



PROPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS SOB DIFERENTES USOS NA REGIÃO DE TABULEIROS COSTEIROS DO ESPÍRITO SANTO

SOIL PHYSICAL PROPERTIES UNDER DIFFERENT USES IN THE COASTAL TABLELAND'S REGION OF ESPÍRITO SANTO

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO BAJO DIFERENTES USOS EN LA REGIÓN COSTERA DE TABULEIROS EN ESPÍRITO SANTO

Juliana Zambon Piassi ¹, Jessica Almeida Jorge ², André Orlandi Nardoto Junior ³, Adriel Lima Nascimento ⁴, Rickelme Zordan de Lira ⁵, Tiago Marcarini Tagliaferro ⁶, Eduardo Cosme Gonçalves ⁷, Francine Bonomo Crispim Silva ⁸, Robson Bonomo ⁹, Ivoney Gontijo ¹⁰, & Fabio Ribeiro Pires ¹¹

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo

¹ juliana.piassi@edu.ufes.br ² jessica.jorge@edu.ufes.br ³ andreorlandinardotto@gmail.com ⁴ adriellima23@gmail.com

⁵ rickelme.lira@edu.ufes.br ⁶ tiago.ferro@edu.ufes.br ⁷ eduardo.goncalves.50@edu.ufes.br ⁸ fbonomocs@hotmail.com

⁹ robson.bonomo@ufes.br ¹⁰ ivoney.gontijo@ufes.br ¹¹ fabio.pires@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido: 28.11.2024

Aprovado: 22.03.2025

Disponibilizado: 27.04.2025

PALAVRAS-CHAVE: Manejo; Indicadores; *Cocos nucifera* L.; *Piper nigrum* L.

KEYWORDS: Management; Indicators; *Cocos nucifera* L.; *Piper nigrum* L.

PALABRAS CLAVE: Manejo; Indicadores; *Cocos nucifera* L.; *Piper nigrum* L.

*Autor Correspondente: Pires, F. R.

RESUMO

Monitorar a qualidade do solo por meio de suas propriedades físicas é importante para diagnosticar e manter a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Indicadores físicos estão relacionados ao arranjo das partículas e dos poros, afetando o desenvolvimento radicular, a emergência de plântulas e a infiltração de água. Objetivou-se avaliar alterações nas propriedades físicas do solo na região de Tabuleiros Costeiros, em São Mateus/ES, sob o cultivo de culturas perenes, fornecendo informações relevantes para o manejo desses sistemas agrícolas. O estudo foi desenvolvido em Argissolo Amarelo em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x2, com três áreas adjacentes (pimenta-do-reino, coco-da-baía e mata nativa), em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) e cinco repetições. Avaliou-se a resistência do solo à penetração, umidade, macro e microporosidade, densidade do solo, estabilidade de agregados e matéria orgânica. A mata nativa apresentou resultados mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal. As áreas cultivadas apresentaram diferenças nas propriedades avaliadas, com dissimilaridade em relação à mata e similaridade entre si, para ambas as profundidades. A substituição da vegetação nativa provocou aumento da densidade do solo e redução da macroporosidade, porosidade total, matéria orgânica e estabilidade de agregados, evidenciando o efeito do cultivo convencional do solo nos seus atributos físicos.

ABSTRACT

Monitoring soil quality through its physical properties is important for diagnosing and maintaining the sustainability of agricultural systems. Physical indicators are related to the arrangement of particles and pores, affecting root development, seedling emergence and water infiltration. The aim was to evaluate changes in the physical properties of the

soil in the Tabuleiros Costeiros region of São Mateus-ES, under the cultivation of perennial crops, providing relevant information for the management of these agricultural systems. The study was carried out on Yellow Argissolo in a completely randomized experimental design (DIC), in a 3x2 factorial scheme, with three adjacent areas (black pepper, coco-da-baía and native forest), at two depths (0-20 and 20-40 cm) and five replications. Soil resistance to penetration, moisture, macro and microporosity, soil density, aggregate stability and organic matter were evaluated. The native forest showed more favorable results for plant development. The cultivated areas showed differences in the properties evaluated, with dissimilarity in relation to the forest and similarity between them, for both depths. The replacement of native vegetation caused an increase in soil density and a reduction in microporosity, total porosity, organic matter and aggregate stability, showing the effect of conventional soil cultivation on its physical attributes.

