

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM CAFEZAIS NOS
SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL**

João Paulo Leme Donadeli

Engenheiro Agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM CAFEZAIS NOS
SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL**

Discente: João Paulo Leme Donadeli

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Ciência do Solo)**

D674q

Donadeli, João Paulo leme

Qualidade física do solo em cafezais nos sistemas de produção orgânico e convencional / João Paulo leme Donadeli. -- Jaboticabal, 2022

34 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Carolina Fernandes

1. Agregação do solo. 2. Café. 3. Estrutura do solo. 4. Matéria orgânica. 5. Sistemas de produção. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

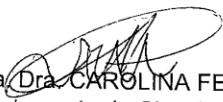
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

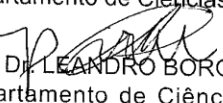
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM CAFEZAIS NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL

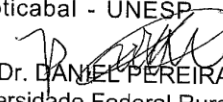
AUTOR: JOÃO PAULO LEME DONADELI

ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof.ª Dra. CAROLINA FERNANDES (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / FCAV UNESP Jaboticabal


Prof. Dr. LEANDRO BORGES LEMOS (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - UNESP


Prof. Dr. DANIEL PEREIRA PINHEIRO (Participação Virtual)
Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) / Capanema/PA

Jaboticabal, 25 de fevereiro de 2022

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

João Paulo Leme Donadeli – nascido no dia 25 de abril de 1996 na cidade de Franca, estado de São Paulo, cursou o ensino médio na Escola de Ensino Samaritano, em Franca, São Paulo no período de 2007 a 2013. Em fevereiro de 2014, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica pela Faculdade de Doutor Francisco Maeda “Fafram”, em Ituverava, São Paulo. Em julho de 2018, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Em agosto de 2019 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, onde foi bolsista CAPES. No dia 25 de fevereiro de 2022, submeteu-se à banca examinadora para a defesa da Dissertação para obtenção do título de Mestra em Agronomia.

O sucesso nasce do querer, da determinação e da persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.

José de Alencar

O que eu faço é uma gota no meio de um oceano, mas sem ela, o oceano seria menor.

Madre Teresa de Calcutá

DEDICO

Dedico este trabalho a todos os que me apoiaram até aqui, em especial aos meus avós, Elizena Felício Donadeli (*in memorian*) e Antônio Donadeli Sobrinho (*in memorian*) e aos meus pais, Edna Maria Leme Donadeli e Antônio Carlos Felício Donadeli, que me ensinaram desde cedo princípios e valores essenciais a minha formação pessoal e profissional, sempre me apoiando e incentivando nesta jornada.

A minha orientadora e professora Dra. Carolina Fernandes, pela oportunidade, paciência e disponibilidade para orientação, conselhos e amizade. Agradeço pelo exemplo de comprometimento, profissionalismo, organização e trabalho. Meu respeito, admiração e amizade. Muito obrigado por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me iluminar e por ter permitido que chegasse até aqui. E a Maria Santíssima, por toda proteção estando a minha frente intercedendo a seu filho Jesus Cristo.

A Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV/Unesp), pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

A minha querida namorada Mariana Amanda de Souza pelo incentivo e companheirismo durante esta etapa da minha vida.

Ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

A fazenda Bela Época pela parceria, em especial ao proprietário André Cunha, possibilitando a implantação desde trabalho no campo.

A Claudia, servidora do departamento de Ciências da Produção Agrícola – Setor Ciência do Solo, por todo ensinamento e ajuda nas atividades realizadas.

Ao meu amigo Anderson Prates Coelho, por todo conhecimento transmitido, e principalmente pelo auxílio nos dados estatístico do experimento.

Aos meus amigos Bruno M. Coimbra, Gladson Facas, Edmilson e Mariele M. H. Fernandes por todo conhecimento compartilhado, pela disponibilidade e ajuda durante toda essa caminhada.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 ORIGEM DO CAFÉ.....	3
2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CAFEICULTURA.....	3
2.3 CULTIVO DE CAFÉ	4
2.3.1 ESPÉCIES PROPAGADAS NO BRASIL.....	4
2.3.2 SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO NA CAFEICULTURA	5
2.4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5. CONCLUSÃO	23
6. REFERÊNCIAS.....	24

QUALIDADE FÍSICA DO SOLO EM CAFEZAIS NOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO ORGÂNICO E CONVENCIONAL

RESUMO – No Brasil, a cultura do cafeeiro ocupa uma posição de destaque por vários anos, com grande impacto social com a geração de empregos e diminuição do êxodo rural, além da participação na economia e em toda a história da sociedade brasileira. O sistema de produção de um cafezal refleti diretamente na estrutura do solo, e consequentemente, nas relações solo-planta. Assim, objetivou-se avaliar os atributos físicos do solo de dois sistemas distintos de produção de café, sendo eles, sistema de produção convencional e orgânico. O experimento foi conduzido na Fazenda Bela Época, localizada no município de Ribeirão Corrente, SP, a área estudada foi de 7,04 ha, constituindo-se de 4 talhões. As lavouras apresentavam na safra de 2020, 12 anos de idade e foram transplantadas no espaçamento de 3,80 m entre linhas e 0,70 m entre plantas, totalizando 3.760 plantas ha⁻¹. As coordenadas geográficas são 20°29'51" de latitude Sul e 47°32'52" de longitude Oeste, com altitude média de 880 m, declividade média de 7% e clima classificado pelo método de Koppen, como subtropical de inverno (Cwa). A coleta das amostras do solo, ocorreu em janeiro de 2020, devido as condições climáticas favoráveis para extração das amostras. Em cada área, foram amostrados um total de 40 pontos localizados na extremidade dos ramos plagiotrópicos das plantas, sendo duas camadas por ponto, 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. Os atributos do solo avaliados foram: massa dos agregados, índice de estabilidade de agregados, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração e carbono orgânico. O solo das quatro áreas caracterizou-se como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura franco argiloso arenosa (294 g kg⁻¹ de argila na camada de 0,00-0,20 m). Esses atributos foram submetidos à análise multivariada de fatores, onde se identificou dois processos, o primeiro interpretado como “estrutura do solo” e o segundo interpretado como “aeração do solo”. Os resultados encontrados nos fatores em cada um dos sistemas foram testadas pela análise de variância e as interações significativas entre sistema de produção, camada do solo e cultivares, foram analisadas pelo teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O maior teor fornecido de matéria orgânica ao sistema de produção orgânico proporcionou maior estrutura física do solo.

Palavras-Chave: agregação do solo, café, estrutura do solo, matéria orgânica

PHYSICAL QUALITY OF SOIL IN COFFEE PLANTATIONS IN SYSTEMS ORGANIC AND CONVENTIONAL PRODUCTION

ABSTRACT – In Brazil, the coffee culture occupies a prominent position for several years, with great social impact with the generation of jobs and reduction of the rural exodus, in addition to the participation in the economy and throughout the history of Brazilian society. The production system of a coffee plantation reflects directly on the soil structure, and consequently, on the soil-plant relationships. Thus, the objective was to evaluate the physical attributes of the soil of two distinct coffee production systems, namely, conventional and organic production systems. The experiment was carried out at Fazenda Bela Época, located in the municipality of Ribeirão Corrente, SP, the studied area was 7.04 ha, consisting of 4 plots. The crops were 12 years old in the 2020 harvest and were transplanted at a spacing of 3.80 m between rows and 0.70 m between plants, totaling 3,760 plants ha⁻¹. The geographic coordinates are 20°29'51" South latitude and 47°32'52" West longitude, with an average altitude of 880 m, average slope of 7% and climate classified by the Koppen method as subtropical winter (Cwa). The collection of soil samples took place in January 2020, due to favorable weather conditions for extracting the samples. In each area, a total of 40 points located at the extremity of the plagiotropic branches of the plants were sampled, with two layers per point, 0.00-0.10 m and 0.10-0.20 m deep. Soil attributes evaluated were: aggregate mass, aggregate stability index, macroporosity, microporosity, soil density and soil penetration resistance and organic carbon. The soil of the four areas was characterized as a typical eutroferric Red Latosol, with a sandy loamy loam texture (294 g kg⁻¹ of clay in the 0.00-0.20 m layer). These attributes were subjected to multivariate analysis of factors, where two processes were identified, the first interpreted as “soil structure” and the second interpreted as “soil aeration”. The results found in the factors in each of the systems were tested by analysis of variance and the significant interactions between production system, soil layer and cultivars were analyzed by Tukey's average test at 5% probability. The higher content of organic matter supplied to the organic production system provided better physical structure of the soil.

Keywords: soil aggregation, coffee, soil structure, organic matter

1. INTRODUÇÃO

O café se destaca como a principal cultura perene cultivada no Brasil, seja em termos históricos, econômicos, até mesmo culturais. Atualmente a área cultivada com café em produção no país é de aproximadamente 1,82 milhões de ha, com produção estimada para safra 2021/2022 de 54,34 a 57,70 milhões de sacas 60 kg de café beneficiado, sendo 33,36 milhões de sacas de café arábica, representando mais de 62% da estimativa da produção total (arábica e conilon) com uma produtividade estimada de 25,4 sacas por hectare, tratando de um ano de bienalidade positiva (CONAB, 2022).

O setor cafeeiro é o segundo maior na geração e circulação de dinheiro no mundo, perdendo apenas para o setor petrolífero. Portanto, a cafeicultura é uma importante fonte de renda para a economia, gera riquezas, inúmeros empregos diretos e indiretos, fortalece a agricultura nacional, coloca o Brasil no posto de maior produtor mundial, se mantendo neste posto por mais de 100 anos, e terceiro maior mercado consumidor (USDA, 2018), sendo responsável por 6% do Valor Bruto da Produção (VBP) brasileiro (Brasil, 2018) destacando-se historicamente no desenvolvimento do país (Moreira et al. , 2004).

