

**Atividade enzimática como indicadora da qualidade do solo em pastagens  
com inoculação e adubação nitrogenada**

*Enzymatic activity as an indicator of soil quality in pastures under inoculation  
and nitrogen fertilization*

Armando Paulo Fuxe Ngola<sup>1\*</sup>, Guilherme Rosa Scwharz<sup>1</sup>, Thais Ribeiro Mattiuz<sup>1</sup>, Isabella  
Pinheiro Soldatelli<sup>1</sup>, Kelen Cristina Basso<sup>1</sup>, Sonia Purin da Cruz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, Santa Catarina, Brasil.

\*Autor para correspondência: armandongola2020@gmail.com

**RESUMO**

A degradação dos campos nativos do Sul do Brasil demanda práticas sustentáveis que favoreçam a recuperação da qualidade do solo. No entanto, enzimas como a  $\beta$ -glicosidase que está relacionada à ciclagem do carbono, e a fosfatase ácida à mineralização do fósforo orgânico, sendo ambas sensíveis à atividade microbiana, são indicadoras da qualidade biológica do solo. Este estudo avaliou a atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase ácida como indicadores da qualidade biológica do solo em campo nativo submetido à inoculação microbiana e adubação nitrogenada reduzida. O experimento foi instalado em uma área de campo nativo, em Curitibanos-SC, em delineamento de blocos casualizados com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos incluíram um controle (50% da adubação nitrogenada) e quatro tratamentos com a mesma dose de N associada à inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens* e *Rhizobium tropici*. As coletas de solo foram realizadas ao final do ciclo da pastagem (abril de 2024), na profundidade de 0–10 cm. As amostras foram analisadas na Embrapa Soja, utilizando o método colorimétrico. As atividades médias foram de 180,04  $\mu\text{g PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para  $\beta$ -glicosidase e 1.209,77  $\mu\text{g PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$  para fosfatase ácida. Os valores de  $\text{Pr} > \text{Fc}$  (0,22 e 0,98, respectivamente) indicaram ausência de diferenças estatísticas significativas. Embora os efeitos da inoculação microbiana não tenham sido estatisticamente significativos, os elevados níveis de atividade enzimática sugerem que a microbiota permanece ativa, sem prejuízo à qualidade biológica do solo, indicando potencial para uso em sistemas sustentáveis.

**Palavras-chave:** microbiota do solo; indicadores biológicos; sustentabilidade agrícola.

## ABSTRACT

The degradation of native grasslands in Southern Brazil demands sustainable practices that support soil quality recovery. This study evaluated the activity of the enzymes  $\beta$ -glucosidase and acid phosphatase as indicators of soil biological quality in native grassland under microbial inoculation and reduced nitrogen fertilization. B-glucosidase is related to carbon cycling, and acid phosphatase to organic phosphorus mineralization, both being sensitive indicators of microbial activity. The experiment was conducted in a native grassland area in Curitiba, Santa Catarina, using a randomized block design with five treatments and five replications. Treatments included a control (50% nitrogen fertilization) and four treatments with the same nitrogen dose combined with inoculation using *Azospirillum brasilense*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, or *Rhizobium tropici*. Soil samples were collected at the end of the pasture cycle (April 2024), at a depth of 0–10 cm. Samples were analyzed at Embrapa Soja using the colorimetric method described. The average enzymatic activities were 180.04 micrograms of p-nitrophenol per gram per hour for  $\beta$ -glucosidase and 1,209.77 micrograms of p-nitrophenol per gram per hour for acid phosphatase. The  $p > fc$  values (0.22 and 0.98, respectively) indicated no statistically significant differences among treatments. Although the effects of microbial inoculation were not statistically significant, the high enzymatic activity levels suggest an active soil microbiota, with no harm to biological quality, indicating potential for use in sustainable systems.

**Keywords:** soil microbiota; biological indicators; agricultural sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

As pastagens ocupam aproximadamente 160 milhões de hectares do território brasileiro e constituem a base da alimentação animal na pecuária nacional (MAPA, 2021). Os campos nativos, predominantes na região Sul do Brasil, são ecossistemas naturais utilizados extensivamente para a produção pecuária, com importante papel na conservação da biodiversidade e dos recursos naturais. No entanto, a intensificação do uso dessas áreas, aliada

à ausência de práticas adequadas de manejo, tem resultado em processos de degradação do solo e diminuição da produtividade forrageira (Pinto *et al.*, 2014).

Para reverter esse cenário, torna-se necessário adotar práticas sustentáveis que promovam a recuperação da qualidade do solo, entre elas a valorização dos atributos biológicos. A atividade enzimática do solo representa um indicador sensível e precoce de alterações no ambiente edáfico, estando diretamente relacionada à ciclagem de nutrientes e à atividade microbiana (Cardoso *et al.*, 2013).

A enzima  $\beta$ -glicosidase está envolvida na decomposição de resíduos orgânicos e na liberação de açúcares simples no solo, sendo fundamental para o ciclo do carbono. Já a fosfatase ácida é essencial na mineralização do fósforo orgânico, especialmente em solos tropicais com baixos teores de fósforo disponível (Tabatabai, 1994).

A inoculação de microrganismos promotores de crescimento vegetal (MPCV), como *Azospirillum*, *Bacillus*, *Pseudomonas* e *Rhizobium*, tem sido amplamente estudada como alternativa para reduzir o uso de fertilizantes minerais e estimular os processos biológicos do solo (Hungria *et al.*, 2010; Guimarães *et al.*, 2023).

