

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DA QUALIDADE DO SOLO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ CONVENCIONAL E ORGÂNICO

Heloísa da Silva Barbosa Gomes, 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, elzelayne18@gmail.com, acarvalho@ifes.edu.br.

Resumo

A agricultura orgânica pode ser uma alternativa mais eficiente nos sistemas de produção de café, ela é menos agressiva ao meio ambiente e proporciona o uso sustentável do solo. Objetivou-se avaliar comparativamente a qualidade do solo através dos atributos microbiológicos (carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano), foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm em sistemas de produção de café sob manejo convencional e orgânico. Os resultados das análises foram mais desfavoráveis para os sistemas de cultivo orgânico do cafeeiro, que apresentaram menores teores de CBMS e qMic e alta taxa de RBS e de qCO₂. Entretanto, não foi possível concluir que as diferenças foram significativas, sendo necessário uma avaliação mais completa, abrangendo épocas de seca e chuva, além da necessidade de avaliar associadamente outras propriedades físicas e químicas do solo.

Palavras-chave: Biomassa microbiana. Respiração basal. Práticas agrícolas.

Área do Conhecimento: Engenharia Agrônoma. Agronomia.

Introdução

O solo é um organismo vivo complexo e dinâmico, ele é a base de sustentação de todo habitat vegetal e animal, além de desempenhar um papel crucial na regulação dos ciclos de nutrientes e da água (Sousa *et al.*, 2022). Esse recurso natural é essencial para a sustentabilidade e produtividade dos sistemas de produção agrícola, tanto em agroecossistemas orgânicos quanto convencionais (Azevedo *et al.*, 2024).

Uma parcela significativa dos solos agrícolas do Brasil, cerca de 2,2 milhões de hectares, é ocupada pela cafeicultura, sendo o País o maior produtor e exportador mundial do produto (Conab, 2021). No estado do Espírito Santo, a produção de café é uma das principais atividades agrícolas, tendo enorme importância no cenário econômico, principalmente na região sul do estado é crescente a implantação de lavouras cafeeiras, que substituem antigas lavouras ou áreas antes usadas para pastagem, e em sua maioria encontram-se em propriedades de solos ácidos e de baixa fertilidade (Effgen *et al.*, 2008).

Na cafeicultura atual, as práticas de manejo convencionais caracterizadas pela monocultura, intenso revolvimento do solo e uso de elevadas quantidades de adubos químicos e pesticidas contribuem intensamente para o processo de degradação das propriedades solo, além de reduções na matéria orgânica, na diversidade microbiana e na produtividade das culturas exploradas (Xavier *et al.*, 2006; Sales, 2020).

Nas últimas décadas, os processos de produção e comercialização do café têm passado por grandes mudanças, uma delas é a necessidade de sistemas de produção mais ambientalmente sustentáveis e que causem menos impactos na saúde da população (Amorim; Oliveira, 2022). Os sistemas de produção orgânica e agroecológica surgem como uma alternativa para a agricultura familiar, pois embora apresentem menor produtividade que os sistemas convencionais, podem mostrar melhor desempenho econômico nas relações custo-benefício e maiores rendas efetivas, além de atuar no viés da sustentabilidade, em que a atividade agrícola busca estar ambientalmente equilibrada, economicamente viável e socialmente justa (Barra; Ladeira, 2018). Portanto, mesmo produzindo menos, a agricultura orgânica é mais eficiente e menos agressiva ao meio ambiente, preservando a fertilidade do solo, apresentando maior estabilidade de agregados e alta biodiversidade da fauna, além de uma maior atividade microbiana (Theodoro, 2006).

Avaliar a qualidade do solo é essencial para compreender sua situação atual em decorrência do tipo de manejo adotado, assim como sua capacidade de resiliência e fundamentar a tomada de decisão para sua reestruturação e seu uso de forma sustentável (Silva *et al.*, 2021). Os indicadores de qualidade do solo são atributos mensuráveis, ou seja, podem se apresentar de forma quantitativa ou qualitativa (Silva *et al.*, 2020), eles podem ser de natureza física, química e biológica. Atributos microbiológicos são considerados indicadores sensíveis de alterações ambientais decorrentes do uso do solo, em curto e longo prazo (Sousa *et al.*, 2022).

A biomassa microbiana, parte viva da matéria orgânica do solo, constitui um meio de transformação para todos os materiais orgânicos do solo e atua como reservatório de nutrientes disponíveis às plantas (Hoffmann *et al.*, 2018). A respiração basal do solo representa os processos metabólicos realizados pelos microrganismos aeróbios, como as bactérias e os fungos (Siqueira *et al.*, 2018). O quociente metabólico refere-se à quantidade de CO₂ liberado por grama de biomassa em um determinado tempo, representa a eficiência com que os microrganismos do solo usam os recursos de carbono e o quociente microbiano quantifica o percentual de reserva de carbono orgânico total no solo fixado nas células microbianas (Silva *et al.*, 2021).