RESUMEN

El seguimiento de la calidad del suelo a través de sus propiedades físicas es importante para diagnosticar y mantener la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Los indicadores físicos están relacionados con la disposición de las partículas y los poros, y afectan al desarrollo de las raíces, la emergencia de las plântulas y la infiltración del agua. El objetivo de este estudio fue evaluar los cambios en las propiedades físicas del suelo en la región de Tabuleiros Costeiros de São Mateus-ES, bajo el cultivo de plantas perennes, proporcionando información relevante para el manejo de estos sistemas agrícolas. El estudio se realizó en Argissolo Amarillo en un diseño experimental completamente aleatorizado (DIC), en un esquema factorial 3x2, con tres áreas adyacentes (pimienta negra, coco y bosque nativo), a dos profundidades (0-20 y 20-40 cm) y cinco repeticiones. Se evaluaron la resistencia del suelo a la penetración, la humedad, la macro y microporosidad, la densidad del suelo, la estabilidad de los agregados y la materia orgánica. El bosque autóctono mostró resultados más favorables para el desarrollo de las plantas. Las áreas cultivadas presentaron diferencias en las propiedades evaluadas, con disimilitud en relación con el bosque y similitud entre ellas para ambas profundidades. La sustitución de la vegetación nativa provocó un aumento de la densidad del suelo y una reducción de la macroporosidad, porosidad total, materia orgánica y estabilidad de los agregados, mostrando el efecto del cultivo convencional del suelo sobre sus atributos físicos.



INTRODUÇÃO

A qualidade do solo desempenha um papel importante para a produção mundial de alimentos, sendo a análise das propriedades físicas e químicas cruciais para o manejo do solo e das plantas, auxiliando na avaliação e manutenção da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Laudicina et al., 2023).

Indicadores físicos estão intimamente relacionados ao arranjo das partículas sólidas e dos poros, modificando o desenvolvimento radicular, emergência de plântulas, fluxo de água e nutrientes, bem como fornecem *habitats* para espécies associadas ao solo (Maurya et al., 2020). Os principais indicadores físicos da capacidade de uso do solo são a textura, estrutura, densidade do solo, porosidade, resistência mecânica à penetração e capacidade de infiltração de água (Araújo et al., 2012; Cavalcante et al., 2021).

Além de contribuir para a avaliação da qualidade física do solo, a densidade do solo, a porosidade e a resistência à penetração também desempenham um papel importante na caracterização dos horizontes coesos dos solos de Tabuleiros Costeiros (Giarola et al., 2001). Os Tabuleiros Costeiros são um tipo de formação geomorfológica originária da Formação Barreiras, que estão distribuídos ao longo de grande parte da costa brasileira e que ocorrem de forma expressiva no norte do Espírito Santo (Fontana et al., 2016).

No Espírito Santo, as áreas de Tabuleiros Costeiros são utilizadas principalmente para cultivo de culturas perenes. O estado se destaca como o principal produtor de pimenta-do-reino do país, com uma produção de 72.084 toneladas, e é o quinto maior produtor de coco-da-baía, com 144.258 frutos colhidos. O município de São Mateus, situado na região norte do estado, é o maior produtor tanto de pimenta-do-reino, com 25.200 toneladas produzidas, quanto de coco-da-baía, com 56.250 frutos colhidos em 2021 (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2023).

Apesar da importância econômica dessas culturas, as pesquisas sobre atributos físicos do solo na região de Tabuleiros Costeiros têm sido direcionadas principalmente para as culturas da cana-de-açúcar (Silva & Ribeiro, 1997; Vasconcelos et al., 2010; Pacheco, 2010; Vasconcelos et al., 2014; Cavalcanti, 2018), citrus (Santana et al., 2006) e mamão (Zuffo et al., 2013; Souza et al., 2016). No entanto, é relevante ampliar os estudos sobre os atributos físicos do solo em áreas de cultivo de pimenta-do-reino e coco-da-baía nessa região, considerando que essas culturas possuem particularidades em relação às culturas já estudadas e ainda em decorrência da variabilidade que os solos de Tabuleiros podem apresentar.

