

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

ATRIBUTOS BIOLÓGICOS COMO INDICADORES DA QUALIDADE DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO E MANEJO

**Heloísa da Silva Barbosa Gomes, Isaque Vieira Rozemberg, Elzelayne Araújo
Santos, Arnaldo Henrique de Oliveira Carvalho**

Instituto Federal do Espírito Santo, campus Ibatiba, Núcleo de Estudos em Agroecologia e Produção Orgânica, R. Sete de novembro, 40 – Centro, Ibatiba/ES – Brasil, 29395-000,
heloisa2gomes@gmail.com, isaquerozemberg@gmail.com, elzelayne18@gmail.com,
acarvalho@ifes.edu.br.

Resumo

A manutenção da produtividade dos ecossistemas naturais e dos agroecossistemas depende, principalmente, do processo de transformação da matéria orgânica e, consequentemente, de processos mediados pelos microrganismos do solo. Objetivou-se avaliar os atributos biológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico), além do teor de carbono orgânico e matéria orgânica, possíveis indicadores de alterações na qualidade do solo. Foram coletadas amostras nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm em área de cafezal, mata nativa e remanescente de cultivo de eucalipto. Os teores de carbono orgânico e matéria orgânica foram mais elevados no sistema cafeeiro e na camada mais superficial para todos os sistemas. O carbono da biomassa e a respiração basal foram superiores no sistema de mata nativa, indicando maior atividade da comunidade microbiana, fator essencial à manutenção da matéria orgânica do solo. Quanto ao quociente metabólico, maiores valores observados para a área remanescente de eucalipto podem estar relacionados a distúrbios impostos pela ação antrópica.

Palavras-chave: Carbono orgânico. Biomassa microbiana. Respiração basal.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônômica. Agronomia.

Introdução

O solo é considerado um recurso indispensável para o funcionamento dos ecossistemas, e representa um equilíbrio entre fatores químicos, físicos e biológicos que formam um sistema natural, vivo e dinâmico, nos quais milhares de criaturas interagem e contribuem para a manutenção da vida na Terra. Nesse sentido, devido à sua importância e significativa contribuição à biodiversidade global, faz-se necessário preservar sua integridade dentro dos ecossistemas (SILVA *et al.*, 2021).

A avaliação da qualidade do solo é um meio de aferir sua condição atual e avaliar sua capacidade em exercer suas funções dentro do ecossistema, assegurando a produtividade biológica, promovendo a saúde das plantas e animais e garantindo a preservação da qualidade ambiental (ROCHA *et al.*, 2022). A rápida avaliação de sua qualidade é uma estratégia muito importante na identificação e aprimoramento das práticas de manejo visando melhorias e preservação ambiental (MELO *et al.*, 2019). Os indicadores da qualidade do solo, que são atributos que medem ou refletem sua condição atual, podem ser de natureza física, química e biológica. Embora os indicadores físicos e químicos sejam mais utilizados nas pesquisas, os indicadores biológicos são mais sensíveis e apresentam um elevado potencial em detectar com mais antecedência alterações que ocorrem no solo em função do manejo (BUENO *et al.*, 2018; RIBEIRO, 2018).

De acordo com Neves *et al.* (2009), a manutenção da produtividade dos ecossistemas naturais e dos agroecossistemas depende, principalmente, do processo de transformação da matéria orgânica e, consequentemente, de processos mediados pelos microrganismos do solo. A biomassa microbiana, componente vivo da matéria orgânica, exerce funções indispensáveis no solo, como a decomposição e o acúmulo de material orgânico, transformações envolvendo os nutrientes e pode ser considerada também como um reservatório de nutrientes e energia potencialmente disponível para as plantas (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Para melhor atuação da comunidade microbiana, é essencial a manutenção da matéria orgânica nos solos, consequentemente, solos que mantêm um alto conteúdo

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

de biomassa microbiana são capazes não somente de estocar, mas também de ciclar mais nutrientes (GREGORICH *et al.*, 1994).

De acordo com Lal *et al.* (1999), práticas de manejo inadequadas tendem a resultar em um rápido declínio do conteúdo de carbono orgânico do solo, colaborando para o aumento das emissões de gás carbônico (CO₂) à atmosfera. O carbono orgânico total do solo é, particularmente, útil à compreensão da ciclagem da matéria orgânica e também um eficiente indicador da qualidade do solo, pois representa fonte e dreno de nutrientes do ecossistema por meio da mineralização e imobilização, respectivamente (NEVES *et al.*, 2009).

