

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**Alterações físicas e de estoques de c e n em latossolos oxídicos sob
agricultura intensiva**

Jhulindri Bortoluzzi Genova
Magister Scientiae

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

JHULIENDRI BORTOLUZZI GENOVA

**Alterações físicas e de estoques de c e n em latossolos oxidicos sob
agricultura intensiva**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Teogenes Senna de Oliveira

Coorientador: Raphael B. Alves
Fernandes

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

G335a
2024
Genova, Jhulindri Bortoluzzi, 1997-
Alterações físicas e de estoques de C e N em latossolos
oxídicos sob agricultura intensiva / Jhulindri Bortoluzzi
Genova. – Viçosa, MG, 2024.
1 dissertação eletrônica (97 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Teógenes Senna de Oliveira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Solos, 2024.

Referências bibliográficas: f. 84-97.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.082>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Solos - Umidade. 2. Solos - Teor de nitrogênio. 3. Solos -
Teor de compostos orgânicos. 4. Solos - Manejo. 5. Latossolos.
I. Oliveira, Teógenes Senna de, 1961-. II. Universidade Federal
de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação
em Solos e Nutrição de Plantas. III. Título.

CDD 22. ed. 631.432

JHULIENDRI BORTOLUZZI GENOVA

**Alterações físicas e de estoques de c e n em latossolos oxidicos sob
agricultura intensiva**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 3 de setembro de 2024.

Assentimento:

Jhuliendri Bortoluzzi Genova
Autora

Teogenes Senna de Oliveira
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 24/02/2025 às 12:40:34 e pelo orientador em 25/02/2025 às 21:11:43. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **JTEE.FDCP.EEVL** e clique no botão 'Validar documento'.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. E com concessão de bolsa pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Esta dissertação de mestrado não poderia ter alcançado sucesso sem o apoio precioso de várias pessoas. Por isso, expresso aqui, através de palavras sinceras, um pouquinho da importância que elas tiveram, e ainda têm, nesta conquista e a minha sincera gratidão a todas elas.

Primeiramente, agradeço a Deus e a minha família. Aos meus pais, Viviane e Gerson (*in memoriam*), ao meu padrasto Ermógenes, ao meu irmão Jhonata e ao meu esposo Jansler, pela compreensão ao serem privados em muitos momentos da minha companhia e atenção, e pelo profundo apoio nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador, professor Teogenes Senna de Oliveira, por toda paciência e empenho. Obrigada por ter acreditado e depositado sua confiança em mim ao longo desses dois anos. Ao meu co-orientador, professor Raphael Bragança Alves Fernandes, pelo apoio que me deu durante esse período, por toda oportunidade de aprendizado e pelos momentos de conversa. Também, aproveito, para deixar meus sinceros agradecimentos ao professor Júlio César Lima Neves, pelas horas que disponibilizou de seu tempo para que pudéssemos ficar conversando e debatendo sobre a estatística desse estudo e por nunca me deixar desanimar.

Esse estudo não teria acontecido sem o apoio da Fazenda Rio Brillhante. Nesse caso, o Sr. Inácio Urban, nos recebeu de braços abertos e apoiou nossa pesquisa do início ao fim, nos disponibilizando alojamento, alimentação e retirando um de seus funcionários de seus afazeres diários para nos acompanhar diariamente e nos auxiliar nos trabalhos com a abertura das trincheiras, o que deixou nosso trabalho muito mais leve. Esses dias de muito trabalho também nos proporcionou conhecer pessoas incríveis, que de alguma forma ou de outra nos ajudaram e se tornaram nossos amigos. Meu eterno agradecimento a essas pessoas que tanto se preocuparam conosco.

Ao longo dessa trajetória, nosso caminho se cruza com o de pessoas que se tornam muito importantes. São amigos que conhecemos, e com o passar do tempo, alguns desses amigos acabam se tornando mais próximos, compartilhando não só experiências da vida acadêmica, como também experiências de nossa vida pessoal. Quando estamos longe da nossa família, como é o meu caso, algumas dessas pessoas acabam se

tornando como se fossem nossa própria família aqui. Nesse momento, prefiro não citar nomes, pois não quero, por algum descuido, acabar deixando alguém de fora dessa lista. Muitas pessoas, direta ou indiretamente me ajudaram a concluir essa etapa, com palavras ditas em momentos que eu precisava ouvir, e que eu nem sabia que estava precisando e abraços nos momentos de dificuldade associados com palavras de encorajamento. Em algum momento todos temos algumas dificuldades, mas hoje sei, que sempre teremos alguém do nosso lado nos encorajando. No Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa eu me sentia em casa, hoje sei que esse sentimento, era porque minha “família” estava ali. Agradeço à essas pessoas por sempre se fazerem presente nos momentos que precisei de alguma ajuda, o apoio e a amizade de vocês valem ouro para mim.

Gostaria de deixar também meu agradecimento ao Departamento de Solos pela disponibilização de infraestrutura dos Laboratórios de Física do Solo e Matéria Orgânica e Resíduos, bem como seus respectivos técnicos, Cláudio Márcio Brustolini e Paloma Viana Ferreira de Sousa, por sempre serem tão prestativos em me auxiliar no desenvolvimento das atividades laboratoriais.

RESUMO

GENOVA, Jhuliendri Bortoluzzi, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2024. **Alterações físicas e de estoques de C e N em latossolos oxídicos sob agricultura intensiva.** Orientador: Teogenes Senna de Oliveira. Coorientador: Raphael Braganca Alves Fernandes.

A agricultura tem grande importância para suprir a demanda mundial por alimentos. No entanto, esse setor enfrenta muitos desafios relacionados a instabilidade climática, como secas e/ou chuvas irregulares. A qualidade do solo desempenha um papel fundamental na produtividade das culturas agrícolas, pois mudanças nas propriedades físicas do solo afetam diretamente a saúde das plantas e a eficiência com que elas absorvem água e nutrientes. Assim, um estudo foi conduzido com os objetivos de: (i) avaliar as alterações dos atributos físicos de Latossolos oxídicos em áreas de cultivo irrigado e de sequeiro com alta e baixa produtividades; e (ii) avaliar os estoques de C e N de Latossolos oxídicos sob uso irrigado e sequeiro sob cultivo intensivo. Para tanto, foram avaliados parâmetros físicos, tais como: resistência à penetração em campo e com a umidade ajustada, densidade do solo e de partículas, argila dispersa em água, condutividade hidráulica saturada e insaturada, curva de retenção de água, microporosidade, resistência tênsil, pressão de pré-consolidação e grau de compactação. Também foram avaliados os estoques de C e N das frações orgânica particulada (MOP) e associada aos minerais (MOAM). A partir dos resultados obtidos foram estimados: macroporosidade, índice S, capacidade de água disponível, friabilidade e o índice de compressibilidade do solo. A caracterização química de rotina das amostras foi realizada para obter os parâmetros químicos do solo. O estudo foi conduzido em quatro áreas cultivadas com cereais e fibras localizadas na região do Alto Paranaíba/MG, sendo: dois sistemas de produção (irrigado e sequeiro) e dois níveis de produtividade (alta e baixa). Utilizou-se o delineamento sistemático com esquema de parcelas subdivididas, onde os tratamentos principais (parcelas) consistiram nos sistemas de produção e as subparcelas consistiram nas profundidades, sendo estas de casualização restrita. Inicialmente os dados foram submetidos à uma análise de componentes principais visando selecionar as variáveis que melhor explicassem a variabilidade entre as áreas. Em seguida, os sistemas de produção foram avaliados com base no teste F da análise de variância, e, o desdobramento da interação entre sistemas de produção × profundidades foi realizado, independentemente da significância. As médias entre profundidades foram comparadas pelo teste de Tukey, enquanto as áreas de alta e baixa produtividade foram

comparadas pelo teste t, ambos até 10% de significância. A análise de componentes principais, indicou que a condutividade hidráulica saturada, a porosidade do solo, a densidade do solo, C e N da fração associada aos minerais e a resistência à penetração de campo foram as variáveis que mais explicaram a variabilidade entre as áreas. A densidade do solo não apresentou diferenças significativas entre as áreas irrigadas e de sequeiro, em nenhuma das profundidades estudadas. Quando comparadas as produtividades, a densidade do solo foi maior na primeira profundidade para as duas áreas de baixa produtividade, na segunda e quarta profundidades da área irrigada e na terceira da área de sequeiro de alta produtividade. Para microporosidade, a área de sequeiro de alta produtividade foi superior a irrigada na terceira profundidade, enquanto que nas áreas de baixa produtividade, a área de sequeiro foi superior a irrigada em todas as profundidades. Na comparação entre as produtividades, a microporosidade foi maior nas áreas de baixa produtividade para áreas irrigadas e de sequeiro em todas as profundidades, com exceção à primeira profundidade das áreas irrigadas. Já para macroporosidade, nenhuma diferença entre os sistemas de produção foi observada, enquanto que na comparação entre produtividades, a área de sequeiro de alta produtividade apresentou os maiores valores, enquanto que nas irrigadas, a primeira e a última profundidade da área de baixa produtividade foi superior. Para a condutividade hidráulica saturada, a área de sequeiro de alta produtividade apresentou maiores valores nas duas últimas profundidades, comparada a área irrigada, o mesmo comportamento foi observado na primeira e terceira profundidades das áreas de baixa produtividade. Comparando as produtividades, as áreas de baixa produtividade apresentaram maiores valores quando comparadas às de alta produtividade, seja para irrigado ou sequeiro, salvo a primeira profundidade da área irrigada, que apresentou similaridade estatística. Quando avaliado a resistência à penetração, nas áreas de alta produtividade, a área de sequeiro apresentou aumento significativo em relação a irrigada a partir de 20 cm de profundidade, enquanto que nas áreas de baixa produtividade, a área irrigada foi a que apresentou maiores valores de resistência à penetração em relação à de sequeiro a partir de 10 cm de profundidade até, aproximadamente, 30 cm. A área irrigada de baixa produtividade apresentou maiores valores de resistência à penetração comparada com a área de alta, em todas as profundidades, o mesmo foi observado para as áreas de sequeiro, mas somente até a segunda profundidade. Para C e N da fração MOAM, nas áreas de alta produtividade, apenas houve diferenças entre as áreas na última profundidade, onde a área irrigada, apresentou os maiores valores de

estoques, enquanto que nas áreas de baixa produtividade, C-MOAM não apresentou nenhuma diferença, N-MOAM, foi superior na terceira profundidade da área irrigada. Comparando as produtividades, C-MOAM apresentou similaridade entre as profundidades, em todas as situações, já N-MOAM teve maiores estoques nas duas primeiras profundidades das áreas de alta produtividade, seja na área irrigada ou de sequeiro. Concluiu-se que a resistência à penetração e a macroporosidade são as propriedades físicas que mais estão afetando o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, afetando a produtividade. A irrigação aumenta os estoques de C e N foi confirmado, principalmente nas frações associadas aos minerais, porém, quando se trata de melhorar a qualidade do solo, a irrigação não apresentou diferenças em relação as áreas de sequeiro.

Palavras-chave: Atributos físicos; Manejo do solo; Estoques de C e N; Cultivo irrigado; Cultivo em sequeiro; Sistemas conservacionistas; Índice de qualidade física do solo

ABSTRACT

GENOVA, Jhuliendri Bortoluzzi, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2024. **Physical changes and stocks of c and n in oxid oxisols under intensive agriculture**. Adviser: Teogenes Senna de Oliveira. Co-adviser: Raphael Braganca Alves Fernandes.

Agriculture is of great importance in meeting the world's demand for food. However, this sector faces many challenges related to climate instability, such as droughts and/or irregular rainfall. Soil quality plays a fundamental role in the productivity of agricultural crops, as changes in the soil's physical properties directly affect plant health and the efficiency with which they absorb water and nutrients. Therefore, a study was conducted with the objectives of: (i) evaluating changes in the physical attributes of oxide latosols in irrigated and rainfed areas with high and low yields; and (ii) evaluating the C and N stocks of oxide latosols under irrigated and rainfed use under intensive cultivation. To this end, physical parameters were evaluated, such as: penetration resistance in the field and with adjusted humidity, soil and particle density, water-dispersed clay, saturated and unsaturated hydraulic conductivity, water retention curve, microporosity, tensile strength, pre-consolidation pressure and degree of compaction. The C and N stocks of the particulate organic (MOP) and mineral-associated (MOAM) fractions were also assessed. From the results obtained, the following were estimated: macroporosity, S index, available water capacity, friability and the soil compressibility index. Routine chemical characterization of the samples was carried out to obtain the soil's chemical parameters. The study was conducted in four areas cultivated with cereals and fibers located in the Alto Paranaíba/MG region, with two production systems (irrigated and rainfed) and two productivity levels (high and low). A systematic design was used with subdivided plots, where the main treatments (plots) consisted of the production systems and the subplots consisted of the depths, which were randomized. Initially, the data was subjected to principal component analysis in order to select the variables that best explained the variability between the areas. Next, the production systems were evaluated using the F test from the analysis of variance, and the interaction between production systems \times depths was split, regardless of significance. The means between depths were compared using the Tukey test, while the high and low productivity areas were compared using the t-test, both up to 10% significance. Principal component analysis indicated that saturated hydraulic conductivity, soil porosity, soil density, C and N of the fraction associated with minerals and field penetration resistance were the variables that most explained the

variability between areas. There were no significant differences in soil density between the irrigated and rainfed areas at any of the depths studied. When comparing yields, soil density was higher at the first depth for the two low-yield areas, at the second and fourth depths for the irrigated area and at the third depth for the high-yield rainfed area. For microporosity, the high-yield rainfed area was superior to the irrigated area at the third depth, while in the low-yield areas, the rainfed area was superior to the irrigated area at all depths. When comparing yields, microporosity was higher in the low-yield areas for irrigated and rainfed areas at all depths, with the exception of the first depth in the irrigated areas. As for macroporosity, no difference was observed between the production systems, while in the comparison between yields, the high-yield rainfed area had the highest values, while in the irrigated areas, the first and last depths of the low-yield area were higher. For saturated hydraulic conductivity, the high-yield rainfed area showed higher values in the last two depths compared to the irrigated area, and the same behavior was observed in the first and third depths of the low-yield areas. When comparing yields, the low yield areas showed higher values when compared to the high yield areas, whether irrigated or rainfed, except for the first depth of the irrigated area, which showed statistical similarity. When assessing penetration resistance, in the high productivity areas, the rainfed area showed a significant increase compared to the irrigated area from a depth of 20 cm, while in the low productivity areas, the irrigated area showed higher penetration resistance values compared to the rainfed area from a depth of 10 cm to approximately 30 cm. The low productivity irrigated area showed higher penetration resistance values compared to the high productivity area at all depths, and the same was observed for the rainfed areas, but only up to the second depth. For C and N of the MOAM fraction, in the high productivity areas, there were only differences between the areas at the last depth, where the irrigated area showed the highest stock values, while in the low productivity areas, C-MOAM showed no difference, N-MOAM was higher at the third depth in the irrigated area. Comparing the yields, C-MOAM showed similarity between the depths in all situations, while N-MOAM had higher stocks in the first two depths of the high-yield areas, whether irrigated or rainfed. It was concluded that penetration resistance and macroporosity are the physical properties that are most affecting root development and, consequently, productivity. It was confirmed that irrigation increases C and N stocks, especially in the fractions associated with minerals, but when it comes to improving soil quality, irrigation showed no differences compared to rainfed areas.

Keywords: Physical attributes; Soil management; C and N stocks; Irrigated

cultivation; Rainfed cultivation; Conservation systems; Soil physical quality index

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Localização da Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil.....21
- Figura 2 – Série histórica de temperatura máxima e mínima (°C) e pluviometria (mm) da estação meteorológica de Patrocínio, Minas Gerais, Brasil.....22
- Figura 3 – Localização das áreas de Latossolos oxídicos sob cultivo anual de cereais e fibras, em áreas irrigadas por pivô central com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em áreas de sequeiro com alta (ASAP) e baixa produtividades (ASBP), Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....23
- Figura 4 - Dispersão gráfica de variáveis físicas e de estoques de C e N analisadas por meio de componentes principais de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo irrigado com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em sequeiro com altas (ASAP) e baixas produtividades (ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15m (Figura 4a); 0,15-0,30 m (Figura 4b); 0,30-0,60 m (Figura 4c) e 0,60-1,00 m (Figura 4d), em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....36
- Figura 5 - Dispersão gráfica das variáveis físicas analisadas por meio de componentes principais de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo irrigado e em sequeiro, nas profundidades de 0,00-0,15m (Figura 5a); 0,15-0,30 m (Figura 5b); 0,30-0,60 m (Figura 5c) e 0,60-1,00 m (Figura 5d), Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....38
- Figura 6 – Análise de PERMANOVA das variáveis físicas do solo entre áreas irrigadas e de sequeiro de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo, nas profundidades de 0,00-0,15m (Figura 5a); 0,15-0,30 m (Figura 5b); 0,30-0,60 m (Figura 5c) e 0,60-1,00 m (Figura 5d), em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....42
- Figura 7 - Dispersão gráfica de variáveis físicas analisadas por meio de componentes principais de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo de alta e baixa produtividades, nas profundidades de 0,00-0,15m (Figura 6a); 0,15-0,30 m (Figura 6b); 0,30-0,60 m (Figura 6c) e 0,60-1,00 m (Figura 6d), em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....43
- Figura 8 – Teores de argila (Figura 8a e 8d), areia grossa (Figura 8b e 8e) e fina (Figura 8c e 8f) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 8a, 8b e 8c) e baixa (Figura 8d, 8e e 8f) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....45
- Figura 9 – Teores de argila dispersa em água (Figura 9a e 9b) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 9a) e baixa (Figura 9b) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....46
- Figura 10 – Densidades de solo (Figura 10a e 10c) e de partículas (Figura 10b e 10d) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 10a e 10b) e baixa (Figura 10c e 10d) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro

(ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	48
Figura 11 – Macroporosidade (Figura 11a e 11c) e microporosidade (Figura 11b e 11d) de Latossolo oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 11a e 11b) e baixa (Figura 11c e 11d) produtividades em sistema irrigado (AIAP e ASAP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	50
Figura 12 – Condutividades hidráulica saturada (Figura 12a e 12d) e hidráulica insaturada (Figura 12b e 12e) e taxa de infiltração de água no solo (Figura 12c e 12f) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 12a, 12b e 12c) e baixa (Figura 12d, 12e e 12f) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	51
Figura 13 – Capacidade de água disponível (Figura 13a e 13b) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 13a) e baixa (Figura 13b) produtividades em sistema de cultivo irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	53
Figura 14 – Curvas de retenção de água de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 14a e 14b) e baixa (Figura 14c e 14d) produtividades em sistema irrigado (Figura 14a e 14c) (AIAP e AIBP) e de sequeiro (Figura 11b e 11d) (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	54
Figura 15 – Resistência a penetração em campo (Figura 15a e 15d), com umidade corrigida (Figura 15b e 15e) e umidade do solo no momento da amostragem (Figura 15c e 15f) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 15a, 15b e 15c) e baixa (Figura 15d, 15e e 15f) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	56
Figura 16 – Grau de compactação (Figura 16a e 16d), pressão de pré-consolidação (Figura 16b e 16e) e índice de compressibilidade (Figura 16c e 16f) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 16a, 16b e 16c) e baixa (Figura 16d, 16e e 16f) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	58
Figura 17 – Diâmetro médio ponderado úmido (Figura 17a e 17e), índice de estabilidade de agregados (Figura 17b e 17f), resistência tênsil (Figura 17c e 17g) e friabilidade (Figura 17d e 17h) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 17a, 17b, 17c e 17d) e baixa (Figura 17e, 17f, 17g e 17h) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), na profundidade de 0,00-0,20 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	59
Figura 18 – Índice <i>S</i> (Figura 18a e 18b) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 18a) e baixa (Figura 18b) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....	60

Figura 19 – Índice de qualidade física do solo, de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 19a) e baixa (Figura 19b) em sistema irrigado por pivô central (Figura 19a) e de sequeiro (Figura 19b), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....61

Figura 20 – Estoques de carbono (C) das frações da matéria orgânica MOAM (Figura 20a e 20c) e MOP (Figura 20b e 20d) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 20a e 20b) e baixa (Figura 20c e 20d) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....63

Figura 21 – Estoques de nitrogênio (N) das frações da matéria orgânica MOAM (Figura 21a e 21b) e MOP (Figura 21b e 21c) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (figura 21a e 21b) e baixa (Figura 21c e 21d) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil..65

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Propriedades físicas e químicas de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo, em áreas irrigadas com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em áreas de sequeiro com alta (ASAP) e baixa (ASBP) produtividades, nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-1,00 m, Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....24
- Tabela 2 – Informações complementares sobre a aplicação de corretivos no período de 2009 a 2022 em áreas de Latossolos oxídicos irrigados de alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades sob cultivo intensivo na Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....25
- Tabela 3 – Informações complementares sobre a aplicação de corretivos no período de 2010 a 2022 em áreas de Latossolos oxídicos de sequeiro de alta (ASAP) e baixa (ASBP) produtividades sob cultivo intensivo na Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....26
- Tabela 4 - Autovalores, variância explicada (%), variância acumulada (%) e correlação de variáveis em análise de componentes principais (ACP) envolvendo variáveis físicas e de estoques de C e N de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo, em áreas irrigadas por com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em áreas de sequeiro com alta (ASAP) e baixa produtividades (ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-1,00 m, Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil.....39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.1 Descrição das áreas de estudo e histórico de uso	20
2.2 Delineamento experimental e amostragem de solo	25
2.3 Análises físicas.....	26
<i>Resistência à penetração em campo</i>	26
<i>Umidade do solo</i>	27
<i>Granulometria</i>	27
<i>Argila dispersa em água</i>	27
<i>Condutividade hidráulica saturada</i>	27
<i>Densidade do solo</i>	29
<i>Curva de retenção de água</i>	28
<i>Índice S</i>	28
<i>Resistência à penetração com umidade ajustada na capacidade de campo</i>	29
<i>Densidade de partículas</i>	30
<i>Porosidade do solo</i>	29
<i>Capacidade de água disponível</i>	29
<i>Estabilidade de agregados e índice de estabilidade de agregados</i>	30
<i>Resistência tênsil e friabilidade</i>	30
<i>Pressão de pré-consolidação, índice de compressibilidade e grau de compactação</i>	30
<i>Condutividade hidráulica insaturada e taxa de infiltração de água no solo</i>	32
<i>Índice de qualidade física do solo</i>	32
2.3 Análises químicas	33
<i>Fracionamento da matéria orgânica do solo</i>	33
<i>Estoques de C e N das frações MOP e MOAM</i>	33
2.4 Procedimentos estatísticos.....	34
3. RESULTADOS.....	35
<i>Análise de componentes principais</i>	35
<i>Teores de argila, areia grossa e fina e argila dispersa em água</i>	43
<i>Densidades do solo e de partículas e macro e microporosidade do solo</i>	47
<i>Condutividade hidráulica saturada e insaturada e taxa de infiltração de água</i> ... 50	
<i>Capacidade de água disponível e curva de retenção de água</i>	52

<i>Resistência à penetração em campo e com umidade ajustada na capacidade de campo.....</i>	<i>55</i>
<i>Grau de compactação, pressão de pré-consolidação e índice de compressibilidade.....</i>	<i>57</i>
<i>Diâmetro médio ponderado úmido, índice de estabilidade de agregados, resistência tênsil e friabilidade.....</i>	<i>58</i>
<i>Índice S e de qualidade física do solo (IQFS).....</i>	<i>60</i>
<i>Estoques de C das frações MOP e MOAM.....</i>	<i>61</i>
<i>Estoques de N das frações MOP e MOAM.....</i>	<i>63</i>
4. DISCUSSÃO.....	66
5. CONCLUSÃO.....	82
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
REFERÊNCIAS.....	84

1. INTRODUÇÃO

A agricultura desempenha um papel crucial na alimentação global e na economia de muitos países (Yang et al., 2023). No entanto, a produção agrícola enfrenta desafios relacionados às condições climáticas imprevisíveis, como secas e/ou chuvas irregulares (Liu et al., 2023a). Para superar essas adversidades climáticas e garantir uma produção agrícola consistente, os agricultores têm recorrido cada vez mais ao uso de sistemas de irrigação (Angnes et al., 2023). No entanto, a busca por aumentar a produtividade na mesma área agrícola resulta em pressão sobre recursos essenciais para a produção, como terra e água, o que contribui para o aumento da emissão de gases de efeito estufa provenientes da agricultura (Trost et al., 2013).

A qualidade do solo desempenha um papel fundamental na produtividade das culturas agrícolas. As mudanças nas propriedades físicas do solo afetam diretamente a saúde das plantas e a eficiência com que elas absorvem água e nutrientes (Mon et al., 2007). A utilização de implementos agrícolas de maneira descontrolada e em condições de umidade inadequadas (quando o solo apresenta condição de plasticidade) causam o aumento da compactação do solo, contribuindo com o aumento da densidade, e conseqüentemente redução nos valores de condutividade hidráulica e de infiltração de água no solo, afetando o desenvolvimento do sistema radicular das plantas em profundidade (Usharani et al., 2019). Essa condição causa alterações na porosidade do solo, em particular a redução da macroporosidade (Liu et al., 2023b), refletindo em menores taxas de infiltração de água (Yue et al., 2021). Além disso, a deficiência na aeração das raízes devido ao baixo fluxo de O₂ (Gil et al., 2012) impacta negativamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. O uso agrícola dos solos também causa alterações nos estoques de C e N, seja pela perda da matéria orgânica devido à erosão hídrica ou por alterações nas práticas de manejo (Andrade et al., 2020) pela exposição e disponibilização da matéria orgânica para consumo aos microorganismos. Tal condição também contribui para que ocorram reduções na fertilidade do solo e alterações na produtividade das culturas (Lal, 2020).

A erosão do solo também é um desafio que deve ser levado em consideração quando se trata de produtividade, pois está diretamente relacionada à degradação dos solos (Mandal et al., 2021). Este fenômeno contribui com a remoção das camadas mais superficiais, fazendo com que ocorra a perda de grande parte da camada fértil do solo (Tsybarovich et al., 2020), o que leva ao comprometendo da capacidade de suporte às

culturas e gera gastos adicionais para reposição da fertilidade do solo. Solos degradados afetam o desenvolvimento e o rendimento produtivo das plantas. A utilização de práticas de manejo sustentáveis, associada com a manutenção da saúde do solo são essenciais para elevar os índices de produtividade agrícola.

As propriedades físicas são uma das mais sensíveis às mudanças influenciadas pelo uso e manejo dos solos (Gozubuyuk et al., 2014), o que gera grandes preocupações sobre os impactos produtivos das culturas. O uso intensivo de implementos agrícolas é um fator que contribui para as alterações dessas propriedades, como o aumento da compactação (Bottega et al., 2023), reduzindo conseqüentemente a macroporosidade do solo (Sou/Dakouré et al., 2013), além de influenciar negativamente na penetração do sistema radicular das plantas em profundidade e nas trocas gasosas entre a atmosfera e o solo (Oliveira et al., 2021).

Solos irrigados e não irrigados podem apresentar características similares (e.g. teor de argila), e ainda assim ter diferenças no armazenamento de carbono (C) e nitrogênio (N) (Blanco-Canqui et al., 2010). Esses autores, comprovaram que a utilização da irrigação aumentou o armazenamento de C no solo, devido ao aumento da produção de biomassa das plantas, seja da parte aérea ou do sistema radicular. Entretanto, a utilização da irrigação favorece a elevação da umidade do solo, podendo motivar a aceleração da decomposição da matéria orgânica por meio do aumento da atividade biológica do solo, o que aumentaria as emissões de CO₂ para a atmosfera (Trost et al., 2013). Assim, pode-se afirmar que a dinâmica dos ciclos do C e N nos solos irrigados pode ser multifacetada (Alavaisha et al., 2019), porque a disponibilidade de água pode alterar a decomposição e a disponibilidade de matéria orgânica no solo (Bouaroudj et al., 2022). Resultados discrepantes foram encontrados por Mudge et al. (2021), que relataram menores estoques de C e N em áreas irrigadas comparadas com áreas de sequeiro, onde a umidade do solo contribuiu para que houvesse maiores perdas de C. Associado a isso, Oliveira et al. (2014) relataram que sistemas de produção intensivos (e. g. produção de cereais) possuem menor capacidade de armazenamento de C e N quando comparados com sistemas de produção considerados menos intensivos (e. g. pastagem e pomar de goiaba). Acerca disso, levanta-se a preocupação sobre a liberação de CO₂ para a atmosfera, ocasionando indiretamente o aumento da lixiviação de N para os lençóis freáticos (Mudge et al., 2017).

Efeitos diversos podem ser observados nas propriedades físicas dos solos que estão sob uso de irrigação, como por exemplo, o aumento considerável dos valores de

densidade do solo, ao mesmo tempo que ocorre acentuada diminuição nos valores de macroporosidade e porosidade total (Drewry et al., 2020). Esses autores ainda sugerem que o monitoramento das propriedades físicas do solo não fique restrito apenas à camada superficial (0 – 0,10 m), pois é possível observar efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo em camadas mais profundas (até $\approx 0,30$ m).

Os ciclos de umedecimento e secagem, típicos e frequentes em áreas irrigadas, colaboram a longo prazo para o aumento da microporosidade do solo e favorece a formação de uma rede de poros descontínua e tortuosa (Oliveira et al., 2021). Em outra situação, Bonetti et al. (2017) evidenciaram que os ciclos de umedecimento e secagem proporcionaram o aumento da macroporosidade pelo fraturamento de pontos de fraqueza existentes entre os microporos, mesoporos e macroporos. Estes resultados podem promover alterações nas propriedades hidráulicas do solo (Drewry et al., 2020) e, em alguns casos, comprometer o fluxo de água e gases ao longo do perfil, colocando em risco o sucesso da produtividade dessas áreas.