Minas Gerais é o maior produtor de café arábica no país, seguido do estado de São Paulo. No Estado de São Paulo, destaque para região nordeste, conhecida como Alta Mogiana, onde o cultivo de café está presente a mais de 190 anos. Atualmente expressa uma área de aproximadamente 214 mil ha, que produzem mais de quatro milhões de sacas de café beneficiado (CONAB, 2019).

Atualmente a cultura do café conta com operações mecanizadas desde sua implantação até a colheita, proporcionando maior eficiência na realização dos tratamentos culturais, porém em contrapartida o aumento da mecanização promove aumento da compactação nas áreas cafeeiras.

Com a intensificação do uso de máquinas agrícolas e o manejo inadequado do solo, observa-se a degradação da estrutura dos solos agricultáveis (Assis e Lanças, 2010). Portanto, essa degradação proporciona algumas ações negativas para o solo, dentre elas a compactação do solo, que compromete a infiltração da água e a aeração e dificulta o desenvolvimento radicular da cultura, podendo ocasionar maior escoamento superficial e arraste de partículas do solo, ocasionando erosões. Portanto, é fundamental avaliar estratégias que permitam o acúmulo de matéria orgânica no solo, especialmente em áreas de clima tropical, com verões chuvosos e invernos secos, condições que favorece a decomposição dos resíduos vegetais causando baixos teores de matéria orgânica (Raphael et al. , 2016; Bolliger et al. , 2006).

Estudos vem mostrando que manejo adequado da matéria orgânica no solo está sendo considerado uma importante ferramenta para construção da estrutura física, atributos químicos e biológicos do solo (Macedo, 2009). Portanto, torna-se necessário tal estudo a fim de evidenciar melhores manejos sustentáveis da matéria orgânica, possibilitando assim, a manutenção da capacidade produtiva do solo em longo prazo.

A cafeeicultura se trata de uma cultura de alto custo, contando com a utilização de insumos agrícolas, práticas culturais, mão de obra, entre outros fatores que tornam a atividade onerosa. Dessa forma, busca-se adotar novas técnicas de manejo a fim de aumentar o retorno econômico para o agricultor, com sustentabilidade, visando a preservação da estrutura do solo.

Neste contexto, testou-se a hipótese de que o sistema de produção adotado ocasiona ações diretas e indiretas nos atributos físicos do solo. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar dois sistemas distintos de produção de café, sistema de produção convencional e orgânico, a fim de avaliar a qualidade física do solo proporcionada por estes manejos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ORIGEM DO CAFÉ

A origem do café vem do continente africano, mais precisamente dos bosques da Etiópia, sendo a Arábia Saudita responsável por sua dispersão (ABIC, 2013). A partir de 1615, foi introduzido o consumo de café no Continente Europeu, levado por viajantes em suas frequentes viagens ao oriente. Os europeus buscavam uma maneira de desenvolver o plantio desta exótica planta, porém deparavam com problemas ocasionados pelos fatores climáticos não propícios ao cultivo.

O café chegou ao Brasil, através da região Norte, em 1727, no estado do Pará. O produto foi trazido da Guiana Francesa pelo então Sargento-Mor Francisco de Melo Palheta, a pedido do governador do Maranhão e Grão Pará. Devido às condições climáticas favoráveis, o cultivo se espalhou rapidamente pelo país, inicialmente com sua produção mais voltada para o mercado doméstico. Na trajetória do plantio pelo Brasil, a cultura do café foi instalada em diversos Estados, como Maranhão, Bahia, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Minas Gerais, e passou de posição relativamente secundária para a de produto agrícola de grande importância para a economia do país (Cafeicultura, 2011).

Somente em 1825, as exportações atingiram volume mais significativo, com o crescente mercado consumidor dos Estados Unidos e da Europa. Por quase um século, o café foi a principal fonte econômica brasileira, acelerando o desenvolvimento do Brasil (ABIC, 2013).

A queda da bolsa de Nova Iorque em 1929 provocou a pior crise enfrentada pelo setor cafeeiro brasileiro, em vista à brusca queda do preço, milhões de sacas de café estocadas foram queimadas e milhões de pés de café foram arrancados, em busca de estabilizar o valor devido ao excesso de produção. Após a recuperação econômica mundial, o café voltou a sua importante posição no setor econômico brasileiro (Cafeicultura, 2011).

2.2 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DA CAFEICULTURA

O Brasil é o maior produtor e exportador de café e o segundo maior consumidor do produto (International Coffee Organization - IOC, 2020), correspondendo a aproximadamente 30% da produção mundial. A atividade cafeeira se destaca por ser responsável por uma das mais importantes cadeias agroindustriais do país, sendo

relevante fonte de renda para determinadas regiões, contribuindo na criação de postos de trabalho no mercado nacional e internacional (Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2017).

De acordo com o levantamento realizado pela Companhia Nacional de Abastecimento – (CONAB, 2022), há uma previsão de produção entre 54,34 e 57,70 milhões de sacas de café beneficiado na safra 2022, somando-se as espécies arábica e conilon. Comparando com a safra de 2021, estima-se um aumento de 16,8%, resultado explicado devido à bienalidade positiva nos cafezais, um fenômeno natural que ocorre com a cultura, o que leva a uma maior produtividade em um ano e menor no seguinte.

O café arábica, espécie mais cultivada no Brasil, deve alcançar de 43,20 a 45,98 milhões de sacas, um aumento de 26% a 34,1%, respectivamente, em comparação à safra anterior. Enquanto a produção de conilon está estimada entre 13,95 e 16,04 milhões de sacas, apresentando uma variação entre redução de 7,1% ou incremento de 6,8%, respectivamente, em relação a safra 2019. Todavia, apesar de uma possível redução na produção de café conilon, o saldo total da produção do Brasil segue positiva, mantendo a posição de principal produtor mundial e maior exportador da cultura (CONAB, 2020).

O polo cafeeiro brasileiro se limita nos estados: Rondônia, Espírito Santo e Bahia, ambos se destacam no cultivo *Coffea canephora*. Já os estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná têm a predominância na produção de *Coffea arabica*. Minas Gerais evidencia-se como o maior produtor, com 55 % da produção nacional (EMBRAPA, 2020)

Ainda segundo os estudos, a produção de café arábica do estado de Minas Gerais é dividida nas seguintes regiões: Zona da Mata, com 34,0% da produção estadual; Cerrado, com 18,3% da produção estadual; Sul e Centro-Oeste, com 47,7% da produção estadual. Conforme observado, a região do Sul de Minas é a que possui maior participação na produção do Estado. Já no estado de São Paulo a região com maior relevância para a produção cafeeira, está localizada ao Nordeste do estado, sendo popularmente conhecida como Alta Mogiana. A região apresenta boas características, como altitude e clima adequado, semelhantes ao seu estado vizinho.

Teixeira e Milhomem (2001) relatam a importância do café, estando entre as bebidas mais populares do mundo, presente entre as commodities de maior importância global devido ao alto valor financeiro movimentado em sua comercialização.

2.3 CULTIVO DE CAFÉ

2.3.1 ESPÉCIES PROPAGADAS NO BRASIL

Atualmente são reconhecidas mais de 100 espécies de café, no entanto, apenas

quatro são de importância econômica para o mercado mundial, sendo *Coffea liberica*, *Coffea dewevrei*, *Coffea arábica* e *Coffea canephora*, sendo as duas últimas as de maior propagação (Embrapa, 2004).

O cafeeiro da espécie *C. canephora*, apresenta características rústicas, com maior tolerância às condições climáticas e aos ataques de patógeno. A bebida proveniente desta espécie apresenta menor acidez e quantidade elevada de cafeína, sendo sua qualidade considerada inferior ao comparada com *C. arábica*, com aroma e sabores mais fortes, agregando assim maior valor (Otero e Milas, 2001). A espécie de café arábica é subdividida de acordo com a altura da planta, dentre as cultivares de porte alto mais utilizadas atualmente tem-se: Mundo Novo e Bourbon. Em relação às cultivares de porte baixo, destacam-se: Catuaí, Caturra e Obatã, que vêm dominando a cafeicultura brasileira, devido ao avanço da mecanização no setor (Carvalho et al. , 2007).

No cultivo do café ocorre uma sucessão de fases vegetativas e reprodutivas, uma vez que a maioria das plantas emite flores na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (Camargo, 1985). Camargo e Camargo (2001) apresentaram um modelo da sequência dos estádios fenológicos válidos para as cultivares Catuaí e Mundo Novo. Levando como princípio as condições climáticas tropicais do Brasil, foi subdividido em seis fases bem distintas, sendo elas; 1) vegetação e formação das gemas foliares, 2) indução e maturação das gemas florais, 3) florada, chumbinho e expansão dos frutos, 4) granação dos frutos, 5) maturação dos frutos e 6) repouso e senescência dos ramos terciários e quaternários.

São vários fatores que influenciam no crescimento, desenvolvimento e produção do cafezal, com destaque ao clima (Carvalho et al. , 2004), compactação do solo (Pais et al. , 2011) escolha das cultivares (Morello, 2017), pragas e doenças (Santos et al. , 2008); podas (Cunha et al. , 1999), adoção do sistema de produção de irrigação (Gomes et al. , 2007; Silva et al. , 2008), altitude (Sediyama et al. , 2001), entre inúmeros fatores.

2.3.2 SISTEMA DE PRODUÇÃO ORGÂNICO NA CAFEICULTURA

A agricultura orgânica é o segmento que mais cresce no setor de alimento nos últimos anos. De acordo com levantamentos da ONU (2003), a procura por produtos mais saudáveis cresce 20% ao ano.

O mercado de café acompanha esta tendência, visto que o consumo de cafés especiais, como o gourmet ou o orgânico, vem aumentando significativamente, tanto em países ricos como também em países com menor poder aquisitivo. Os preços destes produtos no mercado nacional e internacional atraem a atenção dos produtores, como

consequência de suas características de produção, qualidade e melhor oferta (ACOB, 2016).