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi avaliar comparativamente os atributos biológicos do solo (carbono da biomassa microbiana, respiração basal, quociente metabólico e quociente microbiano) de sistemas de produção de café sob manejo convencional e orgânico, buscando inferir sobre alterações na qualidade do solo impostas pelos diferentes sistemas de manejo.

Metodologia

Foram estudadas amostras de solo de 3 sistemas de cultivo de café, sendo 1 sistema que faz o manejo convencional e 2 sistemas orgânicos, localizados na região sul do estado do Espírito Santo, as características de cada sistema estão descritas no quadro 1 a seguir.

Quadro 1. Características dos sistemas de uso e manejo do solo

Sistema	Símbolo	Histórico de uso e manejo
Café 1 - convencional	CAF1	Lavoura de café Arábica Catuai Vermelho, espaçamento 2 x 1,5 m. O manejo é feito de forma convencional, com aplicação de produtos químicos e capina mecânica. Localizada no Córrego Carangola em Ibatiba/ES.
Café 2 - orgânico	CAF2	Lavoura de Café Arábica das variedades Catuai Vermelho e Mundo Novo consorciado com banana, espaçamento 4 x 1 m. Há 3 anos não faz aplicação de produtos químicos, recebendo apenas a matéria orgânica proveniente das bananeiras. Localizada no Córrego das Perobas em Ibatiba/ES.
Café 3 - orgânico	CAF3	Lavoura de Café Arábica da variedade Catuai 144, espaçamento 3 x 1 m. Não faz aplicação de produtos químicos há 7 anos, o manejo é realizado com roçagem e aplicação de dessecante orgânico, fertilizante organomineral e palha de café. Localizada no Córrego Burro Frouxo em Irupi/ES.

Em cada sistema foi realizada uma amostragem entre março de 2023 e março de 2024, foram coletadas amostras indeformadas de solo 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 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 fechados, 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) e o quociente microbiano foi determinado pela

relação entre o carbono da biomassa microbiana do solo e o carbono orgânico total, sendo expresso em porcentagem (Anderson; Domsch, 1993).

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 CBMS, RBS, qCO_2 e $qMic$. Os resultados obtidos estão descritos na tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Carbono da biomassa microbiana do solo (CBMS), respiração basal (RBS), quociente metabólico (qCO_2) e quociente microbiano ($qMic$), em profundidades e diferentes sistemas de manejo.

Profundidade (cm)	Sistemas de uso e manejo			CV (%)
	CAF1	CAF2	CAF3	
CBMS (mg C-CBM kg⁻¹ solo)				
0-10	256,18 b A	110,97 b B	63,52 b C	3,82
10-20	260,24 b A	214,47 a B	77,10 b C	
20-30	323,15 a A	118,33 b C	152,16 a B	
RBS (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo h⁻¹)				
0-10	0,067 b B	0,063 a B	0,120 c A	9,34
10-20	0,133 a B	0,076 a C	0,230 a A	
20-30	0,075 b B	0,021 b C	0,160 b A	
qCO_2 (mg C-CO₂ g⁻¹CBMS h⁻¹)				
0-10	0,261 b C	0,573 a B	1,887 b A	12,45
10-20	0,512 a B	0,355 b B	2,984 a A	
20-30	0,232 b B	0,177 c B	1,050 c A	
$qMic$ (%)				
0-10	0,58 b A	0,51 c B	0,13 c C	3,76
10-20	0,62 b B	1,18 a A	0,20 b C	
20-30	0,80 a A	0,63 b B	0,52 a C	

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

Fonte: Os autores.

De modo geral, os valores mais elevados de CBMS foram observados no sistema CAF1 e os menores valores, no sistema CAF3. Em relação ao perfil do solo, valores mais altos de CBMS foram identificados na profundidade de 20-30 cm para os sistemas CAF1 e CAF3, e na profundidade de 10-20 cm no sistema CAF2.

Os resultados obtidos para a RBS foram superiores no sistema CAF3 em relação aos demais, para todas as profundidades analisadas, valores menores foram observados no sistema CAF2, porém igual estatisticamente ao sistema CAF1 na camada de 0-10 cm, que apresentou valores intermediários. Em todos os sistemas, a profundidade de 10-20 cm apresentou taxas mais elevadas de RBS.