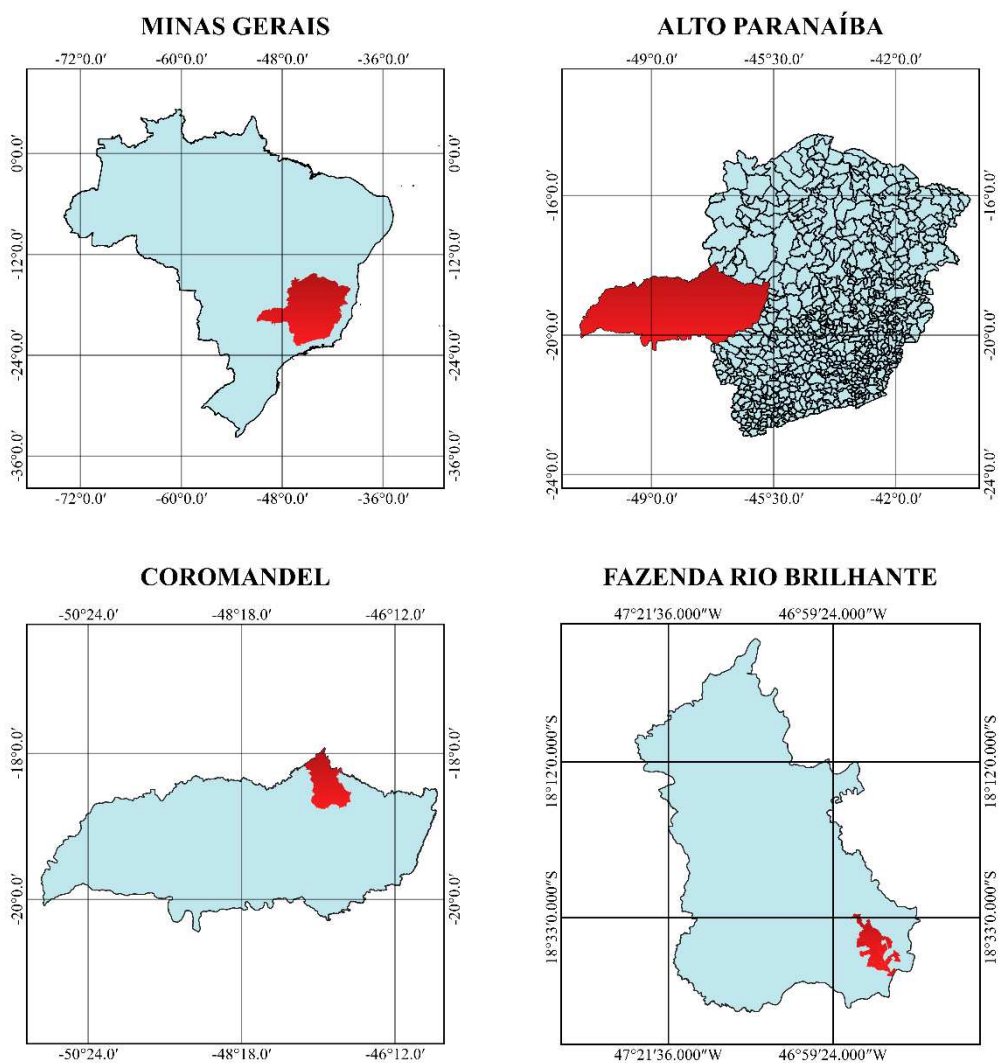
Entende-se que para o bom funcionamento do solo é essencial a preservação das propriedades físicas, bem como, que sejam realizadas práticas para a manutenção dos estoques de C e N em áreas agrícolas. Assim, o presente estudo foi conduzido considerando as seguintes hipóteses: (i) as propriedades físicas do solo podem justificar as diferenças na produtividade final das culturas, seja em solos irrigados ou de sequeiro; (ii) os solos irrigados apresentam maiores estoques de C e N comparativamente aos solos sob cultivo de sequeiro por produzirem maiores biomassas; (iii) solos sob sistema irrigado apresentarão melhor qualidade física por produzirem maiores biomassas. Diante do exposto, o estudo objetivou: (i) avaliar as alterações dos atributos físicos de Latossolos Oxidícos em áreas de cultivo irrigado e de sequeiro com alta e baixa produtividades; e (ii) avaliar os estoques de C e N de Latossolos Oxidícos sob uso irrigado e sequeiro sob cultivo intensivo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição das áreas de estudo e histórico de uso

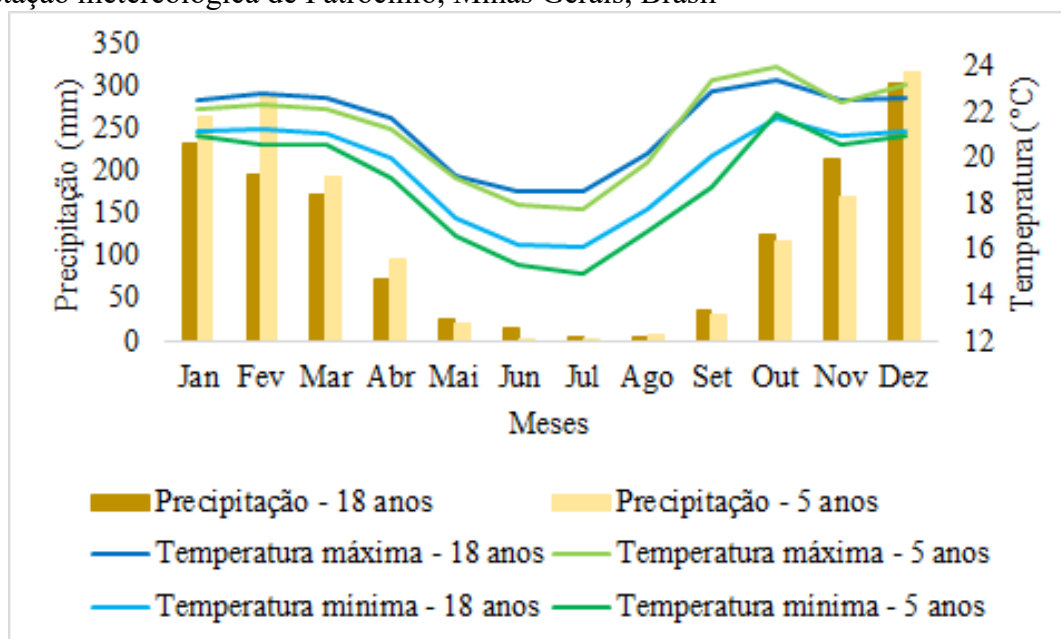
As áreas selecionadas para este estudo estão localizadas na Fazenda Rio Brilhante, no município de Coromandel, na região do Alto Paranaíba, no estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen, o município está localizado em uma região mesotérmica, com variedade de clima Aw (Alvares et al., 2013), apresentando duas estações bem definidas, sendo o verão chuvoso entre os meses de outubro a abril (207 mm), e uma estação seca compreendida de maio a setembro (13,1 mm) (Figura 2). A altitude média das áreas de coleta é de 900 m.

Figura 1 – Localização da Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, na região do Alto Paranaíba, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 2 – Série histórica de temperatura máxima e mínima (°C) e pluviometria (mm) da estação meteorológica de Patrocínio, Minas Gerais, Brasil



Fonte: Inmet

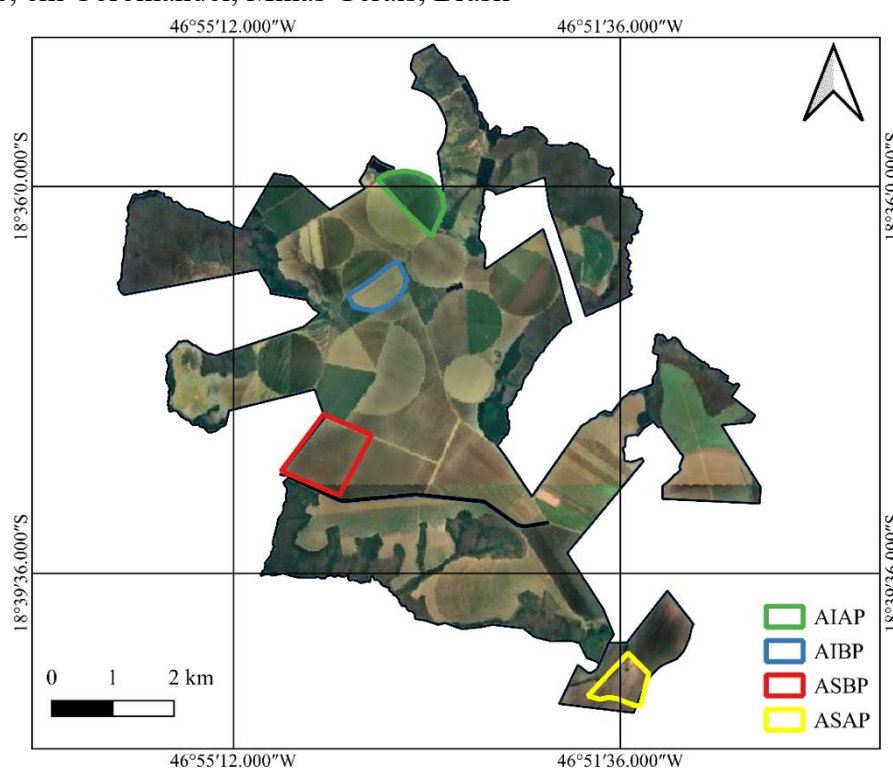
Os solos das áreas de coleta foram classificados como Latossolos, condizente com os solos encontrados nessa região, conforme relatado por Motta et al. (2004). Foi observado a ocorrência de uma variação quanto a matiz desses solos entre as áreas irrigadas e de sequeiro, sendo que as duas áreas irrigadas foram classificadas como LATOSSOLOS AMARELOS Distróficos típicos e as duas áreas de sequeiro como LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos típicos. Os teores de argila das áreas avaliadas variam de 68% a 89% (Tabela 1), caracterizando como muito argilosos. Latossolos são solos comuns de regiões tropicais, profundos e muito desenvolvidos, sendo comum a ocorrência predominante de óxidos de Fe e Al em relação a minerais do tipo 1:1. Essa característica dos Latossolos favorece a ocorrência de uma estrutura microgranular, também conhecida por estrutura “pó de café”, tornando o solo mais resiliente às ações antrópicas.

As áreas em estudo são totalmente mecanizadas (desde o preparo do solo até a colheita) e o manejo da adubação é feito de acordo com a necessidade individual de cada cultura, levando em consideração resultados obtidos em análise de solos.

Quatro áreas foram selecionadas para este estudo (Figura 3). Duas das áreas possuem sistema de irrigação por pivô central, e em outras duas áreas é praticada a agricultura de sequeiro. Em cada uma das situações relatadas acima, há uma variação na

produtividade final das culturas, de acordo com o que foi relatado pelos técnicos responsáveis pela condução da fazenda. As áreas foram classificadas em alta produtividade [agricultura irrigada de alta produtividade (AIAP) e agricultura de sequeiro de alta produtividade (ASAP)] e baixa produtividade [agricultura irrigada de baixa produtividade (AIBP) e agricultura de sequeiro de baixa produtividade (ASBP)] dentro de cada sistema de produção.

Figura 3 – Localização das áreas de Latossolos oxídicos sob cultivo anual de cereais e fibras, em áreas irrigadas por pivô central com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em áreas de sequeiro com alta (ASAP) e baixa produtividades (ASBP), Fazenda Rio Brillante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Fonte: elaborado pelo autor.

As áreas AIAP e AIBP foram convertidas de cerrado em áreas agrícolas há pelo menos 30 anos. Desde então, elas possuem sistema de irrigação por pivô central e são utilizadas para o cultivo anual de cereais, fibras e em situações pontuais hortifrutigranjeiros, como tomate e batata. Assim, a lâmina d'água aplicada varia de acordo com a necessidade de cada cultura e da época do ano e é controlada por meio de um software por técnicos especializados. O manejo de corretivos dessas áreas está detalhado na Tabela 2.

Tabela 1 – Propriedades físicas e químicas de Latossolos oxidicos sob cultivo intensivo, em áreas irrigadas com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em áreas de sequeiro com alta (ASAP) e baixa (ASBP) produtividades, nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-1,00 m, Fazenda Rio Brillhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

Propriedades	AIAP				AIBP				ASAP				ASBP			
	0,0-0,15	0,15-0,3	0,3-0,6	0,6-1,0	0,0-0,15	0,15-0,3	0,3-0,6	0,6-1,0	0,0-0,15	0,15-0,3	0,3-0,6	0,6-1,0	0,0-0,15	0,15-0,3	0,3-0,6	0,6-1,0
pH ₂ O ¹	5,51	5,34	5,66	6,14	6,33	5,57	5,74	6,10	6,44	5,80	5,57	5,98	5,98	6,11	5,42	5,79
P (mg dm ⁻³) ²	36,50	10,80	0,50	0,50	26,30	5,00	0,80	0,50	10,40	4,70	0,50	0,50	10,90	2,20	0,50	0,50
P _{rem} (mg dm ⁻³) ³	19,00	11,60	3,60	1,70	14,60	7,50	3,30	1,10	3,70	11,30	5,30	2,40	15,40	8,60	3,80	1,70
K (mg dm ⁻³) ²	133,00	42,00	40,00	37,00	76,00	31,00	29,00	20,00	81,00	41,00	31,00	38,00	70,00	47,00	23,00	23,00
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁴	4,57	1,81	0,78	0,71	4,87	1,43	0,84	0,80	4,62	2,20	0,63	0,70	3,52	1,97	0,54	0,68
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁴	1,02	0,52	0,34	0,26	1,38	0,45	0,28	0,34	1,37	0,67	0,21	0,25	1,31	0,98	0,28	0,27
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³) ⁴	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁵	5,50	5,60	2,90	2,10	3,60	4,90	3,20	2,10	3,50	4,80	3,80	2,50	4,70	4,00	3,80	2,70
SB (cmol _c dm ⁻³) ⁶	5,93	2,44	1,22	1,06	6,44	1,96	1,19	1,19	6,20	2,98	0,92	1,05	5,01	3,07	0,88	1,01
t (cmol _c dm ⁻³) ⁷	5,93	2,44	1,22	1,06	6,44	1,96	1,19	1,19	6,20	2,98	0,92	1,05	5,01	3,07	0,88	1,01
T (cmol _c dm ⁻³) ⁸	11,43	8,04	4,12	3,16	10,04	6,86	4,39	3,29	9,70	7,78	4,72	3,55	9,71	7,07	4,68	3,71
V (%) ⁹	51,90	30,30	29,60	33,50	64,10	28,60	27,10	36,20	63,90	38,3	19,50	29,60	51,60	43,40	18,80	27,20
m (%) ¹⁰	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dp (g cm ⁻³) ¹¹	2,13	2,25	2,24	2,24	2,26	2,29	2,28	2,26	2,34	2,35	2,37	2,29	2,3	2,33	2,35	2,38
ADA (kg kg ⁻¹) ¹²	0,05	0,10	0,00	0,00	0,06	0,07	0,00	0,00	0,05	0,09	0,02	0,00	0,06	0,10	0,00	0,00
AG (kg kg ⁻¹) ¹³	0,05	0,04	0,03	0,02	0,06	0,05	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02
AF (kg kg ⁻¹) ¹³	0,04	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,05	0,03	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,02
Silte (kg kg ⁻¹) ¹⁴	0,20	0,15	0,09	0,12	0,22	0,11	0,12	0,12	0,19	0,10	0,07	0,09	0,19	0,13	0,10	0,10
Argila (kg kg ⁻¹) ¹⁴	0,71	0,78	0,86	0,84	0,68	0,83	0,83	0,83	0,72	0,85	0,89	0,87	0,72	0,82	0,86	0,86

¹Potencial hidrogeniônico (pH) em água: determinado em solução 1:2,5 (solo:solução) por potenciometria; ²P-rem: fósforo remanescente: determinado de acordo com Alvarez et al. (2000), utilizando CaCl₂ em concentração de 0,01 mol L⁻¹ em extrato submetido a agitação por 1 h com solução de concentração de 60 mg L⁻¹ de P; ³P e K disponíveis: extraídos com solução de Mehlich-1 e determinados por espectrofotometria e fotômetro de chama, respectivamente; ⁴Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺: extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectrometria de absorção atômica; ⁵H+Al: foi determinada pela extração com solução de acetato de Ca [Ca(C₂H₃O₂)₂] 0,5 mol L⁻¹ tamponada a pH 7,0 seguido de titulação com NaOH 0,0636 mol L⁻¹; ⁶SB: soma de bases trocáveis (Mg²⁺ + K⁺ + Ca²⁺); ⁷t: capacidade de troca catiônica efetiva (Ca²⁺ + Mg²⁺ + K⁺ + Al³⁺); ⁸T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0, que é a soma de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H+Al⁺; ⁹V: saturação por bases (V%) = $100 \times \left(\frac{SB}{t}\right)$; ¹⁰m: saturação por alumínio (m%) = $\left(\frac{1Al^{3+}}{SB + Al^{3+}}\right) \times 100$; ¹¹Densidade de partículas (Dp): determinado pelo método do balão volumétrico; ¹²Argila dispersa em água (ADA): agitação lenta em água e determinada pelo método da pipeta; ¹³Areia grossa (AG) e areia fina (AF), ¹⁴Silte e argila: determinados após agitação lenta (16 horas à 50 rpm) + pré-tratamento (20 g de solo + 20 mL HCl 0,05 mol L⁻¹ + 10 mL de água + 5 mL H₂O₂), peneiramento (AG + AF) e pelo método da pipeta (argila e silte).

Tabela 2 – Informações complementares sobre a aplicação de corretivos no período de 2009 a 2022 em áreas de Latossolos oxídicos irrigados de alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades sob cultivo intensivo na Fazenda Rio Brillhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

Agricultura Irrigada de Alta Produtividade				
Mês/ano¹	Tipo de calcário		Gesso	Tipo de incorporação
	Dolomítico	Magnésiano		
	t ha⁻¹			
ago/09	3,5	-	-	Não realizado
set/10	-	2,5	-	Não realizado
set/13	3,4	-	-	Subsolador + grade leve
jun/15	-	1,4	-	Não realizado
abr/16	-	-	0,5	Não realizado
set/17	3,8	-	-	Escarificador
ago/18	2,5	-	-	Escarificador + grade niveladora
set/19	-	2,0	-	Escarificador + grade leve
ago/21	-	3,5	0,7	Subsolador
Agricultura Irrigada de Baixa Produtividade				
Mês/ano¹	Tipo de calcário		Gesso	Tipo de incorporação
	Dolomítico	Magnésiano		
	t ha⁻¹			
ago/09	3,5	-	-	Não realizado
ago/11	2,9	-	-	Não realizado
jan/12	-	-	0,4	Não realizado
set/13	4,6	-	0,3	Grade leve
jul/14	-	2,0	0,5	Subsolador + grade leve
out/15	3,0	1,4	-	Escarificador + grade leve
set/16	2,0	-	0,5	Grade leve
set/17	3,0	-	-	Escarificador + grade leve
ago/18	3,0	-	-	Escarificador + grade niveladora
ago/20	-	3,2	0,8	Grade leve
ago/22	-	3,0	-	Subsolador + grade leve

¹mês e ano de aplicação dos corretivos.

Fonte: elaborado pelo autor.

As áreas ASAP e ASBP foram convertidas em áreas agrícolas a pelo menos 45 anos. A área ASAP permaneceu com plantio de eucalipto por 15 anos, e posteriormente, mais 10 anos com pastagem e atualmente encontra-se com o cultivo de cereais, fibras e hortifrutigrangeiros (e. g. batata) a 20 anos. A área ASBP permaneceu por 15 anos com o plantio de eucalipto e encontra-se a 30 anos com o cultivo de cereais e fibras. O manejo de corretivos dessas áreas está detalhado na Tabela 3.

Tabela 3 – Informações complementares sobre a aplicação de corretivos no período de 2010 a 2022 em áreas de Latossolos oxidicos de sequeiro de alta (ASAP) e baixa (ASBP) produtividades sob cultivo intensivo na Fazenda Rio Brillhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

Agricultura de Sequeiro de Alta Produtividade				
Mês/ano¹	Tipo de calcário		Gesso	Tipo de incorporação
	Dolomítico	Magnésiano		
	t ha⁻¹			
set/10	-	2,0	-	Não realizado
out/12	-	1,8	0,5	Não realizado
jun/14	2,0	-	-	Escarificador
ago/15	2,0	-	-	Subsolador + grade leve
set/16	1,6	-	-	Grade leve
jan/18	-	-	1	Não realizado
out/19	-	2,6	-	Grade leve
out/20	-	2,0	-	Grade leve
jul/22	-	2,5	-	Subsolador + grade leve
Agricultura de Sequeiro de Baixa Produtividade				
Mês/ano¹	Tipo de calcário		Gesso	Tipo de incorporação
	Dolomítico	Magnésiano		
	t ha⁻¹			
out/10	-	2,4	-	Não realizado
set/12	2,5	-	1,2	Grade leve
out/14	1,7	-	-	Escarificador
jul/16	1,5	-	-	Grade leve
out/17	-	-	1,0	Não realizado
ago/18	2,5	-	-	Grade leve
out/20	-	3,2	-	Escarificador
ago/21	1,5	-	1,0	Escarificador

¹mês e ano de aplicação dos corretivos.

Fonte: elaborado pelo autor.

2.2. Delineamento experimental e amostragem de solo

Para a coleta de amostras de solo, foram abertas cinco trincheiras em cada um dos sistemas de produção (irrigado e sequeiro), distribuídas sistematicamente dentro dos campos agrícolas, considerando aspectos de uniformidade de relevo e não proximidade com bordas, caracterizando um delineamento sistemático, conforme descrito por Calzada Benza (1964) e Alvarez e Alvarez (2013). O esquema de parcelas subdivididas foi adotado, onde os tratamentos principais (parcelas) consistiram em dois sistemas de produção: irrigado e sequeiro, sendo as subparcelas definidas pelas quatro profundidades de solo: 0,00-0,15 m, 0,15-0,30 m, 0,30-0,60 m e 0,60-1,00 m, estabelecidas pelas semelhanças morfopedogenéticas de cor, estrutura e resistência do solo à penetração de instrumento pontiagudo (faca). A casualização das subparcelas foi restrita, pois as profundidades foram dispostas em faixas.

A amostragem do solo foi realizada entre os dias 28 de agosto e 07 de setembro de 2023. No momento de amostragem na área AIAP havia milho plantado a 10 dias, enquanto na área AIBP havia trigo seco pronto para ser colhido. Nas áreas de sequeiro, ASAP e ASBP, haviam sido colhidos alguns dias antes da coleta de solo milho e algodão, respectivamente.

Amostras indeformadas de solo foram coletadas em anéis cilíndricos (0,05 m × 0,05 m; diâmetro e altura) utilizando um amostrador do tipo castelo em cada uma das profundidades de cada repetição para as análises de condutividade hidráulica, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, curva de retenção de água (até - 10 kPa), resistência à penetração com umidade corrigida e densidade do solo. Para a avaliação da pressão de pré-consolidação e densidade relativa foram coletadas amostras em anel cilíndrico (0,07 m × 0,025 m; diâmetro e altura) utilizando um amostrador do tipo Uhland na profundidade de 0,00 - 0,15 m. Já as amostras deformadas do solo foram coletadas em cada uma das profundidades de cada trincheira para as análises de argila dispersa em água, granulometria, curva de retenção de água dos potenciais mátricos de -100 à -1500 kPa e fracionamento físico da matéria orgânica [matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOAM)]. Uma amostra composta por tratamento, em cada profundidade, foi coletada para análises de caracterização do complexo sortivo. Todas as amostras deformadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Por último, um bloco de solo com dimensões aproximadas de 0,25 × 0,25 × 0,10 m foi coletado em cada trincheira na profundidade de 0,10 a 0,20 m, para a avaliação da resistência tênsil e estabilidade dos agregados.

2.2 Análises físicas

Resistência à penetração em campo

A resistência à penetração em condição de campo (RPC) foi determinada com um penetrômetro digital (Falker, PenetroLOG2040, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil), com diâmetro de cone de 7,94 mm, haste com penetração máxima de 40 cm e velocidade de inserção de até 5 cm s⁻¹. As 11 medições de RPC, realizadas no entorno de cada trincheira, foram feitas de maneira aleatorizada.

Umidade do solo

A umidade do solo foi determinada com equipamento baseado na reflectometria no domínio do tempo – TDR (Meter, Prochek Teros 12, São José dos Campos, São Paulo, Brasil). As determinações foram feitas em todas as repetições, sendo coletadas três leituras de umidade em cada uma das profundidades.

Granulometria

A determinação da granulometria do solo foi realizada após pré-tratamento e dispersão física e química. O pré-tratamento realizado em conformidade com Donagemma et al. (2003) com solução de HCl (0,05 mol L⁻¹) para remoção de óxidos de ferro e alumínio mal cristalizados, seguido pela remoção da matéria orgânica do solo com H₂O₂ (30 v/v). Para a dispersão química foi utilizado NaOH (0,01 mol L⁻¹), enquanto a dispersão física foi realizada por agitação lenta a 50 rpm durante 16 h. As frações de areia fina e grossa foram obtidas por meio de peneiramento e as frações silte e argila foram quantificadas pelo método da pipeta (Teixeira et al., 2017).

Argila dispersa em água

Para a determinação de argila dispersa em água (ADA) foi utilizado dispersão física das partículas por agitação lenta a 50 rpm por 16 h. A fração ADA foi quantificada pelo método da pipeta de acordo com Teixeira et al. (2017).

Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat}, cm s⁻¹) foi determinada utilizando amostras indeformadas de solo em um permeâmetro de carga constante. As amostras saturadas permaneceram em estabilização por 60 min com coluna de água aplicada de 2 cm de altura. O volume de água percolado foi aferido em provetas calibradas em intervalos de 10 min até que as 3 últimas amostragens tivessem variação ≤ a 20% (Teixeira et al., 2017). A K foi determinada pela equação: $K_{sat} = \left(\frac{Q \times L}{A \times H \times t} \right)$, onde: Q é o volume médio percolado (mL); L é a altura da amostra (cm); H é a altura da amostra e da coluna de água (cm); A é a área do anel volumétrico (cm²); e t é o tempo de percolação (h).

Densidade do solo

A densidade do solo (D_s , g cm⁻³) foi determinada de acordo com Teixeira et al. (2017) com amostras indeformadas após secagem a 105°C por 24 horas. Utilizou-se a equação: $D_s = \frac{M_{as}}{V}$, onde: M_{as} é a massa da amostra seca (g); e V é o volume do anel (cm²).

Curva de retenção de água

A curva de retenção de água no solo (CRA) foi determinada com amostras indeformadas, saturadas e equilibradas para os potenciais mátricos (Ψ_m) de -1, -3, -6 e -10 kPa usando mesa de tensão (Eijkelkamp Agrisearch Equipment, Países Baixos). Amostras de solo deformadas foram saturadas e equilibradas para os Ψ_m de -100, -300, -500, -1000 e -1500 kPa usando as câmaras de Richard (SoilMoisture Equipment, 1500F1, California, Estados Unidos). O teor gravimétrico de água ($U = \frac{M_{\text{água}}}{M_{\text{solo}}}$), onde $M_{\text{água}}$ é a massa de água da amostra e M_{solo} é a massa do solo seco. Posteriormente, a umidade do solo foi convertida em umidade volumétrica: $\theta = U \times D_s$. O ajuste dos dados de θ obtidos foram feitos com a equação proposta por van Genuchten (1980): $\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + \alpha \times h)^n)^m}$, onde: θ é o conteúdo volumétrico de água no solo (m³ m⁻³); Ψ_m é o potencial matricial (kPa); θ_s e θ_r são conteúdo volumétricos saturados (m³ m⁻³) e residual (m³ m⁻³) de água no solo, respectivamente; α , m e n são parâmetros empíricos da equação.

Índice S

O índice S (S) foi determinado de acordo com Dexter (2004) e baseia-se na inclinação da reta tangente que toca o ponto de inflexão da CRA, podendo ser calculado por meio da equação: $S = -n (\theta_{\text{sat}} - \theta_{\text{res}}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)}$, onde: θ_{sat} é o conteúdo de água da amostra saturada (m³ m⁻³); θ_{res} é o conteúdo de água residual da amostra (m³ m⁻³); e n e m são parâmetros de van Genuchten.

Resistência à penetração com umidade ajustada na capacidade de campo

A resistência à penetração com umidade corrigida (RPuc) foi realizada utilizando um penetrômetro digital de bancada (Tecnal, TE-096, Piracicaba, São Paulo, Brasil), com amostras de solo indeformadas. As amostras foram saturadas e equilibradas na capacidade de campo (Ψ_m -10 kPa). Para a coleta de dados foi considerado o ponto central de cada

amostra, descartando os dados dos primeiros 0,5 cm, bem como dos últimos 0,5 cm de profundidade.

Densidade de partículas

A determinação da densidade de partículas (D_p , g cm⁻³) seguiu o protocolo descrito por Teixeira et al. (2017). Em um balão volumétrico foram depositados 20 g de TFSA e 20 mL de álcool etílico, procedendo-se a agitação manual da amostra e repouso por 30 min. Após o balão foi aferido para 50 mL (volume conhecido). A D_p foi determinada pela equação: $D_p = \frac{M_{as}}{V_t - V_g}$, onde: M_{as} é a massa da amostra seca (g); V_t é o volume do balão aferido (mL); e V_g é o volume gasto de álcool etílico (mL).

Porosidade do solo

A porosidade total (P_{total} , cm³ cm⁻³) do solo foi calculada a partir dos valores de D_s e D_p $\left(P_{total} = \frac{D_p - D_s}{D_p} \right)$ em conformidade com a metodologia proposta por Teixeira et al. (2017). A microporosidade (M_i , cm³ cm⁻³) foi determinada a partir de amostras de solo indeformadas submetidas a mesa de tensão em Ψ_m de -6 kPa por meio da equação: $M_i = \frac{M_1 - M_2}{V}$, onde: M_1 é a massa da amostra após equilíbrio no Ψ_m de -6 kPa; M_2 é a massa de solo seco; e V é o volume da amostra (cm³). A macroporosidade (cm³ cm⁻³) foi determinada pela diferença entre a P_{total} e a M_i .

Capacidade de água disponível

A capacidade de água disponível (CAD, mm) foi calculada em conformidade com Teixeira et al. (2017) por meio da equação: $CAD = \theta_{CC} - \theta_{PMP} \times E$, onde: θ_{CC} é a umidade na capacidade de campo (m³ m⁻³), θ_{PMP} é a umidade no ponto de murcha permanente (m³ m⁻³), E é a espessura da camada (mm).

Estabilidade de agregados e índice de estabilidade de agregados

A estabilidade de agregados foi determinada em conformidade com Kemper e Chapil (1965), utilizando amostras dos blocos coletados em campo. Agregados de tamanho entre 2 e 4 mm foram selecionado e separados por peneiramento, sendo 50 g de agregados dispostos sobre um vidro de relógio e umedecidos com água. Após 30 min, estes foram dispostos sobre a primeira peneira de um conjunto (2 mm; 1 mm; 0,50 mm; 0,25 mm; 0,105

mm e 0,053 mm) no equipamento Yoder. Cada amostra foi submetida a oscilações verticais durante 15 minutos. Após a secagem da amostra em estufa à 105°C, foi determinado o diâmetro médio ponderado (DMPu). O índice de estabilidade de agregados (IEA) foi calculado de acordo com Perin et al. (2002) por meio da equação: $\left(\text{IEA} = \frac{\text{ms} - \text{wp25} - \text{areia}}{\text{ms} - \text{areia}} \right) \times 100$, onde: ms é a massa total da amostra seca (g); wp25 é peso dos agregados < 0,25 mm (g); e areia é o teor de areia do solo (kg kg^{-1})

Resistência tênsil e friabilidade

A determinação da resistência tênsil (RT) e friabilidade (F) dos agregados foram realizadas de acordo com Figueiredo et al. (2011) em consolidômetro pneumático (Comtec, MDE-100, Piracicaba, São Paulo, Brasil). 40 agregados de cada repetição foram utilizados, totalizando 200 agregados por tratamento. Cada agregado foi disposto entre as placas metálicas do consolidômetro, e a força máxima necessária para a ruptura dos agregados foi medida por um dinamômetro digital portátil (Force Gauge, modelo FG-5020, Taiwan, China). A resistência tênsil (RT, MPa) foi calculada por meio da equação (van Lier, 2019): $RT = 0,576 \left(\frac{P}{D^2} \right)$, onde: 0,576 é a constante de proporcionalidade que reflete a relação entre o estresse compressivo aplicado e o estresse tênsil gerado no interior do agregado; P é a força aplicada (N); e D é o diâmetro efetivo do agregado (mm) calculado pela equação: $D = D_m \left(\frac{M}{M_0} \right)^{\frac{1}{3}}$, onde: Dm é o diâmetro média (mm), M é a massa de cada agregado (kg), M0 é a média da massa dos agregados que constituíam a amostra (kg). A friabilidade do solo (F) foi estimada pela equação (van Lier, 2019): $F = \frac{\sigma_Y}{Y} \pm \frac{\sigma_Y}{Y\sqrt{2n}}$, onde: σ_y é o desvio-padrão dos valores de RT; Y é a média dos valores de RT obtidos (kPa); e n é o número de repetições.