Dentre as culturas orgânicas perenes, o café encontra-se em segundo lugar no ranking mundial, o que representa uma área superior a 300.000 ha. O seu mercado é dominado pelo México, cultivando aproximadamente 150.000 ha, ou seja, 50% da produção mundial. Na sequência destaca-se o Peru, com 30% da produção de café no sistema orgânico, seguido por Indonésia, Uganda, Nicarágua, Colômbia, Guatemala e Brasil, com o último ocupando a oitava posição neste seguimento (Yussefi e Willer, 2007).

De acordo com Viglio (1996), Minas Gerais foi o primeiro estado brasileiro a adotar a produção orgânica, devido à crescente rejeição de café exportado para Europa, principalmente devido ao uso indiscriminado de defensivos agrícolas. Devido ao mercado promissor, constituído por consumidores exigentes em relações ligadas à saúde, ao meio ambiente e de caráter social, o número de produtores com interesse na implantação deste sistema vem elevando gradativamente (Burg e Mayer, 1998).

O propósito fundamental da cafeicultura orgânica é proporcionar alternativas de produção próximas da sustentabilidade com intuito de minimizar o impacto ambiental. Este sistema baseia, principalmente, na reciclagem de matéria orgânica e nas técnicas de preservação do meio ambiente, fazendo uso consciente dos recursos naturais, com objetivo de garantir o equilíbrio biológico natural (López e Mendoza, 1999).

Em função dos aspectos agronômicos, estudos realizados por Theodoro (2001), revelaram produções satisfatórias, principalmente na região Sul de Minas Gerais, interior de São Paulo e norte do Paraná, em lavouras de café de cultivo orgânico.

O solo é uma entidade viva, que abriga milhares de seres diversos, como minhocas, besouros, formigas, etc., e microrganismos que participam da ciclagem de nutrientes, os quais promovem a formação e a manutenção da macro e microporosidade do solo e de sua estrutura, responsáveis pela aeração, drenagem e armazenamento de água (Santos et al. , 2002).

Na implantação de uma lavoura de café, preconiza-se obter o menor número possível de replantio de mudas e o rápido desenvolvimento das plantas, visto ao alto custo de implantação. Cunha e Alvarenga (2003) observaram o menor replantio de mudas e o melhor desenvolvimento das plantas (maior altura, diâmetro de copa e vigor), na formação de cafezal de cultivo orgânico em relação ao convencional. De acordo com os autores, esses resultados estão associados à maior umidade do solo no cultivo orgânico devido ao alto teor de matéria orgânica presente no solo.

Cunha (1995) concluiu que o manejo convencional da cultura do café em Viçosa, MG, tem trazido consequências negativas às propriedades físicas do solo, ressaltando o aumento da compactação do solo e da erosão. Em contrapartida, lavouras de cultivo

orgânico o solo apresenta boas condições físicas do solo, suprindo as plantas de acordo com suas necessidades. Isto se explica devido ao maior teor de matéria orgânica, nutrientes e atividade biológica, as quais podem representar os fatores chave para o equilíbrio do agroecossistema e, conseqüentemente, para a saúde das plantas (Ricci et al. , 2005).

A matéria orgânica é considerada uma das principais fontes de energia e nutrientes, tendo um papel fundamental na avaliação da qualidade do solo (Mielniczuk et al. , 2003). Dentre outros benefícios, vale ressaltar a melhoria das condições físicas do solo e o crescimento microbiano (Ferreira et al. , 2007), fatores que ocasionam em maior ciclagem de nutrientes e aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo (Paes et al. , 1996).

Dentre os atributos físicos do solo, os agregados são os mais afetados pela matéria orgânica, conseqüentemente influenciando a densidade, porosidade, aeração e capacidade de infiltração de água (Camargo e Santos, 1999; Guerrini e Trigueiro, 2004).

A presença da matéria orgânica no solo é considerada um dos principais pilares da sustentabilidade, devido suas inúmeras influências benéficas nas propriedades do solo. Em contrapartida, a falta da matéria orgânica no solo, está diretamente relacionada à degradação, refletindo na qualidade do solo (Gazolla et al. ,2015).

UNGER (1978) observou que, quanto maior o teor de resíduos orgânicos presente no solo menor a evaporação e a temperatura média da camada superficial e maior a sua diferença em relação à temperatura do ar. Houghton et al. (1991) observaram um declínio no estoque de matéria orgânica após a conversão de florestas nativas em sistemas agrícolas. Essa redução deve-se ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização e oxidação de carbono orgânico do solo, comparativamente à áreas de matas nativas.

O manejo das plantas daninhas na entre linha do cafezal é uma prática que vem evoluindo de forma mais racional, realizando o controle somente daquelas que proporcionam concorrência direta com os cafeeiros, utilizando a presença das mesmas nas ruas da lavoura como fonte alternativa de matéria orgânica, a fim de favorecer a qualidade química, física e biológica do solo. O acúmulo de biomassa na superfície do solo favorece e diversifica a micro fauna do solo; altera substancialmente atributos, tais como estrutura do solo, diminui as perdas causadas por erosão e melhora o nível de fertilidade do solo, contribuindo para a cafeicultura mais sustentável (Alcântara, 1998).

Vários fatores influenciam na velocidade da decomposição do material vegetal depositado sobre o solo, com destaque para temperatura, oxigênio, umidade, pH, nutrientes e a relação C/N dos resíduos (Roman e Velloso, 1993). As gramíneas apresentam uma decomposição mais lenta quando comparadas às leguminosas, fator esse explicado pela alta relação C/N das gramíneas. Em estudos realizados por Rocha

et al. , (2014), os autores observaram aumento do teor de microporosidade nos tratamentos que foram implantados braquiárias nas entre linhas dos cafezais em comparação aos tratamentos sem braquiárias.

Pelá (2002), avaliando o desenvolvimento de cinco plantas de cobertura, sendo braquiária, milheto, crotalária juncea, mucuna preta e guandu, observou que o milheto apresentou as maiores médias para produção de matéria seca. Enquanto guandu e braquiária apresentaram as menores produções de matéria seca.

A taxa de mineralização dos resíduos orgânicos, a mobilização e a liberação de N no solo estão diretamente relacionadas com a relação C/N, sendo a decomposição é inversamente proporcional ao teor de lignina e a relação C/N do resíduo vegetal (Sá, 1993). As gramíneas devido a sua alta relação C/N permanecerem mais tempo no solo, consequentemente produzem maiores porcentagens de MO quando comparadas às leguminosas (Silveira et al. ,2020).

De acordo com Calegari et al. (1993), o cultivo de plantas na entre linha da lavoura cafeeira, de forma consorciada (adubos verdes), melhora a estrutura do solo, agindo sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas, contribuindo também para o manejo sustentável, com a diminuição do uso de herbicidas. Na agricultura, as plantas mais utilizadas como adubo verde são as leguminosas, devido à capacidade de fixar nitrogênio, porém na cafeicultura, observou-se predominância de gramíneas perenes do gênero *Urochloa* (Serafim, 2011). O uso de braquiária consorciada ao cafeeiro é uma alternativa de realizar-se uma agricultura mais sustentável, proporcionando reciclagens de nutrientes que poderão ser utilizados nos próximos anos de cultivo (de Araújo Gonçalves et al. , 2019).

Alcântara e Ferreira (2000), estudando vários métodos de controle de plantas daninhas em lavoura cafeeira e seus efeitos na qualidade do solo, concluíram após 18 anos de pesquisa, que o tratamento sem retirada do capim espontâneo proporcionou o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo. Isso acarretou a diminuição de 17% da densidade do solo e aumento de 20% da porosidade e a estabilidade dos agregados. A cobertura morta proporciona a redução do impacto da gota de chuva no solo e o sombreamento do solo ocorrendo a redução da temperatura. (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

2.4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Blanco-Canqui e Ruis (2018), estudando as propriedades físicas do solo sob sistema de plantio direto, relataram a importância do acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, devido às mudanças que este material orgânico presente sob o solo

proporciona na condição física, química e biológica. Os autores observaram a redução da densidade do solo em 4 a 13%, consequentemente o aumento da estabilidade dos agregados, e a porosidade do solo na camada de 0,00 – 0,15 m de profundidade, proporcionando a redução da suscetibilidade do solo à compactação.

Avaliar a qualidade do solo, identificar as principais propriedades do solo, a formação e a estabilidade dos agregados e a porosidade foram processos caracterizados por Doran e Parkin (1994), como atributos alterados pelos diversos efeitos do clima e do manejo do solo e foram considerados indicadores da qualidade física do solo (Stefanoski et al. , 2013) por meio de mensuração diretas de campo ou laboratorial.

O processo de agregação do solo foi estudado discriminadamente por Emerson (1959), que afirma que os microagregados estão relacionados com as argilas e matéria orgânica presente no solo. Edwards e Bremner (1967) também analisaram a formação dos microagregados, sendo responsável por reações de partículas de argila, moléculas orgânicas e cátions polivalentes, os quais desenvolveram modelos que auxiliaram atualmente na ciência do processo de formação.

Tisdall e Oades (1982) posteriormente relataram a formação dos agregados e as suas interações com a matéria orgânica. Dentre estes estudos os autores evidenciam o conceito de hierarquia dos agregados, as partículas livres presente no solo e agregados menores que 20 μm são unidas por agentes de ligação forte, como exemplo, a matéria orgânica humificada, complexos de cátions de metal polivalentes óxidos e aluminossilicatos altamente desordenados, proporcionando a formação de microagregados (20-250 μm). Os microagregados estáveis se unem com outros agregados de menor ou mesmo tamanho por meio de ligação de baixa atração, sendo estas, as raízes das plantas, agentes transitórios, hifas de fungos e os polissacarídeos microbianos, originando os macroagregados (> 250 μm). Nesse processo de hierarquia, os autores observaram que os macroagregados apresentam maior influência do manejo do solo em relação ao microagregados, visto que estes demonstram maior estabilidade.