Em relação ao qCO₂, os maiores valores foram observados no sistema CAF3 para todas as profundidades analisadas, os sistemas CAF1 e CAF2 apresentaram valores estatisticamente iguais, exceto na camada de 0-10 cm, em que o sistema CAF1 apresentou o menor valor.

O qMic foi menor no sistema CAF3 em todas as profundidades, diferindo estatisticamente dos demais. O sistema CAF1 apresentou valores mais elevados nas profundidades de 0-10 cm e 20-30 cm, e no sistema CAF2 o maior valor foi identificado na camada de 10-20 cm

Discussão

Diferente do esperado, os sistemas cafeeiros orgânicos (CAF2 e CAF3) apresentam valores inferiores de CBMS quando comparados ao sistema de cultivo convencional (CAF1), e para todos os sistemas, a camada mais superficial do solo apresentou valores mais reduzidos em comparação às camadas mais profundas, contrariando a tendência de o valor do CBMS diminuir com o aumento da profundidade (Dadalto *et al.*, 2015).

Embora os sistemas de cultivo orgânico apresentaram teores de CBMS inferiores ao cultivo convencional, o sistema CAF2 ainda apresentou teores maiores em relação ao CAF3, o que possivelmente pode relacionar-se ao fato de este sistema contar com o cultivo consorciado de banana à lavoura de café. O cultivo do café em consórcio com culturas arbóreas contribui para aumentar a quantidade de fitomassa depositada na superfície do solo, oferecendo proteção contra o impacto das gotas de chuva, evitando variações bruscas de umidade e temperatura, e favorecendo o estabelecimento de uma fauna e microfauna mais eficiente e diversa (Bastos, 2021).

Aquino *et al.* (1998) citados por Theodoro (2006), ao estudarem a biomassa microbiana do solo em transição de cafeicultura sob manejo convencional para orgânico, obtiveram resultados de CBMS variando de 38 a 168 mg C-CBM kg⁻¹ no manejo orgânico e de 51 a 122 mg C-CBM kg⁻¹ no manejo convencional, porém, em quatro épocas diferentes e na profundidade de 0-5 cm. Theodoro (2006), através de seu experimento em lavoura cafeeira em seu primeiro ano de processo de transição para o sistema orgânico, não observou efeito significativo para a biomassa microbiana, em função dos manejos orgânico e convencional.

O resultado inesperado para o CBMS pode estar relacionado ao fato da atividade microbiana depender de diversos fatores inerentes ao solo, como o teor de argila, disponibilidade de matéria orgânica, aeração, umidade, temperatura, estrutura, nutrientes, pH e presença de microrganismos parasitas e antagonistas no solo (Theodoro, 2006). Villatoro (2004) ressalta que possivelmente teores baixos de CBMS podem estar relacionados ao excesso de umidade do solo ao final da estação chuvosa, pois solos argilosos podem apresentar deficiências de arejamento e afetar negativamente a microbiota do solo.

As taxas de RBS e de qCO₂ foram superiores no sistema CAF3, embora os teores de CBMS foram baixos, indicando maior atividade decompositora da biomassa microbiana nesse sistema. Valores elevados de qCO₂ ao final da estação chuvosa podem indicar uma elevada taxa de atividade microbiana devido aos maiores teores de umidade, porém com menor eficiência de incorporação do carbono nos tecidos microbianos (Villatoro, 2004).

Nos sistemas CAF1 e CAF2 foram observados valores menores de qCO₂, que podem estar relacionados à maior eficiência da biomassa microbiana, resultando em menos CO₂ perdido para a atmosfera (Cunha *et al.*, 2011).

Em concordância com os resultados obtidos para a RBS e qCO₂, o qMic mostrou menor resultado no sistema CAF3, entretanto, de modo geral, os resultados foram baixos em todos os sistemas, para Jakelaitis *et al.* (2008), valores de qMic inferiores a 1% indicam que existe algum fator limitante à atividade microbiológica no solo.

A textura do solo é uma característica relevante na atividade microbiana, sistemas desenvolvidos sobre solo franco-arenoso e franco podem apresentar um comportamento inverso ao dos sistemas de solo argiloso quanto à atividade microbiana, e diversos são os fatores que influenciam o desenvolvimento e a composição da comunidade microbiana, afetando seu desenvolvimento, suas taxas de respiração e os valores de quociente metabólico (Villatoro, 2004).

Conclusão

É crescente a necessidade de sistemas de produção mais ambientalmente sustentáveis, o manejo orgânico do cafeeiro é um importante meio para a recuperação de solos degradados pelo manejo intensivo dessa cultura e para o uso mais sustentável desse recurso. Portanto, é essencial estudos sobre esses sistemas de cultivo, visando fornecer informações e atender às demandas de cafeicultores convencionais que estão migrando para o sistema de produção orgânico.

