<sup>(1)</sup>, Fábio Bueno dos Reis Júnior<sup>(1)</sup>, Guilherme Montandon Chaer<sup>(2)</sup>, Anderson Ferreira<sup>(3)</sup>, Djalma Martinhão Gomes de Sousa (*in memoriam*)<sup>(1)</sup>, Juliana Jacinto Caldas Rodrigues<sup>(4)</sup>, Krisle da Silva<sup>(5)</sup>, Marco Antônio Nogueira<sup>(6)</sup>, Mariangela Hungria da Cunha<sup>(6)</sup>, Michely Tomazi<sup>(7)</sup> e Vinícius de Melo Benites<sup>(8)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Pesquisador, Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ. <sup>(3)</sup>Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS. <sup>(4)</sup>Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(5)</sup>Pesquisadora, Embrapa Florestas, Colombo, PR. <sup>(6)</sup>Pesquisadores, Embrapa Soja, Londrina, PR. <sup>(7)</sup>Pesquisador, Embrapa Agropecuária Oeste, Dourados, MS. <sup>(8)</sup>Pesquisador, Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

## Introdução

A seleção de bioindicadores que possam ser utilizados no monitoramento da qualidade do solo em diferentes regiões do Brasil é o foco do Projeto Bioindicadores desde a sua Fase I. Os bioindicadores fazem parte das métricas utilizadas para avaliações da sustentabilidade dos agroecossistemas. Uma das grandes limitações para o uso rotineiro dos bioindicadores reside na dificuldade de interpretação de seus valores individuais. Essa dificuldade constitui em um dos grandes obstáculos a serem transpostos nas avaliações de qualidade do solo, uma vez que a inclusão dos atributos microbiológicos nessas avaliações pressupõe o estabelecimento de valores que possam separar solos com diferentes condições de sustentabilidade.

Com base na utilização dos princípios dos ensaios de calibração de nutrientes, o grupo desenvolveu, na Fase II do projeto, a primeira estratégia para interpretação de bioindicadores (carbono da biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase, celulase, arilsulfatase e fosfatase ácida). Nessa Fase III do projeto, haverá continuidade aos estudos de interpretação de bioindicadores (1) gerando uma nova estratégia para interpretação do carbono da biomassa microbiana e atividade de enzimas relacionadas ao ciclo do C ( $\beta$ -glicosidase), do P (fosfatase ácida) e do S (arilsulfatase); (2) ampliando as tabelas de interpretação para outras ecorregiões; (3) calculando índices de qualidade de solo com base nos atributos de fertilidade química e biológica IQSFERTBIO; e (4) avaliando as possibilidades de unificação das épocas de amostragem no campo e dos processos de pré-tratamento das amostras (secagem à temperatura ambiente e peneiramento) para avaliações de microbiologia e fertilidade do solo, gerando a amostra Fertbio.

## Objetivo

Estabelecer bases robustas para que as análises microbiológicas façam parte das rotinas de análises de solo no Brasil e possam ser utilizadas como indicadores de sustentabilidade dos sistemas de produção.

## Abordagem metodológica

A primeira estratégia para interpretação dos bioindicadores foi baseada no rendimento relativo acumulado de grãos (RRAG) e na matéria orgânica do solo (MOS) em experimentos de longa duração. Nesta Fase 3 da pesquisa, foram conduzidos estudos visando o desenvolvimento de uma nova estratégia de interpretação para bioindicadores, baseada apenas na MOS. Isso ocorre porque nem sempre os dados de RRAG estão disponíveis diferentemente dos dados de MOS, o que dificulta a aplicação da primeira estratégia gerada na Fase II do Projeto Bioindicadores.

Posteriormente, as tabelas geradas com base nessa nova estratégia foram validadas em fazendas localizadas no Distrito Federal, Paraná, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Os níveis críticos gerados (limites superiores e inferiores) foram utilizados para calcular IQS com base em atributos de fertilidade (FERT) e biologia (BIO):  $IQS_{Fertbio}$ . A grande vantagem dos cálculos de IQS é a capacidade que eles possuem de agregar e simplificar informações complexas e de natureza diversa.