Com isto, nota-se que os agregados fazem parte da estruturação do solo, portanto sendo fundamentais para conservação da porosidade do solo, da aeração, retenção de água e infiltração, proporcionado melhor enriquecimento da microbiota do solo, diminuição dos processos erosivos e melhor desenvolvimento das plantas (Oades, 1984; Dexter, 1988).

Araújo et al. (2016) avaliaram as propriedades físicas do solo após seis anos da aplicação de cinco doses (0, 2,5, 5, 10 e 20 Mg ha^{-1}) de lodo de cortume compostado em um Neossolo Flúvico. Os autores observaram aumento linear dos valores de carbono orgânico, diâmetro médio poderado e do índice de estabilidade de agregados com o aumento das doses aplicadas ao solo. Em contra partida, ocorreu a

diminuição linear dos valores de densidade do solo.

Analisando a alteração da agregação do solo e o teor de carbono orgânico total em solo cultivado com café sob quatro diferentes sistemas de manejo de plantas daninhas (herbicida, em condições de sequeiro e irrigado, e grade niveladora, em condições de sequeiro e irrigado), Bicalho (2011) observou maior teor de carbono orgânico e de diâmetro médio ponderado nas áreas com aplicação de herbicida, fator explicado devido ao não removimento do solo que ocorre neste manejo, proporcionando assim a preservação da estrutura do solo.

Oliveira et al. (2016), avaliando os atributos físicos do Argissolo Vermelho em três áreas sob cultivo de café com manejos distintos (cultura do café em pleno sombreamento consorciada com araucária, cultura do café em sombreamento médio consorciada com araucária e cultura do café em pleno sol sem consorcio), observaram que o sistema de sombreamento médio apresentou produtividade equivalente ao sistema a pleno sol, e melhores condições físicas do solo. Os autores relataram aumento no valor de porosidade e diminuição na densidade do solo, devido ao alto teor de matéria orgânica presente.

Thomazini et al. (2013), em estudos sobre sistemas agroflorestais sob consórcios de café em Latossolo Vermelho-Amarelo, verificaram que os agregados foram 47% menos estáveis nas áreas que realizaram capina manual em comparação as que utilizaram roçagem, devido à exposição do solo as ações climáticas, proporcionando o aumento do potencial de degradação do solo ao decorrer dos anos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em propriedade agrícola, localizada na região da Alta Mogiana, município de Ribeirão Corrente, interior do Estado de São Paulo, próxima às coordenadas geodésicas 20°29'51" de latitude Sul e 47°32'52" de longitude Oeste e com altitude média de 880 m. O clima é classificado pelo método de Koppen, como subtropical de inverno (Cwa).

A propriedade agrícola, denominada Fazenda Bela Época, está no setor cafeeiro há mais de 80 anos, possui aproximadamente 384 ha de café plantados em sistemas de produção orgânica e convencional, com declividade média de 7%. O processo de produção da propriedade é executado cumprindo normas socioambientais, auditadas por certificadoras como UTZ, RainForest Alliance, Orgânico Brasil, JAS Organic, USDA Organic e Organico Europa.

A área avaliada foi de 7,04 ha, constituindo-se de 4 talhões, de mesmo tamanho, sendo dois sistema de produção orgânico (SPO) com o cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 e cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 e o dois sistema de produção convencional (SPC) com o cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 e cultivar Catuaí Amarelo IAC 62 (Figura1).

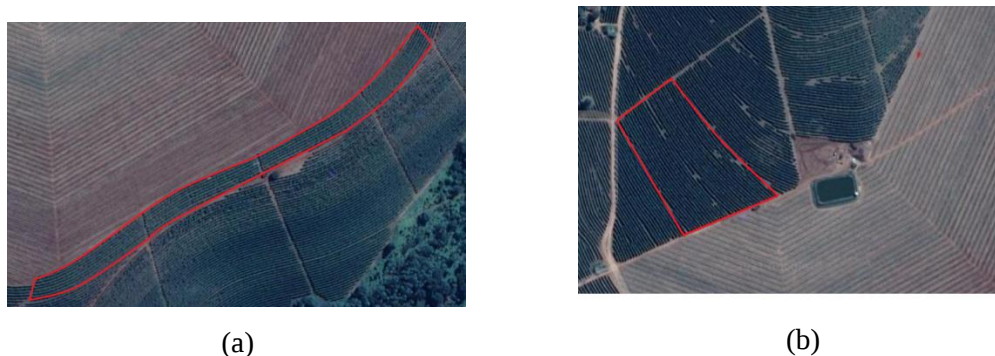


Figura 1. Croqui da área experimental: a) Sistema Orgânico b) Sistema Convencional.

As lavouras apresentavam na safra de 2020, 12 anos de idade, do cultivar Catuaí 99 e Catuaí 62, os quais foram transplantadas no espaçamento de 3,80 m entre linhas e 0,70 m entre plantas, totalizando 3.760 plantas ha⁻¹.

Nas áreas sob sistema de produção convencional foram realizadas os seguintes tratos culturais até o momento da coleta das amostras: aplicação de herbicida em jato dirigido sob a projeção da saia a base de glifosato (p.c. Zapp QI 620 na dosagem de 3,0 l de p.c. ha⁻¹), flumioxazina (p.c. Flumyzin 500 na dosagem de 0,1 l de p.c. ha⁻¹) e sulfentrazona; diurom (p.c. Stone na dosagem de 2,0 l de p.c. ha⁻¹); foram realizadas duas adubações minerais de 420 kg ha⁻¹ da fórmula 20-00-20 com intervalo de 45 dias;

ocorreu uma aplicação foliar de fungicida a base de azoxistrobina e difeconazol (p.c. Priori top na dosagem de 0,4 l de p.c. ha⁻¹), inseticida a base de profenofós e lufenurom (p.c. Curyom 550 EC na dosagem de 0,8 l de p.c. ha⁻¹) e adubo mineral foliar 4 kg ha⁻¹ MAP purificado da fórmula 12-61-00; foi realizado uma roçada das plantas daninhas presente nas entre linhas do cafezal.

Nas áreas sob sistema de produção orgânica foram realizadas os seguintes tratos culturais até o momento da coleta das amostras: uma capina manual das plantas daninhas presente sob a projeção da copa; duas adubações orgânicas de 4 t ha⁻¹ do composto produzido na própria propriedade, composto este que apresentava relação C/N 18:1; duas roçadas das plantas daninhas presente nas entre linhas do cafezal utilizando uma roçadeira ecológica, a qual o material vegetal roçado é depositado sobre a superfície do solo abaixo da projeção da copa das plantas, afim de maior fornecimento de matéria orgânica para a cultura.

O solo das duas áreas avaliadas foi caracterizado como Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura franco argiloso arenosa, (LVef), cuja composição granulométrica foi determinada na camada de 0,00-0,20 m de acordo com Claessen et al. (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Teores médios de argila, areia e silte do Latossolo Vermelho eutroférico sob sistema de produção orgânico (SPO), sistema de produção convencional (SPC).

Camada	SPO			SPC		
	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte
(m)	----- g kg ⁻¹ -----					
0,00 – 0,10	301	641	58	287	652	61
0,10 – 0,20	299	661	40	290	660	50

A amostragem do solo nas duas áreas ocorreu em janeiro de 2020, devido as condições climáticas favoráveis para a coleta das amostras e o estágio de desenvolvimento da cultura se encontrava em enchimento de grãos. Em cada área, foram amostrados 10 pontos, localizados na extremidade da projeção dos ramos plagiotrópicos das plantas, em duas camadas de solo, 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m de profundidade. Portanto, foram coletadas 40 amostras deformadas e 40 amostradas indeformadas de solo.

As amostras deformadas foram coletadas com auxílio de enxadão e as amostras indeformadas foram coletadas com o auxílio de amostrador tipo Uhland, em anéis volumétricos, com dimensões de 5 cm de altura por 5 cm de diâmetro.

Por meio das amostras deformadas, uma fração ainda úmida, foi passada em peneiras com abertura de malha de 6 e 4 mm. Os agregados presente na peneira de 4 mm, foram secos ao ar e submetidos à análise de agregação do solo, calculando-se as

seguintes classes de agregados: massa de agregado com diâmetro $> 2\text{mm}$ (MA >2), massa de agregado com diâmetro entre 2 e 1mm (MA 2-1), massa de agregado com diâmetro entre 1 e 0,5mm (MA 0,5-1), massa de agregado com diâmetro $< 0,5\text{mm}$ (MA $<0,5$) (Nimmo e Perkins, 2002). A outra fração da amostra foi seca ao ar e em seguida passada em peneiras com abertura de malha de 2 e 1 mm, e esses agregados obtidos na peneira de 1 mm foram submetidos à análise do índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) (Nimmo e Perkins, 2002). Para realizar as análises de granulometria do solo (Claessen et al. , 1997) e carbono orgânico do solo (CO) (Cambardella e Elliott, 1992) a terra fina seca ao ar, foi passada em peneira com abertura de malha de 2 mm, para em seguida ser submetida à análise.

Após a coleta das amostras indeformadas, no laboratório foram determinadas a microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), densidade do solo (Ds), de acordo com Claessen et al.(1997) e resistência do solo à penetração (RP), de acordo com Tormena et al. (1998).