Pressão de pré-consolidação, índice de compressibilidade e grau de compactação

A avaliação da pressão de pré-consolidação (σ) foi realizada em consolidômetro pneumático (Comtec, MDE-100, Piracicaba, São Paulo, Brasil), de acordo com Figueiredo et al. (2011). Amostras indeformadas foram saturadas e equilibradas para θ_{CC} ($\Psi_m = -10$ kPa), dispostas sob uma placa porosa e submetidas aos ensaios de compressão uniaxial com aplicação contínua e sucessiva de pressões crescentes e estáticas (12,5, 25, 50, 100, 200, 300, 400, 600, 800, 1.000 kPa). Cada pressão foi aplicada por 30 s, esse tempo de aplicação

de carga é considerado próximo daqueles aplicados na interface pneu-solo por máquinas agrícolas (Mazurana et al., 2017) e a variação da altura da amostra de solo em função da força aplicada foi medida com equipamento acoplado ao consolidômetro. Ao final dos testes, as amostras foram secas para determinação da densidade de referência do solo (D_{ref} , $g\ cm^{-3}$), considerado o volume das amostras após a deformação em 1000 kPa por 5 min (Reichert et al., 2009). A partir dos valores de D_s e D_{ref} , foi calculado o grau de compactação (GC, %): $GC = \left(\frac{D_s}{D_{ref}}\right) \times 100$. Para estimar os valores de σ e índice de compressibilidade (IC) do solo foi utilizado o *software* R, seguindo o que foi proposto por Casagrande (1936), utilizando os últimos três pontos para traçar a reta paralela de compressão virgem.

Condutividade hidráulica insaturada e taxa de infiltração de água no solo

A condutividade hidráulica insaturada (K_{ins}) e a taxa de infiltração de água no solo foram determinadas em campo utilizando o Mini-Disk Infiltrometer (Decagon Device Inc., 2007), selecionando aleatoriamente cinco pontos de amostragem no entorno de cada repetição. A palhada da superfície foi removida nesses locais e a superfície do solo foi suavemente nivelada (Lozano-Baes et al., 2020). A sucção da câmara superior foi de 2 cm e o volume de água infiltrado no solo foi registrado a cada 30 s. A determinação da taxa de infiltração de água no solo (I , $mm\ h^{-1}$) foi calculada pela equação: $I = \left(\left(\frac{I_{acum}}{t}\right) \times 3600\right) \times 10$, onde: I_{acum} é a infiltração de água acumulada (cm); t é o tempo da amostragem (s); 3600 é a conversão para horas; 10 é a conversão para mm. A condutividade hidráulica insaturada do solo (K_{ins} , $cm\ h^{-1}$) foi calculada a partir da equação: $K_{ins} = \frac{C_1}{A}$, onde: C_1 ($cm\ s^{-1}$) é o declive da curva de infiltração acumulada em função da raiz quadrada do tempo; A é um valor que relaciona os parâmetros de van Genuchten para um determinado tipo de solo com a taxa de sucção e o raio do disco do infiltrômetro.

Índice de qualidade física do solo

A partir da primeira rodada da análise de componentes principais (ACP) das áreas irrigadas e de sequeiro com as variáveis físicas, foram obtidos os *loadings* (valores de carga fatorial) de cada variável e os *eigenvalue* de cada componente principal (CP). Foram considerados importantes os componentes com *eigenvalue* ≥ 1 . Para calcular os pesos de cada variável, inicialmente os *loadings* de cada uma das variáveis dentro de cada um dos

CP foram elevados ao quadrado e cada um dos resultados obtidos foram multiplicados pelo *eigenvalue* de seu respectivo componente, para que posteriormente serem somados os valores obtidos em todos os CP de cada variável. O peso de cada indicador foi obtido da seguinte forma: $\text{Peso} = \frac{\text{Var}_1}{\sum \text{var}}$, onde Var1 é a soma de uma das variáveis e $\sum \text{var}$ é a soma de todas as variáveis. Posteriormente foram calculados os pesos expressos em porcentagem e o peso relativo de cada variável, para que os dados fossem ordenados da maior contribuição para a menor contribuição. Foram selecionadas apenas as variáveis que quando somados os pesos em porcentagem explicaram pelo menos 50% do modelo. Para calcular os escores de cada variável, os indicadores foram classificados em ordem crescente ou decrescente, dependendo se um valor mais alto é considerado benéfico ou prejudicial para as funções primárias do solo. Para indicadores considerados quanto “mais alto é melhor” o maior recebeu valor 1, enquanto que os menores valores foram divididos pelo maior. Para indicadores considerados quanto “mais baixo é melhor”, para o menor valor foi atribuído valor 1, enquanto que para os maiores valores foram atribuídos a razão entre o menor valor e o maior valor da variável (Bhardwaj et al., 2011).

2.3. Análises químicas

Fracionamento da matéria orgânica do solo

O fracionamento físico da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizado de acordo com Cambardella e Elliot (1992). Utilizou-se 10 g de TFSA e 30 mL de hexametáfosfato de sódio $[\text{Na}_6(\text{PO}_3)_6]$ em tubos falcon de 50 mL, seguindo para agitação por 15 h em agitador horizontal a 120 rpm. A solução com o solo foi passada em peneira de malha de 0,053 mm e o material retido equivale à matéria orgânica particulada (MOP), sendo o restante que passou pela peneira equivalente à matéria orgânica associada aos minerais (MOAM). As frações obtidas foram secas em estufa de circulação de ar a 60°C. Após a quantificação das massas, as amostras foram maceradas e passadas em peneira de 250 μm para determinação dos teores de C e N da MOP e MOAM.

Estoques de C e N das frações da matéria orgânica

Os teores de C e N das frações MOP e MOAM foram determinados por combustão seca, utilizando um analisador elementar CHNS/O (Perkin Elmer, modelo EA 2400 Series II, São Paulo, São Paulo, Brasil). Na ausência de uma área de vegetação natural, foi utilizado o valor de Ds média da última camada como referência (Balesdent et al., 1990).

A massa do solo em cada profundidade de cada sistema foi determinada pela equação: $M_{\text{solo}} = E \times ha \times D_s$, onde: M_{solo} é a massa de solo por hectare em cada camada avaliada (Mg ha^{-1}); E é a espessura do solo para cada camada (m), ha é a área empregada ($1 ha = 10000 m^2$); D_s é a densidade do solo em cada camada amostrada (g cm^{-3}). Em seguida, a espessura da camada a ser descontada ou acrescida nos sistemas em relação a área de referência foi determinada pela equação: $E_{(\text{ad}\backslash\text{sub})} = (M_{\text{ref}} - M_{\text{solo}}) \times \left(\frac{fha}{D_s}\right)$, onde: $E_{(\text{ad}\backslash\text{sub})}$ é a espessura da camada de solo a ser acrescida (+) ou descontada (-) da camada do sistema (m); M_{ref} é a massa equivalente média do tratamento de referência (Mg ha^{-1}); M_{solo} é a massa de solo equivalente de cada sistema (Mg ha^{-1}); fha é o fator de conversão de ha para m^2 ($0,0001 ha m^{-2}$); D_s é a densidade de solo para a área da camada amostrada ($\text{g cm}^{-3} = \text{Mg m}^{-3}$). Após determinar a espessura, os estoques de C e N foram calculados pela seguinte equação: $ES = (C \text{ ou } N \times D_s \times E \pm E_{(\text{ad}\backslash\text{sub})}) \times 10$, onde: ES são os estoques de C e N das frações da MOS (Mg ha^{-1}); E é a espessura da camada de solo (m); D_s é a densidade do solo do sistema de cultivo na camada escolhida ($\text{g cm}^{-3} = \text{Mg m}^{-3}$); C ou N são os teores de C ou N na fração da MOS (g kg^{-1}); e 10 é o fator de conversão de kg m^{-2} para Mg ha^{-1} .

2.4. Procedimentos estatísticos

A análise multivariada foi realizada por meio de componentes principais (ACP), sendo selecionados os componentes (CP) com autovalores (*eigenvalue*) iguais ou superiores a 1,0. Nos CP selecionados foram consideradas importantes as variáveis com valores de carga fatorial (*loadings*) iguais ou superiores que 0,70 (em módulo), excluindo-se as variáveis que não atendessem a esse critério. A ACP foi rodada novamente até obter um modelo multivariado com proporção acumulada da variância explicada de no mínimo 80%, e que todas as variáveis estivessem presentes no primeiro (CP1) ou no segundo componente principal (CP2). A ACP foi procedida para cada profundidade estudada.

Para avaliar a diferença nas características e propriedades físicas do solo entre áreas irrigadas e de sequeiro, utilizou-se a PERMANOVA com 999 permutações. As distâncias Euclidianas foram calculadas com base nas características e propriedades físicas do solo e os grupos foram definidos de acordo com os dois tipos de manejo: irrigado e sequeiro.

Os sistemas de produção, na parcela, e as profundidades, na subparcela, foram considerados como efeitos fixos, e os erros residuais como efeitos aleatórios no modelo estatístico. O efeito principal de sistema de produção foi avaliado com base no teste F da

análise de variância. O desdobramento da interação entre sistemas de produção × profundidades foi feito independentemente da significância. As médias entre profundidades e as interações foram comparadas pelo teste *post hoc* de Tukey. O efeito de sistema de produção dentro de cada profundidade foi avaliado com base no quadrado médio do resíduo combinado, e respectivo número de graus de liberdade, calculados com base no critério de *Satterthwaite*, ao nível de 10% de significância de significância. Avaliou-se também se as médias das variáveis nas áreas de alta e baixa produtividade diferiam estatisticamente ao nível de 10% de significância de significância, usando o teste t de *Student*.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando as bibliotecas *ExpDes.pt*, *readxl*, *AgrR* por meio do software R (versão 4.3.3; R Core Team 2024; [https://cran-r.c3sl.ufpr.br/](https://cran.r.c3sl.ufpr.br/)).

3. RESULTADOS

Análise de componentes principais (ACP)

As variáveis utilizadas inicialmente para comporem a análise de componentes principais (ACP) nas diferentes situações de estudo em cada uma das profundidades avaliadas foram: condutividade hidráulica saturada (Ksat), densidade de partículas (Dp), densidade de solo (Ds), capacidade de água disponível (CAD), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), índice S (S), argila, areia grossa, areia fina, C-MOAM, C-MOP, N-MOAM, N-MOP, resistência à penetração de campo (RPc), resistência à penetração com umidade corrigida (RPuc), umidade e argila dispersa em água (ADA). Adicionalmente, as variáveis diâmetro médio ponderado úmido (DMPu), índice de estabilidade de agregados (IEA), resistência tênsil (RT), friabilidade (F), grau de compactação (GC), taxa de infiltração de água no solo, condutividade hidráulica insaturada (Kinst), pressão de pré-consolidação (σ) e índice de compressibilidade (IC) foram consideradas para a ACP na profundidade de 0,00-0,15 m, uma vez que foram avaliadas somente nessa profundidade.

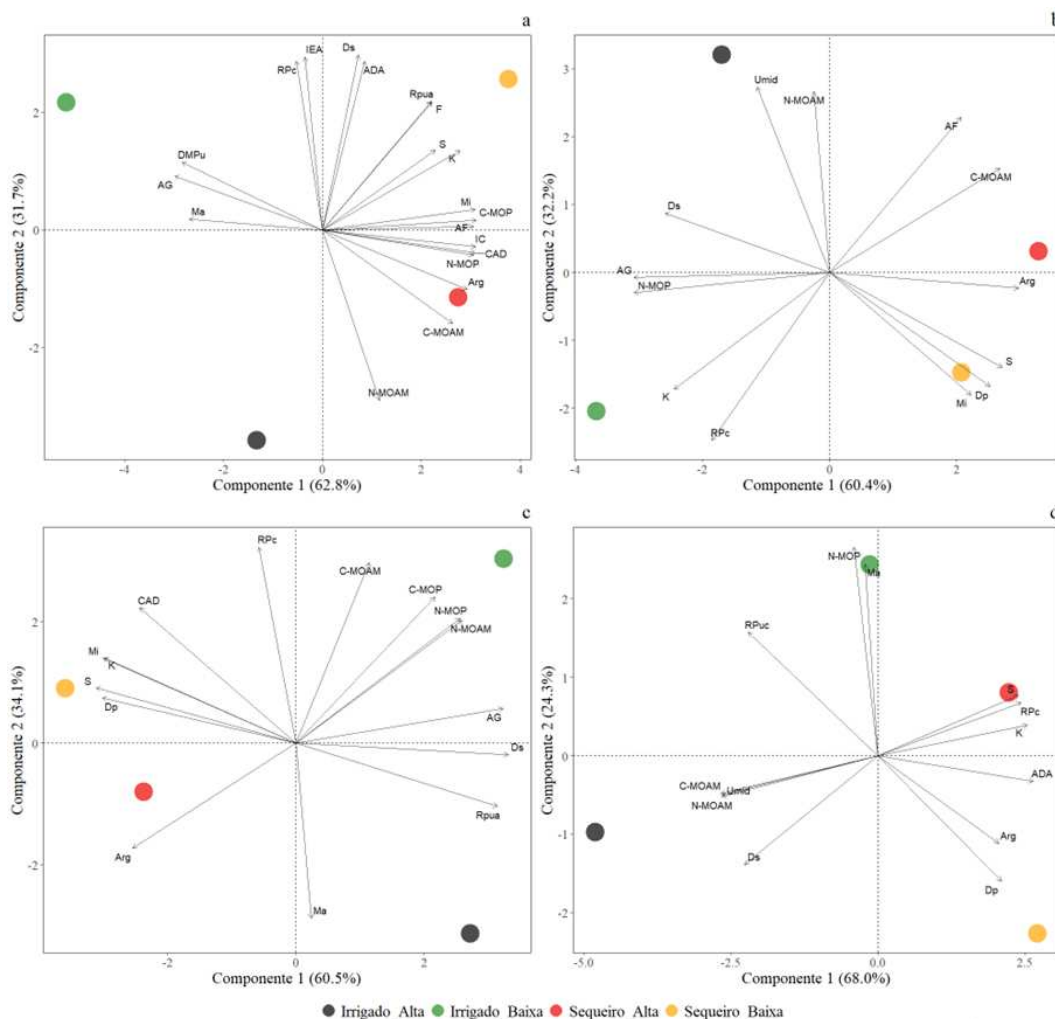
A análise de componentes principais (ACP) revelou que a maior parte da variância nos dados pode ser explicada por um pequeno número de componentes principais em todas as profundidades analisadas. Os componentes principais identificaram as variáveis mais influentes e suas correlações, tanto positivas quanto negativas, facilitando a interpretação dos padrões presentes nas diferentes profundidades do solo. Os resultados da aplicação da ACP podem ser observados na Figura 4, assim como também na Tabela 7, tanto pela dispersão gráfica quanto pela variância explicada e acumulada (%) e a correlação de variáveis.

Para a profundidade de 0,00-0,15 m (Figura 4a), os componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) explicaram 94,63% da variância total dos dados, sendo que 62,87% estão associados ao CP1 e 31,75% ao CP2. Os atributos Ksat, CAD, Mi, Ma, S, argila, areia grossa, areia fina, C-MOAM, C-MOP, N-MOP, RPua, DMPu, F e IC foram as variáveis do CP1 com valores de carga fatorial (*loadings*) $\geq 0,70$ (em módulo). Entre essas, Ma, areia grossa e DMPu se correlacionaram negativamente, enquanto as demais se correlacionaram positivamente. O CP2 destacou-se pelos atributos Ds, N-MOAM, RPc, ADA e IEA, com N-MOAM se correlacionando negativamente em relação aos demais.

Os componentes principais 1 (CP1) e 2 (CP2) explicaram 92,66% da variância total dos dados na profundidade de 0,15-0,30 m. O CP1, responsável por 60,44% da variância, apresentou forte associação com os atributos Ksat, Dp, Ds, Mi, S, argila, areia grossa, C-

MOAM e N-MOP. Entre esses atributos, Ksat, Ds, areia grossa e N-MOP se correlacionaram negativamente, enquanto os demais se correlacionaram positivamente. O CP2 explicou 32,21% da variabilidade total, destacando-se areia fina, N-MOAM, RPc e umidade, com RPc se correlacionando negativamente em relação aos demais.

Figura 4 - Dispersão gráfica de variáveis físicas e de estoques de C e N analisadas por meio de componentes principais de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo irrigado com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em sequeiro com altas (ASAP) e baixas produtividades (ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 (Figura 4a); 0,15-0,30 (Figura 4b); 0,30-0,60 (Figura 4c) e 0,60-1,00 m (Figura 4d), em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Mi: microporosidade; Ma: macroporosidade; AF: areia fina; AG: areia grossa; Arg: argila; ADA: argila dispersa em água; DMPu: diâmetro médio ponderado úmido; RPc: resistência à penetração em campo; RPua: resistência à penetração com umidade ajustada; IEA: índice de estabilidade de agregados; F: friabilidade; S: índice S; K: condutividade hidráulica saturada; IC: índice de compressibilidade; CAD: capacidade de água disponível; Umid: umidade; Ds: densidade do solo; Dp: densidade de partículas.

Juntos CP1 e CP2 compreenderam 94,75% da variância total dos dados na profundidade de 0,30-0,60 m (Figura 4c). O CP1, responsável por 60,56% da variância,

apresentou forte associação com as variáveis Ksat, Dp, Ds, CAD, Mi, S, argila, areia grossa, N-MOAM, N-MOP e RPua. Entre esses atributos, Ksat, Dp, CAD, Mi, S e argila se correlacionaram negativamente em relação aos demais. O CP2 explicou 34,18% da variabilidade total, destacando-se as variáveis Ma, C-MOAM, C-MOP e RPc, com Ma se correlacionando negativamente em relação às demais.

Por fim, na profundidade de 0,60-1,00 m (Figura 4d), CP1 e CP2 explicaram juntos 92,36% da variância total dos dados. O CP1, responsável por 68,05% da variância, apresentou forte associação com as variáveis Ksat, Dp, Ds, S, argila, C-MOAM, N-MOAM, RPc, RPua, umidade e ADA, todas com escores absolutos de autovalores de $\pm 0,7$. Entre esses atributos, Ds, S, C-MOAM, RPuc e umidade se correlacionaram negativamente em relação aos demais. O CP2 explicou 24,31% da variabilidade total, destacando-se as variáveis Ma e N-MOP, ambas com escores absolutos de autovalores de $\pm 0,7$, correlacionando-se positivamente.

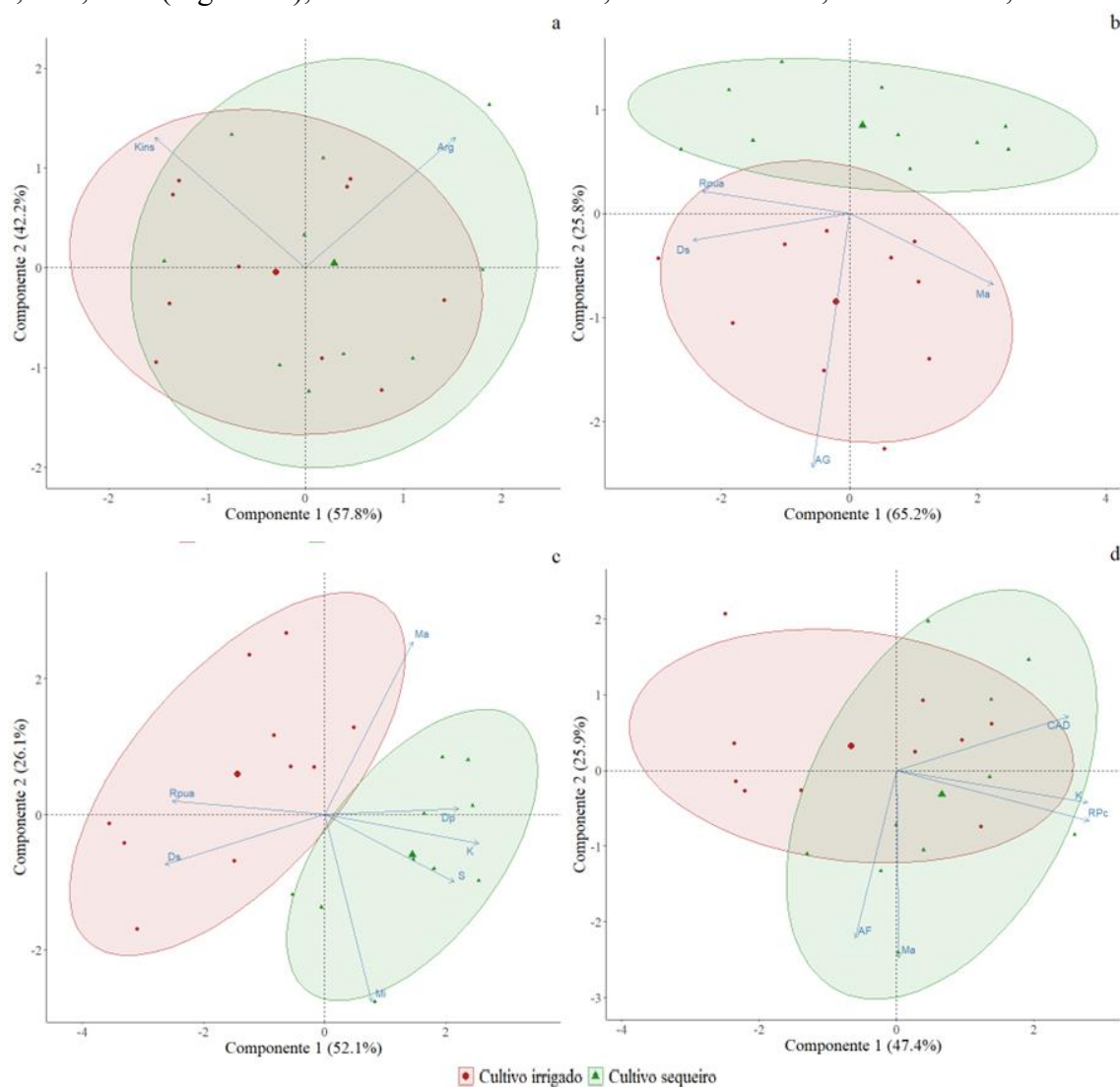
Na dispersão gráfica das situações de estudo, considerando os dois componentes principais selecionados, observou-se que, independentemente da profundidade, os CP 1 e 2 contribuíram efetivamente para tal. Observou-se, entretanto, que cada uma das áreas situa-se em quadrantes diferentes, com clara distinção entre as áreas irrigadas e de sequeiro, sejam de alta ou baixa produtividade. Porém quando se trata das áreas sob cultivo de sequeiro, as áreas de baixa e alta produtividade se encontram mais próximas que as áreas sob cultivo irrigado. Essas observações estão mais evidentes nas três primeiras profundidades, sendo que na última (0,60-1,00 m), há uma proximidade maior das áreas de sequeiro, tanto de baixa quanto de alta produtividade (Figura 4d), assim como a área irrigada de alta produtividade.

As duas primeiras profundidades praticamente envolveram a totalidade das variáveis selecionadas pela ACP. Nesses casos, procedimentos de análise univariada foram realizados para tais variáveis, em que uma ANOVA foi procedida e as comparações de médias foram feitas. É possível observar que entre as variáveis selecionadas encontram-se aquelas que não são consideradas como passíveis de serem alteradas pelas práticas de manejo, como por exemplo: densidade de partículas e as frações granulométricas: argila e areia grossa e fina. Essas variáveis serão apresentadas conjuntamente visando avaliar se as possíveis variações sobre as demais propriedades, inicialmente apresentando as diferenças entre áreas irrigadas e de sequeiro nas condições de alta e baixa produtividade em cada profundidade, seguido das diferenças entre profundidades para cada uma das situações,

finalizando com as diferenças entre produtividade em cada um dos sistemas de cultivo: sequeiro e irrigado.

Uma nova análise de componentes principais foi procedida considerando somente a condição de áreas irrigadas ou de sequeiro e as variáveis físicas, sem fazer distinção para alta e baixa produtividade. Tal procedimento visou evidenciar quais as variáveis que melhor explicariam a ocorrência de variabilidade entre as áreas estudadas (Figura 5).

Figura 5 - Dispersão gráfica das variáveis físicas analisadas por meio de componentes principais de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo irrigado e em sequeiro, nas profundidades de 0,00-0,15 (Figura 5a); 0,15-0,30 (Figura 5b); 0,30-0,60 (Figura 5c) e 0,60-1,00 m (Figura 5d), Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Kins: condutividade hidráulica insaturada; Arg: argila; Rps: resistência à penetração em campo; Rpuu: resistência à penetração com umidade ajustada; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; AF: areia fina; AG: areia grossa; Dp: densidade de partículas; K: condutividade hidráulica saturada; S: índice S; CAD: capacidade de água disponível.

Tabela 4 - Autovalores, variância explicada (%), variância acumulada (%) e correlação de variáveis em análise de componentes principais (ACP) envolvendo variáveis físicas e de estoques de C e N de Latossolos oxidicos sob cultivo intensivo, em áreas irrigadas por com alta (AIAP) e baixa (AIBP) produtividades e em áreas de sequeiro com alta (ASAP) e baixa produtividades (ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60 e 0,60-1,00 m, Fazenda Rio Brilhante, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

(continua)

Componente Principal (CP)	Profundidades (m)							
	0,00-0,15		0,15-0,30		0,30-0,60		0,60-1,00	
	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2	CP1	CP2
Autovalor	12,57	6,35	7,85	4,18	7,85	4,18	8,84	3,16
Variância explicada (%)	62,87	31,75	60,44	32,21	60,44	32,21	68,05	24,31
Variância acumulada (%)	62,87	94,63	60,44	92,66	60,44	92,66	68,05	92,36
Variável								
Condutividade hidráulica saturada (K)	0,89	0,43	-0,78	-0,55	-0,89	0,42	0,93	-
Densidade do solo (Ds)	0,23	0,95	0,81	-0,54	0,99	0,22	-0,83	-
Densidade de partículas (Dp)	NS	NS	-0,83	0,28	-0,90	-0,05	0,77	-
Capacidade de água disponível (CAD)	0,99	-0,12	NS	NS	-0,73	0,67	NS	NS
Microporosidade (Mi)	0,99	0,11	0,71	-0,58	-0,90	0,42	NS	NS
Macroporosidade (Ma)	-0,86	0,06	NS	NS	0,07	-0,86	-	0,90
Índice S (S)	0,72	0,43	0,87	-0,45	-0,93	0,27	-0,88	-
Argila (Arg)	0,93	-0,32	0,95	-0,07	-0,76	-0,52	0,75	-
Areia grossa (AG)	-0,95	0,29	-0,99	-0,02	0,97	0,17	NS	NS
Areia fina (AF)	0,97	0,01	-0,66	0,73	NS	NS	NS	NS
C-MOAM	0,84	-0,50	0,86	0,49	0,34	0,89	-0,97	-
N-MOAM	0,36	-0,92	-0,08	0,86	0,78	0,61	-	0,98
C-MOP	0,99	0,05	NS	NS	0,65	0,72	NS	NS
N-MOP	0,97	-0,13	-0,99	-0,09	0,77	0,61	-	0,98
Resistência à penetração em campo (RPC)	-0,16	0,91	-0,59	0,79	-0,17	0,97	0,89	-
Umidade (Umid)	NS	NS	-0,36	0,88	NS	NS	-0,97	-
Resistência à penetração com umidade ajustada (RPua)	0,70	0,70	NS	NS	0,94	-0,31	NS	NS
Argila dispersa em água (ADA)	0,27	0,91	NS	NS	NS	NS	0,97	-
Diâmetro médio ponderado úmido (DMP)	-0,90	0,36	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Índice de estabilidade de agregados (IEA)	-0,11	0,94	NS	NS	NS	NS	NS	NS

								(conclusão)
Friabilidade (F)	0,70	0,69	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Índice de compressibilidade (IC)	0,99	-0,09	NS	NS	NS	NS	NS	NS

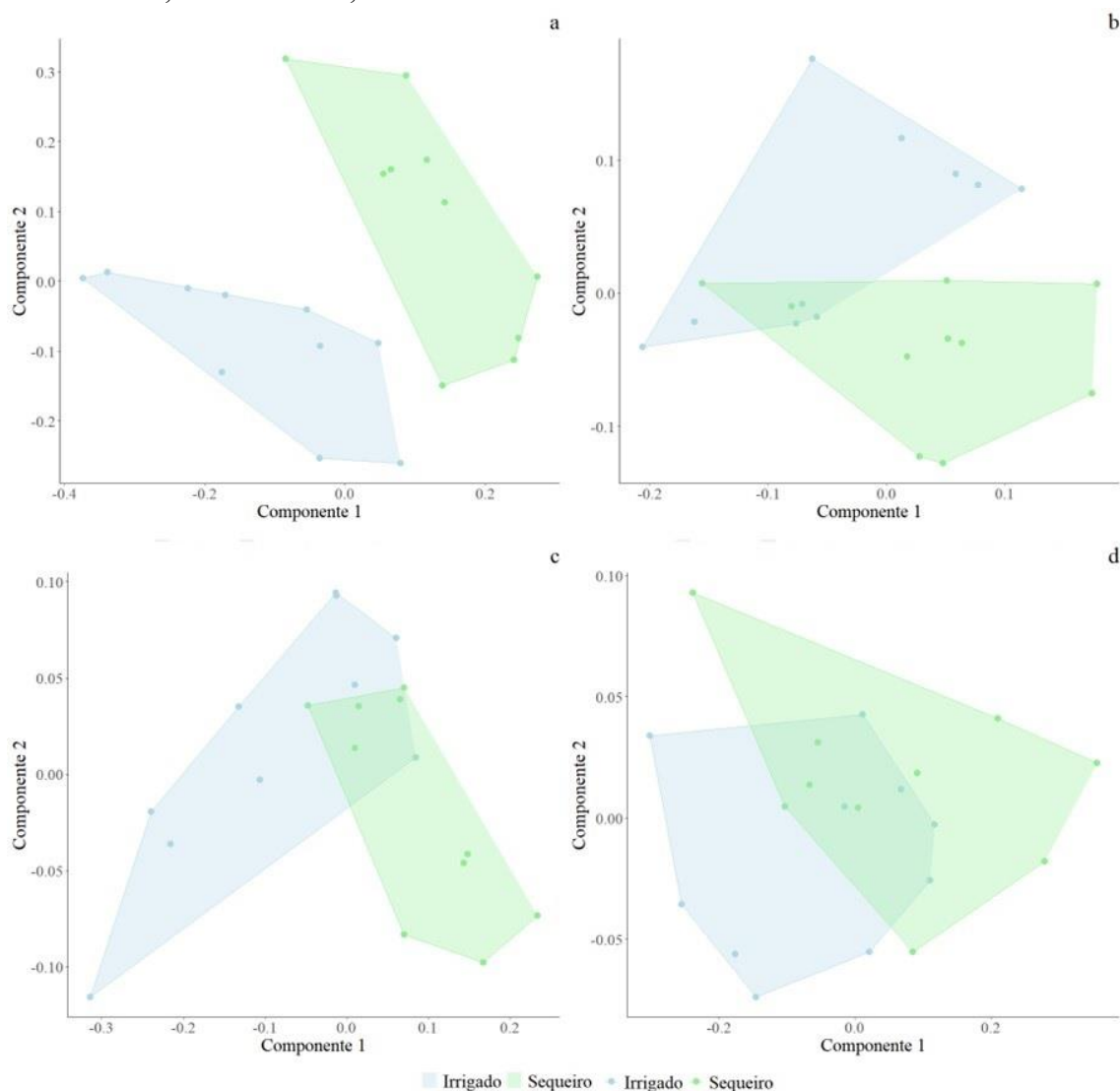
Obs: NS – Variável não selecionada para a profundidade pelos critérios da ACP procedida.