Aspectos de importância prática relacionados à época de coleta do solo para as avaliações biológicas e ao processamento das amostras após a coleta também foram avaliados no projeto. Com amostras de solo coletadas na camada de 0 a 10 cm de profundidade, foi analisada a possibilidade de unificação das épocas de coleta de solo e dos processos de pré-

-tratamento das amostras de biologia e fertilidade do solo (com secagem à temperatura ambiente e peneiramento em malha de 2 mm). Utilizou-se, como base, 24 tratamentos em três experimentos de longa duração, que constituíam gradiente de matéria orgânica. Para avaliar a possibilidade de unificação das amostragens para as análises de química de solo e biologia, foram realizadas duas coletas de solo: em janeiro, na fase de florescimento das culturas (época padrão para biologia) e, após a colheita, em maio (época padrão para fertilidade).

## Dados obtidos

Foram finalizadas as tabelas de interpretação de bioindicadores para as seguintes ecorregiões brasileiras: Parecis (Rondonópolis, MT), Chapadão do São Francisco (Oeste Baiano, Bahia); Paraná-Guimarães (Dourados, MS); e Planalto Central (Rio Verde, GO).

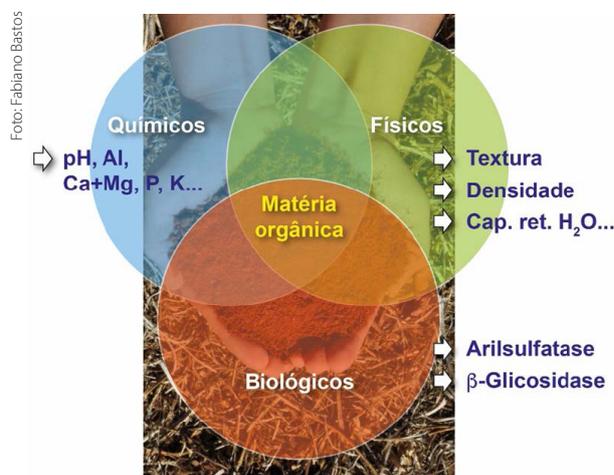
Foi verificado que, nos Latossolos argilosos do Cerrado, é possível unificar as épocas de amostragem no campo para microbiologia e fertilidade do solo e também os processos de pré-tratamento das amostras de solo (secagem à temperatura ambiente e peneiramento em malha de 2 mm) para avaliações de biologia e fertilidade do solo. Essa unificação deu origem ao conceito Fertbio de amostragem de solo, que resultou em tabelas de interpretação de bioindicadores específicas para essas condições (pós-colheita/solo seco).

Foram finalizados os testes do sistema de cálculo para IQS. Utilizou-se o modelo de Karlen & Stott (1994) que atribui, ao solo, diferentes funções, sendo que, a cada uma dessas funções, são associados parâmetros químicos e biológicos.

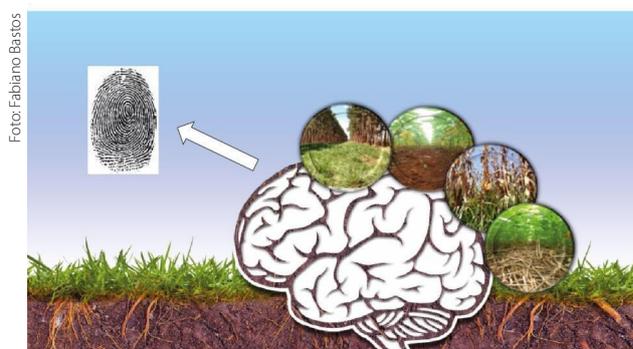
Após 20 anos de pesquisa, com apoio da Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), foi desenvolvida a tecnologia de Bioanálise de Solo (BioAS) (Figura 1), que permite que o agricultor da região do Cerrado possa

monitorar a saúde de seu solo, sabendo exatamente o que avaliar, por que avaliar, como avaliar, quando avaliar e principalmente, como interpretar o que foi avaliado.

Como indicadores do funcionamento da maquinaria biológica do solo, foram selecionadas duas enzimas, a arilsulfatase e a  $\beta$ -glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente. Tabelas de interpretação foram desenvolvidas. A BioAS pode ser comparada a um exame de sangue do solo, que permite a detecção de problemas assintomáticos de saúde do solo, antes que eles se revertam em perdas de produtividade nas lavouras (Figura 2).



**Figura 1.** A Tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), que consiste na agregação de dois indicadores relacionados ao funcionamento da maquinaria biológica do solo (enzimas arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase) às análises de rotina, preencheu a lacuna deixada pela ausência do componente biológico nas análises de solo. Cap. ret.  $H_2O$  = capacidade de retenção de água no solo.



**Figura 2.** Os sistemas de manejo deixam suas marcas na "memória" do solo. Com a BioAS, o agricultor pode acessar a memória do solo e avaliar a saúde do solo. Ilustração: Fabiano Bastos.