Para a classificação do tamanho dos poros, utilizou-se a relação entre a tensão da água retida em tubos capilares de 0, 30, 60 e 100 cm de coluna de água e o diâmetro dos poros, determinando quatro classes de poros: macro 1 ($d \geq 0,1\text{ mm}$), macro 2 ($0,05 \leq d < 0,1\text{ mm}$), micro 1 ($0,03 \leq d < 0,05\text{ mm}$) e micro 2 ($d < 0,03\text{ mm}$) por meio da seguinte equação (1) (Brady e Weil, 2013).

$$d = \frac{0,3}{h} \quad (1)$$

Em que,

d: Diâmetro dos poros (cm)

h: Altura da coluna de água (cm de coluna de água)

Para obtenção da densidade (Ds) as amostras foram posteriormente levadas à estufa, por 24 horas, na temperatura de 105° Celsius, até obterem massa constante, permitindo assim todas as informações necessárias para realização da equação (2).

$$Ds = \frac{Ms}{Vt} \quad (2)$$

Em que,

Ds - densidade do solo (g/cm^3);

Ms - massa de solo seco em estufa (g);

Vt - volume do cilindro (cm^3).

A resistência do solo a penetração foi determinada na amostra após a aplicação da tensão de 100 hPa, de acordo com Tormena et al. (1998), por meio de um penetrômetro eletrônico estático de laboratório. O aparelho possui taxa de penetração constante, é composto por sistemas eletroeletrônicos complexos, com atuador linear elétrico acoplado a motor de passo; sistema para controle de velocidade e deslocamento; célula de carga, para registro da força; e computador para decodificação e processamento dos dados.

Por meio dos dados obtidos inicialmente, aplicou-se a estatística descritiva para a caracterização das áreas agrícolas, a fim de determinar a média e o erro padrão da média para cada variável, em cada camada de solo nas duas áreas avaliadas.

Posteriormente, devido à estrutura de dependência contida no conjunto original de variáveis, os dados foram submetidos à análise exploratória multivariada de fatores, que possibilitou projetar toda informação contida nas variáveis originais em novas variáveis latentes, denominadas de fatores.

Posteriormente foi realizada a análise de fatores utilizando as variáveis relacionadas aos atributos físicos do solo, sendo: RP, Ds, Macro 1, Macro 2, Micro 1, Micro 2, CO, MA>2, MA 2-1, MA 1-0,5, MA<0,5 e IEA determinadas nas duas áreas e nas camadas 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, totalizando 80 amostras. Como em análise exploratória multivariada de fatores não podem ser utilizadas variáveis cujos resultados são provenientes de outras variáveis presentes no conjunto de dados, a porosidade total não foi incluída na análise.

A análise de fatores foi realizada após a padronização dos dados, gerando média nula e variância unitária (Hair Júnior et al., 2009). A adequação desta análise foi verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retida nos fatores, construídos com autovalores superiores a 1 (Kaiser, 1958), pois os autovalores inferiores a 1 não agregam informações relevantes. Os autovalores foram extraídos da matriz de covariância das variáveis originais. Foram consideradas como relevantes dentro de cada fator as variáveis com carga fatorial acima de 0,600.

A partir da análise de fatores, utilizaram-se os escores gerados para cada amostra em cada fator para a realização do teste de médias para cada fator (Milstein et al., 2005). No teste das médias, foram realizadas uma análise de variância para cada fator, comparando os sistemas de produção de café (orgânico e convencional) e as camadas avaliadas. Essas análises foram realizadas seguindo o modelo linear generalizado (GLM) a 5% de probabilidade e, quando necessário, aplicou-se o teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram processadas no software Statistica v. 7.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a estatística descritiva são apresentados os valores dos atributos do solo avaliados nas camadas de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m de profundidade nas áreas sob sistema de produção convencional com cultivar catuaí 99 (SPC99 – Tabela 2), sistema de produção convencional com cultivar catuaí 62 (SPC62 – Tabela3), sistema de produção orgânico com cultivar catuaí 99 (SPO99 – Tabela 4) e sistema de produção orgânico com cultivar catuaí 62 (SPO62 – Tabela 5).

Tabela 2. Média e erro padrão da média dos atributos sob sistema de produção convencional e cultivar catuaí 99.

Atributos do solo	0,00-0,10	0,10-0,20
MA com diâmetro > 2mm (g g ⁻¹ solo)	0,464 ± 0,073	0,337 ± 0,036
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,091 ± 0,010	0,122 ± 0,006
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,172 ± 0,024	0,230 ± 0,012
MA com diâmetro < 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,273 ± 0,043	0,311 ± 0,025
Índice de estabilidade de agregados (%)	85,413 ± 2,644	82,868 ± 2,34
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	14,008 ± 1,39	12,922 ± 0,871
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,041 ± 0,004	0,034 ± 0,003
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,050 ± 0,009	0,044 ± 0,009
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,034 ± 0,003	0,037 ± 0,0015
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,279 ± 0,005	0,268 ± 0,004
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,588 ± 0,044	1,643 ± 0,023
Resistência à penetração (MPa)	3,181 ± 0,378	2,769 ± 0,216

MA: massa de agregados; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

Tabela 3. Média e erro padrão da média dos atributos sob sistema de produção convencional e cultivar catuaí 62

Atributos do solo	0,00-0,10	0,10-0,20
MA com diâmetro > 2mm (g g ⁻¹ solo)	0,334 ± 0,055	0,229 ± 0,043
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,136 ± 0,011	0,122 ± 0,008
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,225 ± 0,021	0,224 ± 0,012
MA com diâmetro < 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,255 ± 0,045	0,417 ± 0,038
Índice de estabilidade de agregados (%)	82,728 ± 3,175	79,418 ± 1,768
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	13,881 ± 0,105	11,312 ± 0,3695
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,036 ± 0,003	0,058 ± 0,018
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,036 ± 0,005	0,037 ± 0,003
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,028 ± 0,002	0,031 ± 0,001
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,282 ± 0,006	0,278 ± 0,01
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,638 ± 0,022	1,681 ± 0,023
Resistência à penetração (MPa)	3,579 ± 0,159	3,304 ± 0,225

MA: massa de agregados; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

Tabela 4. Média e erro padrão da média dos atributos sob sistema de produção orgânico e cultivar catuaí 99.

Atributos do solo	0,00-0,10	0,10-0,20
MA com diâmetro > 2mm (g g ⁻¹ solo)	0,702 ± 0,026	0,612 ± 0,026
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,117 ± 0,011	0,164 ± 0,008
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,095 ± 0,012	0,114 ± 0,010
MA com diâmetro < 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,085 ± 0,008	0,111 ± 0,012
Índice de estabilidade de agregados (%)	95,994 ± 1,182	97,611 ± 0,399
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	27,576 ± 1,448	21,136 ± 0,943
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,053 ± 0,009	0,075 ± 0,014
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,043 ± 0,004	0,034 ± 0,003
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,039 ± 0,003	0,029 ± 0,002
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,405 ± 0,010	0,377 ± 0,009
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,323 ± 0,02	1,269 ± 0,028
Resistência à penetração (MPa)	2,529 ± 0,266	1,725 ± 0,213

MA: massa de agregados; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

Tabela 5. Média e erro padrão da média dos atributos sob sistema de produção orgânico e cultivar catuaí 62.

Atributos do solo	0,00-0,10	0,10-0,20
MA com diâmetro > 2mm (g g ⁻¹ solo)	0,694 ± 0,043	0,606 ± 0,036
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,107 ± 0,017	0,136 ± 0,016
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,101 ± 0,015	0,118 ± 0,016
MA com diâmetro < 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,098 ± 0,014	0,128 ± 0,021
Índice de estabilidade de agregados (%)	95,587 ± 0,519	94,217 ± 1,527
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	20,304 ± 2,185	19,743 ± 1,277
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,044 ± 0,003	0,088 ± 0,012
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,057 ± 0,007	0,051 ± 0,006
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,050 ± 0,004	0,038 ± 0,001
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,382 ± 0,009	0,359 ± 0,008
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,333 ± 0,022	1,291 ± 0,038
Resistência à penetração (MPa)	2,299 ± 0,155	1,838 ± 0,236

MA: massa de agregados; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

De acordo com a análise multivariada, foram observados dois fatores relevantes para a explicação da variabilidade dos dados originais (Tabela 6). Os dois fatores explicaram 64,7% da variabilidade total dos dados, sendo 50,8% para o fator 1 e 13,9% para o fator 2.

As variáveis relevantes dentro do fator 1, ou seja, àquelas com cargas fatoriais acima de 0,600, correspondem ao processo denominado de “estrutura do solo”. Os atributos com cargas fatoriais negativas foram a resistência do solo à penetração (RP), densidade do solo (Ds), massa de agregado com diâmetro entre 1 e 0,500 mm (MA3) e massa de agregado com diâmetro < 0,500 mm (MA4) e as variáveis com cargas fatoriais positivas foram, microporosidade < 0,03 mm (Micro2), carbono orgânico (CO), índice de estabilidade de agregados (IEA) e massa de agregado com diâmetro > 2mm (MA1). Isso indica que Micro2, CO, IEA e MA1 são diretamente proporcionais entre si e são inversamente proporcionais à RP, Ds, MA3 e MA4.

No fator 2, as variáveis relevantes, dentro do processo interpretado como “aeração do solo”, foram macroporosidade entre 0,05 e 0,1 mm (Macro2) com carga fatorial negativa e massa de agregado com diâmetro entre 2 e 1 mm (MA2), com carga fatorial positiva. Assim, Macro2 é inversamente proporcional à MA2. Ressalta-se que os fatores são independentes, ou seja, a resposta observada em um não interfere na resposta do outro.