A respiração microbiana ou respiração basal do solo, oxidação biológica da matéria orgânica a CO₂ pelos microrganismos aeróbios, representa uma posição chave no ciclo do carbono nos ecossistemas terrestres. A combinação das medidas da biomassa e respiração microbiana fornecem a quantidade de CO₂ evoluída por unidade de biomassa, denominada quociente metabólico ou respiratório (qCO₂), esse parâmetro reflete a eficiência microbiana, a qual está sujeita à fatores de estresse e perturbação, levando ao direcionamento de mais energia para a manutenção celular, em lugar do crescimento, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO₂ (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; FERREIRA *et al.*, 2015).

Nesse sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar comparativamente os atributos biológicos do solo (carbono da biomassa microbiana, respiração basal e quociente metabólico), além do teor de carbono orgânico e matéria orgânica, buscando inferir sobre alterações na qualidade do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo, em relação a um ecossistema natural.

Metodologia

As áreas estudadas localizam-se na região sudeste do país, na divisa entre os municípios de Ibatiba/ES e Lajinha/MG. Foram selecionadas uma área de lavoura de café (CAF), com aproximadamente 20 anos de idade, localizada em Ibatiba/ES, uma área de mata nativa com vegetação típica de Mata Atlântica (MAT) e uma área onde observa-se que houve plantio de eucalipto (EUC), porém encontra-se abandonada e com indícios de uso de fogo recente, ambas localizadas no município de Lajinha/MG.

A amostragem de solo foi realizada em março de 2023, em três profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm), para cada sistema foram coletadas três repetições, sendo cada amostra analisada composta de três subamostras.

O carbono orgânico total foi determinado a partir da oxidação do carbono por via úmida (MENDONÇA; MATOS, 2005). O teor de matéria orgânica foi calculado multiplicando-se o resultado do COT por 1,724, tal fator é utilizado em virtude de se admitir que na composição média da matéria orgânica em decomposição, o carbono participa com 58% (CLAESSEN *et al.*, 1997).

O carbono da biomassa microbiana do solo foi determinado pelo método de irradiação-extração utilizando forno micro-ondas e solução extratora de sulfato de potássio (FERREIRA; CAMARGO; VIDOR, 1999).

A respiração basal do solo foi analisada através do método da respirometria (evolução de CO₂) pela incubação das amostras em recipientes de vidro hermeticamente fechado, com captura de CO₂ em solução de hidróxido de sódio, utilizando um período de incubação de 5 dias (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

O quociente metabólico foi obtido pela razão entre os valores da respiração basal e o carbono da biomassa microbiana (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007).

Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de comparação de médias pelo teste Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software SISVAR (Ferreira, 2011).

Resultados

Por meio da análise de variância, observou-se que houve interação significativa entre os fatores área e profundidade para as variáveis carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (qCO₂). Para o carbono orgânico total (COT) e matéria orgânica (MO) verificou-se apenas o efeito isolado dos fatores de variação.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Tabela 1 - Carbono orgânico total (COT), matéria orgânica (MO) em profundidades e diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Sistema de uso e manejo	COT (g kg ⁻¹)	MO (g kg ⁻¹)
CAF	42,25 a	72,71 a
MAT	36,26 b	63,08 b
EUC	26,15 c	45,08 c
Profundidade (cm)	COT (g.kg ⁻¹)	MO (g.kg ⁻¹)
0-10	37,44 a	65,13 a
10-20	33,90 b	58,31 b
20-30	33,31 b	57,44 b
CV (%)	4,74	5,02

Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Os autores.

Tabela 2 - Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), respiração basal do solo (RBS) e quociente metabólico (QCO₂) em profundidades e diferentes sistemas de uso e manejo do solo.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso e manejo			
	CAF	MAT	EUC	CV (%)
CBMS (mg C.kg ⁻¹)				
0-10	256,19 b B	436,51 a A	265,94 a B	8,41
10-20	260,24 b B	443,92 a A	230,56 a B	
20-30	323,15 a A	367,39 b A	134,10 b B	
RBS (mg C-CO2.kg ⁻¹ .h ⁻¹)				
0-10	0,067 b B	0,150 c A	0,167 a A	7,51
10-20	0,133 a B	0,217 a A	0,150 a B	
20-30	0,075 b C	0,175 b A	0,108 b B	
qCO ₂ (mg C-CO2.kg ⁻¹ CBMS.h ⁻¹)				
0-10	0,000280 a B	0,000360 a B	0,000620 b A	22,29
10-20	0,000483 a A	0,000503 a A	0,000660 b A	
20-30	0,000233 a C	0,000497 a B	0,001253 a A	

Médias seguidas de, pelo menos, uma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.
Fonte: Os autores.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Os resultados do COT, bem como o teor MO, foram mais elevados no sistema CAF, seguidos dos sistemas MAT e EUC, respectivamente. Em relação às profundidades estudadas, os maiores valores de COT e MO foram observados na camada mais superficial (0-10 cm), diferindo estatisticamente das camadas de 0-20 e 20-30 cm, que não apresentaram diferença entre si, para todos os sistemas.