## Desdobramentos e perspectivas

Ampliação da tecnologia da BioAS para outros agroecossistemas: BioAS Cana, BioAS Pastagens, BioAs Eucalipto e BioAs Café.

Ampliação da parceria com laboratórios comerciais de análise de solo: Rede Embrapa de inovação em BioAS.

Criação da plataforma web Módulo de Interpretação da Qualidade do Solo (MIQS) que conecta os laboratórios comerciais aos servidores da Embrapa, permitindo a interpretação dos valores de atividade enzimática e o cálculo dos IQS.

Criação do Banco de Dados de Saúde dos Solos Brasileiros.

Utilização dos IQS da tecnologia BioAS como métricas para pagamento de serviços ambientais.

Liderança global, do grupo de trabalho da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), para padronização de procedimentos metodológicos de determinação de atividade enzimática.

## Considerações finais

Nos últimos 20 anos, o grupo de pesquisa em bioindicadores de qualidade de solo da Embrapa dedicou-se à seleção de bioindicadores robustos que permitissem ao agricultor brasileiro monitorar a saúde de seu solo, sabendo exatamente o que avaliar, por que avaliar, como avaliar, quando avaliar e, principalmente, como interpretar o que foi avaliado. O principal resultado foi o lançamento, em julho de 2020, da tecnologia de Bioanálise de Solo (BioAS), que agrega o componente biológico às análises químicas tradicionais de rotina para solos (pH, H + Al, P, Ca, K, Mg, etc.). A BioAS consiste na análise das enzimas arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente. Essa tecnologia também envolve o cálculo de IQS, com base nas propriedades químicas e biológicas em conjunto (IQSFertbio) e separadamente (IQS<sub>Bio</sub> e IQS<sub>Quim</sub>).

Graças a essa pesquisa, o Brasil foi o primeiro país do mundo a implantar em laboratórios comerciais de análises de solo, determinações de atividade enzimática para avaliação da saúde do solo.

# Índice de qualidade do solo com variáveis da fauna edáfica para avaliação da sustentabilidade ambiental de sistemas integrados de produção no cerrado

Cintia Carla Niva<sup>(1)</sup>, Robélio Leandro Marchão<sup>(1)</sup>, Rodrigo Roani<sup>(2)</sup>, Lilianne dos Santos Maia Bruz<sup>(3)</sup>, Karina Pulrolnik<sup>(1)</sup>, Kleberson Worsley de Souza<sup>(1)</sup>, Marcos Aurelio Carolino de Sá<sup>(1)</sup>, George Gardner Brown<sup>(4)</sup>, Juaci Vitoria Malaquias<sup>(5)</sup>, Marie Luise Carolina Bartz<sup>(6)</sup>, Lourival Vilela<sup>(1)</sup> e Juvenil Enrique Cares<sup>(7)</sup>

<sup>(1)</sup>Pesquisadores, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(2)</sup>Estudante de doutorado, Universidade Federal do Paraná, PR. <sup>(3)</sup>Professora-substituta, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. <sup>(4)</sup>Pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR. <sup>(5)</sup>Analista, Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. <sup>(6)</sup>Pesquisadora, Centro de Agricultura Regenerativa e Biológica, Idanha-a-Nova, Portugal. <sup>(7)</sup>Professor, Universidade de Brasília, Brasília, DF

## Introdução

A sustentabilidade de um ecossistema depende das interações entre a biodiversidade do solo, processos ecossistêmicos e os serviços ecossistêmicos influenciados pelo manejo do solo e fatores ambientais. As atividades antrópicas devem, portanto, reduzir ou evitar danos ao ecossistema e à biota, permitindo que o uso do solo hoje não comprometa a sobrevivência e o bem-estar das gerações futuras. A importância da biodiversidade para a sustentabilidade, incluindo a biota do solo, foi oficialmente reconhecida na Convenção sobre a Diversidade Biológica em 1992, observando que é vital prevenir, prevenir e atacar as causas de redução da perda de diversidade biológica. O desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade ambiental é essencial para a avaliação e monitoramento de sistemas de produção agropecuária, especialmente o solo, devido à sua importância como compartimento vivo do ecossistema que dá suporte à produção vegetal e animal. Deve ser monitorado de forma holística, considerando os atributos químicos, físicos e biológicos e suas interações, relacionando-os com os processos e serviços ecossistêmicos.