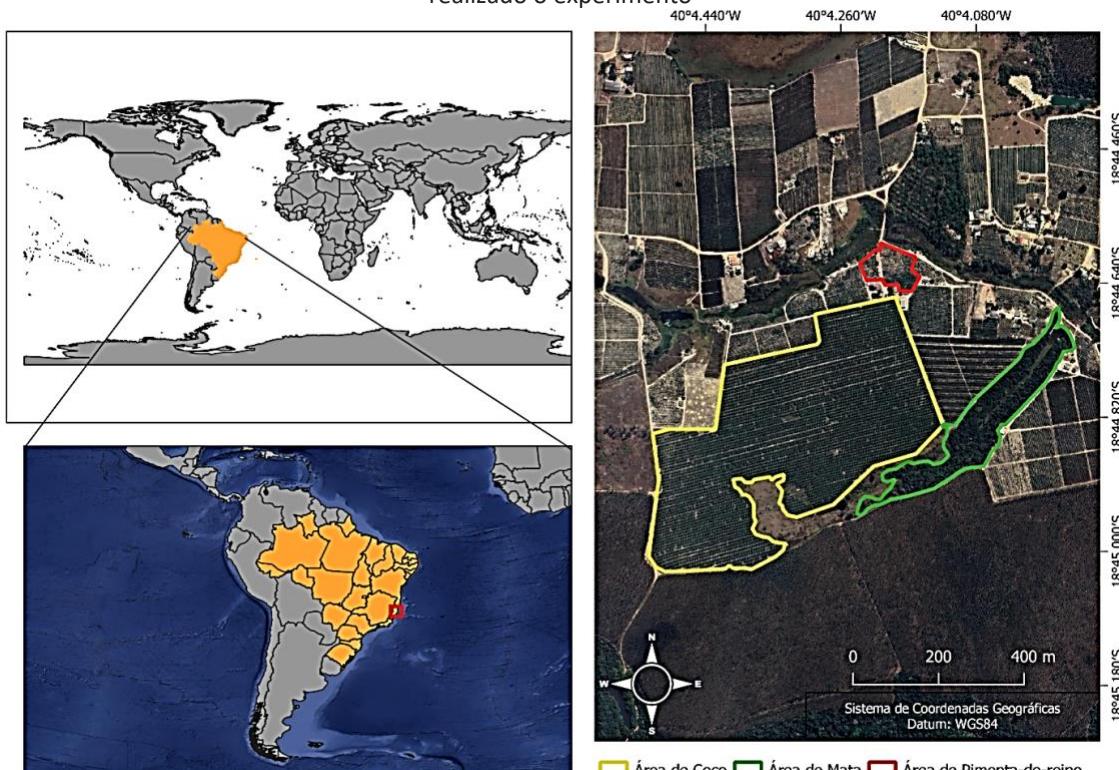
Portanto, objetiva-se, com este estudo, avaliar alterações nas propriedades físicas do solo em áreas cultivadas de pimenta-do-reino, coco-da-baía e em um fragmento de mata nativa na região de Tabuleiros Costeiros, bem como identificar de quais formas a substituição da mata nativa modifica as propriedades do solo, fornecendo informações relevantes para o manejo de sistemas agrícolas em Tabuleiros Costeiros.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi realizado em uma área comercial de pimenta-do-reino e de coco-da-baía no município de São Mateus, região norte do estado do Espírito Santo, localizada nas coordenadas $18^{\circ} 44' 38.6''$ S e $40^{\circ} 04' 11.3''$ W (Figura 1). A área de coco-da-baía foi implantada em 2011, cujo preparo do solo utilizou subsolador Ripper, que atua até 1 m de profundidade, na confecção dos sulcos de plantio, seguido de grade niveladora. A área de pimenta-do-reino, cultivar Bragantina, foi implantada em 2013, em covas de $40 \times 40 \times 40$ cm. Anteriormente, as áreas eram ocupadas com pastagem. A área de coco-da-baía foi inicialmente implantada em consórcio com mamoeiro, sendo duas linhas de mamoeiro e uma de coqueiro, até o fim do ciclo produtivo do mamoeiro.

Figura 1. Localização das áreas de pimenta-do-reino, coco-da-baía e mata nativa na propriedade onde foi realizado o experimento



Fonte: Autores

O clima da região, onde estão localizadas as lavouras, é do tipo Aw, segundo classificação de Köppen. Clima tropical úmido, com estações bem definidas, inverno seco e chuvas máximas no verão, com precipitações concentradas nos meses de novembro e janeiro (Alvares et al., 2013). O solo da área de estudo foi classificado como Argissolo Amarelo conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2013).

A classe textural dos solos estudados variou de franco-arenosa a franco-argilo-arenosa, sendo a última predominante. Foram determinadas as frações granulométricas (areia, silte e argila) e a classificação textural referente a cada área analisada nas diferentes profundidades (0-20 e 20-40 cm), visando à caracterização das mesmas (Tabela 1).