A quantidade de amostragem e o período de avaliação foi insuficiente para concluir que as diferenças foram significativas entre os sistemas de manejo orgânico e convencional do cafeeiro para as variáveis analisadas. É necessária uma avaliação mais completa, abrangendo épocas de seca e chuva, além da necessidade de avaliar associadamente outras propriedades físicas e químicas do solo.

Referências

- AMORIM, G. D.; OLIVEIRA, R. L. Registros de manejos na cafeicultura orgânica: um estudo de caso do grupo de produção de café orgânico de Divino/MG. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 24, p. e1900, 2022. Disponível em: <https://www.revista.dae.ufla.br/index.php/ora/article/view/1900>. Acesso em: 30 jul. 2024.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, Amsterdam, v. 23, n. 3, p. 393-395, 1993. Disponível em: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19931978946>. Acesso em: 9 ago. 2024.
- AZEVEDO, G. A. *et al.* Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional no norte maranhense. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, v. 5, n. 6, p. e565164-e565164, 2024. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/5164>. Acesso em: 27 jul. 2024.
- BARRA, G. M. J.; LADEIRA, M. B. Construção de um modelo de maturidade no mercado de cafés sustentáveis. *Revista De Gestão Social e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 89–107, 2018. Disponível em: <https://rgsa.openaccesspublications.org/rgsa/article/view/1306>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- BASTOS, T. R. S. **Indicadores microbiológicos de qualidade do solo em sistemas agroflorestais e monocultivo de café**. 2021. 54 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2021.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R.. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1381-1396, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pwzJtXHCSQbZzcGHYmbtZyC/?lang=pt>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Café, Brasília**, DF, v. 8, safra 2021, n. 1, primeiro levantamento, jan. 2021.
- CUNHA, E.Q. *et al.* Sistemas de preparo do solo e culturas de cobertura na produção orgânica de feijão e milho: II- atributos biológicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 603-611, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/QvtpPNM4Wb4ZrdBZDG8Mkhk/?lang=pt>. Acesso em: 8 ago. 2024.
- DADALTO, J. P. *et al.* Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 506-513, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/xpzdWWh9H5zQGr6tCt9vLw/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 8 ago. 2024.
- EFFGEN, T. A. M. *et al.* Atributos químicos do solo e produtividade de lavouras de cafeeiro conilon submetidas a diferentes tratos culturais no sul do Estado do Espírito Santo. **Bioscience Journal**, v.

24, n. 6, p. 7-18, 2008. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6995>. Acesso em: 29 jul.2024.

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/?lang=pt>. Acesso em: 1 ago. 2024.

HOFFMANN, R. B. *et al.* Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/738>. Acesso em: 29 jul. 2024.

JAKELAITIS, A. *et al.* Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/2530/253020441008.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2024.

SALES, E. F. Cafezais sombreados : experiências com o manejo do sistema no Estado do Espírito Santo / Eduardo Ferreira Sales ; Adriana Baldi. – Vitória, ES: **Incaper**, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/3969>. Acesso em: 29 jul. 2024

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.* Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/13360>. Acesso em: 28 jul. 2024.

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://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/23374>. Acesso em: 28 jul. 2024.

SIQUEIRA, M. G. *et al.* Respiração do solo em sistemas de manejo no sudoeste da Amazônia. In: **Steiner, F.; Zuffo, A. M. Elementos da natureza e propriedades do solo**. v. 6. p. 95-106, Atena, 2018. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/respiracao-do-solo-em-sistemas-de-manejo-no-sudoeste-da-amazonia>. Acesso em: 29 jul. 2024.

SOUSA, T. P. *et al.* Atividade microbiana como indicador de resposta ambiental em área de deposição de resíduo siderúrgico. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, 2022. Disponível em: <https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/2089>. Acesso em: 30 jul. 2024.

THEODORO, V. C. A.. **Transição do manejo de lavoura cafeeira do sistema convencional para o orgânico**. 2006. 160 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 2006.

VILLATORO, M. A. A.. **Matéria orgânica e indicadores biológicos da qualidade do solo na cultura do café sob manejo agroflorestal e orgânico**. 2004. 176 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2004.

XAVIER, F. A. S. *et al.* Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico e convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 247-258, 2006. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4JYLjWXPcLdwBkGkDNJJ7jC/?lang=pt>. Acesso em: 2 ago. 2024.

Agradecimentos

Ao IFES 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 15/2022.