Os sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) são considerados alternativas de manejo conservacionistas consolidadas para o Cerrado. Projetos anteriores em ILP proporcionaram avaliação desses sistemas do ponto de vista produtivo e ambiental. No entanto, em relação à biodiversidade do solo, não foram suficientemente explorados, principalmente em sistemas integrados com o componente arbóreo (ILPF).

## Objetivo

Propor um modelo de índice sintético de qualidade do solo com base em variáveis da fauna edáfica,

variáveis químicas, físicas e enzimáticas do solo para sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em experimentos de longa duração no Cerrado.

## Abordagem metodológica

Os sistemas amostrados foram: S1 – Pastagem pura; S2 – Pastagem consorciada; S4T1 – Lavoura cultivo mínimo; S4T2 – Lavoura plantio direto; S3LT1 – ILP sem planta de cobertura fase pasto; S3PT2 – ILP sem planta de cobertura fase lavoura; S3LT2 – ILP com planta de cobertura fase pasto; S3PT2 – ILP com planta de cobertura fase lavoura; e CE – cerrado em experimento implantado em 1991 (Experimento 1 – Chapadão) e P – Pastagem (ILP); IPF – ILPF com eucalipto; F – Eucalipto; CD – Cerradão em um experimento implantado em 2009 e áreas próximas (Experimento 2 – Vitrine).

Ambos os experimentos estão localizados nos campos experimentais da Embrapa Cerrados em Planaltina, DF, em Latossolo Vermelho. A maior parte das amostragens foi realizada em uma campanha de coleta multidisciplinar concentrada na época de chuvas, em fevereiro de 2019. Foram avaliados parâmetros químicos, físicos e biológicos do solo, incluindo a fauna edáfica, para comparar os sistemas de uso do solo e também calcular um índice de qualidade do solo que considere a biodiversidade do solo e se relacione com os serviços ecossistêmicos. O conjunto de dados contemplou 63 pontos amostrais e 161 variáveis mensuradas no Experimento 1 e, no Experimento 2, 72 pontos amostrais e 164 variáveis. Entre os parâmetros biológicos, avaliaram-se a densidade populacional, biomassa e riqueza da macrofauna epiedáfica pelo método pitfall, minhocas pelo método de monólitos de 40 x 40 x 20 cm de profundidade e enquitreídeos (microminhocas). A ativi-

dade alimentar de invertebrados do solo foi avaliada pelo método bait lamina e a atividade enzimática do solo de arilsulfatase e  $\beta$ -glicosidase foram avaliadas apenas no Chapadão. Entre os parâmetros físicos, foram avaliadas a densidade e porosidade do solo, velocidade de infiltração de água (VIA) e estrutura do solo pelo método Visual Evaluation of Soil Structure (VESS), e os parâmetros químicos foram os de fertilidade e matéria orgânica.

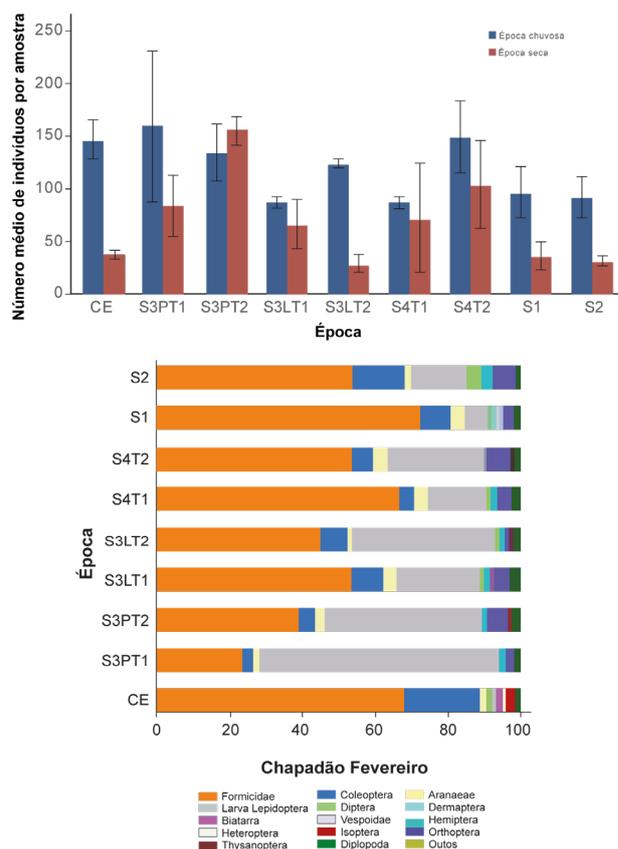
O modelo do índice de qualidade do solo GISQ de Velásquez et al. (2007) foi utilizado para calcular um índice de qualidade do solo para sistemas integrados de produção considerando atributos químicos, físicos e biológicos com base em análises multivariadas de 96 variáveis da fauna edáfica, sete variáveis de física do solo e 14 variáveis de química do solo em cada um dos dois experimentos de longa duração da Embrapa Cerrados. Numa primeira etapa, foram calculados os índices por tipo de atributo (químico, físico, biológico) que depois foram unificados para o índice geral.