Tabela 6. Cargas fatoriais das variáveis dentro de cada fator proveniente da análise exploratória multivariada de fatores

Variáveis	Fator 1	Fator 2
Resistência do solo à penetração (RP)	-0,71**	0,04
Densidade do solo (Ds)	-0,91**	-0,12
Macroporosidade $\geq 0,1$ mm ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Macro 1)	0,39	0,41
Macroporosidade entre $0,05 \leq d < 0,1$ mm ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Macro 2)	0,28	-0,74**
Microporosidade entre $0,03 \leq d < 0,05$ mm ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Micro 1)	0,43	-0,51
Microporosidade $< 0,03$ mm ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Micro 2)	0,79**	0,33
Carbono orgânico (CO)	0,75**	0,16
Índice de estabilidade de agregados (IEA)	0,84**	0,11
MA com diâmetro > 2 mm (g g^{-1} solo) (MA1)	0,92**	-0,16
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g^{-1} solo) (MA2)	-0,06	0,69**
MA com diâmetro entre 1 e 0,500 mm (g g^{-1} solo) (MA3)	-0,88**	0,17
MA com diâmetro $< 0,500$ mm (g g^{-1} solo) (MA4)	-0,90**	-0,05
Variância explicada	6,10	1,66
Percentagem da variância explicada (%)	50,8	13,9

MA: massa de agregados.

A partir da análise de fatores obteve-se os escores de cada ponto amostrado na área estudada, por meio dos escores obtidos foi realizado a análise de GLM e comparação de médias.

Observou que para o fator 1 “estrutura do solo”, ocorreu diferença significativa entre sistemas de produção, cultivares e camadas do solo, com nenhuma interação significativa, enquanto, para o fator 2 “aeração do solo”, ocorreu diferença entre sistema de produção, camadas de solo e para interação sistemas e cultivares (Tabela 7).

Para o fator 1 “estrutura do solo”, o teste de médias apresentou diferenças nos escores em relação aos sistemas. Nesse fator, o sistema orgânico (SPO) apresentou escores positivos, enquanto o sistema convencional (SPC) apresentou escores negativos. Já em relação aos cultivares, o cultivar Catuaí 62 (C62) diferiu do cultivar Catuaí 99 (C99), C99 apresentou escores positivos, enquanto C62 apresentou escores negativos. Observando as camadas nota-se que a camada de 0,00 – 0,10 m (C1) apresentou diferença nos escores em relação à camada 0,10 – 0,20 m (C2). A camada C1 apresentou escores positivos, enquanto a camada C2 apresentou escores negativos.

Os escores positivos no teste de comparação de médias se correlacionam diretamente às variáveis com cargas fatoriais positivas da análise de fatores (Tabela 6)

e os escores negativos se correlacionam diretamente às variáveis com cargas fatoriais negativas. Isso indica que o sistema de produção orgânico, Catuaí 99 e camada 0,00 – 0,10 m (C1) apresentaram maiores valores de Micro2, CO, IEA, MA1, enquanto o sistema convencional, Catuaí 62 e camada 0,10 – 0,20 m (C2) promoveram maiores valores de RP, Ds, MA3 e MA4. Resultado que pode ser comprovado por meio da análise da estatística descritiva (Tabela 2 à 5).

Comparando as médias dentro do fator 2 “aeração do solo”, observou-se diferença significativa entre o SPC e SPO, sendo que SPO apresentou escore positivo, enquanto SPC mostrou-se com escore negativo. Já em relação às camadas nota-se que diferença nos escores entre a camada C1 e C2, sendo que C2 apontou escore positivo, enquanto C1 apontou escore negativo. Indicando que o sistema orgânico, e camada 0,00 – 0,10 m (C1) estão associados a maior quantidade de MA2, enquanto sistema convencional e camada 0,10 – 0,20 m (C2) promoveram maiores valores de Macro2.

Em relação a interação sistemas de produções e cultivares (Tabelas 7 e 8) nota-se que não houve diferencia significativa entre os cultivares sob o mesmo sistema de produção e entre o mesmo cultivar, porém com sistemas de produção distintos, com exceção do cultivar C99 que apresentou divergência entre SPC e SPO.

Tabela 7. Comparação de médias dos escores obtidos em cada fator da análise exploratória multivariada nas áreas de café avaliadas.

Sistema	Fator 1	Fator 2
Convencional	-0,87 b	-0,21 b
Orgânico	0,87 a	0,21 a
Cultivar		
Catuaí 62	-0,12 b	-0.0009
Catuaí 99	0,12 a	0.0009
Camada (m)		
0,00-0,10	0,12 a	-0,30 b
0,10-0,20	-0,12 b	0,30 a
Valor-p		
Sistema	<0,001	0,03
Cultivar	0,03	0,99
Camada	0,02	<0,01
Sistema X Cultivar	0,2	<0,01
Sistema X Camada	0,46	0,06
Cultivar X Camada	0,86	0,88
Sistema X Cultivar X Camada	0,92	0,7

Tabela 8. Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a interação entre sistema de produção e cultivar do processo “aeração do solo”

Cultivar	Convencional	Orgânico
Catuaí 99	-0,63 aA	0,63 aB
Catuaí 62	0,21 aA	-0,21 aA

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

No processo denominado “estrutura do solo” observou-se que o carbono orgânico contribuiu para a formação de agregados maiores que o diâmetro de 2 mm (MA1), o que proporcionou aumento nos valores de IEA do solo e Micro2, visto que o CO se trata de um dos principais agentes cimentantes do solo (Silva et al., 2021), proporcionando melhor estruturação dos agregados, consequentemente aumento no índice de estabilidade destes agregados, obtendo maior resistência contra forças externas, como exemplo, impactos de gotas de chuva e operações agrícolas, e diminuindo a perda do solo por erosão (Salto et al., 2008).

Diversos autores demonstraram que o CO do solo foi determinante na formação e estabilização dos macroagregados, visto que sua presença no solo aumentou a atividade microbiana, unindo fragmentos em decomposição com microagregados (Golchin et al., 1998; Vezzani e Mielniczuk, 2011). Fernandes (2018), avaliando os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção em um Latossolo Vermelho eutroférico típico, textura argilosa, caulínítico-oxídico (LVef) com os seguintes teores (argila 539 gkg⁻¹, areia 119 gkg⁻¹, silte 342 gkg⁻¹), constatou a contribuição do CO na união de agregados maiores que 4 mm de diâmetro, o que ocasionou aumento do diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade do agregado. Resultado semelhante foi encontrado no presente trabalho, onde o CO se mostrou diretamente relacionado com o aumento do IEA, porém diferindo que neste trabalho o CO correlacionou com a formação de agregados menores ao mencionado pela autora, visto que o solo deste trabalho apresenta valores distintos ao da autora em relação a granulometria.

Schiavo e Colodro (2012) avaliando a relação da agregação do solo sob sistema de produção integrado lavoura-pecuária em Latossolo Vermelho, com textura argilosa, (argila 450,5 gkg⁻¹, areia 220,25 gkg⁻¹, silte 329,25 gkg⁻¹) ressaltaram a correlação positiva entre agregados maiores que 4 mm, diâmetro médio ponderado, microporosidade e macroporosidade em áreas sob alto teor de matéria orgânica na superfície. Esta correlação foi atribuída ao aumento ou manutenção de CO no solo via o sistema de produção integrado em estudo pelos autores.

O mais evidente processo de estruturação do solo ocorreu na camada 0,00 – 0,10 m (C1) do solo sob sistema de produção orgânico (SPO). Visto que na C1 sob SPO houve maiores teores de CO, IEA, MA1 e Micro2, isto se comprova por meio da análise

descritiva (Tabela 2 à 5). Os maiores teores de CO encontrados para o SPO pode ser atribuído ao manejo que estas lavouras foram submetidas. Neste sistema de produção não é permitido a utilização de aduções químicas, portanto utiliza-se grande quantidade de compostos orgânicos a fim de suprir a demanda nutricional da lavoura, caracterizando o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo com o decorrer do tempo.

Valadão et al. (2011), em estudos realizados sobre adição de cama de frango em Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, textura franco argilo arenosa, observaram que a adição de cama de frango compostada à adubação mineral favoreceu a estruturação do solo, proporcionando aumento no teor de carbono total, diâmetro médio ponderado e índice de estabilidade dos agregados contribuindo para maior intensidade de atividades biológicas e levando a formação de macroagregados. A maior estabilidade de agregados e a formação de agregados de maior tamanho (macroagregados) são condições físicas desejáveis nos solos agricultáveis, visto que são peculiaridades diretamente associadas ao processo erosivo, demonstrando maior resistência do solo à erosão, resultado de maior resistência à desagregação do solo (Castro Filho & Logan, 1991; Castro Filho et al., 1998).

Avaliando a adição de esterco bovino em 5 doses (0, 15, 30, 45 e 60 Mg ha⁻¹) sob área de cultivo de milho no verão em solo de textura argilosa (538 g kg⁻¹ de argila, 265 g kg⁻¹ de silte e 197 g kg⁻¹ de areia), Magalhães (2017) notou incremento do teor de CO com o aumento das dosagens de esterco bovino sob a área estuda na camada de 0,00 – 0,10 m. O mesmo resultado foi encontrado por Shah et al. (2021) em experimento com 23 anos de adubação com fertilizantes minerais e orgânicos, avaliando o perfil do solo de 0,00 – 1,00 m em um “Eumorthic Anthrosols” no noroeste da China, os quais observaram o aumento de CO no solo com adição de adubação orgânica em comparação as áreas com adução química.

Em relação aos cultivares, constata-se que o Catuaí 99 proporcionou melhor estruturação do solo (Tabela 7), apresentando maiores valores para CO, IEA, MA1 e Micro2, o que pode ser comprovado por meio da análise descritiva (Tabela 4 e 5). Fato que pode ser justificado pelo manejo de diferentes cultivares da mesma cultura, que podem promover diversas contribuições de matéria orgânica ao solo, até mesmo promovendo diferentes valores de decomposição dos resíduos vegetais (Bayer et al., 2000).