A partir dos resultados obtidos nessa nova ACP, ficou evidente que variabilidade é maior entre as áreas nas profundidades 0,15-0,30 e 0,30-0,60 m, tanto que formam grupos diferentes pela ACP. A variabilidade na profundidade de 0,15-0,30 m é explicada pelas variáveis RPua, Ds, AG e Ma, sendo que todas obtiveram os maiores valores nas áreas irrigadas, 1,33 MPa, 1,06 g cm⁻³, 0,0415 kg kg⁻¹ e 0,091 cm³ cm⁻³, respectivamente. Na profundidade 0,30-0,60 m, a variabilidade das áreas irrigadas é explicada pelas variáveis Ds, RPua, Ma, sendo 1,02 g cm⁻³, 1,03 MPa e 0,140 cm³ cm⁻³, respectivamente, e nas áreas de sequeiro pelas variáveis Dp, K, S e Mi, com valores de 2,32 g cm⁻³, 0,5830 cm s⁻¹, 0,1007 e 0,446 cm³ cm⁻³, respectivamente. Somente Ds e porosidade do solo foram as variáveis comuns às duas profundidades, o que não descarta que as mesmas estão muito correlacionadas.

Os mesmos dados utilizados para a análise de ACP anterior, foram utilizados para uma análise de variância com permutação (PERMANOVA), permitindo averiguar a existência de semelhanças (sobreposição das áreas) entre as áreas irrigadas e de sequeiro, tendo sido obtidos os seguintes resultados (Figura 6).

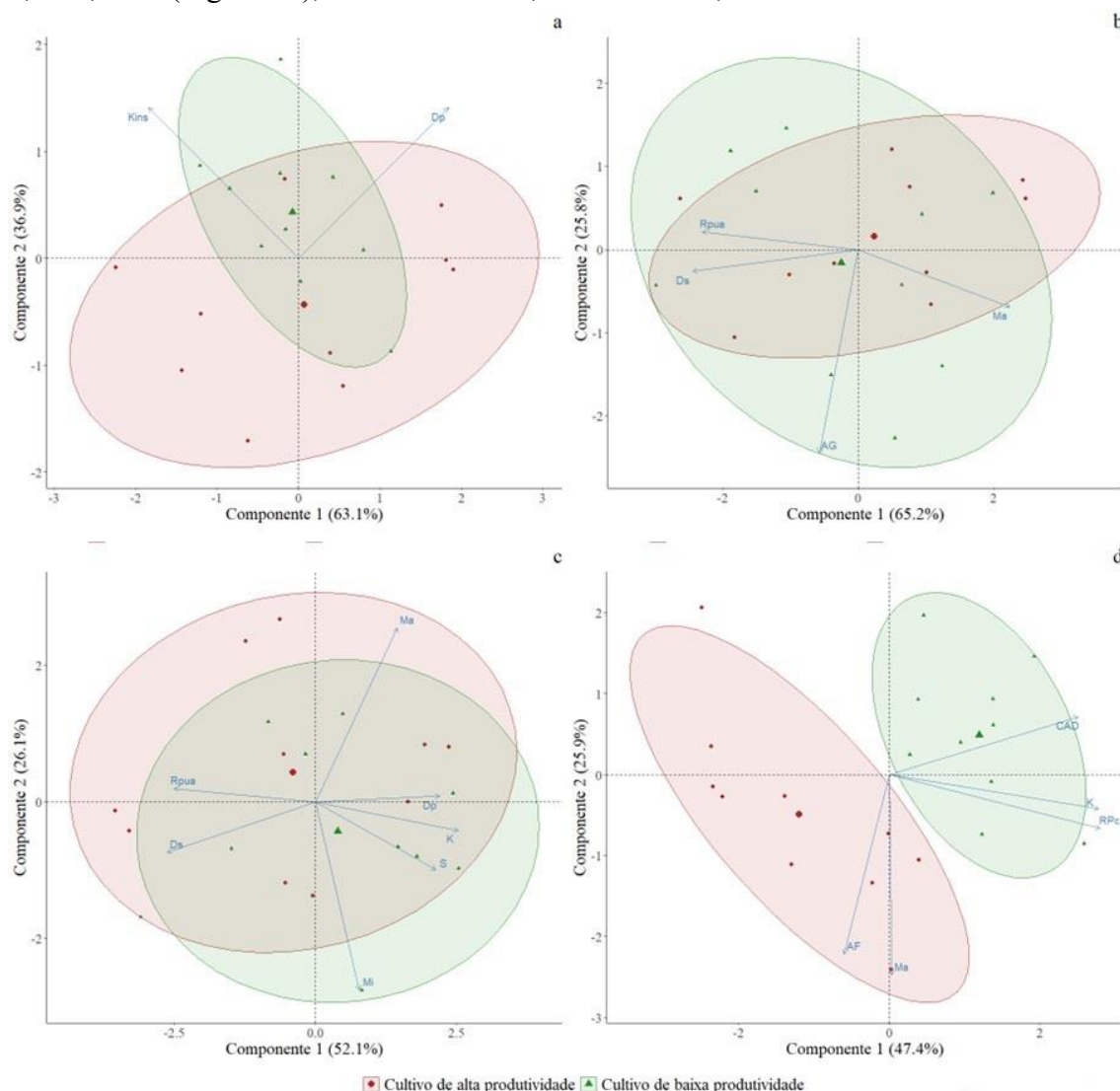
A partir dos resultados gráficos obtidos, ficou evidente que apenas há diferenciação entre as áreas irrigadas e de sequeiro na primeira profundidade. Nas demais há uma sobreposição entre as áreas, mesmo que em menor proporção na segunda e terceira profundidades.

Figura 6 – Análise de PERMANOVA das variáveis físicas do solo entre áreas irrigadas e de sequeiro de Latossolos oxidícos sob cultivo intensivo, nas profundidades de 0,00-0,15 (Figura 5a); 0,15-0,30 (Figura 5b); 0,30-0,60 (Figura 5c) e 0,60-1,00 m (Figura 5d), em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Quando consideram-se a alta e baixa produtividade das áreas cultivadas, sem fazer distinção se é cultivo irrigado ou de sequeiro, uma nova ACP foi realizada (Figura 7). Evidenciou-se que não houve diferenciação entre as áreas até a terceira profundidade, ocorrendo apenas na profundidade de 0,60-1,00 m. Constatou-se que as variáveis que melhor explicam a variabilidade entre as áreas de alta e baixa são as mesmas que explicam a variabilidade entre as áreas irrigadas e de sequeiro.

Figura 7 - Dispersão gráfica de variáveis físicas analisadas por meio de componentes principais de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo de alta e baixa produtividades, nas profundidades de 0,00-0,15 (Figura 6a); 0,15-0,30 (Figura 6b); 0,30-0,60 (Figura 6c) e 0,60-1,00 m (Figura 6d), em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Kins: condutividade hidráulica insaturada; Arg: argila; RPC: resistência à penetração em campo; RPua: resistência à penetração com umidade ajustada; Ds: densidade do solo; Ma: macroporosidade; Mi: microporosidade; AF: areia fina; AG: areia grossa; Dp: densidade de partículas; K: condutividade hidráulica saturada; S: índice S; CAD: capacidade de água disponível.

Teores de argila, areia grossa e fina e argila dispersa em água

Os teores de argila (Figura 8a e 8d) foram superiores ($P < 0,10$) somente na segunda profundidade na área de sequeiro de alta produtividade em relação à irrigada, enquanto nas demais profundidades não existiram diferenças significativas. A similaridade ($P > 0,10$) das médias também ocorreu quando se comparou as médias destas situações nas áreas de baixa produtividade, em qualquer que seja a profundidade avaliada. Comportamento diferenciado do observado para argila foi constatado para areia grossa

(Figura 8b e 8e) e areia fina (Figura 8c e 8f). No caso de areia grossa, os maiores teores ($P < 0,10$) foram encontrados na área irrigada em relação à de sequeiro de alta produtividade nas três primeiras profundidades, enquanto que nas de baixa produtividade, essa diferença ocorreu em todas as profundidades. Já para areia fina, tanto em áreas de alta (0,00-0,15 e 0,60-1,00 m) como em baixa produtividade (0,00-0,15 m), os maiores ($P < 0,10$) valores foram observados nas áreas de sequeiro (ASAP e ASBP), quando comparado às respectivas áreas irrigadas (AIAP e AIBP).

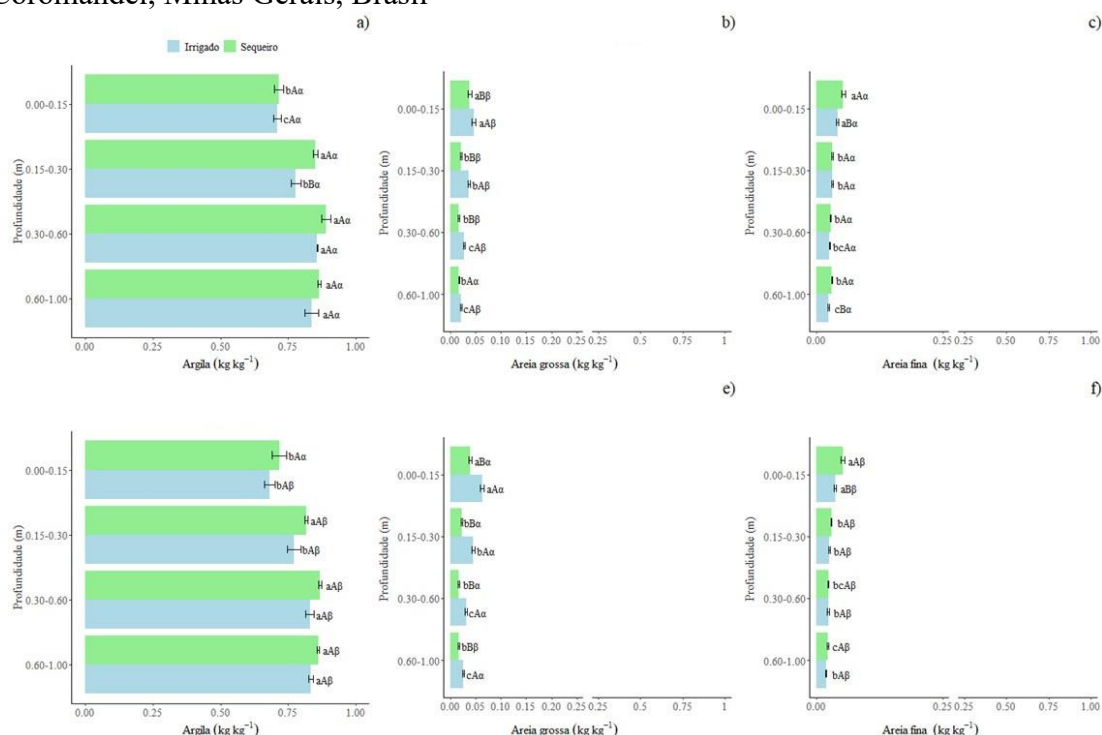
Ao avaliar as diferenças entre as profundidades, seja nas áreas irrigadas ou de sequeiro, constatou-se uma diversidade de situações. Para areia fina e grossa, a primeira profundidade apresentou os maiores valores ($P < 0,10$), comparativamente às demais, tanto nas áreas irrigadas, como nas de sequeiro, tanto de alta quanto baixa produtividade. Nas demais profundidades observou-se valores que podem ter sido semelhantes ($P > 0,10$) entre si, ou com algumas diferenças entre uma e outra profundidade, como é possível ser observado em relação a terceira profundidade. Nesse caso constatou-se que os teores de areia grossa ou fina podem ser superiores na superfície e em grande parte semelhantes principalmente nas últimas profundidades. Quanto a argila, constatou-se os menores valores na primeira profundidade comparativamente às demais nas áreas de alta produtividade (ASAP e AIAP) e na área de sequeiro de baixa produtividade. Na área irrigada de baixa produtividade, nas duas primeiras profundidades os teores de argila foram inferiores ($P < 0,10$) às duas últimas profundidades e também apresentaram similaridade estatística entre si.

Nas comparações entre áreas de alta e baixa produtividade, tanto para as áreas irrigadas e de sequeiro, os valores de areia fina e argila se mostraram diferenciados de areia grossa. No primeiro caso, argila e areia fina, se observam os maiores ($P < 0,10$) valores nas áreas de alta produtividade (uma única exceção com a similaridade, $P > 0,10$, na primeira profundidade nas áreas de sequeiro para argila), enquanto para areia grossa observou-se o contrário, ou seja, maiores ($P < 0,10$) valores nas áreas de baixa produtividade (sendo uma exceção a última profundidade das áreas de sequeiro, onde essa apresentou maiores valores na área de alta produtividade (ASAP)).

Somente foram constatadas diferenças significativas entre áreas irrigadas e de sequeiro na profundidade de 0,15-0,30 cm. Observou-se que os teores de argila são menores nas duas primeiras profundidades nas áreas de alta e baixa produtividade, tanto de sequeiro quanto irrigada (AIAP: 0,00-0,15m < 0,15-0,30m < 0,30-0,60m = 0,60-1,00m;

ASAP: 0,00-0,15m<0,15-0,30m=0,30-0,60m=0,60-1,00m; AIBP: 0,00-0,15m<0,15-0,30m<0,30-0,60m=0,60-1,00 m; ASBP: 0,00-0,15m<0,15-0,30m=0,30-0,60m=0,60-1,00m).

Figura 8 – Teores de argila (Figura 8a e 8d), areia grossa (Figura 8b e 8e) e fina (Figura 8c e 8f) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 8a, 8b e 8c) e baixa (Figura 8d, 8e e 8f) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



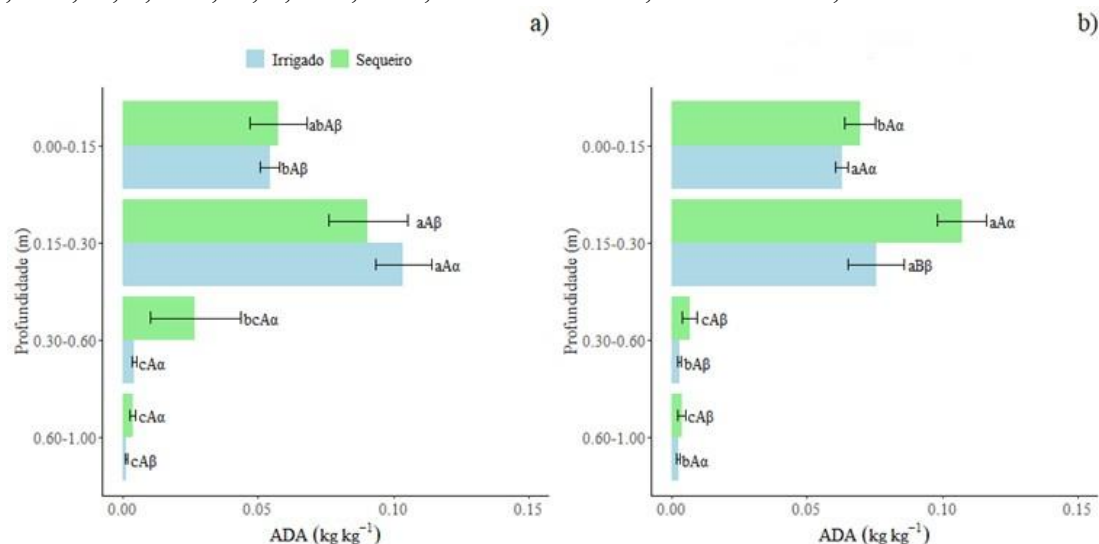
Médias seguidas letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Em relação à areia grossa e fina, a similaridade ($P>0,10$) observada com a argila já não acontece em tantos casos. Em alguns os maiores teores ($P<0,10$) estão nas áreas irrigadas (areia fina) e em outros (areia grossa), os maiores teores ($P<0,10$) estão nas áreas de sequeiro ou mesmo encontram-se similaridades ($P>0,10$) às áreas irrigadas (como é o caso de ASAP em 0,60-1,00 m). Entre profundidades, os resultados dessas frações estão em acordo com as variações observadas com a argila, pois naquelas profundidades observou-se os menores ($P<0,10$) teores de argila e constatou-se os maiores ($P<0,10$) de areia grossa e fina.

Na comparação entre áreas de alta e baixa produtividade ficou evidente os maiores ($P < 0,10$) teores de argila e areia fina nas áreas de alta produtividade e o comportamento inverso da fração areia grossa, em qualquer que seja a profundidade avaliada. Certamente é devido às variações naturais do solo, porém com repercussões na produtividade das áreas, seja nas áreas de sequeiro ou irrigadas.

Quanto à argila dispersa em água (ADA), observou-se diferenças significativas entre as áreas de sequeiro e irrigada apenas na profundidade 0,15-0,30 m nas áreas de baixa produtividade, sendo maior na área de sequeiro (Figura 9a e 9b).

Figura 9 – Teores de argila dispersa em água (Figura 9a e 9b) de Latossolos óxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 9a) e baixa (Figura 9b) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

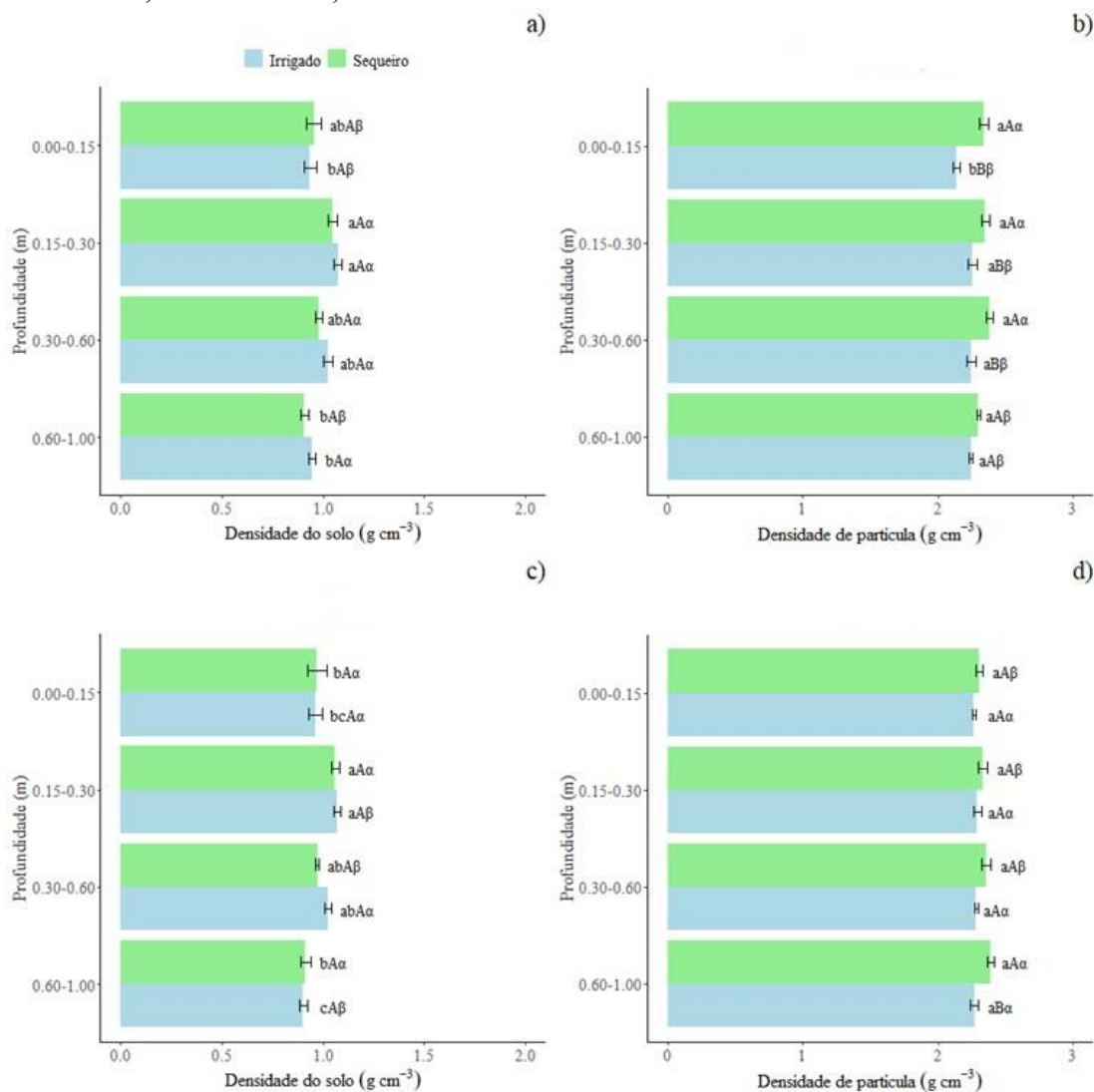
Nas comparações entre as profundidades, 0,15-0,30 m foi a que apresentou os maiores ($P < 0,10$) valores de ADA. Em alguns casos foi constatada similaridade entre a profundidade de 0,15-0,30 m e a primeira profundidade ($P > 0,10$), sendo na área irrigada de baixa produtividade e na área de sequeiro de alta produtividade. Já na comparação entre áreas de alta e baixa produtividades, os valores de ADA foram maiores ($P < 0,10$) na primeira profundidade das áreas de baixa produtividade, seja para irrigado ou para sequeiro (comparada com as áreas de alta produtividade), nas demais profundidades houve diversas situações. Nas áreas irrigadas, maiores valores ($P < 0,10$) de ADA foram

registrados na segunda e terceira profundidades na área de alta produtividade, enquanto que na quarta profundidade ocorreu o inverso. Nas áreas de sequeiro, a terceira e quarta profundidades apresentaram maiores valores ($P < 0,10$) de ADA na área de alta produtividade, e o oposto foi observado na segunda profundidade.

Densidades do solo e de partículas e macro e microporosidade do solo

Não houveram diferenças significativas para densidade do solo (Ds) entre áreas irrigadas e de sequeiro, tanto nas de alta quanto baixa produtividades, em quaisquer que sejam as profundidades estudadas (Figura 10a e 10c). Porém, ao considerar as diferenças entre profundidades, constatou-se que em todas as situações, a profundidade de 0,15-0,30 m apresentou os maiores ($P < 0,10$) valores de Ds, comparativamente à primeira profundidade ($P < 0,10$) (com exceção da área ASAP), também apresentando similaridade ($P < 0,10$) à terceira profundidade em todas as áreas. Na comparação entre as áreas de alta e baixa produtividade, verificou-se a falta de um comportamento padrão, ainda assim, a área de sequeiro de alta produtividade apresentou os valores de Ds maiores ($P < 0,10$) que as de baixa na última profundidade, enquanto que a área de alta produtividade apresentou maiores valores de Ds na primeira e última profundidades. Já a área irrigada de baixa produtividade apresentou os maiores valores ($P < 0,10$) de Ds apenas na primeira profundidade, enquanto que a área irrigada de alta produtividade foi superior ($P < 0,10$) a de baixa na segunda e última profundidades.

Figura 10 – Densidades de solo (Figura 10a e 10c) e de partículas (Figura 10b e 10d) de Latossolos oxidicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 10a e 10b) e baixa (Figura 10c e 10d) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



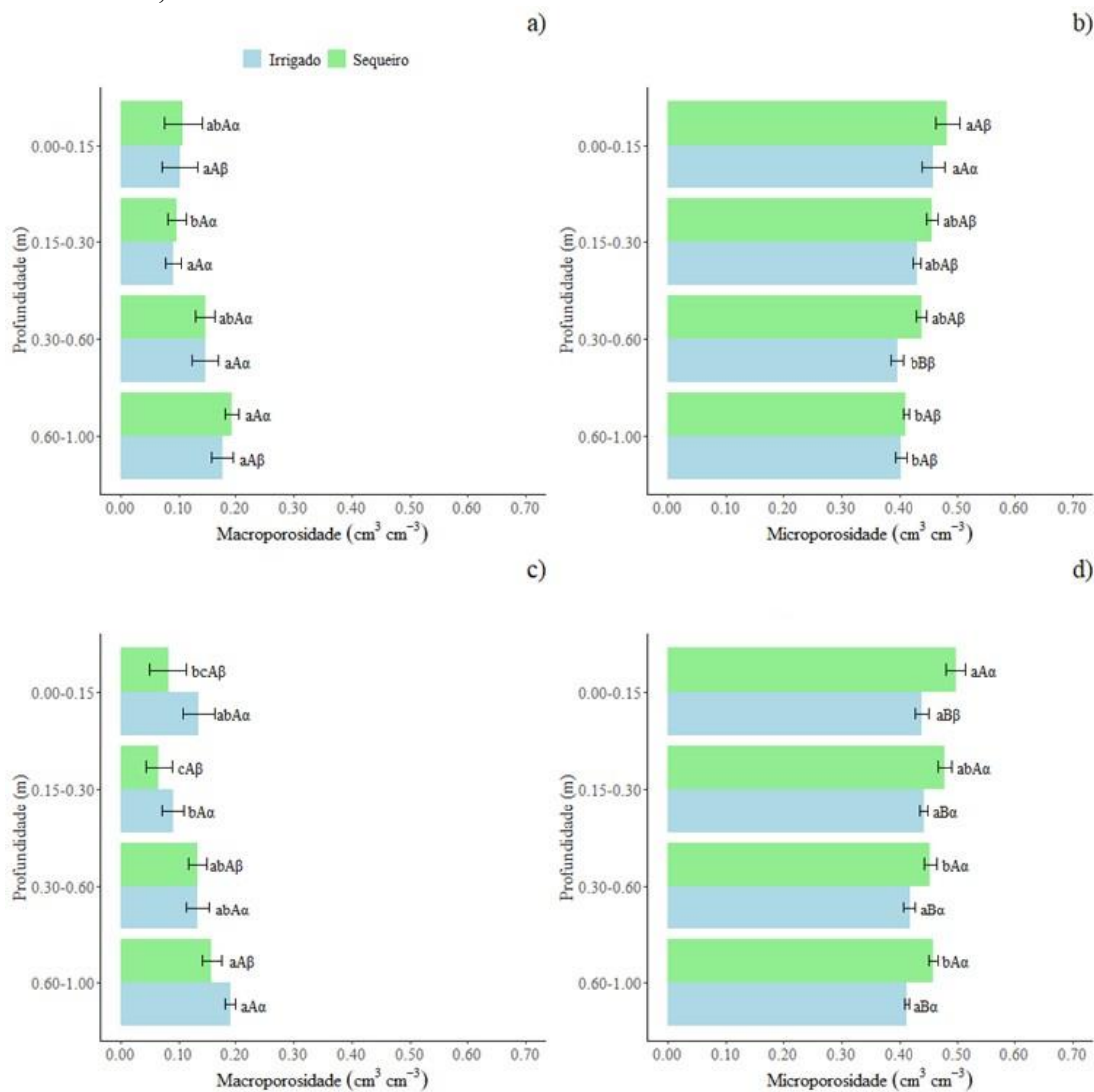
Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Quanto a porosidade do solo, no presente estudo dividida em macro (Figura 11a e 11c) e microporosidade (Figura 11b e 11d), constatou-se os maiores valores de microporosidade em relação a macroporosidade, o que já era esperado, em média $0,441\ cm^3\ cm^{-3}$ e $0,128\ cm^3\ cm^{-3}$, respectivamente. No caso da microporosidade, a área de sequeiro de alta produtividade apresentou maior média ($P < 0,10$) somente na terceira profundidade (0,30-0,60 m), comparativamente a área irrigada. Já nas áreas de baixa

produtividade, foi constatado que a microporosidade foi maior nas áreas de sequeiro, independente da profundidade. Nas demais profundidades e tanto em micro quanto em macroporosidade (todas profundidades) os valores foram similares. Tais resultados para micro e macroporosidade são semelhantes aos observados para a D_s , especialmente quando se consideram as comparações entre áreas de sequeiro e irrigado. Já quando se consideram as comparações entre profundidades, constatam-se os maiores valores ($P < 0,10$) de microporosidade na primeira profundidade, como nas áreas de sequeiro e irrigado tanto de alta produtividade quanto de baixa produtividade (à exceção nesse caso é da área irrigada de baixa produtividade, similar, $P > 0,10$, em todas as profundidades). Quanto a macroporosidade, por sua vez constatou-se comportamento contrário, sendo os menores valores ($P < 0,10$) observados nas duas primeiras profundidades, destacando a segunda (0,15-0,30 m) como nas áreas de sequeiro de alta (ASAP) e baixa produtividades (ASBP) e a irrigada de baixa produtividade (AIBP). Em AIAP não foram observadas diferenças ($P > 0,10$) entre profundidades.

Nas comparações entre níveis de produtividade observaram-se os maiores valores de microporosidade nas áreas de baixa produtividade, tendo como única exceção os maiores valores observados nas áreas irrigadas com alta produtividade na primeira profundidade. Por outro lado, quanto a macroporosidade, para as áreas de sequeiro, maiores valores foram observados na área de alta produtividade, o mesmo aconteceu na área irrigada de baixa produtividade na primeira e última profundidades, enquanto que houve similaridade estatística nas demais profundidades (0,15-0,30 e 0,30-0,60 m) ($P > 0,10$).

Figura 11 – Macroporosidade (Figura 11a e 11c) e microporosidade (Figura 11b e 11d) de Latossolo oxidicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 11a e 11b) e baixa (Figura 11c e 11d) produtividades em sistema irrigado (AIAP e ASAP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



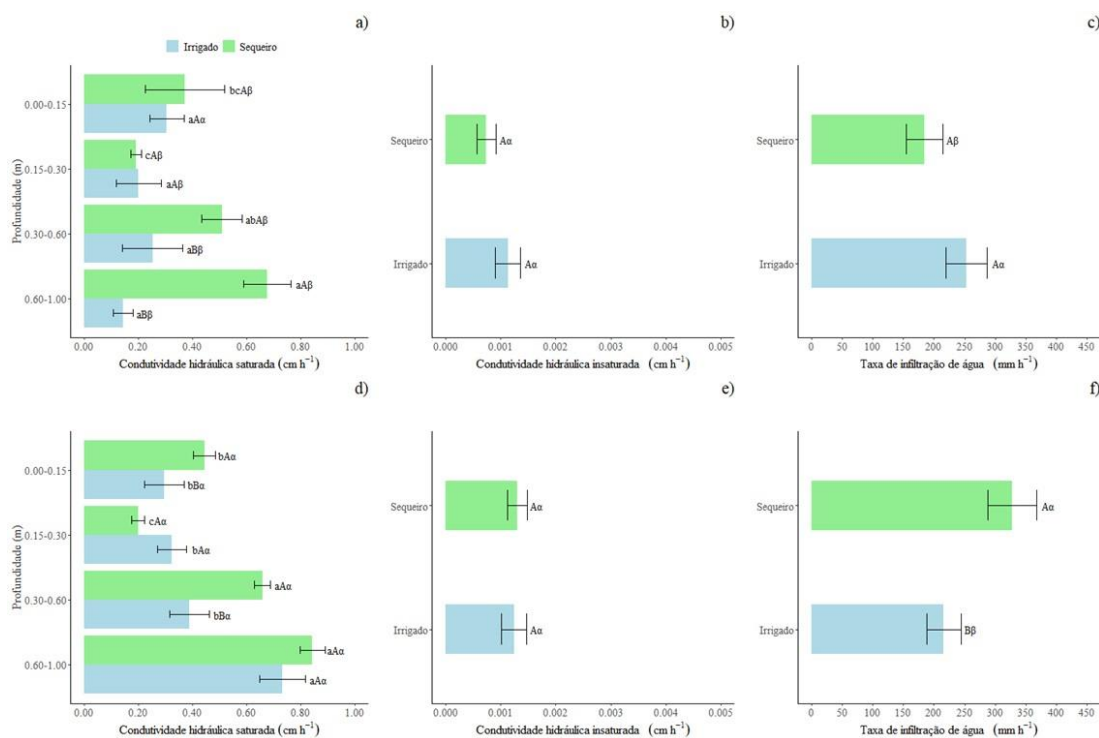
Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Condutividade hidráulica saturada e insaturada e taxa de infiltração de água

A condutividade hidráulica saturada (K_{sat} , Figura 12a e 12c) das áreas de sequeiro apresentou valores superiores ($P < 0,10$) às áreas irrigadas de alta produtividade nas profundidades de 0,30-0,60 e 0,60-1,00 m, sendo similares ($P > 0,10$) nas primeiras profundidades. Por sua vez, nas áreas de baixa produtividade observou-se também os maiores valores ($P < 0,10$) das áreas de sequeiro, nas profundidades de 0,00-0,15 e 0,30-

0,60 m, enquanto as demais apresentaram similaridade ($P>0,10$). A similaridade foi também comum em ambas as situações de solos sob cultivo de sequeiro ou irrigado quando avaliaram-se a condutividade hidráulica insaturada (Kins), nesse caso avaliada somente na superfície (Figura 12b e 12e). A taxa de infiltração (Figura 12c e 12f) somente foi maior na área de sequeiro de baixa produtividade.