## Dados obtidos

Há um predomínio de espécies com maior capacidade de colonização e adaptação às condições de solo cultivado, geralmente estrategistas. Mesmo que a abundância de invertebrados do solo seja maior na área cultivada (Figuras 1 e 2), a ocorrência de comunidades de espécies distintas entre as áreas naturais (predomínio de invertebrados nativos) e cultivadas (predomínio de invertebrados exóticos) reforça a necessidade de estratégias de conservação específicas para cada área, dependendo de quais serviços ambientais se quer conservar/estimular. No contexto da sustentabilidade, esse olhar é importante para subsidiar tomadas de decisão sobre o uso do solo e manejos a serem adotados.

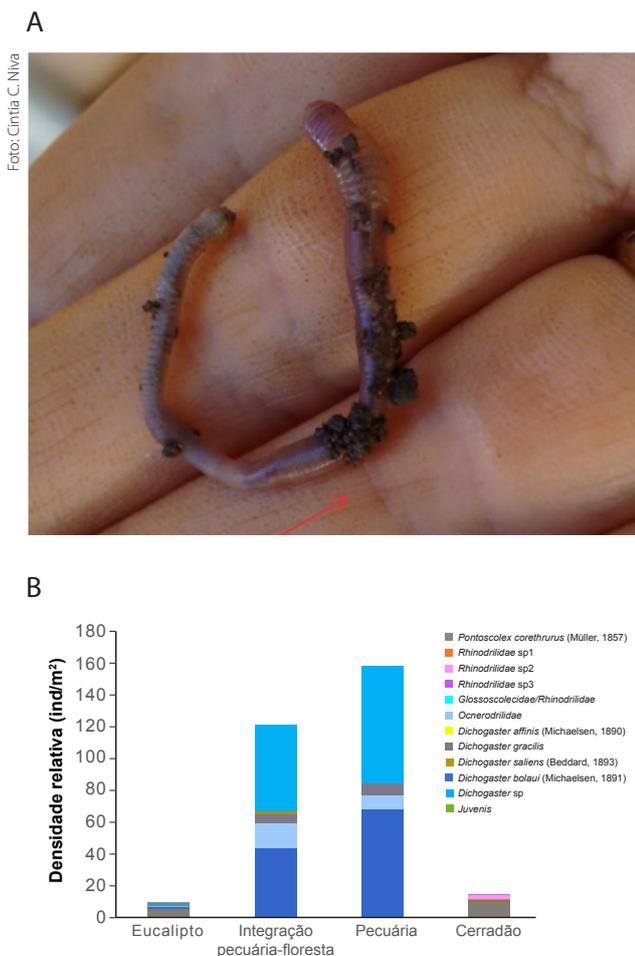
Os atributos de densidade, porosidade, velocidade de infiltração de água (VIA) e estrutura do solo (VESS) expressam a capacidade de aeração, infiltração e retenção de água, convergindo nos serviços de prevenção da erosão, regulação do fluxo da água, produção de alimentos. O VESS e VIA foram as variáveis mais relevantes como potenciais indicadores físicos do solo. Em todos os sistemas avaliados, ambos indicaram bons níveis de estrutura do solo e infiltra-

ção de água, mas com índices muito mais altos em área natural e com uma tendência de índices melhores em sistemas integrados quando comparado a sistemas sem o uso de plantas de cobertura. Os atributos químicos, especialmente os teores de matéria orgânica (MO), relacionam-se com serviços de provisão, como produção de alimentos, fibra e combustível; serviços de regulação como fertilidade do solo, regulação do clima, fluxo da água, prevenção da erosão, moderação de eventos extremos e estocagem de carbono. Nos experimentos avaliados, os sistemas integrados e com uso de plantas de cobertura e/ou consorciados apresentaram maiores valores de MO. Essa foi a variável com o maior potencial indicador da qualidade química do solo e com importante papel na manutenção dos organismos.