Diante disso, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação microbiana na atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase em solo de campo nativo submetido à adubação nitrogenada reduzida, como forma de estimar a qualidade biológica do solo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado em uma área de campo nativo em Curitiba-SC. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições, totalizando 25 parcelas experimentais. Os tratamentos foram constituídos por T1) controle com 50% da dose de nitrogênio na forma de ureia; T2) *Azospirillum brasilense* + 50% N; T3) *Bacillus subtilis* + 50% N; T4) *Pseudomonas fluorescens* + 50% N; e T5) *Rhizobium tropici* + 50% N. A inoculação foi feita conforme recomendações técnicas específicas para cada microrganismo.

As amostras de solo foram coletadas em abril de 2024, ao final do ciclo da pastagem, utilizando trado tipo holandês, na profundidade de 0 a 10 cm, com cinco subamostras por parcela, formando uma amostra composta por unidade experimental. As amostras foram secas ao ar, peneiradas em malha de 2 mm e enviadas ao laboratório da EMBRAPA Soja.

Portanto, para análise da atividade enzimática, a determinação da  $\beta$ -glicosidase e da fosfatase ácida seguiu o método colorimétrico de Tabatabai, 1994, com leitura em espectrofotômetro a 400 nm. Os dados foram submetidos à análise de variância, ANOVA, e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de significância, utilizando o software Sisvar

### 3 RESULTADOS

As atividades médias das enzimas  $\beta$ -glicosidase e fosfatase observadas no solo de campo nativo encontram-se apresentadas na Tabela 1. Observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), no entanto, os valores absolutos foram considerados elevados.

**Tabela 1** – Parâmetros estatísticos da análise de variância (ANOVA) para a atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidase (BG) e fosfatase ácida (FA) no solo de campo nativo.

Variável	Média Geral ( $\mu\text{g PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )	CV (%)	Pr > Fc
Fosfatase ácida	1.209,77	20,47	0,98
$\beta$ -glicosidase	180,04	22,42	0,22

\*Nota: BG =  $\beta$ -glicosidase; FA = fosfatase ácida; CV = Coeficiente de variação; PNF = p-nitrofenol; Pr > Fc = probabilidade associada ao valor F calculado na ANOVA.

### 4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicam que, mesmo sem diferença estatística entre os tratamentos, os valores absolutos de atividade enzimática obtidos neste estudo são considerados elevados. A  $\beta$ -glicosidase apresentou atividade média de  $180,04 \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ , valor acima dos limiares mínimos propostos por Cardoso *et al.* (2013), que considera  $100 \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$  como referência para solos com bom funcionamento biológico. Essa enzima está diretamente relacionada à ciclagem do carbono e à decomposição de resíduos orgânicos, servindo como um dos principais indicadores de qualidade biológica do solo (Nogueira; Hungria, 2019).

A fosfatase apresentou uma atividade média ainda mais expressiva, de  $1.209,77 \mu\text{g PNF g}^{-1} \text{h}^{-1}$ . Essa enzima é importante para a mineralização do fósforo orgânico, especialmente em solos tropicais, onde o fósforo disponível é frequentemente limitado (Tabatabai, 1994).

Segundo Guimarães *et al.* (2023), a alta atividade de fosfatase em pastagens manejadas de forma sustentável indica uma adaptação do microbioma do solo para otimizar a disponibilidade de fósforo.

O coeficiente de variação (CV) foi relativamente baixo para ambos os parâmetros (20,47% para fosfatase e 22,42% para  $\beta$ -glicosidase), indicando boa precisão experimental, conforme os padrões aceitos em estudos de solos (Santos *et al.*, 2008). Isso reforça a confiabilidade dos dados obtidos.

Apesar da ausência de significância estatística, o valor biológico dos resultados é notável. Em estudos de qualidade do solo, a interpretação dos indicadores biológicos vai além do p-valor estatístico, pois reflete o estado funcional do solo (Lal, 2015). Nesse sentido, mesmo que os tratamentos com inoculação microbiana não tenham diferido estatisticamente do controle, é relevante notar que a inoculação não comprometeu a atividade das enzimas e, portanto, a saúde biológica do solo.

A preservação da qualidade biológica do solo é fundamental para garantir a resiliência dos sistemas de produção em campos nativos, especialmente diante de mudanças climáticas e estresses ambientais (Cardoso *et al.*, 2013; Pinto *et al.*, 2014). Assim, o estímulo da atividade enzimática via manejo biológico representa uma estratégia promissora para a sustentabilidade agropecuária.

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que os solos de campo nativo, mesmo com ausência nas diferenças estatísticas entre os tratamentos com e sem inoculação microbiana, sugere que a introdução desses microrganismos não alterou negativamente a funcionalidade biológica do sistema, mantendo os níveis enzimáticos em patamares elevados.

## REFERÊNCIAS

CARDOSO, E. J. B. N. *et al.* **Indicadores biológicos da qualidade do solo**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2013.

GUIMARÃES, G. S. *et al.* **Inoculação com bactérias promotoras de crescimento em pastagens**. EMBRAPA Soja, Documentos, 453, 2023.

HUNGRIA, M. *et al.* **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação a baixo custo. EMBRAPA Soja, 2010.

NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Atividade microbiana e enzimática do solo. *In: Manual de Microbiologia Agrícola*. EMBRAPA, 2019.

PINTO, C. E. *et al.* **Pastagens naturais de Santa Catarina**: preservação e produtividade. EPAGRI, 2014.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. *In: Methods of Soil Analysis*. Madison: SSSA, 1994.

SANTOS, H. G. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. EMBRAPA Solos, 2008.

LAL, R. Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. **Sustainability**, v. 7, n. 5, p. 5875–5895, 2015.