Figura 12 – Condutividades hidráulica saturada (Figura 12a e 12d) e hidráulica insaturada (Figura 12b e 12e) e taxa de infiltração de água no solo (Figura 12c e 12f) de Latossolos oxidícos sob cultivo intensivo com alta (Figura 12a, 12b e 12c) e baixa (Figura 12d, 12e e 12f) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Em relação a comparação entre as profundidades, realizada somente para Ksat, constatou-se também alguma relação com Ds, macro e microporosidade, em que a segunda profundidade apresentou os menores valores ($P<0,10$) nas áreas de sequeiro de alta e baixa produtividades, comparativamente às demais profundidades. Nas áreas irrigadas de alta e baixa produtividade constatou-se a semelhança ($P>0,10$) em todas as

profundidades estudadas, com exceção da última profundidade da área AIBP que foi maior ($P<0,10$) às demais,

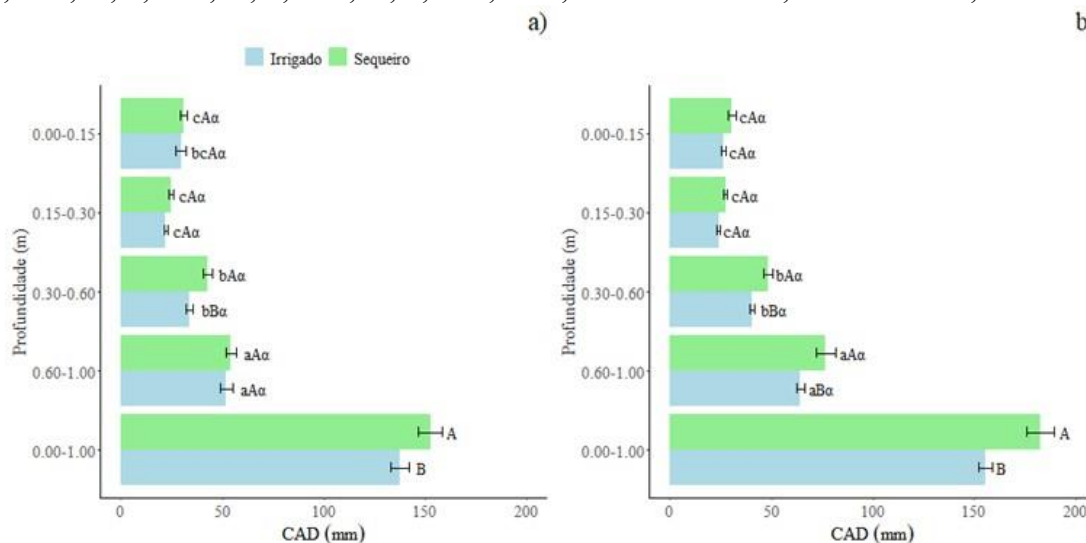
As áreas de alta produtividade apresentam valores de K_{sat} inferiores ($P<0,10$) tanto em cultivo de sequeiro quanto irrigado, qualquer que seja a profundidade, comparativamente às de baixa produtividade. A única exceção ocorreu na primeira profundidade das áreas irrigadas quando as áreas de baixa produtividade apresentaram menores valores ($P<0,10$). Para a K_{ins} não foram observadas diferenças significativas entre estas áreas, enquanto que a taxa de infiltração, apresentou menores valores ora em ASAP, ora em AIBP.

Capacidade de água disponível e curva de retenção de água

Nas comparações entre os sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro, foi constatado efeito significativo para a capacidade de água disponível (CAD), na terceira profundidade da área de sequeiro de alta produtividade (Figura 13a) e nas duas últimas profundidades da área de sequeiro de baixa produtividade (Figura 13b). Ao considerar o somatório das camadas avaliadas (0,00-1,00 m), seja nas áreas de alta ou de baixa produtividade, as áreas de sequeiro apresentaram resultados superiores às áreas irrigadas.

Entre profundidades constatou-se que, tanto na área irrigada quanto na de sequeiro de alta e baixa produtividades, a camada de 0,60-1,00 m apresentou os maiores valores ($P<0,10$) de CAD, seguida por 0,30-0,60 m, que apresentou redução significativa, enquanto que os menores valores foram registrados na profundidade de 0,00-0,15 e 0,15 e 0,30 m, essas duas profundidades também apresentaram similaridade estatística entre si. Por fim, não foram constatadas diferenças significativas entre as áreas de alta e baixa produtividades, em qualquer que seja o sistema de cultivo e a profundidade avaliada.

Figura 13 – Capacidade de água disponível (Figura 13a e 13b) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 13a) e baixa (Figura 13b) produtividades em sistema de cultivo irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

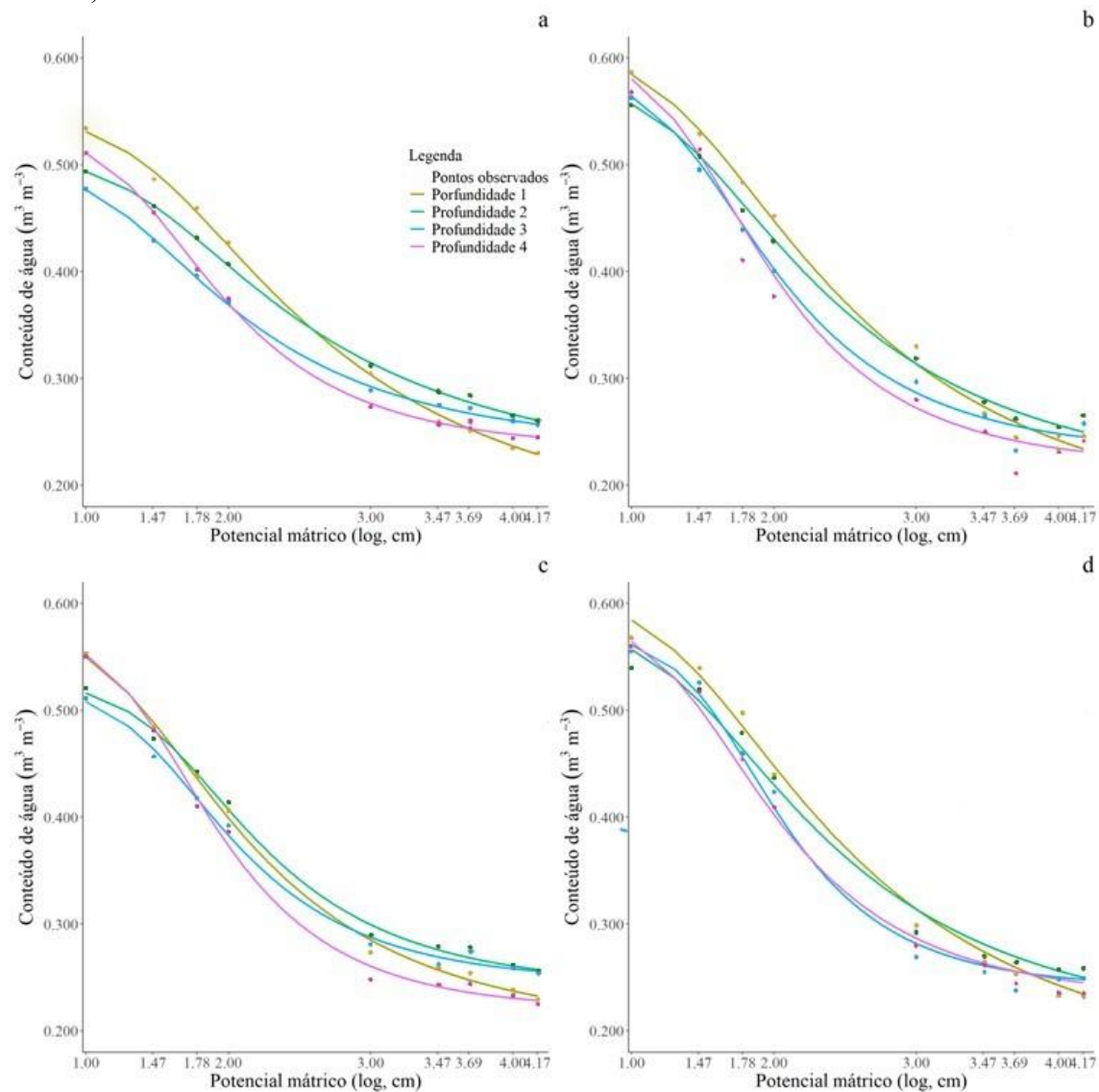


Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Para a curva de retenção de água, as comparações entre os sistemas de cultivo, irrigado (Figura 14a e 14c) e sequeiro (Figura 14b e 14d), seja para alta (Figura 14a e 14b) ou baixa (Figura 14c e 14d) produtividade, não houveram diferenças estatísticas significativas ($P > 0,10$) quanto à retenção de água, seja na capacidade de campo (θ_{CC}) ou no ponto de murcha permanente (θ_{PMP}). Aplica-se exceção às áreas de baixa produtividade, na última profundidade, onde a área de sequeiro reteve maior ($P < 0,10$) quantidade de água comparativamente à irrigada na θ_{CC} .

Para as áreas de alta produtividade, a primeira profundidade manteve os teores de água retida no solo elevados ($P < 0,10$) no Ψ_m de -10 kPa. Para a área irrigada, a terceira e quarta profundidades apresentaram os menores teores de água retida ($P < 0,10$) enquanto que a segunda profundidade foi similar às demais profundidades. Para a área de sequeiro, a última profundidade apresentou menor valor ($P < 0,10$) de retenção de água enquanto que a terceira profundidade foi semelhante ($P < 0,10$) a segunda e a última profundidades, assim como a segunda profundidade foi semelhante ($P < 0,10$) a primeira e a terceira profundidades. Nas áreas de baixa produtividade, seja na área irrigada ou de sequeiro, não foram observadas diferenças ($P > 0,10$) quanto à retenção de água em profundidade.

Figura 14 – Curvas de retenção de água de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 14a e 14b) e baixa (Figura 14c e 14d) produtividades em sistema irrigado (Figura 14a e 14c) (AIAP e AIBP) e de sequeiro (Figura 11b e 11d) (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Para a área de sequeiro de alta produtividade não foram observadas diferenças significativas ($P > 0,10$) em profundidade na retenção de água no Ψ_m de -1500 kPa, enquanto que para a área irrigada os maiores valores ($P < 0,10$) foram registrados na segunda e terceira profundidades, com uma notável redução ($P < 0,10$) no armazenamento de água na camada superficial. A última profundidade foi similar ($P < 0,10$) às demais profundidades. Assim como AIAP, a área irrigada de baixa produtividade também os maiores teores de água retida no solo ($P < 0,10$) na segunda e a terceira profundidades, enquanto que para a primeira e a última apresentaram redução ($P < 0,10$) no

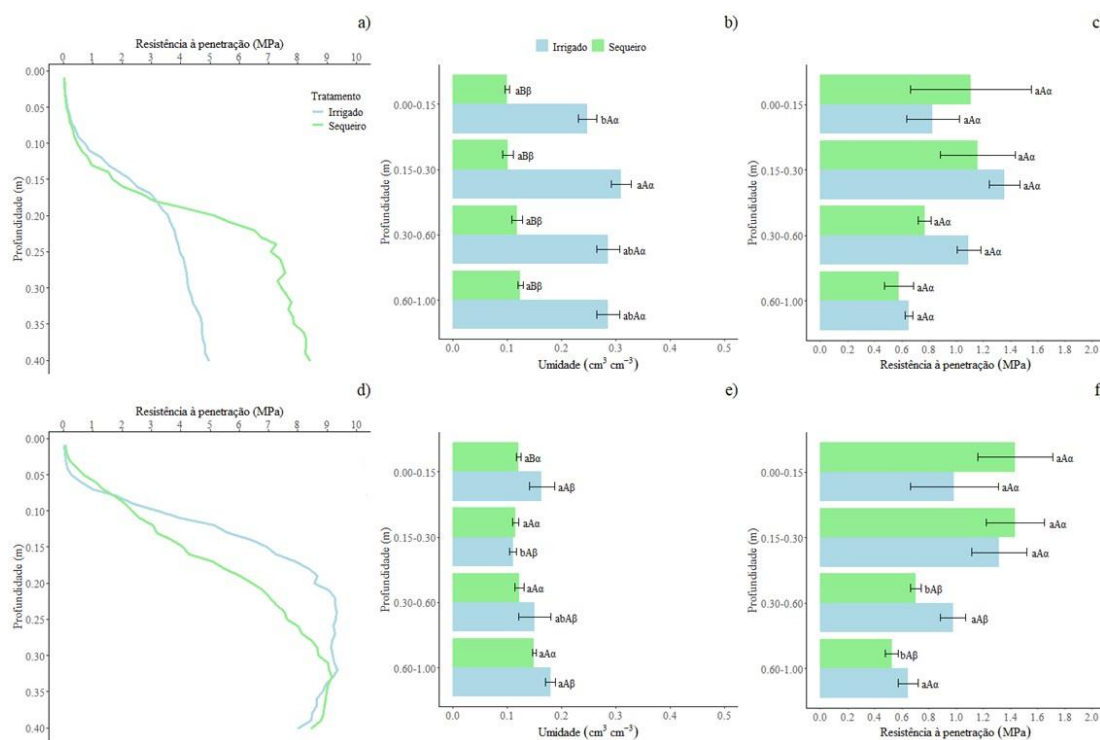
armazenamento de água no θ_{PMP} . Para a área de sequeiro de baixa produtividade, a segunda profundidade apresentou maiores valores ($P < 0,10$) de retenção de água no θ_{PMP} , enquanto que o menor valor ($P < 0,10$) foi observado na última profundidade, a primeira e a terceira profundidades foram similares às demais ($P < 0,10$).

Na comparação entre as produtividades, na θ_{CC} , a primeira profundidade das áreas de alta produtividade foram superiores às de baixa, o oposto foi observado nas três camadas subsequentes das áreas irrigadas e nas duas últimas camadas das áreas de sequeiro. No θ_{PMP} , a área de sequeiro de alta produtividade apresentou maiores teores de água retida, em qualquer que seja a profundidade avaliada. Algo semelhante foi observado para as áreas irrigadas, onde apenas a terceira profundidade, apresentou similaridade estatística.

Resistência à penetração em campo e com umidade ajustada na capacidade de campo

A análise dos resultados de resistência a penetração, avaliada em condições de campo (RP_c) e em laboratório com umidade ajustada para a capacidade de campo (RP_{ua}) deve ser feita de forma distinta, pois, no primeiro caso, RP_c , há a influência da umidade do solo no momento da determinação, o que foi padronizado em laboratório. Assim, no primeiro caso (Figura 15a e 15d), observou-se que os teores de umidade do solo nas áreas de alta produtividade apresentaram-se superiores ($P < 0,10$) na área irrigada em comparação à área de sequeiro, o que não aconteceu nas áreas de baixa produtividade, sendo similares ($P > 0,10$) nas três profundidades subsuperficiais, enquanto que a camada superficial a área irrigada foi superior à de sequeiro. Entre as profundidades constatou-se que as áreas de sequeiro de baixa e alta produtividade apresentaram-se semelhantes estatisticamente em todas as profundidades, enquanto nas áreas irrigadas observou-se comportamento distinto. Nas áreas de alta produtividade, a profundidade de 0,15-0,30 m apresentou maiores teores de umidade em relação à 0,00-0,15 m, enquanto que às duas últimas profundidades assemelharam-se estatisticamente às demais. Já na área irrigada de baixa produtividade, a primeira e a última profundidades foram semelhantes e superiores ($P < 0,10$) à segunda e terceira, as quais apresentaram-se também diferentes, mas também crescentes em relação a profundidade, ou seja, a terceira assemelhou-se ($P > 0,10$) em relação às demais. Ao comparar as áreas de alta e baixa produtividades, para irrigado, observou-se os maiores ($P < 0,10$) valores de umidade das áreas de alta produtividade, enquanto que no cultivo em sequeiro, foi observado o contrário.

Figura 15 – Resistência a penetração em campo (Figura 15a e 15d), com umidade corrigida (Figura 15b e 15e) e umidade do solo no momento da amostragem (Figura 15c e 15f) de Latossolos oxidicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 15a, 15b e 15c) e baixa (Figura 15d, 15e e 15f) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Constatou-se, tanto em alta quanto em baixa produtividade, o aumento da R_{Pc} em profundidade, independente da condição de umidade do solo, sendo que superficialmente os valores de R_{Pc} apresentam similaridade entre as áreas irrigadas e de sequeiro. Essa similaridade ocorre até a profundidade de ~0,20 m no caso das áreas de alta produtividade e ~0,10 m nas áreas de baixa produtividade. Ainda áreas de baixa produtividade, essa similaridade estatística é novamente observada na profundidade de 0,30-0,40 m, enquanto que na segunda e terceira profundidades a área irrigada apresentou maiores ($P < 0,10$) valores de R_{Pc}. Nas áreas de alta produtividade nas duas últimas profundidades, a área de sequeiro apresentou maiores ($P < 0,10$) valores de R_{Pc}. A partir dessas profundidades, pode-se associar aos teores de umidade do solo o comportamento observado para a R_{Pc}, em que as condições de maior umidade das áreas irrigadas apresentaram os menores

valores de RP_c , como bem exemplificado pelo comportamento observado nas duas últimas profundidades das áreas de alta produtividade.

Na comparação entre áreas de alta e baixa produtividade, pode-se associar também os teores de umidade do solo (Figura 15c e 15f) à RP_c . Os maiores valores de umidade do solo das áreas de alta produtividade e menores das áreas de baixa produtividade, ambas irrigadas, levaram a comportamentos diferenciados da RP_c em profundidade, sendo a curva de RP_c para a área AIAP com valores menores em profundidade. Contudo, nas áreas de sequeiro, mesmo com os maiores valores de umidade do solo das áreas de baixa produtividade em relação às de alta (não tão amplas como nas áreas irrigadas), a RP_c apresentou também formas diferenciadas, estando evidente os maiores valores em profundidade das áreas de baixa produtividade.

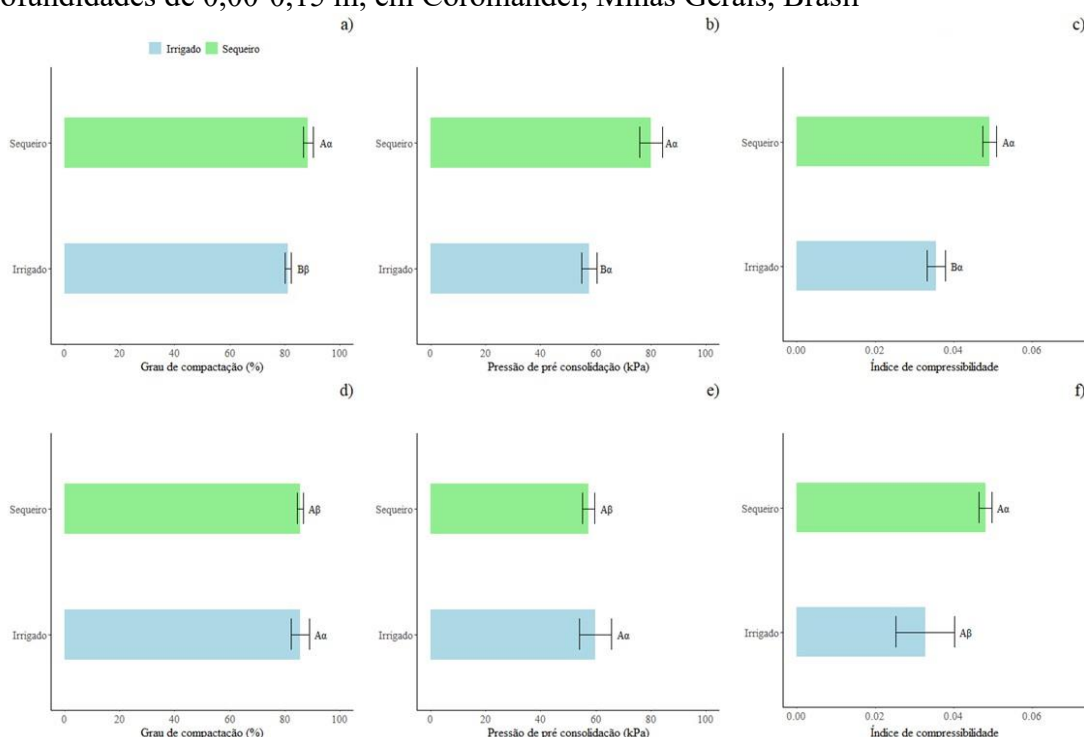
Contudo, ao avaliar a RP_{ua} (Figura 15b e 15e) em amostras indeformadas, não foram constatadas diferenças entre as áreas de sequeiro e irrigada, sendo similares estatisticamente, em qualquer que seja a profundidade avaliada. Entre profundidades, a similaridade estatística ($P > 0,10$) foi observada praticamente em todas as áreas, tendo como única exceção a área de sequeiro de baixa produtividade, com os maiores valores das duas primeiras profundidades ($P < 0,10$) em relação às duas últimas. Na comparação entre áreas de alta e baixa produtividade constatou-se os maiores valores ($P < 0,10$) de RP_{ua} nas áreas de baixa produtividade (irrigado e sequeiro) em relação às de alta, havendo similaridade estatística entre ASAP e ASBP nas duas primeiras profundidades. A comparação entre as áreas de alta e baixa produtividade para RP_{ua} mostrou similaridade estatística ($P > 0,10$) em quase todas as profundidades, havendo exceção para AIAP na terceira profundidade e para ASAP nas duas últimas profundidades, onde as áreas de alta produtividade apresentaram maiores valores ($P < 0,10$) de RP_{uc} .

Grau de compactação, pressão de pré-consolidação e índice de compressibilidade

O grau de compactação (GC, Figura 16a e 16d), a pressão de pré-consolidação (σ , Figura 16b e 16e) e o índice de compressibilidade (IC, Figura 16c e 16f) do solo foram avaliados somente na profundidade de 0,00-0,15 m e apresentaram o mesmo comportamento ao se comparar as áreas irrigadas e de sequeiro, seja em alta ou baixa produtividades. Nas áreas de alta produtividade, as áreas de sequeiro apresentaram maiores valores ($P > 0,10$) dessas propriedades comparativamente às áreas irrigadas, enquanto nas áreas de baixa produtividade foram semelhantes ($P > 0,10$). Entre as áreas de

alta e baixa produtividades constatou-se que, na condição de cultivo de sequeiro, o GC e o σ foram maiores ($P < 0,10$) nas áreas alta produtividade, enquanto a semelhança ($P > 0,10$) aconteceu entre as duas áreas de sequeiro para o IC. Já na condição irrigada, constatou-se semelhança estatística para σ ; em adição, para GC a área de baixa produtividade apresentou os maiores valores ($P < 0,10$), enquanto que para IC ocorreu o oposto.

Figura 16 – Grau de compactação (Figura 16a e 16d), pressão de pré-consolidação (Figura 16b e 16e) e índice de compressibilidade (Figura 16c e 16f) de Latossolos oxidicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 16a, 16b e 16c) e baixa (Figura 16d, 16e e 16f) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

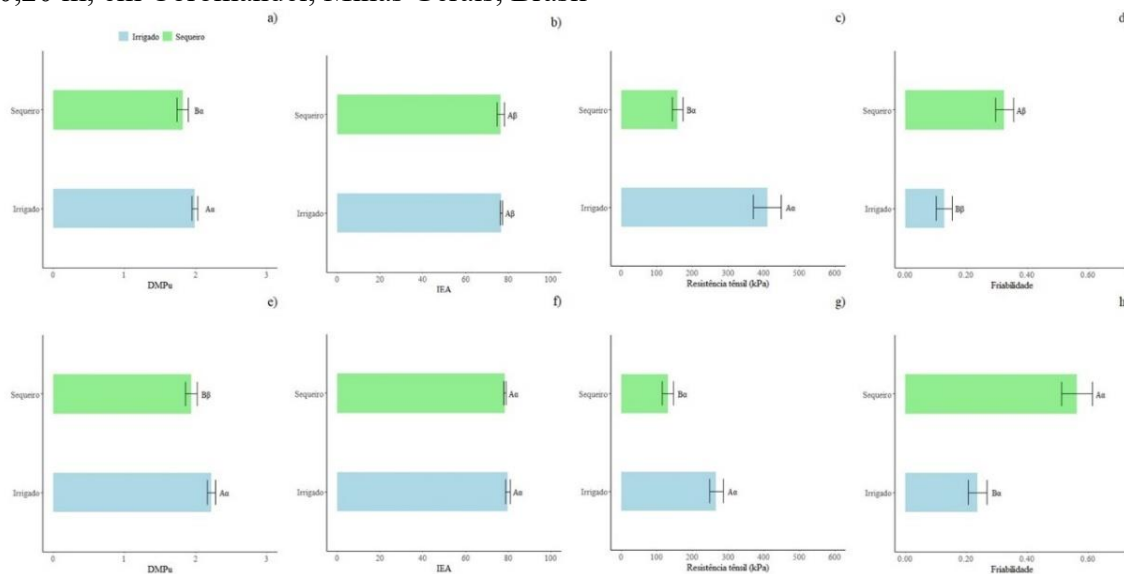
Diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados, resistência tênsil e friabilidade

O diâmetro médio ponderado obtido por via úmida (DMPu, Figura 17a e 17e) e a resistência tênsil (RT, Figura 17c e 17g) apresentaram maiores valores ($P < 0,10$) nas áreas irrigadas comparativamente às áreas de sequeiro, tanto em alta quanto em baixa produtividade. Nestas mesmas condições, o índice de estabilidade de agregados (IEA, Figura 17b e 17f), por sua vez, não apresentou diferenças significativas entre estas áreas.

Já a friabilidade (Figura 17d e 17h) apresentou resultados contrários ao observado para as duas primeiras variáveis, sendo maiores nas áreas de sequeiro, nas duas condições de produtividades.

Na comparação entre áreas de alta e baixa produtividade, as variáveis não apresentaram um comportamento padrão comum a todas variáveis ou parte delas. Constatou-se nas áreas de sequeiro maiores valores de DMPu nas áreas de alta produtividade, sendo por sua vez menores ($P < 0,10$) quando avaliado o IEA e a friabilidade, com a RT sendo similar ($P > 0,10$) nas duas condições avaliadas. Nos cultivos irrigados, IEA apresentou o mesmo comportamento observado nas áreas de sequeiro, ou seja, maior ($P < 0,10$) na área de baixa produtividade. Contudo, o DMPu, assim como a RT não apresentaram diferenças ($P > 0,10$) entre áreas de alta e baixa produtividade e a friabilidade foi maior ($P < 0,10$) na área de baixa produtividade.

Figura 17 – Diâmetro médio ponderado úmido (Figura 17a e 17e), índice de estabilidade de agregados (Figura 17b e 17f), resistência tênsil (Figura 17c e 17g) e friabilidade (Figura 17d e 17h) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 17a, 17b, 17c e 17d) e baixa (Figura 17e, 17f, 17g e 17h) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), na profundidade de 0,00-0,20 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

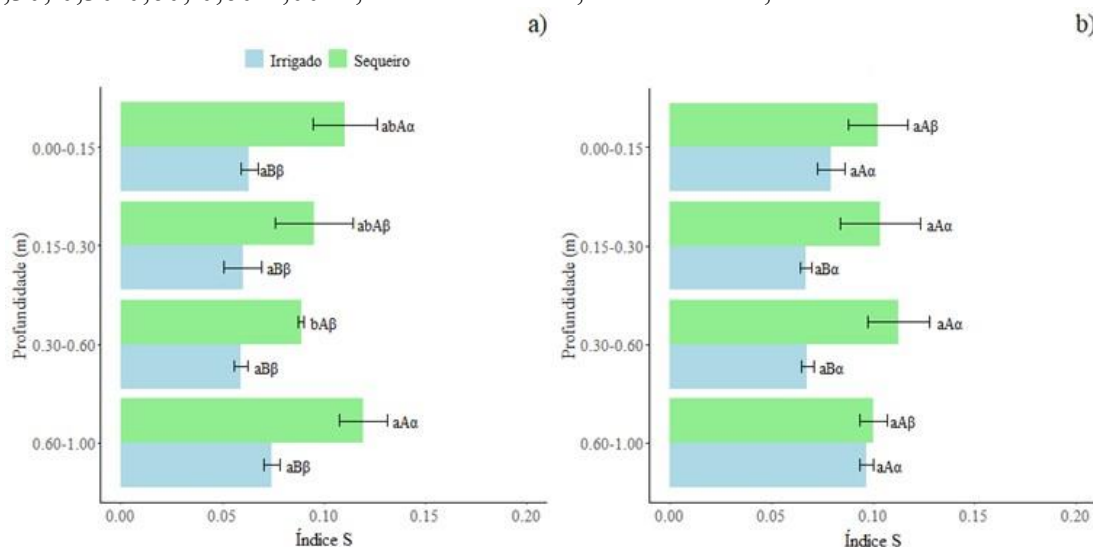


Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Índice S e de qualidade física do solo (IQFS)

O índice S (S) apresentou valores maiores ($P > 0,10$) nas áreas de sequeiro de alta produtividade em todas as profundidades e também de baixa produtividade (Figura 18a e 18b). Quando avaliados os resultados do índice de qualidade física do solo (IQFS, Figura 19a e 19b), para as áreas irrigadas e de sequeiro, não foram observadas diferenças significativas em nenhuma das profundidades estudadas. No entanto, para o índice S verificou-se similaridades ($P > 0,10$) entre os valores médios para a primeira e última profundidades. Entre profundidades constatou-se diferenças somente ao considerar as áreas de sequeiro de alta produtividade, em que a última profundidade apresentou maior valor ($P < 0,10$) de S comparativamente à terceira profundidade, enquanto as duas primeiras foram similares às outras duas. Nas demais situações, tanto em alta quanto em baixa produtividade, sequeiro ou irrigado, as comparações identificaram a similaridade dos valores de S entre as profundidades avaliadas.