**Figura 1.** Macrofauna epigea do solo no Chapadão. Número de indivíduos por amostra em cada tratamento na época chuvosa e seca e frequência de grupos da macrofauna epigea em cada tratamento na época chuvosa e seca. S1 – pastagem pura; S2 – pastagem consorciada; S4T1 – lavoura cultivo mínimo; S4T2 – lavoura plantio direto; S3LT1 – integração lavoura-pecuária sem planta de cobertura fase pasto; S3PT2 – integração lavoura-pecuária sem planta de cobertura fase lavoura; S3LT2 – integração lavoura-pecuária com planta de cobertura fase pasto; S3PT2 – integração lavoura-pecuária com planta de cobertura fase lavoura; CE - Cerrado.

Fonte: Roani (2021).



**Figura 2.** Minhoca em solo de ILP na palma da mão (A). Densidade relativa de morfoespécies de minhocas (indivíduos/m<sup>2</sup>) por tratamento no Experimento 1 – Vitrine Glossoscolecidae/Rhinodrilidae (Gdae/Rdae), Rhinodrilidae sp1, sp2 e sp3 são minhocas nativas; morpho1, morpho2 (espécies potencialmente novas); as espécies de *Dichogaster* são exóticas (B).

O modelo do índice de qualidade do solo GISQ de Velásquez et al. (2007) foi utilizado para calcular um índice de qualidade do solo para sistemas integrados de produção considerando 96 variáveis da fauna edáfica, 7 variáveis de física do solo e 14 variáveis de química do solo em cada um dos dois experimentos de longa duração da Embrapa Cerrados. O modelo utilizado mostrou-se adequado para avaliar a qualidade do solo, apontando também para possíveis pontos fracos ou pontos fortes em cada sistema, em cada categoria de atributos associados aos serviços ecossistêmicos do solo. De modo geral, os sistemas integrados obtiveram notas melhores que os sistemas não integrados ou sem o uso de plantas de cobertura. O índice ainda pode se tornar mais eficiente, fidedigno à condição dos sistemas com a aplicação de ajustes ao modelo que estão em discussão.

## Desdobramentos e perspectivas

Refinar o índice de qualidade de solos. Elencar grupos bioindicadores de invertebrados e desenvolver métodos mais sensíveis e eficientes. Estabelecer parcerias estratégicas com instituições como UFPR e UNESP para a identificação de formigas e aranhas em nível de espécie, visando ampliar o conhecimento sobre a fauna do solo. Propor a padronização de métodos de coleta de invertebrados do solo na ABNT – CEE106.

Criar um grupo de trabalho dedicado ao uso de organismos do solo no âmbito da avaliação ecológica para o registro de agrotóxicos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), contribuindo para o desenvolvimento de um manual orientador.

Buscar colaboração no projeto da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) – The Design of the Establishment of the Global Soil Biodiversity Observatory (GLOSOB), liderado por George Brown/Embrapa Florestas. Participar ativamente do projeto financiado pela União Europeia e organizado pela Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha sobre qualidade do solo em plantio direto no Brasil. Aceitar o convite para participar do projeto de qualidade do solo da Universidade do Estado de Mato Grosso (Unemat).

## Considerações finais

Avanço no conhecimento da biodiversidade do solo em área natural e sistemas integrados no Cerrado: descoberta de várias espécies novas.

Índice geral de qualidade do solo integrativo pode ser aplicado em sistemas integrados desde que sejam feitos ajustes no cálculo.

Solos de sistemas de produção mais diversificados favorecem o habitat para os organismos do solo.

Solos de sistemas integrados, pastagens e plantio direto favorecem a atividade biológica e a manutenção da abundância e diversidade de organismos, no entanto, há perda de espécies nativas e ganho de espécies exóticas em relação ao ambiente natural do Cerrado.

## Referências

FERREIRA, T.; NIVA, C. C.; DUDAS, R.; ROANI, R.; DURÃES, N.; MARCHÃO, R. L.; JAMES, S. W.; BARTZ, M. L. C.; BROWN, G. G. Earthworm species in different land use systems in Goiás and the Federal District, Brazil. **Zootaxa**, v. 5255, n. 1, p. 283-303, 2023.

ROANI, R. **Macrofauna epiedáfica em sistemas integrados de produção agropecuária no Cerrado**. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

VELÁSQUEZ, E.; LAVELLE, P.; ANDRADE, M. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 12, p. 3066-3080, 2007.