Maiores valores de CBMS foram identificados para o sistema MAT, igual estatisticamente ao sistema CAF na profundidade 20-30 cm e apresentou diferença significativa para com os demais sistemas e profundidades, os sistemas CAF e EUC apresentaram, de modo geral, valores menores. Na MAT e EUC houve tendência de diminuição do CBMS com o aumento da profundidade, com maiores valores nas camadas superficiais (0-10 e 10-20 cm) e menor valor na camada mais profunda (20-30 cm), porém o sistema CAF apresentou comportamento contrário.

Em relação à RBS, o sistema MAT apresentou valores maiores em relação aos demais sistemas para todas as profundidades, sendo igual estatisticamente para o sistema EUC na camada de 0-10 cm. O menor valor de RBS foi identificado para a camada de 20-30 cm no sistema CAF. Nas profundidades, a RBS foi mais elevada na camada de 10-20 cm em todos os sistemas e igualmente no sistema EUC na camada de 0-10 cm.

O qCO_2 foi mais elevado no sistema EUC em todas as profundidades e nos sistemas CAF e MAT na camada de 10-20 cm, nos sistemas CAF e MAT não foi observada diferença estatística entre as profundidades, e no sistema EUC, o maior valor na camada mais profunda (20-30 cm).

Discussão

Maiores teores de COT e MO foram observados na camada mais superficial em todos os sistemas e tendência de diminuição desses teores com o aumento da profundidade, resultados semelhantes foram observados por Freixo *et al.* (2002) e Neves *et al.* (2009). Tal fato pode estar relacionado com a deposição de resíduos orgânicos na superfície, com maior formação de serrapilheira, maior atividade de microrganismos e também do sistema radicular das plantas (NEVES *et al.*, 2009).

Diferente do esperado, o sistema MAT apresentou valores intermediários, já que, espera-se maiores teores de COT e MO em mata nativa, em comparação a solos cultivados, por serem sistemas mais estabilizados, com maior aporte de matéria orgânica e ausência de ação antrópica. Possivelmente, esse sistema, por estar instalado há vários anos, encontra-se numa situação estável, com baixo grau de antropização, portanto, essas variáveis não apresentam grandes variações ao longo do tempo (GAZOLLA *et al.*, 2015).

O valor mais elevado dos teores de COT e MO no sistema cultivado (CAF) pode refletir uma situação pontual, com elevado aporte de material orgânico devido a fatores como poda do cafeeiro ou uso de roçadeira para o controle de plantas daninhas, portanto, não se pode afirmar que este seja um valor de “equilíbrio”, sendo necessária a verificação da manutenção desses teores ao longo do tempo, de acordo com Vezzani e Mielniczuk (2009), essas avaliações devem ser caracterizadas no tempo e no espaço e interpretadas considerando as variações e características dos sistemas agrícolas estudados. Os menores teores de COT e MO no sistema EUC possivelmente estão relacionados ao menor aporte de resíduos vegetais nesse sistema.

Os maiores valores de CBMS no sistema MAT, indicam maior reserva de energia e nutriente imobilizado na biomassa microbiana, no sistema cultivado (CAF), a redução significativa do CBMS em relação ao sistema natural (MAT) pode estar associada à crescente demanda energética da população microbiana em adaptação às novas condições e a redução nas adições de matéria orgânica e também à baixa diversidade microbiana nos sistemas de monocultura, já que, neste caso, acontece a seleção de determinados grupos de microrganismos (D'ANDRÉA *et al.*, 2002; CARNEIRO *et al.*, 2009; NEVES *et al.*, 2009). No sistema EUC, o menor valor de CBMS relaciona-se com os menores teores de COT e MO.

A alta atividade respiratória identificada no sistema MAT pode indicar um alto nível de produtividade desse ecossistema (ISLAM; WEIL, 2000), que relaciona-se diretamente com o maior aporte de material orgânico e maior CBMS. Entretanto, a elevada RBS observada na camada mais superficial do sistema EUC pode estar refletindo um distúrbio ecológico, já que a adição de carbono é menor, portanto, os maiores valores de qCO_2 observados para esse sistema pode indicar que a população microbiana está consumindo mais carbono oxidável para a sua manutenção (D'ANDRÉA *et al.*, 2002).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Conclusão

Em comparação ao sistema de mata nativa, foi possível observar alterações negativas nos atributos biológicos estudados para os sistemas cultivados, sendo necessária a avaliação ao longo do tempo para melhor compreensão do elevado teor de COT e MO no agroecossistema cafeeiro e identificação das práticas de manejo que possam estar relacionadas.