Figura 18 – Índice S (Figura 18a e 18b) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 18a) e baixa (Figura 18b) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil

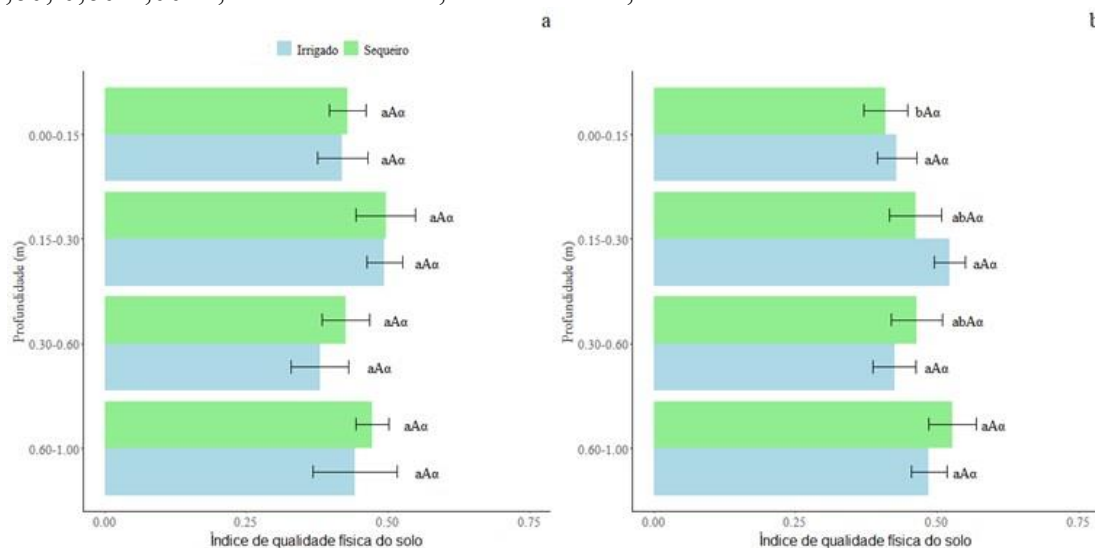


Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Nas comparações entre as áreas de alta e baixa produtividades observou-se que, em profundidade, nas áreas de sequeiro, o maior ($P < 0,10$) ou menor ($P < 0,10$) valor de um e de outro foi alternado, sendo as áreas de alta superior na primeira e quarta

profundidades, enquanto na segunda e na terceira essa foi menor. Já nas áreas irrigadas constatou-se a superioridade dos valores de S das áreas de baixa produtividade em relação às de alta produtividade em todas as profundidades. Avaliando-se o IQFS na profundidade de cada área, apenas foi constatado diferenças significativas na área de sequeiro de baixa produtividade, onde a primeira profundidade apresentou os menores valores ($P < 0,10$), comparada a última profundidade, enquanto que a segunda e a terceira, assemelharam-se às demais. A comparação entre as produtividades, também não apresentou nenhuma diferença significativa.

Figura 19 – Índice de qualidade física do solo, de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 19a) e baixa (Figura 19b) em sistema irrigado por pivô central (Figura 19a) e de sequeiro (Figura 19b), nas profundidades de 0,00-0,15; 0,15-0,30; 0,30-0,60; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Estoques de C das frações MOP e MOAM

Avaliando os estoques de C (Figura 20) até a profundidade de 1,00 m, as diferenças ($P < 0,10$) ou similaridades ($P > 0,10$) entre os estoques das áreas de alta produtividade, seja para irrigado ou sequeiro, das frações da matéria orgânica do solo (MOAM e MOP), apresentaram um padrão de ocorrência. Constatou-se nas áreas de alta produtividade, na fração associada aos minerais (C-MOAM) um aumento significativo ($P < 0,10$) nas áreas irrigadas, enquanto o oposto foi observado para a fração particulada da matéria orgânica (C-MOP), onde, as áreas de sequeiro apresentaram os maiores

estoques ($P < 0,10$). Nas áreas de baixa produtividade foi identificado um padrão de quanto as similaridades ($P > 0,10$), onde, C-MOAM e C-MOP apresentaram similaridade estatística.

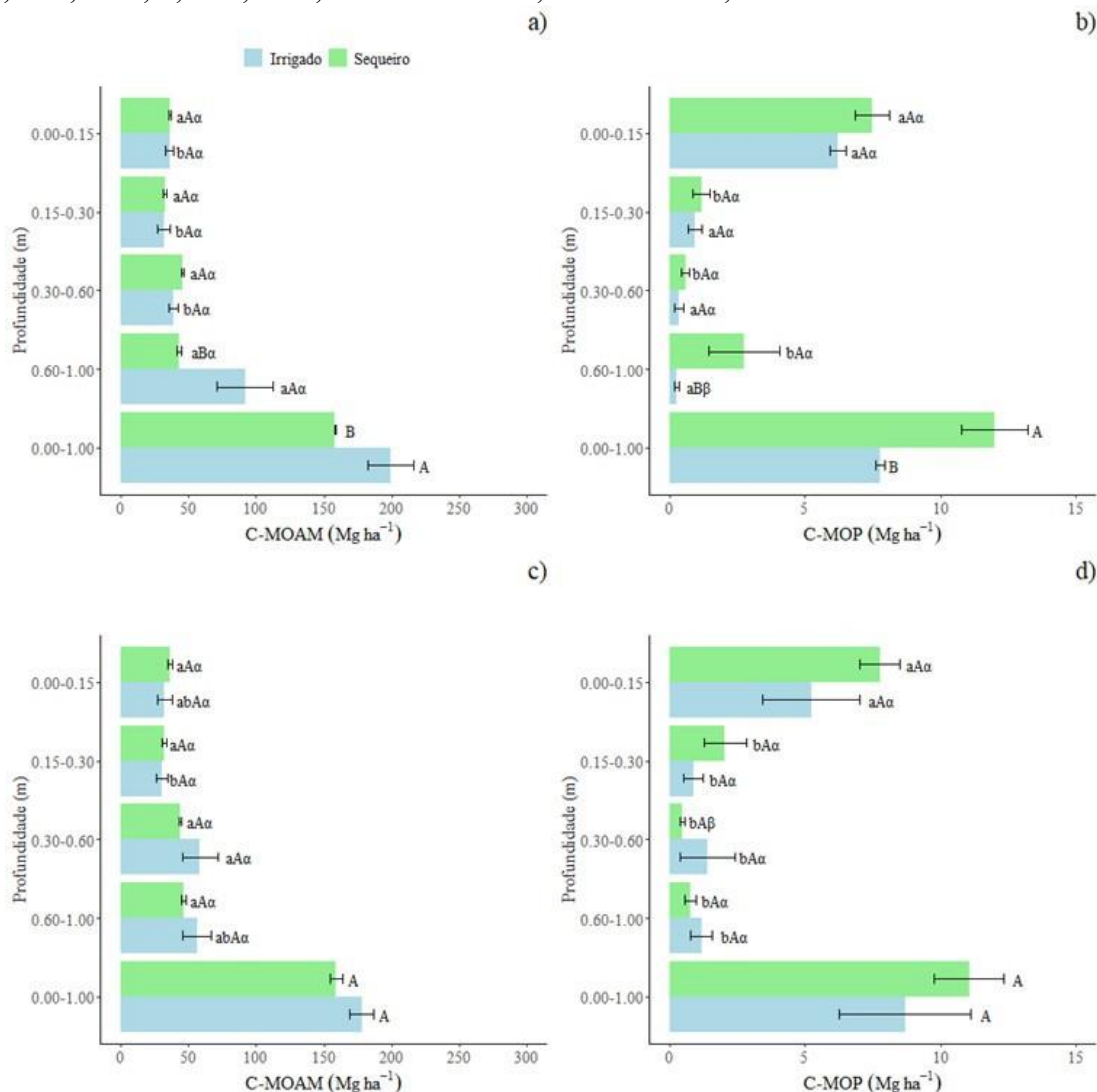
Entre os sistemas de uso (irrigado e sequeiro) de alta produtividade (AIAP e ASAP, respectivamente), em cada uma das profundidades avaliadas, observou-se diferenças significativas ($P < 0,10$) apenas na última profundidade (0,60-1,00 m) da área irrigada para os estoques de C-MOAM (Figura 20a). Ainda para as áreas de alta produtividade, a mesma profundidade (0,60-1,00 m), foi a que apresentou diferenças significativas ($P < 0,10$) de C-MOP (Figura 20b), contudo, dessa vez, a área de sequeiro apresentou os maiores estoques. Para as profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,60 m, observou-se a ocorrência de um padrão, não sendo registradas diferenças entre as áreas AIAP e ASAP em nenhuma das profundidades mencionadas, seja para estoques de C-MOAM ou C-MOP. Entre os sistemas de uso de baixa produtividade (AIBP e ASBP, respectivamente), foi identificado a ocorrência de um padrão em todas as profundidades estudadas para C-MOAM (Figura 20c) e C-MOP (Figura 20d), constatando-se a ausência de significância ($P > 0,10$) dessas variáveis nas áreas AIBP e ASBP.

Entre as profundidades avaliadas, houve um padrão quanto a ocorrência de similaridades ($P > 0,10$) nas áreas ASAP e ASBP para C-MOAM (Figura 20a e 20c) e na área AIAP para C-MOP (Figura 20b). Também foram constatadas diferenças significativamente maiores ($P < 0,10$) nas áreas ASAP, ASBP e AIBP para C-MOP (Figura 20b, 20d) na profundidade de 0,00-0,15 m, enquanto que as demais profundidades (0,15-0,30, 0,30-0,60 e 0,60-1,00 m) apresentaram semelhanças ($P > 0,10$) entre si. Ainda, foi constatado que a área AIAP foi significativamente maior ($P < 0,10$) na profundidade de 0,60-1,00 m, apresentando maiores estoques de C-MOAM (Figura 20a), comparada as demais profundidades (0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,15-0,30 m).

Entre alta e baixa produtividades, foi observado um padrão quanto à similaridade das produtividades entre nas áreas irrigadas e de sequeiro apenas para C-MOAM (Figura 20a e 20c). Para C-MOP (Figura 20b e 20d) a área AIBP foi significativamente maior ($P < 0,10$) que a área AIAP na profundidade de 0,60-1,00 m. Enquanto que nas demais profundidades (0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,60 m) não foi constatado diferenças ($P > 0,10$) para C-MOP. Para as áreas de sequeiro, constatou-se apenas uma diferença significativamente maior para C-MOP na profundidade de 0,30-0,60 m na área ASAP,

enquanto que nas demais profundidades (0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,60-1,00 m) não foi constatado nenhuma diferença ($P>0,10$).

Figura 20 – Estoques de carbono (C) das frações da matéria orgânica MOAM (Figura 20a e 20c) e MOP (Figura 20b e 20d) de Latossolos oxidicos sob cultivo intensivo com alta (Figura 20a e 20b) e baixa (Figura 20c e 20d) produtividades em sistema irrigado (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (teste T, 10% significância). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

Estoques de N das frações MOP e MOAM

Avaliando os estoques de N (Figura 21) até a profundidade de 1,00 m, as diferenças ($P<0,10$) ou similaridades ($P>0,10$) entre os estoques das áreas de alta

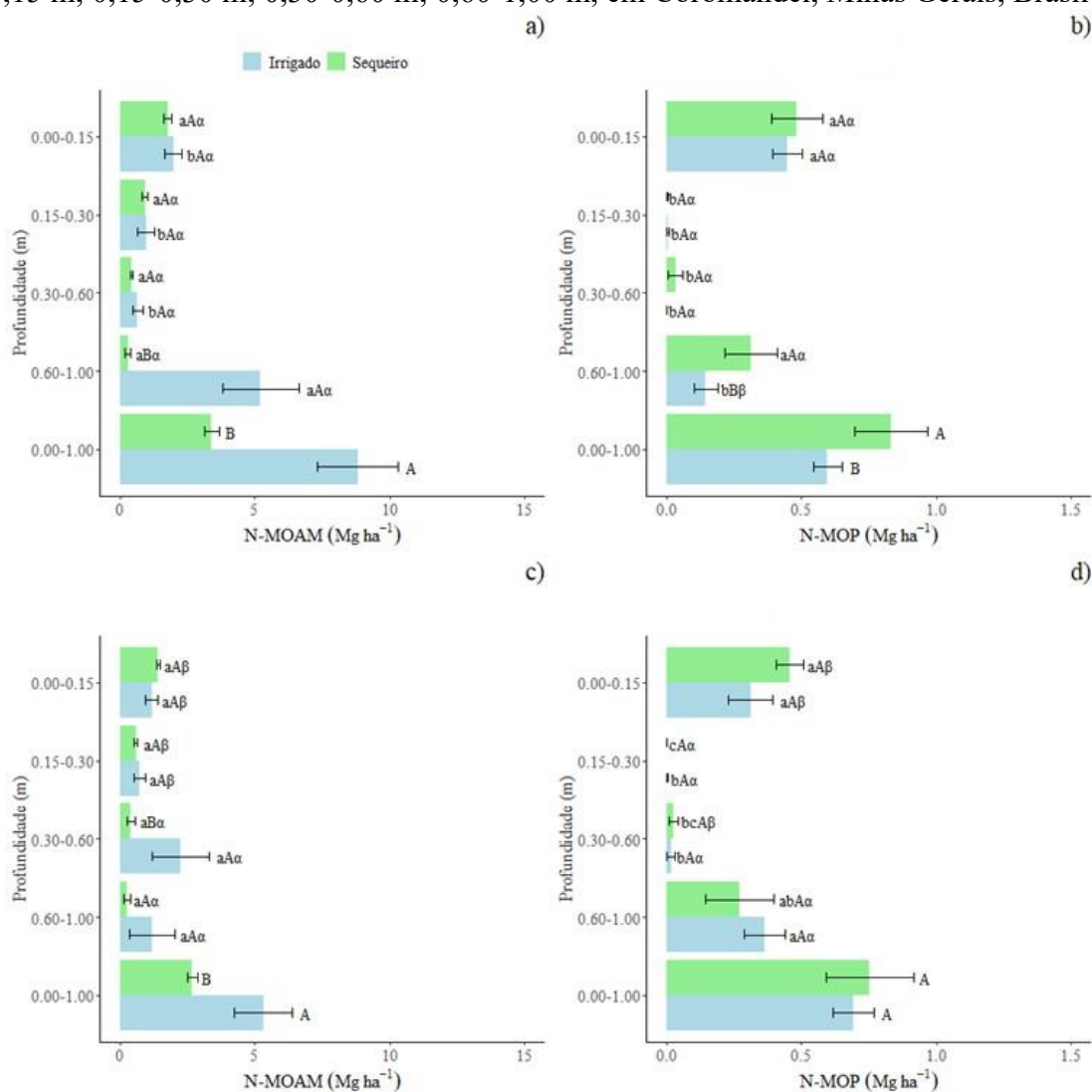
produtividade, seja para irrigado ou sequeiro, das frações da matéria orgânica do solo (MOAM e MOP), apresentaram um padrão de ocorrência. Constatou-se nas áreas de alta produtividade, na fração associada aos minerais (N-MOAM) um aumento significativo ($P < 0,10$) nas áreas irrigadas, enquanto o oposto foi observado para a fração particulada da matéria orgânica (N-MOP), onde, as áreas de sequeiro apresentaram os maiores estoques ($P < 0,10$). Nas áreas de baixa produtividade não foi identificado um padrão quanto as diferenças ($P < 0,10$) e similaridades ($P > 0,10$), onde, constatou-se diferenças ($P < 0,10$) apenas para N-MOAM, enquanto que N-MOP apresentou similaridade estatística.

Entre os sistemas de uso (irrigado e sequeiro) de alta produtividade (AIAP e ASAP, respectivamente), em cada uma das profundidades avaliadas, observou-se diferenças significativas ($P < 0,10$) apenas na última profundidade (0,60-1,00 m) da área irrigada para os estoques de N-MOAM (Figura 21a). Ainda para as áreas de alta produtividade, a mesma profundidade (0,60-1,00 m), foi a que apresentou diferenças significativas ($P < 0,10$) de N-MOP (Figura 21b), contudo, dessa vez, a área de sequeiro apresentou os maiores estoques. Para as profundidades de 0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,30-0,60 m, observou-se a ocorrência de um padrão, não sendo registradas diferenças entre as áreas irrigadas e de sequeiro de alta produtividade em nenhuma das profundidades mencionadas, seja para estoques de N-MOAM ou N-MOP. Entre os sistemas de uso de baixa produtividade (AIBP e ASBP, respectivamente), foi constatando-se a ausência de significância ($P > 0,10$) para N-MOP (Figura 21d) nas áreas AIBP e ASBP. A profundidade de 0,30-0,60 m da área AIBP foi significativamente maior ($P < 0,10$) para os estoques de N-MOAM (Figura 21c), enquanto que as demais profundidades (0,00-0,15, 0,15-0,30 e 0,60-1,00 m) apresentaram similaridade estatística ($P > 0,10$) entre os sistemas de uso.

Entre alta e baixa produtividades, foi constatado um padrão quanto as diferenças ($P < 0,10$) entre as áreas irrigadas e de sequeiro, onde a primeira (0,00-0,15 m) e segunda (0,15-0,30 m) profundidades das áreas AIAP e ASAP apresentaram-se significativamente ($P < 0,10$) maiores estoques de N-MOAM (Figura 21a e 21c), enquanto que as demais profundidades foram similares ($P > 0,10$) entre si. Para N-MOP (Figura 21b e 21d) a área AIBP foi significativamente maior ($P < 0,10$) que a área AIAP na profundidade de 0,60-1,00 m, também, a profundidade de 0,00-0,15 m foi significativamente maior ($P < 0,10$) na área AIAP, enquanto que nas profundidades 0,15-0,30 e 0,30-0,60 m, não foram constatadas diferenças significativas ($P > 0,10$) para N-MOP. Para as áreas de sequeiro, a

área ASAP apresentou valores superiores ($P < 0,10$) de N-MOP na profundidade de 0,00-0,15 e 0,30-0,60 m, enquanto que para as profundidades de 0,15-0,30 e 0,60-1,00 m foi constatado semelhança estatística ($P > 0,10$).

Figura 21 – Estoques de nitrogênio (N) das frações da matéria orgânica MOAM (Figura 21a e 21b) e MOP (Figura 21b e 21c) de Latossolos oxídicos sob cultivo intensivo com alta (figura 21a e 21b) e baixa (Figura 21c e 21d) produtividades em sistema irrigado por pivô central (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP), nas profundidades de 0,00-0,15 m; 0,15-0,30 m; 0,30-0,60 m; 0,60-1,00 m, em Coromandel, Minas Gerais, Brasil



Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si, sendo que as letras minúsculas comparam as profundidades dentro de cada sistema (teste Tukey, 10% de significância); as maiúsculas comparam os sistemas dentro de cada profundidade (teste F, 10% de significância); e as gregas comparam cada sistema em áreas de alta e baixa produtividade dentro de cada profundidade (Teste T, 10% probabilidade). Barras verticais indicam o erro padrão da média.

4. DISCUSSÃO

Análise de componentes principais

Por meio da ACP, pôde-se identificar as variáveis de maior contribuição no estudo e as que melhor explicaram a variabilidade existente entre as áreas em cada uma das profundidades estudadas (microporosidade, macroporosidade, areia fina, areia grossa, argila, argila dispersa em água, diâmetro médio ponderado úmido, resistência à penetração em campo, resistência à penetração com umidade ajustada, índice de estabilidade de agregados, friabilidade, índice S, condutividade hidráulica saturada, índice de compressibilidade, capacidade de água disponível, umidade, densidade do solo, densidade de partículas). As demais variáveis do estudo possuem contribuição na explicação da variabilidade entre as áreas, entretanto, menos expressiva, por esse motivo, não foram apresentadas na ACP.

Densidade do solo e de partículas

Os valores de densidade do solo (D_s) nas áreas estudadas apresentaram comportamento esperado em relação a profundidade, já observado em outras situações (Soares et al., 2005; Araujo et al., 2023; Pessoa et al., 2024), ou seja, os maiores valores foram observados na segunda profundidade (0,15-0,30 m), independente da área. Esses resultados podem ser atribuídos ao fato de que a camada subsuperficial recebe grande parte do impacto do manejo realizado nas áreas, seja pelo tráfego de implementos agrícolas, pela pressão exercida ao solo através dos rodados dos pneus, ou ainda pela formação de uma camada restritiva devido ao uso de subsoladores, grades, escarificadores, e, até mesmo, pelo disco de corte da plantadeira. A presença de uma camada compactada, em algumas situações, pode ser um fator limitante ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Unger e Kaspar, 1994; Singh et al., 2015; Giuliani et al.; 2024). Os valores mais baixos para D_s encontrados na profundidade de 0,00-0,15 m são influenciados pela presença da MOS nessa camada, que por apresentar baixa densidade, contribui para a redução da D_s na camada superficial do solo (Kinoshita et al., 2017). No entanto, esse impacto causado pela trafegabilidade pode ser reduzido de várias técnicas, entre outras por meio da utilização de plantas de cobertura e plantios consorciados, que irão proporcionar o incremento da palhada na superfície do solo (Barbosa et al., 2024), e realizar o manejo desses resíduos, visando aumentar a biomassa

da superfície do solo. Isso tudo, associado a redução no tempo de pousio, onde o solo fica parcialmente descoberto, ao tráfego controlado de implementos agrícolas e a avaliação da real necessidade de revolvimento do solo, podem minimizar os impactos sobre a Ds.

A densidade de partículas (Dp) pode sofrer influencia tanto da granulometria do solo, quanto da matéria orgânica (Rühlmann et al., 2006), assim, os baixos valores de Dp desses solos em questão, podem ser atribuídos, em parte, a menor quantidade de areia total e maior quantidade de argila. Com os menores valores registrados na camada superficial do solo, fica ainda mais evidente o efeito da matéria orgânica do solo sob a Dp nesse estudo.

Grau de compactação

Os maiores valores do grau de compactação (GC) encontrados na área de sequeiro de alta produtividade (ASAP) pode estar relacionado à trafegabilidade de implementos agrícolas fora das condições ideais de umidade (Reintam et al., 2016). Por ser uma área de sequeiro, dependente da ocorrência de chuva, a janela agrícola se torna menor, muitas vezes sendo necessário a realização de manejos fora da condição ideal, o que causa o aumento da massa de solo ocupando o mesmo volume. De acordo com Suzuki et al. (2013), os valores de CG obtidos nas áreas de alta e baixa produtividades, em torno de 81,22 e 85,87 para as áreas irrigadas e 88,46 e 85,63 para as áreas de sequeiro, favorecem a obtenção de máximos rendimentos produtivos para a cultura da soja, valores de CG inferiores aos encontrados neste estudo, retratam um solo solto e com pouca estrutura, o que dificulta o armazenamento de água e o contato da semente e raízes com o solo. Os mesmos autores ainda relataram que valores de GC superiores a 89% apresentaram limitações ao desenvolvimento da cultura, como por exemplo, o aumento da resistência à penetração, o que restringe o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, bem como, alterações significativas na porosidade do solo, especialmente, a redução da macroporosidade. Em complemento, Reichert et al. (2009), relaram que um valor elevado de GC afeta importantes propriedades do solo, como o fluxo de ar e água, o crescimento do sistema radicular e a produtividade das plantas.

Pressão de pré-consolidação

O maior valor de pressão de pré-consolidação (σ) em ASAP sugere que essa área teve um histórico de maiores pressões aplicadas (Nascimento et al., 2017) comparada

com as demais áreas estudadas. Maiores valores de σ indicam maior capacidade de suporte de carga do solo sem que haja deformações irreversíveis ao solo (Lacerda et al., 2022; Fang et al., 2023), o que aumentaria a D_s e diminuiria os valores de porosidade total, principalmente por meio da redução da macroporosidade do solo (Mion et al., 2014). Mion et al. (2014) reportaram que com o aumento da σ ocorre a diminuição do índice de compressibilidade do solo, o que difere dos resultados observados na área ASAP. Em um estudo conduzido por Nascimento et al. (2017), que avaliaram a compressibilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo, relataram que quanto menor o índice de compressibilidade, melhor será a agregação do solo, favorecendo sua resiliência. No entanto, Severiano et al. (2013) relataram o aumento da suscetibilidade de Latossolos do Cerrado brasileiro à compactação devido ao alto teor de argila, tornando-se difícil evitar a compactação adicional em solos argilosos e muito argilosos. Valores superiores de índice de compressibilidade foram obtidos por Ajayi et al. (2009) quando avaliaram Latossolos brasileiros, diferindo do presente estudo, que avaliou Latossolo na região do Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais. Em adição, os resultados indicaram que esses solos possuem resistência à compactação comparado com Latossolos de outras regiões. Técnicas de manejo conservacionistas que visam a mínima perturbação do solo, o incremento de matéria orgânica e a presença de resíduos sobre a superfície do solo, indicam um aumento significativo do solo na resistência ao suporte de cargas (Nascimento et al., 2017). Mileusnić et al. (2022) relataram que o solo na faixa de umidade adequada pode suportar pressões variando de 60 à 100 kPa, enquanto o solo seco suporta pressões de até 300 kPa. Assim, os valores de suporte de cargas relatados pelos autores supramencionados abrangem os encontrados neste estudo.

Macro e microporosidade

Os valores de macroporosidade (M_a) da segunda profundidade das áreas ASAP, AIBP e ASBP foram inferiores em relação aos valores das demais profundidades. Embora sem diferenças estatísticas significativas, a área AIAP, na mesma profundidade, apresentou valores de M_a inferiores às demais. Os valores de M_a registrados nessa profundidade são considerados críticos para o desenvolvimento das plantas (Ramos et al., 2022) porque podem causar o comprometimento do fluxo de O_2 para o sistema radicular (Gil et al., 2012), resultando na diferença de produtividade encontrada entre as áreas ASAP e ASBP.

Os valores de microporosidade (Mi) foram menores na área AIBP comparada com a ASBP, em discrepância do que se espera para áreas irrigadas; entretanto, esse resultado pode estar associado à promoção do aumento de uma rede de macroporos por meio da utilização da irrigação, uma vez que nessas áreas a atividade das raízes e da fauna do solo é maior, não sendo limitadas pela seca. (Leuther et al., 2019). Também tal comportamento pode ser observado na profundidade 0,30-0,60 m, em que a área AIAP apresentou valores de Mi inferiores à ASAP.

Os ciclos de umedecimento e secagem do solo, mais frequentes nas áreas irrigadas, podem favorecer o aumento de Ma por meio da ruptura de pontos de fraqueza entre micro e macroporos (Bonetti et al., 2017). Quando avaliada a relação da Mi com a produtividade das culturas, a redução dessa variável nas áreas AIBP e ASAP comparada com seus pares (AIAP e ASBP, respectivamente) pode afetar negativamente o armazenamento de água no solo e comprometer o desenvolvimento e produtividade das culturas (Barbosa et al., 2024), particularmente na camada superficial do solo. Os maiores valores de Ds encontrados na camada de 0,15-0,30 m contribuem para que a grande parte da porosidade do solo nessa camada seja ocupada por Mi (AIAP e ASAP = 82%, AIBP = 86% e ASBP = 87%).

Resistência à penetração em campo e com umidade ajustada

Um aumento significativo da resistência a penetração campo (RPc) foi verificado no perfil de solo em profundidades maiores que 0,20 m em todas as áreas, seja nas irrigadas ou de sequeiro, de alta ou baixa produtividade, podendo estar associado a textura muito argilosa (>60% de argila) desses solos, que quando secos apresentam-se duros, dificultando assim, a penetração no solo (Gitau et al., 2006) e, portanto, dependentes do conteúdo de água (Souza et al., 2021). Tal efeito pode ser observado nos resultados obtidos nas áreas AIAP e ASAP, em razão de que AIAP teve umidade superior nas profundidades de 0,20-0,30 m e 0,30-0,40 m, refletindo em resultados de RPc superiores à ASAP. Os valores de impedância mecânica encontrados nesse estudo são considerados críticos para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas devido a presença de uma limitação física (Taylor et al., 1966), podendo ter relações diretas com os valores de produtividade dessas áreas.

Quando conduzidos os testes em laboratório, a RPua apresentou valores inferiores a 2,0 MPa em todas as profundidades, sem diferenças significativas entre as áreas de alta

e baixa produtividade, bem como em profundidade. Ainda, os maiores valores de RP_{ua} foram registrados na profundidade de 0,15-0,30 m, corroborando com os resultados encontrados para a resistência à penetração determinada em campo e seguindo o padrão encontrado nas análises de D_s , onde foi encontrado os maiores valores na segunda profundidade. Esses valores de RP_{ua} contribuem para a presença de uma camada de solo restritiva ao desenvolvimento das plantas, causada pela utilização intensiva de implementos agrícolas (Guaman et al., 2016). A RP_{ua} evidenciou que a umidade do solo diminuiu drasticamente a impedância mecânica, devido à ação lubrificante que a água possui, o que torna o solo mais plástico e diminui o atrito das partículas entre o cone de penetração e o solo (Assis et al., 2009). Nesse sentido, a utilização de irrigação no momento do estabelecimento das plantas é de suma importância para facilitar o desenvolvimento radicular e o acesso a água e aos nutrientes (Souza et al., 2021).

Capacidade de água disponível

Houve redução na capacidade de água disponível nas camadas superficiais, embora na segunda profundidade foi observada concentração expressiva de M_i comparada às demais (>80% da porosidade total é composta por microporos na profundidade de 0,15-0,30 m). Essa redução também está relacionada à espessura das camadas, que são menores na superfície. Na camada de 0,60-1,00 m, as áreas AIBP e ASBP apresentaram diferenças na CAD, entretanto, essa diferença já era esperada porque essa profundidade na AIBP apresentou valor de M_i inferior à ASBP. Diferenças na capacidade de água disponível relacionadas à microporosidade do solo também foram evidenciadas por Otto et al. (2011) e Barbosa et al. (2024).

Condutividade hidráulica saturada e insaturada e infiltração de água no solo

As áreas ASAP, AIBP e ASBP apresentaram os maiores valores de condutividade hidráulica saturada (K) na profundidade de 0,60-1,00 m, enquanto que os menores valores ocorreram na profundidade de 0,15-0,30 m. Tais profundidades tiveram o maior (0,60-1,00 m) e menor (0,15-0,30 m) volume de M_a nessas áreas, influenciando diretamente os valores de K (Centeno et al., 2020). De acordo com Chapuis (2012) variações nos valores de K , como os encontrados nas áreas AIAP e ASAP, nas duas últimas profundidades, e de AIBP e ASBP, na primeira e terceira profundidades, estão relacionados a distribuição e continuidade do sistema poroso no solo. Entretanto, é comum essa variabilidade nos

valores de K no solo, sendo necessário um maior número de amostras para resultados de maior confiabilidade (Chapuis, 2012). A diminuição da K da camada superficial para a subsuperficial (como a que foi observada na área ASBP) pode causar problemas com a ocorrência de erosão do solo em casos de chuvas intensas (Biddoccu et al., 2017).

A avaliação da condutividade hidráulica insaturada (K_{ins}) não mostrou diferenças entre as áreas, mas é um importante indicador para os processos de transporte de água e solutos nos solos (Matula et al., 2015). Já o baixo valor de infiltração de água em AIBP pode ser influenciada pela exposição do solo à irrigação, onde o impacto mais frequente das gotas de água pode influenciar nas taxas de infiltração (Hatfield et al., 2001). A energia cinética do impacto da gota de água com o solo favorece o desprendimento das partículas, as quais podem obstruir os poros presentes na superfície do solo, permitindo a formação de uma barreira (Ela et al., 1992), com o aumento da lâmina d'água, a degradação da camada superficial do solo aumenta, assim como a espessura dessa barreira (crosta) sobre o solo (Rosa et al., 2013). Essa barreira dificulta a infiltração de água no solo, podendo levar ao encharcamento, favorecendo o escoamento superficial e a redução de O_2 para as raízes e, conseqüentemente, comprometendo a produtividade das culturas (Haghnazari et al., 2015).