Em avaliação dos atributos físicos do solo sob influencia de manejos de irrigação em duas cultivares, sendo IPR 100 e Catuaí 99, em Latossolo Vermelho distrófico típico, Silva (2020) relatou maior acúmulo de CO na camada superficial com Catuaí 99 em contra partida na camada 0,40 – 0,60 m ocorreu o inverso, a cultivar IPR 100 proporcionou maiores teores de CO, evidenciando assim a influencia da cultivar nos

atributos físicos do solo.

No processo denominado “aeração do solo” observou-se que a macroporosidade 2 (Macro2) foi inversamente proporcional a massa de agregado com diâmetro de 2 e 1 mm (g g^{-1} solo) (MA2), ou seja, quando maior o teor de Macro2 menor o teor de MA2 no solo (Tabela 6).

Na camada C1 observou-se correlação com Macro2 (Tabela7), portanto esta camada apresentou uma melhor aeração do solo, o aumento da Macro2 na camada superficial pode está relacionado ao alto índice de raízes menores que 1mm de diâmetro presentes nas camadas superficiais do solo (Motta et al., 2006).

O acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo proporciona vários benefícios, tais como: aumento da diversidade microbiana e melhoria dos atributos físicos do solo (SALTON et al., 2008; CHÁVEZ et al., 2011). Juhász et al. (2007) observaram que os atributos físicos do solo foram afetados pelo conteúdo de matéria orgânica presente na superfície do solo, ocasionado a diminuição da densidade e aumentando a porosidade total e a macroporosidade com o aumento da matéria orgânica no solo. Resultado semelhante encontrado por Andrade et al. (2009), que estudando atributos físicos do solo em áreas de rotação de oito culturas de cobertura: (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu); (milho cv. BRS 3150 consorciado com *Brachiaria decumbens*); (guandu anão); (milheto cv. BN-2); (*Panicum maximum* cv. Mombaça); (sorgo granífero cv. BR 304); *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e *Crotalaria juncea* L., relataram o aumento da porosidade total e macroporosidade nas áreas com maior presença de matéria orgânica depositada na superfície do solo.

Observou-se que, para o processo “aeração do solo”, a interação sistema de produção e cultivar foi significativa. A cultivar Catuaí 99 da área sob SPC proporcionou maiores valores de Macro2 e menores valores de MA2 (Tabela 7 e 8). O aumento dos teores de Macro2 no SPC com cultivar C99 pode estar relacionado ao maior volume de material orgânico presente nesta área proveniente da desfolha excessiva sofrida por este talhão devido a alta incidência do patógeno *Hemileia vastatrix*. Conhecido popularmente por ferrugem, provoca alto índice de desfolha no cafeeiro, consequentemente proporcionando baixo vigor das plantas afetadas e diminuição da massa radicular (Zambolim, L. et al., 2002) devido a sua morte, que está diretamente relacionada com a formação de bioporos.

Sabe-se que a alta densidade de raízes atua fisicamente na formação e estabilização de agregados e na formação de macroporos (Vezzani e Mielniczuk, 2011). Após suspender o ciclo de vida, as raízes se decompõem e formam-se bioporos. Mesmo que representem pequeno volume em relação ao volume total de poros, são de extrema importância para reduzir a resistência do solo a penetração, em especial por formar macroporos (Genro Junior et al., 2004).

Conforme Dexter (1991), as raízes, ao penetrarem no solo, comprimem as partículas, formando canais (bioporos). Com a morte e decomposição das raízes, os bioporos permanecem e, com isso, os macroporos são aumentados. Em estudos sobre a influência da cobertura vegetal de inverno, associando aveia preta e nabo forrageiro com três tipos de adução orgânica e mineral, sendo adubação orgânica (esterco de frango), adubação organomineral (esterco de frango + úreia + cloreto de potássio) e adubação mineral, Andreola et al. (2000), avaliando os atributos físicos do solo, observaram aumento da macroporosidade na camada 0,00 – 0,10 m proveniente da decomposição das raízes da cultura instalada anteriormente nesta área.

De acordo com esses resultados, observou-se a importância do CO para constituição de melhor estruturação do solo. A adição de matéria orgânica no solo contribuiu para o aumento de CO (Matias et al., 2012), que conseqüentemente está relacionado com os demais atributos físicos do solo, principalmente com índice de estabilidade do agregado, diâmetro médio ponderado e formação de macroagregados. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes (2018) e também avaliados neste presente trabalho.

Portanto, a hipótese de que a adição de matéria orgânica no manejo do sistema de produção do cafezal é preponderante para a estruturação do solo, foi confirmada principalmente pelo processo “estrutura do solo”. Os valores do teor de CO, do IEA, da massa de agregados com diâmetro > 2 mm sob SPO foram superiores aos respectivos valores observados na área sob SPC. Neste contexto, visando a importância do CO na estruturação do solo, tornam-se importante estudos sobre o uso da matéria orgânica no manejo de lavouras de cafés sob diversos sistemas de produção.

5. CONCLUSÃO

O maior teor de matéria orgânica no solo sob o sistema de produção orgânico de café proporcionou maior estrutura física do solo ao comparado com o sistema de produção convencional.

6. REFERÊNCIAS

ABIC – Associação brasileira da indústria do café. 2013. **Sabor do café: história do café**. Disponível em: www.abic.com.br/história. Acesso em: 15 de dez de 2021.

ACOB - Associação de cafés orgânicos e sustentáveis do Brasil. Agricultura orgânica. Disponível em: www.cafeorganicobrasil.org/mercado. Acesso em: 24 de mai de 2021.

Andrade, RDS, Stone, LF, Silveira, PMD. (2009). Culturas de cobertura e qualidade física de um Latossolo em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(4), 411-418.

Alcântara EN **Manejo das plantas daninhas em cafeeiro**. Lavras: EPAMIG-Centro Tecnológico do Sul de Minas, 1998. (Circular Técnica, 83).

Alcântara EN, Ferreira MM (2000) Efeitos de métodos de controle de plantas daninhas na cultura do cafeeiro (C. arabica L.) sobre a qualidade física do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, p. 711-721.

Andreola F Costa LM, Olszewski N. (2000). Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24, 857-865.

Araújo ASF, Lima LM, Melo WJ, Santos VM, Araújo FF (2016) Soil properties and cowpea yeild after six years of consecutive amendment of composted tannery sludge. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 38, n. 3, p. 407-413.

Assis RL, Lanças KP (2010) Agregação de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola** 30:58-66.

Bayer C, Mielniczuk J, Martin-Neto L (2000). Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO₂. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24, 599-607.

Blanco-Caqui H, Ruis SJ (2018) No-tillage and soil physical environment. **Geoderma** 326:164-200. doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011

Brady, NC, Weil RR (2013) Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre: Bookman, 716p.

Bertoni J, Lombardi Neto, F. **Conservação do solo**. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. 355 p.

Bicalho IM (2011). Alteração na agregação e carbono orgânico total em solo cultivado com café sob diferentes sistemas de manejo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.7, N.12.

Bolliger A, Magid J, Amado TJC, Skóra F, Ribeiro MFS, Calegari A, Ralisch R, Neergaard A (2006) Taking stock of the brazilian “zero-till revolution”. **Advances in Agronomy** 91:47-110. doi.org/10.1016/S0065-2113(06)91002-5

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor bruto da produção agropecuária (VBP)**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politicaagricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>. Acesso em: 18 dez. 2021.

Burg IC, Myer PH **Manual de alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças**. Francisco Beltrão, PR: 7 ed. 1998. 153p.

Cafeicultura. A revista do agronegócio. 2011. Disponível em: www.revistacafeicultura.com.br. Acesso em: 24 de nov de 2021.

Camargo AP, (1985) Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p. 831-839.

Camargo AP, Camargo MBP, (2001) Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v.60, p.65-68.

Camargo FA, SANTOS GA, (1999) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Gênese, 508 p.

Carvalho LG, Camargo MBP, Mondardo A, (2004) Modelo de regressão para previsão de produtividade de cafeeiros no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 8, n. 2/3, p. 204-211.

Carvalho CHS, (2007) Cultivares de café. / Carlos Henrique Siqueira de Carvalho. (Ed.) Brasília: **EMBRAPA**, 247 p.

Castro C, Logan TJ, (1991). Liming effects on the stability and erodibility of some Brazilian Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, 55(5), 1407-1413.

Castro Filho CD, Muzilli O, Podanoschi AL, (1998). Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 22, 527-538.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Café. 2019. Disponível em: www.conab.gov.br/Indicaçãodeprodução. Acesso em: 15 de dez de 2021.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Café. 2022. Disponível em: www.conab.gov.br/safra2021/2022. Acesso em: 15 de dez de 2022.

Cambardella CA, Elliott ET (1992) Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal** 56:777- 783.

Chávez, LF, Escobar, LF, Anghinoni, I, Carvalho, PCF, Meurer, EJ, (2011) Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1254-1261.

Claessen MEC, Barreto WO, Paula JL, Duarte MN (1997) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.

Cunha RL, (1999) Efeito da época, altura de poda e adubação foliar na recuperação de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) depauperados. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, p. 222-226.

Cunha, RLD, & Alvarenga, MIN, (2003). **Desenvolvimento e produtividade do cafeeiro orgânico**.

Cunha GdeM, (1995) **Estudo comparativo de condições químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, de Encosta, sob duas coberturas: café e mata natural**. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Da Silva MF, Fernandes MMH, Fernandes C, da Silva AMR, Ferraudo AS, Coelho AP (2021). Contribution of tillage systems and crop succession to soil structuring. **Soil and Tillage Research**, 209, 104924.

De Araujo Gonçalves, ADM, de Carvalho, AM, Veiga, AD, Rocha, OC. (2019). Decomposição e ciclagem de nitrogênio no consórcio entre café e brachiaria no cerrado. **X Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**.

Dexter AR (1988) Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research** 11:199-238.

Dexter AR (1991). Amelioration of soil by natural processes. **Soil and Tillage Research**, 20(1), 87-100.

Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coeman DC, Bezdicsek DF, Stewart BA (Eds.). **Defining soil quality for sustainable environment. Madison**. Soil Science Society of America, p.3-21.

EMBRAPA CAFÉ – Gestão da pesquisa do café no Brasil, 2004. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/cafe>>. Acesso em: 24 de nov de 2021.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/comerciodecafe>. Acesso em: 24 de nov de 2021.

Edwards AP, Bremner JM. (1967) Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science** 18:64-73.

Emerson WW (1959) Stability of soil crumbs. **Nature** 183:538

Fernandes MMH (2018). **Contribuição da cultura de entressafra para a estruturação do solo em área sob sistema de semeadura direta**. 30 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo)) – Unesp, Jaboticabal.

Ferreira, E. A. B., Resck, D. V. S., Gomes, A. C., & Ramos, M. L. G. (2007). Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 31, 1625-1635.

Gazolla, P. R., Guareschi, R. F., Perin, A., Pereira, M. G., & Rossi, C. Q. (2015). Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. **Semina: Ciências Agrárias**, 36(2), 693-704.

Genro Junior SA, Reinert DJ, Reichert JM (2004). Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28, 477-484.

Golchin A, Baldock JA, Oades JM (1998) A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: Lal R, Kimble J, Follett RF, Stewart BA (Eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, p. 245-266.

Gomes NM, Lima LA, Custódio AAP, (2007) Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no Sul do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570.

Guerrini IA, Trigueiro RM, (2004) Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólidos e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v. 28, p. 1069-1076.

Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL (2009) Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 688p.

Houghton RA, Skole DL, Lefkowitz DS, (1991) Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest, Ecology and Management**, v. 38, p. 173-199.

IOC - International Coffee Organization. 2020. Ranking de produtividade. Disponível em: www.ioc.org. Acesso em: 24 de nov de 2021.

Juhász, CEP, Cooper, M, Cursi, PR, Ketzer, AO, Toma, RS, (2007) Savanna woodland soil micromorphology related to water retention. **Scientia Agrícola**, v.64, n.4, p.344-354.

KAISER, HF, (1958) The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v.23, p.187-200.

López EE, Mendoza A, (1999) **Manual de caficultura orgânica**. Guatemala, Guatemala: Asociación Nacional del Café. 159p.

Macedo MCM (2009) Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia** 38:133-146.

Magalhães L, (2017). **Carbono orgânico e atributos físicos do solo após a aplicação de esterco bovino**. 23 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo)) – Unesp, Jaboticabal.

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. 2017. Importância da cafeicultura para o país. Disponível em: www.gov.br. Acesso em: 24 de nov de 2021.

Matias SS, Correia MA, Camargo LA, de Farias MT, Centurion JF, Nóbrega, J C, (2012). Influência de diferentes sistemas de cultivo nos atributos físicos e no carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7(3), 414-420.

Mielniczuk J, Bayer C, Besan FM, Lovato T, Fernández FF, Debarba L, (2003) Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ V. V. H. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 3. p. 209-248.

Milstein A, Islam MS, Wahab MA, Kamal AHM, Dewan S (2005) Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. **Aquaculture International** 13:501-518. doi 10.1007/s10499-005-9001-6

Moreira, MA, Adami, M, Rudorff, BFT, (2004). Análise espectral e temporal da cultura do café em imagens LANDSAT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39. n.3, 223-233.

Morello OF, (2017) **Atributos morfológicos, produtividade e pós-colheita de cultivares de café arábica de porte baixo em Jaboticabal-SP**. 2014-2017. Monografia (graduação em engenharia agrônoma) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Motta, ACV, Nick, JA, Yorinori, GT, Serrat, BM, (2006). Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, 28(4), 453-462.

Nimmo JR, Perkins KS (2002) Aggregate stability and size distribution. **Soil Science Society of America Journal** 5:317-328.

Oades JM (1984) Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil** 76:319-337.

Oliveira CC, Alvarenga MIN, Melloni R, Neto JND, Pinheiro LBA, Melloni EGP, Madeira CL, (2016) Sombreamento de café (*Coffea arabica* L.) por araucária (*Araucaria angustifolia* L.) e seus efeitos na macrofauna e atributos físicos do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09,n.06.

ONU. (2003) Organic fruit and vegetables from the tropics: market, certification and production information for producers and international trading companies. In: **United Nations Conference on Trade & Development. Geneva**. 308 p.

Otero J, Milas C, (2001) Modelling the spot prices of various coffee types. **Economic Modelling**, v. 18, p. 625-641.

Paes JMV, Andreola F, Brito CH, Loudes EG, (1996) Decomposição da palha de café em três tipos de solo e sua influência sobre a CTC e o pH. **Revista Ceres**, v. 43, p. 337-392.

Pais PSM, (2011) Compactação causada pelo manejo de plantas invasoras em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO cultivado com cafeeiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 35, n. 6, p. 1949-1958, nov./dez.

Pelá A, (2002) **Uso de plantas de cobertura em pré-safra e seus efeitos nas propriedades físicas do solo e na cultura do milho em plantio direto na região de Jaboticabal-SP**. 2002, 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

Raphael JPA, Calonego JC, Milori DMBP, Rosolem CA (2016) Soil organic matter in crop rotation under no-till. **Soil & Tillage Research** 155:45-53. doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020.

Ricci MSF, Alves BJR, Miranda SC, Oliveira FF, (2005) Growth Rate and Nutritional Status of an organic Coffee Cropping System. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 2, p. 138-144.

Rocha, OC, Guerra, AF, Ramos, MLG, da Silva Oliveira, A, & Bartholo, GF (2014). Qualidade físico-hídrica de um latossolo sob irrigação e braquiária em lavoura de café no cerrado. **Coffee Science-ISSN 1984-3909**, 9(4), 516-526.

Roman ES, Velloso JARO, (1993) Controle cultural, coberturas mortas e alelopatia em sistemas conservacionistas, pgs., 77 – 84. In: **Plantio direto no Brasil**, 167 p.

SÁ JCM, (1993) Manejo de fertilidade do solo em plantio direto. **Fundação ABC**, Carambeí, Castro/PR, 96 p.

Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C, Boeni M, Conceição PC, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL (2008) Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 32:11-21. doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002

Santos, F. S. et al. (2008) Adubação orgânica, nutrição e progresso de cercosporiose e ferrugem-do-cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 783-791, jul.

Santos IC, Lima PC, Alcantara EM, Mattos RN, Melo AV, (2002) Manejo de entrelinhas em cafezais orgânicos. **Informe Agropecuário**. Belo Horizonte, v.23, n.214/215, p.115-126.

Salton, JC, Mielniczuk, J, Bayer, C, Boeni, M, Conceição, PC, Fabricio, A C, Macedo, MCM, Broch, DL, (2008) Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, n. 1, p. 11-21.

Schiavo JA, Colodro G, (2012). Agregação e resistência à penetração de um Latossolo Vermelho sob sistema de integração lavoura-pecuária. **Bragantia**, 71, 406-412.

Sediyama GC, (2001) Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p. 501-509.

Serafim, ME, (2011). Sistema conservacionista e de manejo intensivo na melhoria de atributos do solo para a cultura do cafeeiro, p. 120. Disponível em: http://bdtd.ufla.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo. Acesso em: 23 de jan de 2022.

Shah, SAA, Xu, M, Abrar, MM, Mustafa, A, Fahad, S, Shah, T, Shi, W (2021). Long-term fertilization affects functional soil organic carbon protection mechanisms in a profile of Chinese loess plateau soil. **Chemosphere**, 267, 128897.

Silveira, D, Fontaneli, R, Rebesquini, R, Dall'agnol, E, Panisson, F, Bombonato, M, Ceolin, M. (2020). Plantas de cobertura de solo de inverno em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária. **Embrapa Trigo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**.

Silva, CAD, Teodoro, REF, & Melo, BD, (2008). Produtividade e rendimento do cafeeiro submetido a lâminas de irrigação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, 43, 387-394.

Silva SB, (2020). **Atributos relacionados a agregação do solo sob influência de manejos de irrigação em duas cultivares de café em um latossolo vermelho no cerrado**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília.

Stefanoski DC, Santos GG, Marchão RL, Petter FA, Pacheco LP (2013) Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17:1301-1309.

Teixeira SM, Milhomem AV, (2001) Tecnologias de produção de café com qualidade: a competitividade e custos da cafeicultura brasileira, Viçosa, **Suprema Gráfica e Editora LTDA**, p. 25- 64.

Theodoro VCA, (2001) **Caracterização de sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional**. 214p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

Tisdall JM, Oades JM (1982) Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal of Soil Science** 33:141-163.

Thomazini A, Azevedo HCAA, Pinheiro PL, Mendonça ES, (2013). Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de café, na região sul do espírito santo. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 4, p. 450-459.

Tormena CA, Silva AP, Libardi PL (1998) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:573-581.

Unger PW, (1978) Straw mulch effects on soil temperatures and sorghum germination and growth. **Agronomy Journal**, v. 70, p. 858 – 864.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Foreign Agricultural Services**. Disponível em: <http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdQuery.aspx>. Acesso em: 18 dez. 2021.

Valadão FCDA, Maas KDB, Weber OLDS, Valadão Júnior DD, Silva TJD, (2011). Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 2073-2082.

Vezzani FM, Mielniczuk J, (2011) Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:213-223. doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020

Viglio ECBL, (1996) Produtos orgânicos: uma tendência para o futuro? **Agroanalysis**, Rio de Janeiro, RJ, v.16, n.12, p.8-16.

Yussefi, M., & Willer, H. (2007). Organic farming worldwide 2007: overview & main statistics. **The world of organic agriculture-statistics and emerging trends 2007**, 9-16.

Zambolim L, Vale FD, Costa H, Pereira AA, & Chaves, G. M. (2002). Epidemiologia e controle integrado da ferrugem do cafeeiro. In: Zambolim, L. (Ed.) **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora, 369-449.