Os indicadores biológicos da qualidade do solo são sensíveis às alterações causadas por práticas agrícolas e assim, úteis para o monitoramento da condição atual do solo e também para a orientação do planejamento e da avaliação das práticas de manejo, e é essencial a manutenção da matéria orgânica nos solos, para garantir melhor atuação da comunidade microbiana e o bom funcionamento dos agroecossistemas.

Referências

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, 2007. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684/4403>. Acesso em: 25 jul. 2023.

BUENO, P. A. A. *et al.* Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em recuperação de um sistema agroflorestal. **Acta Brasiliensis**, v. 2, n. 2, p. 40-44, 2018. Disponível em: <http://www.revistas.ufcg.edu.br/ActaBra/index.php/actabra/article/view/96>. Acesso em: 21 jul. 2023.

CARNEIRO, M. A. C. *et al.* Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 147-157, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/r/rbcs/a/bnxYX3F8qNyvcYqZNcMR4Tn/?format=html>. Acesso em: 29 jul. 2023.

CLAESSEN, M. E. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997.

D'ANDRÉA, A. F. *et al.* Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 913-923, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/r/rbcs/a/C483nhwGWSJtbCCvNyZkPbj/>. Acesso em: 01 ago. 2023.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 991-996, 1999.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. **Ciência e agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/yjKLJXN9KysfmX6rvL93TSh/abstract/format=html&lang=pt&stop=previ-ous>. Acesso em: 26 jul. 2023.

FERREIRA, E. A. *et al.* Atividade microbiana de solos cultivados com mandioca em sistema de policultivo, **Revista Magistra**. Cruz das Almas – BA, n. 27, n.3/4, p. 406-411, 2015. <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/download/407/84>. Acesso em: 26 jul. 2023.

FREIXO, A. A. *et al.* Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição de frações orgânicas de Latossolo do Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 26, p. 425-434, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/r/rbcs/a/8gVKc6fhLtfKmsfBWHHhsWx/>. Acesso em: 03 ago. 2023.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

GAZOLLA, P. R. *et al.* Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p. 693-704, 2015. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/16159>. Acesso em: 03 ago. 2023.

GREGORICH, E. G. *et al.* Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian journal of soil science**, v. 74, n. 4, p. 367-385, 1994. Disponível em: <https://cdnscepub.com/doi/abs/10.4141/cjss94-051>. Acesso em: 03 ago. 2023.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 79, n. 1, p. 9-16, 2000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880999001450>. Acesso em: 26 jul. 2023.

LAL, R. *et al.* World soils and the greenhouse effect. **IGBP Global Change Newsletter**, v. 37, n. 1, p. 4-5, 1999. Disponível em: http://www.igbp.net/download/18.950c2fa1495db7081e131/1416232597277/NL_371999.pdf. Acesso em: 25 jul. 2023.

MELO, D. M. A. *et al.* Cromatografia de Pfeiffer como indicadora agroecológica da qualidade do solo em agroecossistemas. **Revista craibeiras de agroecologia**, v. 4, n. 1, p. 7653-7653, 2019. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/7653>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. Matéria Orgânica do solo: métodos de análises. Viçosa: UFV, 2005.

NEVES, C. M. N. *et al.* Indicadores biológicos da qualidade do solo em sistema agrossilvopastoril no noroeste do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 105-112, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/NSsV3WB39sRm7WhTLvtBJCC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 ago. 2023.

RIBEIRO, L. C. R. **TENDÊNCIAS NAS PESQUISAS SOBRE INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO: UMA ABORDAGEM CIENCIOMÉTRICA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) - Centro Universitário de Anápolis- UniEVANGÉLICA, Anápolis/GO, 2018.

ROCHA, A. F. B. *et al.* Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroecológicos no Cerrado Mineiro. **Sociedade & Natureza**, v. 34, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sn/a/4z37PgJ56mJ9fsnYksVXKPg/?lang=pt>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Embrapa - Comunicado técnico 99**. 2007.

SILVA, M. O. *et al.* Qualidade do solo: indicadores biológicos para um manejo sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853-6875, 2021. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/download/23374/18778>. Acesso em: 20 jul. 2023.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, v. 33, p. 743-755, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rSb9bsbsqjBqw4t9b9jrDBC/?format=html&stop=previous&lang=pt>. Acesso em: 25 jul. 2023.

Agradecimentos

Ao Ifes, ao CNPq e à FAPES pelas bolsas de iniciação científica dos estudantes e também pelo apoio ao orientador no Programa Pesquisador de Produtividade - PPP, Edital PRPPG n.º 11/2020.