O resultado da menor taxa de infiltração de água no solo nas áreas ASAP e AIBP pode ser um indicativo do início de processos de degradação das áreas (Du et al., 2022), sendo necessários acompanhamento e estudos específicos. Para tal, é importante destacar sobre a adoção de manejos que priorizem o cultivo de plantas de cobertura, bem como o manejo dos resíduos, que auxiliam na conservação do solo e da água, diminuem as taxas evaporativas, e favorecem um melhor aproveitamento da água (Selzer e Schubert, 2023), principalmente em áreas de sequeiro. Além disso, o mínimo revolvimento do solo, permite que o solo tenha poucas alterações estruturais, favorecendo a continuidade do sistema poroso do solo, ampliando a distribuição de água no perfil do solo.

Diâmetro médio ponderado úmido

As diferenças observadas no DMPu entre as áreas AIAP e ASAP e AIBP e ASBP pode estar relacionada com os teores e a estabilidade da matéria orgânica dessas áreas (Castro Filho et al., 2002). A matéria orgânica do solo é um fator relevante na estabilidade de agregados devido a sua ação como agente cimentante. Em um estudo conduzido em Cambissolos, Hu et al. (2020) relataram que os ciclos de umedecimento e secagem

também contribuem para a formação de agregados mais estáveis. Em adição, Hanke et al. (2024) constataram que óxidos de Fe de baixa cristalinidade também influenciaram positivamente na estabilidade dos agregados.

Os maiores valores de DMPu nas áreas irrigadas (AIAP e AIBP) indicaram que a porcentagem de agregados maiores retidos nas peneiras foi superior em relação a porcentagem de agregados menores (Castro Filho et al., 2002), sugerindo uma maior resistência dessas duas áreas para fenômenos erosivos (Annabi et al., 2017). O estudo da estabilidade de agregado é uma forma de verificar se os efeitos do manejo praticado nas áreas podem estar afetando parâmetros produtivos, como a compactação, a porosidade e a condutividade hidráulica dessas áreas (Aksakal et al., 2020), o que pode estar refletindo nos menores índices de produtividade na área ASBP. Um estudo conduzido por Nweke e Nnabude (2015), onde foi avaliada a estabilidade dos agregados em Gleissolos, Argissolos e Cambissolos, mostrou que as áreas cultivadas tiveram menor estabilidade dos agregados, evidenciando os efeitos do manejo do solo.

Índice S e de qualidade física do solo

A variabilidade nos valores de índice S encontrada na área ASAP em profundidade pode estar relacionada às modificações na distribuição dos tamanhos dos poros (Tormena et al., 2008). Esses autores afirmaram ainda que os maiores valores de S (como os observados em ASAP e ASBP) indicam que o ponto de inflexão da curva de retenção de água ocorreu quando o solo retinha teores elevados de água, o que corrobora com os maiores valores de microporosidade dessas áreas em relação à AIAP e AIBP. Já Rosetti et al. (2013) atribuíram os maiores valores de S a uma maior inclinação da curva de retenção de água, bem como a uma melhor distribuição e maior quantidade de macroporos. No entanto, a área que apresentou os maiores valores de S (ASBP) foi a mesma que apresentou os menores valores de macroporos no solo.

A comparação realizada pelo teste t indicou que a qualidade estrutural do solo poderia estar comprometendo a produtividade das culturas nas áreas AIAP e ASBP; entretanto, Andrade e Stone (2009) realizaram um estudo sobre o índice S em solos do Cerrado brasileiro e definiram que valores de S acima de 0,045 indicaram solos de boa qualidade estrutural e sem tendências à degradação, não interferindo na produtividade das culturas. van Lier (2019) afirmou que o índice S deve ser interpretado com cautela, uma

vez que não foi determinado um valor máximo para sua interpretação, mas pode ser utilizado para comparações de uso do solo em um mesmo sistema de solo.

O índice de qualidade física do solo (IQFS) é usado para avaliar os efeitos das práticas de manejo sobre as funções do solo (Lima et al., 2013). Este estudo, indicou que essas práticas têm causado a redução da qualidade do solo em profundidade na área de sequeiro de baixa produtividade. Por se tratar de um índice calculado a partir de indicadores de importância para o desenvolvimento das plantas, os menores valores nas camadas superficiais sugerem uma limitação, imposta pelo manejo intensivo dessa área (Lima et al., 2013). Ainda assim, os valores encontrados neste estudo são semelhantes aos encontrados por Freitas et al. (2012) na região Noroeste de Minas Gerais que, na ocasião, encontraram valores em torno de 0,48 em uma área de cerrado nativo. Entretanto, para outras regiões do estado, os autores encontraram valores entre 0,52 e 0,74, sendo um indicativo de que os valores encontrados neste estudo, podem ser considerados baixos. No entanto, resultados semelhantes ao deste estudo, também foram relatados por Fagundes et al. (2021), que estudaram diferentes manejos no cerrado mineiro, indicando que a atividade antrópica, tem causado a redução da qualidade do solo, por meio da degradação dos atributos do solo, o que tem causado o comprometimento da funcionalidade e sua capacidade de produção.

Os indicadores integrados de qualidade do solo avaliados (S e IQFS) são frequentemente usados em estudos de manejo em áreas agrícolas para monitorar a saúde do solo e identificar os efeitos das práticas de manejo do solo, como o cultivo e a irrigação, e ajudar a detectar condições que possam limitar o crescimento das plantas. No presente estudo, os índices permitiram verificar que as áreas sobre sequeiro apresentaram-se com melhores índices S, quando comparadas ao cultivo sob irrigação, em todas as profundidades avaliadas. No entanto, quando avaliado o IQFS, não houve diferenças significativas entre as áreas. Este resultado destaca a importância da integração de atributos na análise da qualidade física do solo, em que o índice S mostrou-se mais sensível na verificação das diferenças nos manejos adotados. Este resultado pode ser explicado devido o S levar em consideração somente o resultado da CRA no solo, que é influenciada diretamente pelo manejo adotado. Conforme Andrade e Stone (2009), a declividade da CRA do solo no ponto de inflexão está amplamente relacionada à porosidade microestrutural. Essa porosidade inclui elementos como microfendas, fendas,

bioporos e macroestruturas geradas pelo preparo do solo, influenciando diretamente diversos atributos físicos do solo.

É importante destacar que, na área de sequeiro com alta produtividade, o índice S apresentou valores superiores em relação à área de baixa produtividade, especialmente na camada mais profunda, reforçando a relevância do índice S como critério para avaliação da qualidade do solo. O IQFS por sua vez tem uma carga maior de variabilidade, devido aos vários atributos, scores e pesos adicionados ao cálculo. Com isso, apesar de apresentarem produtividades e manejo de irrigação discrepantes, a qualidade física do solo não apresentou efeito direto sobre este índice. Apesar da ampla disponibilidade de métodos para monitorar a qualidade do solo, nenhum deles foi universalmente aceito para a definição de um índice único, devido à complexidade e à variabilidade inerentes a esse sistema (Conceição et al., 2005; Freitas et al., 2012).

Resistência tênsil e friabilidade

As diferenças observadas nos valores de resistência tênsil entre as áreas irrigada (AIAP e AIBP) e de sequeiro (ASAP e ASBP) pode ter relação com os ciclos de umedecimento e secagem mais frequentes aos quais as áreas irrigadas foram submetidas (Lehrsch et al., 2012). Horn e Smucker (2002) relataram que a diminuição nos teores de umidade do solo causa a adesão das partículas por forças capilares, favorecendo a coesão à medida que as partículas minerais entram em contato entre si e a evaporação da água aumenta. Também, o uso de irrigação por aspersão é capaz de causar o desprendimento das partículas de argila na superfície do solo, causando a degradação de sua estrutura, posteriormente essas partículas de argila reorganizam e formam uma lâmina de argila (selamento) na camada superficial do solo, esse rearranjo das argilas causam a obstrução de poros na camada superficial do solo e conseqüentemente aumentam a resistência tênsil dos agregados (Koehn et al., 2014). Ainda, as áreas irrigadas, por apresentarem maior flexibilidade e número de cultivos, comparadas com as áreas de sequeiro (as áreas irrigadas são capazes de produzir mais de duas safras por ano e também permitem um maior número de culturas a serem conduzidas) podem ter grande contribuição da rizodeposição no aumento da estabilidade de agregados (Horn e Smucker, 2005).

Os valores de resistência tênsil apresentam grande influência nos valores de friabilidade do solo, uma vez que a área AIAP apresentou maior valor de resistência tênsil

e o menor valor de friabilidade. De acordo com Imhoff et al. (2002) solos ligeiramente friáveis, demandam maior energia (implicando em maiores gastos com combustível) para o preparo do solo e plantio, dada a maior resistência de seus agregados a quebra. Foi evidenciado que solos mais friáveis apresentam naturalmente uma distribuição de agregados que favorece o estabelecimento das culturas no campo (Koehn et al., 2014). Pois proporcionam uma distribuição de tamanho de agregados adequada, criando condições ideais para a germinação, emergência e o estabelecimento e desenvolvimento inicial das culturas (Koehn et al., 2014).

Argila dispersa em água

Todas as áreas deste estudo foram localizadas sob solos altamente intemperizados, que apresentaram condições naturais impróprias para o cultivo agrícola (e. g. acidez, altos níveis de Al trocável e baixa saturação de Ca^{2+} e Mg^{2+}), mas que, podem ser solucionadas por meio da aplicação de corretivos do solo, como o calcário (Fontes et al., 1995, Junior et al., 2020). Os elevados teores de argila dispersa em água observados nas profundidades de 0,00-0,15 m e 0,15-0,30 m em todas as áreas desse estudo têm estreita relação com o manejo do solo e a aplicação de corretivos, o que foi evidenciado em um estudo conduzido por Jucksch (1986). A aplicação de calcário promoveu um ambiente favorável para a dispersão das argilas devido as alterações físico-químicas que acontecem.

A presença de teores elevados de argila dispersa em água nas camadas superficiais das quatro áreas avaliadas pode com o tempo comprometer a funcionalidade do solo em profundidade por meio da obstrução de poros (principalmente de macroporos), aumento da densidade e resistência a penetração, já que essas partículas dispersas podem ser facilmente eluviadas para camadas mais profundas (Nunes et al., 2018), comprometendo o desenvolvimento e produtividade das culturas. A redução dos teores de argila dispersa em água nas camadas superficiais aumentaria o grau de flocculação dessas áreas para próximo de 100%, contribuindo para o aumento do índice de estabilidade dos agregados e redução da suscetibilidade à erosão desses solos.

Argila e areia grossa e fina

O aumento do teor de argila em profundidade encontrado no presente estudo corrobora com os resultados encontrados por Mancini et al. (2021), que na ocasião, relataram aumento nos teores de argila das camadas superficiais até o horizonte Bw2 de

um Latossolo sob cultivo de café, eucalipto e cerrado. Outros estudos, realizados em Latossolos sob cultivo de café, mostraram uma pequena alteração nos teores de argila da camada superficial para as subsuperficiais (Moreira, 2023; Escobar, 2022).

Diferenças granulométricas de solo podem ser atribuídas a duas razões: às variações naturais dos teores ou às diferenças impostas pelo uso do solo. A primeira, mais comum e fácil de ser atribuída. No entanto pode-se ponderar que, em todos os pontos coletados, qualquer que seja a profundidade avaliada, as áreas estudadas apresentam a mesma classe textural: muito argilosa (Santos et al., 2018). Em tal contexto pode-se considerar que variações possam ocorrer nos teores das frações avaliadas, especialmente quando existem diferenças de intensidade (revolvimento e irrigação por pivô central) e tempo de uso (>30 anos). Tal contexto possibilita comparações possíveis entre situações, considerando que a argila é a fração em maiores proporções (>60%) e a ela pode se atribuir as razões para o comportamento físico-químico do solo (Belghazdis e Hachem, 2022).

Os resultados encontrados no presente estudo, associado às variações impostas pelo uso pode ser questionada, mas é fato que também podem não ser simplesmente devido às variações naturais (Santos et al., 2018). Para avaliar se esse aumento nos teores de argila em profundidade está afetando negativamente as propriedades do solo seria necessária uma análise detalhada de micromorfologia, para averiguação da ocorrência do entupimento de poros e o comprometimento de processos físico-químicos do solo.

Curva de retenção de água

As diferenças observadas na retenção de água entre os sistemas AIBP e ASBP na capacidade de campo ($\Psi_m - 10$ kPa) deve-se essencialmente às diferenças estruturais entre as duas áreas. Os teores de água retidos em baixos potenciais são majoritariamente influenciados pela estrutura do solo (Reichert et al., 2020). Essa afirmação também é reforçada pelos valores de índice S obtidos em ASBP, em razão de que os maiores valores de S indicam uma maior inclinação da CRA e um solo melhor estruturado.

A retenção de água pode ter influência do manejo porque o aumento da densidade ocorre simultaneamente com o aumento da microporosidade do solo (Barbosa et al., 2024). Reichert et al. (2020) reforçaram que a retenção de água no solo também é fortemente dependente da granulometria, mineralogia e do teor de matéria orgânica, ou seja, o teor de argila e a matéria orgânica possuem grande influência quando o $\Psi_m > 100$

kPa devido a maior área superficial específica dos argilominerais e da MOS. Em adição, as cargas superficiais desses materiais são capazes de reter água por meio de adsorção (Qiao et al., 2018), explicando os valores obtidos no Ψ_m -1500 kPa para as áreas do estudo atual.

Estoques de C das frações MOP e MOAM

Maiores estoques de C na fração MOAM (C-MOAM) encontrados nas camadas mais profundas do solo são de grande relevância, por se tratar de uma fração mais estável da matéria orgânica do solo (MOS), que possui grande potencial para mitigar o cenário de mudanças climáticas da atualidade. Sendo o solo, um grande armazenador de C, possuindo de 2 a 3 vezes mais C do que a atmosfera, qualquer aumento, mesmo que de pequena magnitude, representa um grande avanço na mitigação de emissões de gases de efeito estufa (Minasny et al., 2017). O setor agrícola é um dos grandes contribuintes para emissões de CO₂ para a atmosfera, e, apesar dos solos em questão apresentarem grande potencial para o sequestro de C, ainda é necessário e também, de grande importância que a estrutura do solo seja preservada e que seja priorizado a utilização de manejos conservacionistas do solo (Mantovani et al., 2024).

Os elevados estoques de C-MOAM observados na camada de 0,60-1,00 m, em comparação as demais, resultam não apenas da liberação de exsudados radiculares das plantas e da bioturbação, que favorecem a transferência de matéria orgânica para camadas mais profundas (Rumpel e Kögel-Knabner, 2010), mas também devido à maior espessura dessa camada (0,40 m), que supera as demais camadas avaliadas, cooperando para a ocorrência de valores mais elevados. Vale ressaltar também que, devido ao maior volume de solo em subsuperfície, os valores mais elevados de C e N são esperados (Button et al., 2022).

Os estoques de C-MOAM observados nas áreas irrigada de alta produtividade (AIAP) e irrigada de baixa produtividade (AIBP), deve ser atribuída ao uso de irrigação, uma vez que essa prática reduz a resistência ao crescimento radicular das plantas, permitindo um desenvolvimento mais eficiente ao longo do perfil do solo (Assis et al., 2009). Favorecendo assim, uma maior liberação de exsudatos radiculares e posterior decomposição, o que conseqüentemente, aumenta os estoques de C no solo e conseqüentemente, maiores estoques. Na área ASAP os menores valores de C-MOAM, podem estar relacionados com a presença de uma camada de impedância mecânica, que

restringe o desenvolvimento das raízes em profundidade, influenciando nos valores de C sequestrados, além é claro, que por ser uma área de sequeiro e ter menor número de cultivos durante o ano, o que reduz o aporte de resíduos na área. O plantio de espécies leguminosas, contribui diretamente para o sequestro de C e adição de biomassa vegetal rica em compostos de baixo peso molecular que facilitam o acesso e uso eficiente dos microrganismos, permitindo a estabilização na fração MOAM (Locatelli et al. 2025).

O cultivo intensivo, com perturbações frequentes nas camadas superficiais devido ao uso de implementos agrícolas (grades, subsoladores e até mesmo pelo disco de corte da plantadeira) favorecem a quebra dos agregados do solo. Como consequência, há uma redução da proteção física da MOS, facilitando o acesso de microrganismos e os processos de mineralização e decomposição (Gmach et al., 2018), resultando na redução dos estoques de C nessas camadas do solo (Neufeldt et al., 2002), por meio da perda de C do solo para a atmosfera na forma de CO₂ (Jordahl et al., 2023). Mondal et al. (2023) relataram que a agricultura convencional apresentou redução de 38% dos teores de C na camada de 0,0-0,05 m e de 6% na camada de 0,05-0,10 m. Entretanto, o mesmo não acontece nas camadas de solo mais profundas (>0,40 m), onde não ocorre o revolvimento do solo com implementos agrícolas e os teores de C continuam estáveis (Balesdent et al., 2018; Peng e van Eerd, 2024), esse acúmulo em profundidade, também pode ser explicado pelo clima predominante da região de estudo, que favorece o maior sequestro de C em profundidade (Mondal et al., 2023).

Santana et al. (2024) relataram que o uso da irrigação promoveu o aumento da biomassa do sistema radicular das plantas cultivadas, o que, conseqüentemente, aumentou os estoques de C e N dessas áreas. A maior entrada de resíduos nas áreas irrigadas, associadas a condições de umidade do solo favorecem o aumento da atividade microbiana no solo, potencializando as taxas de mineralização da matéria orgânica, aumentando substancialmente os estoques e sequestro de C nas áreas irrigadas (Wang et al., 2020).

A fração C-MOP é tida como um indicador das mudanças nas práticas de manejo do solo. Os baixos valores de C-MOP das áreas, além de estarem relacionados com a rápida mineralização da matéria orgânica, que é favorecida pelo uso intensivo do solo (Neufeldt et al., 2002; Gmach et al., 2018), também é influenciada pelo manejo praticado nessas áreas, que não visa a manutenção e o manejo de resíduos sobre o solo. A introdução de culturas de cobertura, redução no revolvimento do solo com implementos agrícolas (Jordahl et al., 2023) e a rotação de culturas (Urrutia Larrachea et al., 2024) são práticas

que quando adotadas melhoram significativamente os valores de C-MOP. Além disso, reduzem a erodibilidade do solo, que juntamente com as partículas de solo arrastadas pela água, carregam consigo grande parte do material orgânico particulado (Urrutia Larrachea et al., 2024). A baixa disponibilidade de C-MOP no solo também causa impactos diretos nas comunidades microbianas que habitam essas áreas e que são essenciais para o funcionamento adequado do solo e fornecimento de nutrientes para as plantas (Gmach et al., 2018).

Estoques de N das frações MOP e MOAM

As áreas irrigadas, seja de alta ou de baixa produtividade (AIAP e ASBP, respectivamente) mostraram maior capacidade de armazenamento de N até 1 metro de profundidade para fração associada aos minerais (N-MOAM), com ênfase, para as camadas abaixo de 0,30 m para a área AIBP e de 0,60 m para a área AIAP. O mesmo padrão foi observado para a fração particulada (N-MOP), dessa vez área de sequeiro de alta produtividade (ASAP). Os maiores estoques de N, seja para a fração MOAM ou MOP, são indícios de que esteja ocorrendo a lixiviação desse elemento no solo (Lesur et al., 2014; Alavaisha et al., 2019; Bowles et al., 2022), sendo necessário a implantação de manejos que priorizem práticas de manejo que minimizem as perdas por lixiviação e promovam a eficiência no uso de nutrientes pelas plantas, reduzindo a contaminação dos lençóis freáticos e garantindo a sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Hermawan et al., 2023; Liu et al., 2023c).

A variação dos estoques de N nas frações MOP e MOAM ao longo do perfil do solo, também foi observado por Gebeyehu e Soromessa (2018). Os autores também observaram variação com a profundidade, entretanto, não foi observada influência direta das condições de sequeiro e irrigado. Contudo, Moreira (2023) encontrou estoques inferiores de N-MOAM ($3,9 \text{ Mg ha}^{-1}$), enquanto que para N-MOP, o mesmo autor registrou estoques superiores ($1,4 \text{ Mg ha}^{-1}$) aos encontrados no presente estudo, quando avaliou uma área irrigada até a profundidade de 1 m na região do Alto Paranaíba, em Minas Gerais.

Maiores estoques de N nas camadas superficiais (0,00-0,15 m), para a fração MOP, pode ser explicada em parte devido aos maiores aportes de biomassa das plantas que são cultivadas nas áreas (Niu et al., 2022). A permanência dos resíduos de culturas na superfície do solo intensifica a disponibilidade do substrato e a atividade microbiana,

levando ao aumento nos estoques de C e N nas camadas superficiais do solo (0,00-0,15 m), como observado por Mondal et al. (2023). Peng et al. (2024) também observaram o mesmo padrão encontrado neste estudo, onde os maiores estoques de N ocorreram na fração MOP em superfície e MOAM nas camadas mais profundas. Os autores concluíram que a cobertura vegetal na superfície do solo reduz a perda de matéria orgânica e aumenta a entrada de biomassa, contribuindo para o acúmulo de N na fração MOP, que apresenta geralmente relação C:N relativamente maior em comparação a fração MOAM.

No entanto, os estoques de N-MOP poderiam ser ainda maiores se fosse implementado em manejo adequado dos resíduos e a agricultura consorciada fosse praticada em cada safra (Jilling et al., 2020; Santana et al., 2024), o que aumentaria a diversidade, qualidade e quantidade de resíduos no solo, aumentando os estoques de N (Srinivasarao et al., 2014). De maneira geral, isso proporcionaria benefícios para as culturas subsequentes, aumentando a disponibilidade de N às plantas.

Sabe-se que a formação de matéria orgânica associada a minerais (MOAM) demanda quantidades significativas de nitrogênio, o que pode representar um fator limitante para sua acumulação (Jordahl et al., 2023). Desta forma, os resíduos mantidos nas áreas (AIAP: colheita de feijão, seguido por plantio que sorgo, que na ocasião da coleta estava com 10 dias após a emergência; AIBP: trigo em senescência; ASAP: palhada de milho; ASBP: restolho de algodão), por apresentarem menor qualidade química dos resíduos pode favorecer a rápida decomposição do material (Bohara et al., 2020) e posteriormente acúmulo mais acentuado na fração MOP. Chahal et al. (2025) ressaltam que a relação C:N é um importante indicador da decomposição potencial dos resíduos.

De acordo com Weldewahid et al. (2023), a irrigação de longo prazo, superior a 20 anos, tem potencial de aumentar o armazenamento de N em até 30% em comparação com áreas de sequeiro. A maior adição de matéria orgânica ao solo em áreas irrigadas justifica os efeitos positivos sobre os estoques de N no solo (Sun et al., 2024). Maiores estoques de N podem estar relacionados com a melhor produtividade das culturas nessas áreas, uma vez que esse N absorvido contribuirá para a produtividade dessas e posteriormente retornarão para o solo, concluindo o seu ciclo biogeoquímico (Hu et al., 2023; Abagandura et al., 2024).

Apesar do uso da irrigação, a textura muito argilosa dos solos do presente estudo contribui significativamente para os estoques de N, pois a argila possui capacidade de fixação de N amoniacal até certo ponto (Sun et al., 2024). O aumento nos valores de N

encontrados na última profundidade nessas áreas pode ser um indício de que esteja ocorrendo lixiviação para as camadas mais profundas do solo (Alavaisha et al., 2019), por se tratar de um elemento mais dinâmico que o C, além de ser perdido por lixiviação, o N também pode ser perdido por nitrificação e desnitrificação (Bowles et al., 2022). É comum a ocorrência de lixiviação de N em áreas de cultivo anuais, quando comparadas com áreas de cultivos perenes, isso acontece devido as diferenças no desenvolvimento dos sistemas radiculares das plantas de cultivo anual e das plantas perenes em profundidade (Lesur et al., 2014). São necessários estudos adicionais para confirmar a ocorrência de lixiviação de N nesses solos, principalmente nas áreas AIAP e AIBP, que mostraram um maior acúmulo em profundidade (0,60-1,00 m para a área AIAP e 0,30-0,60 m para a área AIBP). A ocorrência de lixiviação representa um sério risco ambiental, já que o N, é um contaminante e pode comprometer as águas do lençol freático da região em questão.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo confirmaram a hipótese de que as propriedades físicas do solo, especialmente a resistência a penetração nas áreas irrigadas e a macroporosidade nas áreas de sequeiro possam justificar, as diferenças na produtividade final das culturas. Essas duas propriedades físicas do solo, afetam negativamente o desenvolvimento do sistema radicular e a absorção de água e nutrientes, fatores que contribuem diretamente para uma maior produtividade.

Foi confirmada a hipótese de que os solos irrigados apresentam maiores estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) em comparação aos solos sob cultivo de sequeiro, com destaque para as camadas subsuperficiais.

Os resultados deste estudo não confirmaram a hipótese de que os solos sob sistema irrigado apresentam melhor qualidade física devido à maior produção de biomassa. Na ocasião, não foram observadas diferenças significativas nas propriedades físicas dos solos irrigados em comparação aos solos de sequeiro.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo traz reflexões sobre as ações de manejo aplicadas em áreas agrícolas de uso intensivo e a necessidade de implementação de práticas conservacionistas, como o tráfego controlado de máquinas e implementos agrícolas, a utilização de plantas de cobertura, especialmente nas áreas de sequeiro, que estão mais suscetíveis aos períodos de seca e estiagem, bem como o manejo adequado desses resíduos que permanecem sobre as áreas após a colheita das culturas. As plantas de cobertura auxiliam na redução do impacto causado pelo uso de implementos agrícolas ao solo, contribuem para o aumento da macroporosidade e estoques de C e N em profundidade (pela liberação de exsudatos radiculares) e em superfície (pela abundância de biomassa).

REFERÊNCIAS

- ABAGANDURA, G. O.; MAMO, M.; SCHACHT, W. H.; SHROPSHIRE, A.; VOLESKY, J. D. Soil carbon and nitrogen after eight years of rotational grazing in the Nebraska Sandhills meadows. **Geoderma**, v. 442, p. 116776x, 2024. doi: 10.1016/j.geoderma.2024.116776
- AJAYI, A. E.; DIAS JUNIOR, M. S.; CURI, N.; ARAUJO JUNIOR, C. F.; SOUZA, T. T. T.; JUNIOR, A. V. I. Strength attributes and compaction susceptibility of Brazilian Latosols. **Soil and Tillage Research**, v. 105, n. 1, p. 122-127, 2009. doi: 10.1016/j.still.2009.06.004
- AKSAKAL, E. L.; ANGIN, I.; SARI, S. A new approach for calculating aggregate stability: Mean weight aggregate stability (MWAS). **Catena**, v. 194, p. 104708, 2020. doi: 10.1016/j.catena.2020.104708
- ALAVAISHA, E.; MANZONI, S.; LINDBORG, R. Different agricultural practices affect soil carbon, nitrogen and phosphorous in Kilombero -Tanzania. **Journal of Environmental Management**, v. 234, p. 159-166, 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.12.039
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. K. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. doi: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. D.; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. D. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000
- ALVAREZ, V. V. H.; ALVAREZ, G. A. M. Reflexões sobre a utilização de estatística para pesquisa em ciência do solo. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 28 – 35, 2013
- ANDRADE R. S.; STONE, L. F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 382-388, 2009. doi: 10.1590/S1415-43662009000400003
- ANDRADE, E.; VALBRUN, W.; ALMEIDA, A. M. M. d.; ROSA, G.; SILVA, A. G. R. Land-Use Effect on Soil Carbon and Nitrogen Stock in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Agronomy**, v. 10, n. 2, p. 158, 2020. doi: 10.3390/agronomy10020158
- ANGNES, G.; DIOTTO, A. V.; RODIAS, E.; ROMANELLI, T. L. Water and Carbon Footprints of Biomass Production Assets: Drip and Center Pivot Irrigation Systems. **Sustainability**, v. 15, n. 10, p. 8199, 2023.
- ANNABI, M.; RACLOT, D.; BAHRI, H.; BAILLY, J. S.; GOMEZ, C.; BISSONNAIS, Y. L. Spatial variability of soil aggregate stability at the scale of an agricultural region in Tunisia. **Catena**, v. 153, p. 157-167, 2017. doi: 10.1016/j.catena.2017.02.010

ARAÚJO, F. S.; SOUZA, Z. M.; SAOUZA, G. S.; SILVA, R. B.; ESTEBAN, D. A. A.; TAVARES, R. L. M. Load-bearing capacity of on Oxisol under bermed and mechanized harvest sugarcane crops. **Sustainability**, v. 15, p. 15.185, 2023. doi: 10.3390/su152115185

ASSIS, E. L.; LAZARINI, G. D.; LANÇAS, K. P.; CARGNELUTTI FILHO, A. Avaliação da resistência do solo à penetração em diferentes solos com a variação do teor de água. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 558-568, 2009. doi: 10.1590/S0100-69162009000400006

BALESDENT, J.; MARIOTTI, A.; BOISGONTIER, D. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields. **Journal of Soil Science**, v. 41, n. 4, p. 587-596, 1990. doi: 10.1111/j.1365-2389.1990.tb00228.x

BALESDENT, J.; BASILE-DOELSCH, I.; CHADOEUF, J.; CORNU, S.; DERRIEN, D.; FEKIACOVA, Z.; HATTÉ, C. Atmosphere-soil carbon transfer as a function of soil depth. **Nature**, v. 559, n. 7715, p. 599-602, 2018. doi: 10.1038/s41586-018-0328-3

BARBOSA, L. C.; TENELLI, S.; MAGALHÃES, P. S. G.; BORDONAL, R. O.; CHERUBIN, M. R.; LIMA, R. P.; CASTIONI, G. A. F.; NETO, J. R.; CARVALHO, J. L. N. Linking soil physical quality to shoot and root biomass production in scenarios of sugarcane straw removal. **European Journal of Agronomy**, v. 152, p. 127029, 2024. doi: 10.1016/j.eja.2023.127029

BELGHAZDIS, M.; HACHEM, E.-K. Clay and Clay Minerals: A Detailed Review. **International Journal of Recent Technology and Applied Science**, 4, n. 2, p. 54-75, 2022. doi: 10.36079/lamintang.ijortas-0402.367

BHARDWAJ, A. K.; JASROTIA, P.; HAMILTON, S. K.; ROBERTSON, G. P. Ecological management of intensively cropped agro-ecosystems improves soil quality with sustained productivity. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 140, n. 3-4, p. 419-429, 2011. doi: 10.1016/j.agee.2011.01.005

BIDDOCCU, M.; FERRARIS, S.; PITACCO, A.; CAVALLO, E. Temporal variability of soil management effects on soil hydrological properties, runoff and erosion at the field scale in a hillslope vineyard, North-West Italy. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 46-58, 2017. doi: 10.1016/j.still.2016.07.017

BLANCO-CANQUI, H.; KLOCKE, N. L.; SCHLEGEL, A. J.; STONE, L. R.; RICE, C. W. Impacts of Deficit Irrigation on Carbon Sequestration and Soil Physical Properties under No-Till. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 4, p. 1301-1309, 2010. doi: 10.2136/sssaj2009.0364

BOHARA, M.; ACHARYA, K.; PERVEEN, S.; MANEVSKI, K.; HU, C.; YADAV, R. K. P.; SHRESTHA, K.; LI, X. *In situ* litter decomposition and nutrient release from forest trees along an elevation gradient in Central Himalaya. **Catena**, v. 194, p. 104698, 2020. doi: 10.1016/j.catena.2020.104698

BONETTI, J. A.; ANGHINONI, I.; DE MORAES, M. T.; FINK, J. R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. **Soil and Tillage Research**, v.174, p. 104-112, 2017. doi: 10.1016/j.still.2017.06.008

BOTTEGA, E. L.; MARIN, C. K.; OLIVEIRA, Z. B.; LAMB, C. C.; AMADO, T. J. C. Soil density characterization in management zones based on apparent soil electrical conductivity in two field systems: rainfed and center-pivot irrigation. **AgriEngineering**, v. 5, n. 1, p. 460-472, 2023. doi: 10.20944/preprints202302.0129.v1

BOUAROUDJ, S.; MENAD, A.; BOUNAMOUS, A.; ALI-KHODJA, H.; GHERIB, A.; WEIGEL, A. E.; CHENCHOUNI, H. Assessment of water quality at the largest dam in Algeria (Beni Haroun Dam) and effects of irrigation on soil characteristics of agricultural lands. **Chemosphere**, v. 219, p. 76-88, 2019. doi: 10.1016/j.chemosphere.2018.11.193

BOWLES, T. M.; JILLING, A.; MORÁN-RIVERA, K.; SCHNECKER, J.; GRANDY, A. S. Crop rotational complexity affects plant-soil nitrogen cycling during water deficit. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 166, p. 108552, 2022. Doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108552

BUTTON, E. S.; PETT-RIDGE, J.; MURPHY, D. V.; KUZYAKOV, Y.; CHADWICK, D. R.; JONES, D. L. Deep-C storage: Biological, chemical and physical strategies to enhance carbon stocks in agricultural subsoils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 170, p. 108697, 2022. doi: 10.1016/j.soilbio.2022.108697

CALZADA BENZA, J. **Metodos Estadisticos Para La Investigacion**. 1. ed. Lima, 1964.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 777-783, 1992. doi: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x

CASAGRANDE, A. Determination of the pre-consolidation load and its practical significance. In: **International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Cambridge, Harvard University, p.60-64, 1936.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under diferente soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 55, p. 45-51, 2002. doi: 0.1016/S0167-1987(01)00275-6

CENTENO, L. N.; HU, W.; TIMM, L. C.; SHE, D.; FERREIRA, A. S.; BARROS, W. S.; BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L. Dominant control of macroporosity on saturated soil hydraulic conductivity at multiple scales and locations revealed by wavelet analyses. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 20, n. 4, p. 1686-1702, 2020. doi: 10.1007/s42729-020-00239-5

CHAHAL, I.; PENG, Y.; HOOKER, D. C.; VAN EERD, L. L. Long-term tillage and crop rotation effects on soil carbon and nitrogen stocks in southwestern Ontario. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 105, p. 1-10, 2025. doi: 10.1139/cjss-2023-0105

CHAPUIS, R. P. Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 71, n. 3, p. 401-434, 2012. doi: 10.1007/s10064-012-0418-7

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 777-788, 1 out. 2005.

DEXTER, A. R. Soil physical quality. **Geoderma**, v. 120, n. 3-4, p. 201-214, 2004. doi: 10.1016/j.still.2004.07.001

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; FONTES, M. P. F.; KER, J. C.; SCHAEFER, C. E. G. R. Dispersão de Latossolos em resposta à utilização de pré-tratamentos na análise textural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27, p. 765-772, 2003. doi: 10.1590/S0100-06832003000400021

DREWRY, J. J.; CARRICK, S.; PENNY, V.; HOULBROOKE, D. J.; LAURENSEN, S.; MESMAN, N. L. Effects of irrigation on soil physical properties in predominantly pastoral farming systems: a review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v. 64, n. 4, p. 483-507, 2020. doi: 10.1080/00288233.2020.1742745

DU, X.; JIAN, J.; DU, C.; STEWART, R. D. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 2, p. 188-196, 2022. doi: 10.1016/j.iswcr.2021.08.001

ELA, S. D.; GUPTA, S. C.; RAWLS, W. J. Macropore and surface seal interactions affecting water infiltration into soil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n. 3, p. 714-721, 1992. doi: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030007x

ESCOBAR, K. M. Propriedades físicas de Latossolos cultivados com cafeeiro mecanizado na região do Alta Paranaíba – MG. 2022. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/57a15b89-90af-4998-8c18-af8cf0c7dc5b/content>. Acesso em: 17 dez. 2024.

FAGUNDES, M. O.; REIS, D. A.; PORTELLA, R. B.; PERINA, F. J.; BOGIANI, J. C. Quality index of an Oxisol under different management systems in the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 25, n. 5, p. 319-324, 2021. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n5p319-324

FANG, J.; ZENG, D.; TIAN, X.; DUWAL, K. B. Soil Compaction Mechanism and Improvement in Farmland. **Sustainability**, v. 15, n. 8, p. 6801, 2023. doi: 10.3390/su15086801

FIGUEIREDO, G. C.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; GIAROLA, N. F. B.; MORAES, S. O.; ALMEIDA, B. G. Desenvolvimento de um consolidômetro pneumático: modelagem da compactação, penetrometria e resistência tênsil de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 389-402, 2011. doi: 10.1590/S0100-06832011000200009

FONTES, M. P. F.; GJORUP, G. B.; ALVARENGA, R. C.; NASCIF, P. G. S. Calcium Salts and Mechanical Stress Effects on Water-Dispersible Clay of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 59, n. 1, p. 224-227, 1995. doi: 10.2136/sssaj1995.03615995005900010034x

FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p. 417-428, 2012. doi: 10.1590/S1806-66902012000300002

GEBEYEHU, G.; SOROMESSA, T. Status of soil organic carbon and nitrogen stocks in Koga Watershed Area, Northwest Ethiopia. **Agriculture & Food Security**, v. 7, n. 1, p. 1-10, 2018. doi: 10.1186/s40066-018-0162-8

GIL, P. M.; BONOMELLI, C.; SCHAFFER, B.; FERREYRA, R.; GENTINA, C. Effect of soil water-to-air ratio on biomass and mineral nutrition of avocado trees. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 12, n. 3, p. 609-630, 2012. doi: 10.4067/S0718-95162012005000020

GITAU, A. N.; GUMBE, L. O.; BIAMAH, E. K. Influence of soil water on stress-strain behaviour of a compacting soil in semi-arid Kenya. **Soil and Tillage Research**, v. 89, n. 2, p. 144-154, 2006. doi: 10.1016/j.still.2005.07.008

GIULIANI, L. M.; HALLETT, P. D.; LOADES, K. W. Effects of soil structure complexity to root growth of plants with contrasting root architecture. **Soil and Tillage Research**, v. 238, p. 106023, 2024. doi: 10.1016/j.still.2024.106023

GMACH, M.-R.; DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LUSTOSA-FILHO, J. F.; SIQUEIRA-NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, p. e00178, 2018. doi: 10.1016/j.geodrs.2018.e00178

GOZUBUYUK, Z.; SAHIN, U.; OZTURK, I.; CELIK, A.; ADIGUZEL, M. C. Tillage effects on certain physical and hydraulic properties of a loamy soil under a crop rotation in a semi-arid region with a cool climate. **Catena**, v. 118, p. 195-205, 2014. doi: 10.1016/j.catena.2014.01.006

GUAMAN, V.; BATH, B.; HAGMAN, J.; GUNNARSSON, A.; PERSSON, P. Short time effects of biological and inter-row subsoiling on yield of potatoes grown on a loamy sand, and on soil penetration resistance, root growth and nitrogen uptake. **European Journal of Agronomy**, v. 80, p. 55-65, 2016. doi: 10.1016/j.eja.2016.06.014

HAGHNAZARI, F.; SHAHGHOLI, H.; FEIZI, M. Factors affecting the infiltration of agricultural soils: review. **International Journal of Agronomy and Agricultural Research**, v. 6 n. 5 p. 21-35, 2015.

HANKE, D.; DIECKOW, J.; MELO, V. d. F.; BIESEK, M. F. Variables related to the stability of soil macro and microaggregates of a toposequence in the Brazil south region.

Observatório De La Economía Latinoamericana, v. 22, n. 2, p. e3517-e3517, 2024. doi: 10.55905/oelv22n2-242

HATFIELD, J. L.; SAUER, T. J.; PRUEGER, J. H. Managing Soils to Achieve Greater Water Use Efficiency. **Agronomy Journal**, v. 93, n. 2, p. 271-280, 2001. doi: 10.2134/agronj2001.932271x

HERMAWAN, O. R.; HOSONO, T.; YASUMOTO, J.; YASUMOTO, K.; SONG, K. S.; MARUYAMA, R.; IJIMA, M.; YASUMOTO-HIROSE, M.; TAKADA, R.; HIJIKAWA, K.; SHINJO, R. Effective use of farmland soil samples for N and O isotopic source fingerprinting of groundwater nitrate contamination in the subsurface dammed limestone aquifer, Southern Okinawa Island, Japan. **Journal of Hydrology**, v. 619, p. 129364, 2023. doi: 10.1016/j.jhydrol.2023.129364

HORN, R.; SMUCKER, A. Structure formation and its consequences for gas and water transport in unsaturated arable and forest soils. **Soil and Tillage Research**, v. 82, n. 1, p. 5-14, 2005. Doi: 10.1016/j.still.2005.01.002

HU, X.; CHEN, J.; ZHU, L. Soil aggregate size distribution and stability of farmland as affected by dry and wet sieving methods. **Zemdirbyste-Agriculture**, v. 107, n. 2, p. 179-184, 2020. doi: 10.13080/z-a.2020.107.023

HU, Y.; ZEESHAN, M.; WANG, G.; PAN, Y.; LIU, Y.; ZHOU, X. Supplementary irrigation and varying nitrogen fertilizer rate mediate grain yield, soil-maize nitrogen accumulation and metabolism. **Agricultural Water Management**, v. 276, p. 108066, 2023. doi: 10.1016/j.agwat.2022.108066

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DEXTER, A. Factores contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p. 1656-1661, 2002. doi: 10.2136/sssaj2002.1656

Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. **Dados históricos anuais**. 2024. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>. Acesso em: 22 ago. 2024.

JILLING, A.; KANE, D.; WILLIAMS, A.; YANNARELL, A. C.; DAVIS, A.; JORDAN, N. R.; KOIDE, R. T.; MORTENSEN, D. A.; SMITH, R. G.; SNAPP, S. S.; SPOKAS, K. A.; GRANDY, A. S. Rapid and distinct responses of particulate and mineral-associated organic nitrogen to conservation tillage and cover crops. **Geoderma**, v. 359, p. 114001, 2020. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114001

JORDAHL, J.; MCDANIEL, M.; MILLER, B. A.; THOMPSON, M.; VILLARINO, S.; SCHULTE, L. A. Carbon Storage in Cropland Soils: Insights from Iowa, United States. **Land**, v. 12, p. 1630, n. 8, 2023. doi: 10.3390/land12081630

JUCKSCH, I. Calagem e dispersão de argila em amostra de um latossolo vermelho-escuro. 1986. 49 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

JUNIOR, E. C.; GONÇALVES JR, A. C.; SEIDEL, E. P.; ZIEMER, G. L.; ZIMMERMANN, J.; OLIVEIRA, V. H. D.; SCHWANTES, D.; ZENI, C. D. Effects of Liming on Soil Physical Attributes: A Review. **Journal of Agricultural Science**, v. 12, n. 10, 2020. doi: 10.5539/jas.v12n10p278

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates. **Methods of Soil Analysis**. Part 1. Physical and Mineralogical Properties, v. 9, p. 499-510, 1965. doi: 10.2134/agronmonogr9.1.c39.

KINOSHITA, R.; SCHINDELBECK, R. R.; VAN ES, H. M. Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 34-44, 2017. doi: 10.1016/j.still.2017.05.010

KOEHN, A. C.; LEHRSCHE, G. A.; BUSSCHER, W. J.; EVANS, D. E.; KING, B. A.; STIENEKE, D. L.; SOJKA, R. E. Aggregate Tensile Strength and Friability Characteristics of Furrow and Sprinkler Irrigated Fields in Southern Idaho. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 45, n. 20, p. 2712-2720, 2014. doi: 10.1080/00103624.2014.929141

LACERDA, K. S.; VARGAS, R. C.; RIBEIRO, K. M.; DIAS JUNIOR, M. S.; RIBEIRO, K. D.; ABREU, D. Load-bearing capacity and critical water content of the coffee plantation soil with management in full sun and shaded. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, p. e0220051, 2022. doi: 10.36783/18069657rbcs20220051

LAL, R. Soil organic matter content and crop yield. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 75, n. 2, p. 27A-32A, 2020. doi: 10.2489/jswc.75.2.27A

LEHRSCHE, G. A.; SOJKA, R. E.; KOEHN, A. C. Surfactant effects on soil aggregate tensile strength. **Geoderma**, v. 189, p. 199-206, 2012. doi: 10.1016/j.geoderma.2012.06.015

LESUR, C.; BAZOT, M.; BIO-BERI, F.; MARY, B.; JEUFFROY, M.H.; LOYCE, C. Assessing nitrate leaching during the three-first years of *Miscanthus × giganteus* from on-farm measurements and modeling. **GCB Bioenergy**, v. 6, p. 439-449, 2014. doi: 10.1111/gcbb.12066

LEUTHER, F.; SCHLÜTER, S.; WALLACH, R.; VOGEL, H.-J. Structure and hydraulic properties in soils under long-term irrigation with treated wastewater. **Geoderma**, 333, p. 90-98, 2019. doi: 10.1016/j.geoderma.2018.07.015

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOED, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Applied Soil Ecology**, 64, p. 194-200, 2013. doi: 10.1016/j.apsoil.2012.12.009

LIU, D.; YAO, Z.; YANG, X.; XIONG, C.; NIE, Q. Research Progress and Trend of Agricultural Non-Point Source Pollution from Non-Irrigated Farming Based on Bibliometrics. **Water**, v. 15, n. 8, p. 1610, 2023a. doi: 10.3390/w15081610

LIU, B.; JING, Z.; WANG, J.; FENG, Y. Effect of soil compaction on hydraulic properties and macropore structure: Evidence from opencast mines in the Loess Plateau of China. **Ecological Engineering**, v. 192, p. 106988, 2023b. doi: 10.1016/j.ecoleng.2023.106988

LIU, S.; ZHENG, T.; LI, Y.; ZHENG, X. A critical review of the central role of microbial regulation in the nitrogen biogeochemical process: New insights for controlling groundwater nitrogen contamination. **J Environ Manage**, v. 328, p. 116959, p. 116959, 2023c. doi: 10.1016/j.jenvman.2022.116959

LOCATELLI, J. L.; SANTOS, R. S.; TENELLI, S.; SOARES, M. B.; GROSSO, S.; STEWART, C. R.; POPIN, G. V.; BERTOL, F. D.; CARVALHO, J. L. N.; CHERUBIN, M. R.; CERRI, C. E. P. Soil carbon allocation, composition, and sequestration changes induced by cropping diversification in tropical systems. **Soil and Tillage Research**, v. 248, p. 106464, 2025. doi: 10.1016/j.still.2025.106464

LOZANO-BAEZ, S. E.; COOPER, M.; FERRAZ, S. F. B.; RODRIGUES, R. R.; LASSABETERE, L.; CASTELLINI, M.; DI PRIMA, S. Assessing Water Infiltration and Soil Water Repellency in Brazilian Atlantic Forest Soils. **Applied Sciences**, v. 10, n. 6, p. 1950, 2020. doi: 10.3390/app10061950

MANCINI, M.; SILVA, S. H. G.; HARTEMINK, A. E.; ZHANG, Y.; FARIA, A. J. G.; SILVA, F. M.; INDA, A. V.; DEMATTÊ, J. A. M.; CURI, N. Formation and variation of a 4.5 m deep Oxisol in southeastern Brazil. **Catena**, v. 206, p. 105492, 2021. doi: 10.1016/j.catena.2021.105492

MANDAL, D.; CHANDRAKALA, M.; ALAM, N. M.; ROY, T.; MANDAL, U. Assessment of soil quality and productivity in different phases of soil erosion with the focus on land degradation neutrality in tropical humid region of India. **Catena**, v. 204, p. 105440, 2021. doi: 10.1016/j.catena.2021.105440

MANTOVANI, V. A.; TERRA, M. d. C. N. S.; RODRIGUES, A. F.; SILVA, C. A.; MELLO, J. M.; MELLO, C. R. Unprecedentedly high soil carbon stocks and their spatial variability in a seasonally dry Atlantic Forest in Brazil. **Catena**, v. 235, p. 107696, 2024. doi: 10.1016/j.catena.2023.107696

MATULA, S.; MIHÁLIKOVÁ, M.; LUFINKOVÁ, J.; BÁŤKOVÁ, K. The role of the initial soil water content in the determination of unsaturated soil hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. **Plant, Soil and Environment**, v. 61, n. 11, p. 515-521, 2015. doi: 10.17221/527/2015-PSE

MAZURANA, M.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; PASSOS, G. M.; KERPEN, H. S. Dynamic of Pressure-Deformation Curve in Uniaxial Compression Test in Different Load Times. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 5, p. 973-986, 2017. doi: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v37n5p973-986/2017

MILEUSNIĆ, Z. I.; SALJNIKOV, E.; RADOJEVIĆ, R. L.; PETROVIĆ, D. V. Soil compaction due to agricultural machinery impact. **Journal of Terramechanics**, v. 100, p. 51-60, 2022. doi: /10.1016/j.jterra.2021.12.002

MION, R. L.; PEREIRA, V. P.; SOMBRA, W. A.; ARAÚJO, K. L. B.; SILVA, S. F. Mechanical properties of an alfissol submitted to agricultural machinery traffic in a semiarid region in Brazil. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 6, p. 543-551, 2014. doi: 10.13083/reveng.v22i6.412

MINASNY, B.; MALONE, B. P.; MCBRATNEY, A. B.; ANGERS, D. A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z. S.; CHENG, K.; DAS, B. S.; FIELD, D. J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C. B.; HONG, D. Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B. P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B. G.; MULDER, V. L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ODEH, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAMAN, Y.; TSUI, C. T.; VAGEN, T. G.; WESEMAEL, B.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, 292, p. 59-86, 2017. doi: 10.1016/j.geoderma.2017.01.002

MON, R.; IRURTIA, C.; BOTTA, G. F.; POZZOLO, O.; MELCÓN, F. B.; RIVERO, D.; BOMBEN, M. Effects of supplementary irrigation on chemical and physical soil properties in the rolling pampa region of Argentina. **Ciencia e Investigación Agraria**, v. 34, n. 3, p. 187-194, 2007. doi: 10.4067/S0718-16202007000300002

MONDAL, S.; CHAKRABORTY, D.; PAUL, R. K.; MONDAL, A.; LADHA, J. K. No-till is more of sustaining the soil than a climate change mitigation option. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 352, p. 108498, 2023. doi: 10.1016/j.agee.2023.108498

MOREIRA, S. P. Qualidade do solo em cultivos com plantas de cobertura no Alto Paranaíba - MG. *In: Qualidade do solo no cultivo de cereais pós-sucessão com braquiária (*Urochloa brizantha*) em diferentes tempos de implantação.* 2023. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/f0b5a5ce-d186-4d79-b3be-b0774f12249d/content>. Acesso em: 17 dez. 2024.

MOTTA, P. E. F., BARUQUI, A. M., SANTOS, H. G. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos da região do Alto Paranaíba, Minas Gerais. **Embrapa**, 2004.

MUDGE, P. L.; KELLIHER, F. M.; KNIGHT, T. L.; O'CONNELL, D.; FRASER, S.; SCHIPPER, L. A. Irrigating grazed pasture decreases soil carbon and nitrogen stocks. **Glob Chang Biol**, v. 23, n. 2, p. 945-954, Feb 2017. doi: 10.1111/gcb.13448

MUDGE, P. L.; MILLAR, J.; PRONGER, J.; ROULSTON, A.; PENNY, V.; FRASER, S.; EGER, A.; CASPARI, T.; ROBERTSON, B.; MASON, N. W. H.; SCHIPPER, L. Impacts of irrigation on soil C and N stocks in grazed grasslands depends on aridity and irrigation duration. **Geoderma**, v. 399, p. 115109, 2021. doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115109

NASCIMENTO, E. M. S.; AMORIM, M. Q.; ARAÚJO, K. L. B.; CAVALCANTE, T. R. B.; CHIODEROLI, C. A. Shear strength and preconsolidation Red Yellow Acrisol from Northeast semiarid under conventional and no-tillage management. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 60, n. 4, p. 322-327, 2017. doi: 10.4322/rca.2501

NEUFELDT, H.; RESCK, D. V. S.; AYARZA, M. A. Texture and land-use effects on soil organic matter in Cerrado Oxisols, Central Brazil. **Geoderma**, v. 107, n. 3-4, p. 151-164, 2002. doi: 10.1016/S0016-7061(01)00145-8

NIU, G.; LIU, L.; WANG, Y.; GUAN, H.; NING, Q.; LIU, T.; ROUSK, K.; ZHONG, B.; YANG, J.; LU, X.; HAN, X.; HUANG, J. Effects of decadal nitrogen addition on carbon and nitrogen stocks in different organic matter fractions of typical steppe soils. **Ecological Indicators**, v. 144, p. 109471, 2022. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109471

NUNES, M. R.; VAZ, C. M. P.; DENARDIN, J. E.; VAN ES, H. M.; LIBARDI, P. L.; SILVA, A. P. Physicochemical and Structural Properties of an Oxisol under the Addition of Straw and Lime. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, n. 6, p. 1328-1339, 2018. doi: 10.2136/sssaj2017.07.0218

NWEKE, I. A.; NNABUDE, P. C. Aggregate stability of four soils as evaluated by different indices. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 3, n. 3, p. 246-252, 2015. doi: 10.18006/2015.3(3).246.252

OLIVEIRA, S. P.; DE LACERDA, N. B.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Organic Carbon and Nitrogen Stocks in Soils of Northeastern Brazil Converted to Irrigated Agriculture. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 1, p. 9-21, 2014. doi: 10.1002/ldr.2264

OLIVEIRA, J. A. T.; CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F. Estimating soil porosity and pore size distribution changes due to wetting-drying cycles by morphometric image analysis. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104814, 2021. doi: 10.1016/j.still.2020.104814

OTTO, R.; SILVA, A. P.; FRANCO, H. C. J.; OLIVEIRA, E. C. A.; TRIVELIN, P. C. O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development. **Soil and Tillage Research**, v. 117, p. 201-210, 2011. doi: 10.1016/j.still.2011.10.005

PENG, Y.; VAN EERD, L. L. Surface soil sampling underestimates soil carbon and nitrogen storage of long-term cover cropping. **Geoderma Regional**, v. 39, p. e00885, 2024. doi: 10.1016/j.geodrs.2024.e00885

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 713-720, 2002. doi: 10.1590/S0100-06832002000300016

PESSOA, T. N.; SANTOS, R. S.; LIBARDI, P. L.; DE ASSIS, I. R.; OLIVEIRA, T. S. Influence of intensive cropping of vegetables on physical and hydraulic properties and functions of an Oxisol in the Brazilian Cerrado. **Catena**, v. 235, p. 107651, 2024. doi: 10.1016/j.catena.2023.107651

QIAO, J.; ZHU, Y.; JIA, X.; HUANG, L.; SHAO, M. Pedotransfer functions for estimating the field capacity and permanent wilting point in the critical zone of the Loess

Plateau, China. **Journal of Soils and Sediments**, v. 19, n. 1, p. 140-147, 2018. doi: 10.1007/s11368-018-2036-x

R *Core Team* 4.3.3. R: a language and Environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. 2024

RAMOS, M. F.; ALMEIDA, W. R. d. S.; DO AMARAL, R. d. L.; SUZUKI, L. E. A. S. Degree of compactness and soil quality of peach orchards with different production ages. **Soil and Tillage Research**, v. 219, p. 105324, 2022. doi: 10.1016/j.still.2022.105324

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J.; HORN, R.; HÅKANSSON, I. Reference bulk density and critical degree-of-compactness for no-till crop production in subtropical highly weathered soils. **Soil and Tillage Research**, v. 102, n. 2, p. 242-254, 2009. doi: 10.1016/j.still.2008.07.002

REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; SOLANO PERAZA, J. E.; DA COSTA, A. Estimating water retention and availability in cultivated soils of southern Brazil. **Geoderma Regional**, v. 21, p. e00277, 2020. doi: 10.1016/j.geodrs.2020.e00277

REINTAM, E.; VENNIK, K.; KUKK, L.; KADE, S.; KREBSTEIN, K.; ARE, M.; ASTOVER, A. Measuring and predicting soil moisture conditions for trafficability. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science**, v. 66, n. 8, p. 698-705, 2016. doi: 10.1080/09064710.2016.1210210

ROSA, J. D.; COOPER, M.; DARBOUX, F.; MEDEIROS, J. C. Processo de formação de crostas superficiais em razão de sistemas de preparo do solo e chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 400-410, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000200011

ROSETTI, K. V.; CENTURION, J. F.; NETO, E. L. S. Physical quality of an oxisol after different periods of management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1522-1534, 2013. doi: 10.1590/S0100-06832013000600009

RÜHLMANN, J.; KÖRSCHENS, M.; GRAEFE, J. A new approach to calculate the particle density of soils considering properties of the soil organic matter and the mineral matrix. **Geoderma**, v. 130, n. 3-4, p. 272-283, 2006. doi: 10.1016/j.geoderma.2005.01.024

RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. **Plant and Soil**, v. 338, n. 1-2, p. 143-158, 2010. doi: 10.1007/s11104-010-0391-5

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileira de Classificação de Solos**, 5ed, Brasília, DF. Embrapa, 2018.

SANTANA, M. S.; GIONGO, V.; VALADARES DE SÁ BARRETTO SAMPAIO, E.; MAIA DE ANDRADE, E. Do irrigated and rainfed agrosystems change aboveground and

root carbon and nitrogen stocks in a semiarid environment? **Journal of Arid Environments**, v. 224, p. 105223, 2024. oi: 10.1016/j.jaridenv.2024.105223

SELZER, T.; SCHUBERT, S. Water dynamics of cover crops: No evidence for relevant water input through occult precipitation. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 209, n. 3, p. 422-437, 2023. doi: 10.1111/jac.12631

SEVERIANO, E. d. C.; CÉSAR DE OLIVEIRA, G.; JUNIOR, M. d. S. D.; CURI, N.; COSTA, K. A. P.; CARDUCCI, C. E. Preconsolidation pressure, soil water retention characteristics, and texture of Latosols in the Brazilian Cerrado. **Soil Research**, v. 51, n. 3, p. 193-202, 2013. doi: 10.1071/SR12366

SIEGWART, L.; BERTRAND, I.; ROUPSARD, O.; JOURDAN, C. Contribution of tree and crop roots to soil carbon stocks in a Sub-Saharan agroforestry parkland in Senegal. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 352, 2023. doi: 10.1016/j.agee.2023.108524

SINGH, J.; SALARIA, A.; KAUL, A. Impact of soil compaction on soil physical properties and root growth: a review. **International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences**, v. 5, n. 1, p. 23-32, 2015.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; PEREIRA, W. L. M. Physical Properties of soils under intensive agricultural management. **Scientia Agricola**, v. 62, p. 165-172, 2005. doi: 10.1590/S0103-90162005000200012

SOU/DAKOURÉ, M. Y.; MERMOUD, A.; YACOUBA, H.; BOIVIN, P. Impacts of irrigation with industrial treated wastewater on soil properties. **Geoderma**, v. 200, p. 31-39, 2013. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.02.008

SOUZA, R.; HARTZELL, S.; FREIRE FERRAZ, A. P.; DE ALMEIDA, A. Q.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C.D.; SOUZA, E. S. Dynamics of soil penetration resistance in water-controlled environments. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104768, 2021. doi: 10.1016/j.still.2020.104768

SRINIVASARAO, C.; LAL, R.; KUNDU, S.; BABU, M. B.; VENKATESWARLU, B.; SINGH, A. K. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India. **Sci Total Environ**, v. 487, p. 587-603, 2014. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.10.006

SUN, W.; HE, Z.; MA, D.; LIU, B.; LI, R.; WANG, S.; MALEKIAN, A. Response of soil carbon and nitrogen stocks to irrigation - A global meta-analysis. **Science Total Environment**, v. 957, p. 177641, Dec 20 2024. doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.177641

SUZUKI, L. E. A. S.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Degree of compactness, soil physical properties and yield of soybean in six soils under no-tillage. **Soil Research**, v. 51, n. 4, p. 311-321, 2013. doi: 10.1071/SR12306

TAYLOR, H.; HOWARD, M.; RPBERTSON, G. M.; PARKER, J. JR. Soil strength-root penetration relations for medium-to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, v. 102, n. 1, p. 18-22, 1966.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa**. 2017.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; IMHOFF, S. C.; DEXTER, A. R. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the S index. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 56-60, 2008. doi: 10.1590/S0103-90162008000100008

TROST, B.; PROCHNOW, A.; DRASTIG, K.; MEYER-AURICH, A.; ELLMER, F.; BAUMECKER, M. Irrigation, soil organic carbon and N₂O emissions. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 733-749, 2013. doi: 10.1007/s13593-013-0134-0

TSYMBAROVICH, P.; KUST, G.; KUMANI, M.; GOLOSOV, V.; ANDREEVA, O. Soil erosion: An important indicator for the assessment of land degradation neutrality in Russia. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 8, n. 4, p. 418-429, 2020. Doi: 10.1016/j.iswcr.2020.06.002

UNGER, P. W.; KASPAR, T. C. Soil Compaction and Root Growth: A Review. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 759-766, 1994. doi: 10.2134/agronj1994.00021962008600050004x

URRUTIA LARRACHEA, I.; POGGIO, S. L.; COSENTINO, D.; SEMMARTIN, M. A comparative analysis of soil organic carbon stock and soil aggregation in two crop sequences in the Rolling Pampa (Argentina). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 375, p. 109183, 2024. doi: 10.1016/j.agee.2024.109183

USHARANI, K. V.; ROOPASHREE, K. M.; DHANANJAY, N. Role of soil physical, chemical and biological properties for soil health improvement and sustainable agriculture. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, p. 1256-1267, 2019.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980. doi: 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x

VAN LIER, Q. J. Física do solo. In: **Indicadores da qualidade física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 2019.

WANG, R.; ZHOU, J.; XIE, J.; KHAN, A.; YANG, X.; SUN, B.; ZHANG S. Carbon Sequestration in Irrigated and Rain-Fed Cropping Systems Under Long-Term Fertilization Regimes. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, 20, n. 3, p. 941-952, 2020. doi: 10.1007/s42729-020-00181-6

WELDEWAHID, Y.; HABTU, S.; TAYE, G.; TEKA, K.; GESSESSE, T. A. Effects of long-term irrigation practice on soil quality, organic carbon and total nitrogen stocks in the drylands of Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, v. 214, p. 104892, 2023. doi: 10.1016/j.jaridenv.2023.104982

YANG, P.; WU, L.; CHENG, M.; FAN, J.; LI, S.; WANG, H.; QIAN, L. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. **Water**, v. 15, n. 9, p. 1733, 2023. doi: 10.3390/w15091733

YUE, L.; WANG, Y.; WANG, L.; YAO, S.; CONG, C.; REN, L.; ZHANG, B. Impacts of soil compaction and historical soybean variety growth on soil macropore structure. **Soil and Tillage Research**, v. 214, p. 105166, 2021. doi: 10.1016/j.still.2021.105166