Tabela 1. Valores médios de areia, silte e argila e textura do solo em duas profundidades nos diferentes usos do solo. *Com base no triângulo textural de Lemos e Santos (1996)

Uso do Solo	Profundidade (cm)	Areia	Silte	Argila	Textura do Solo*
			g kg^{-1}		
Mata Nativa	0-20	665,50	42,06	292,44	Franco-argilo-arenosa
	20-40	619,82	28,31	351,87	Franco-argilo-arenosa
Coco-da-baía	0-20	832,34	23,95	143,71	Franco-arenosa
	20-40	812,67	17,94	169,39	Franco-arenosa
Pimenta-do-reino	0-20	637,20	45,85	316,95	Franco-argilo-arenosa
	20-40	626,39	39,75	333,86	Franco-argilo-arenosa

Delineamento experimental, tratamentos e avaliações

O experimento foi avaliado seguindo um delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x2, onde avaliaram-se três áreas: 1) solo cultivado com lavoura comercial de pimenta-do-reino; e 2) solo cultivado com lavoura comercial de coco-da-baía; e 3) fragmento de mata nativa (Figura 2), em duas profundidades (0-20 e 20-40 cm) com cinco subáreas de amostragem em cada área de manejo.

Figura 2. Área cultivada com pimenta-do-reino (A), coco-da-baía (B) e fragmento de mata nativa (C)



Fonte: Autores

As propriedades físicas do solo avaliadas foram: resistência mecânica do solo à penetração (RP), umidade (U), densidade do solo (Ds), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), porosidade total (Pt) e estabilidade de agregados (DMG e DMP), com coleta de amostras deformadas e indeformadas, nas cinco subáreas de amostragem para cada uso do solo. Também foi realizada análise de matéria orgânica do solo (MO). Nas áreas de cultivo de pimenta-do-reino e coco-da-baía, as amostras foram coletadas na projeção da copa das plantas, e no fragmento de mata nativa, a coleta das amostras ocorreu de forma aleatória.

A RP foi avaliada utilizando o penetrômetro de impacto modelo planalsucar, seguindo a metodologia descrita por Stolf (1991), nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm dentro de cada subárea de uso do solo. O aparelho possui uma massa de 4 kg, o diâmetro da haste de 9 mm, o diâmetro da ponta de 12,83 mm e ângulo de 30°. A umidade do solo foi determinada em amostras retiradas com trado holandês, as quais foram secas em estufa a $\pm 105^\circ\text{C}$, durante 24 h, pesadas antes e depois de secas.

A coleta de amostras indeformadas foi conduzida utilizando anéis volumétricos com altura de 5 cm e diâmetro variável (registrado individualmente). Em cada área de estudo foram divididas 5 subáreas de amostragem, onde dentro de cada subárea foram retiradas 5 amostras simples em cada uma das profundidades (0-20 e 20-40 cm), totalizando 10 amostras por subárea. Foram realizadas análises com as amostras indeformadas para determinar a Ds pelo método do anel volumétrico, Ma, Mi e Pt por meio da mesa de tensão (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [EMBRAPA], 2017).

Além disso, em cada ponto de coleta, foram retiradas amostras deformadas de solo nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, com o auxílio de um trado holandês para a determinação da MO pelo método de Walkley-Black (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária [Embrapa], 2009), seguindo a mesma metodologia adotada para as amostras indeformadas (torrões). Também foram coletadas amostras indeformadas com o uso de um enxadão para a determinação da estabilidade de agregados via úmida em aparelho de oscilação vertical (Aparelho de Yooder), pelo método de Kemper e Chepil (1965), expressa em valores pelo diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).

As análises físicas do solo foram realizadas no Laboratório de Física do Solo e a análise de MO foi realizada no Laboratório de Análise do Solo e de Folhas, ambos do Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES/UFES). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação das médias, feita usando o teste de Tukey a 5%, com auxílio do software estatístico R[©] 4.2 (R CORE TEAM, 2022). Em seguida, os dados dos atributos físicos foram agrupados em um dendrograma de similaridade, utilizando-se o método da distância Euclidiana.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Físicas e Matéria Orgânica do Solo

Para Ds, U, Ma, Mi, Pt, MO e DMG não houve interação entre os usos do solo e as profundidades avaliadas, já para RP e DMP a interação foi observada. Não foram observadas diferenças estatísticas para Ds, U, Ma, Mi, Pt e MO, considerando as profundidades avaliadas, entretanto, as áreas em estudo apresentaram diferenças significativas entre si (Tabela 2).

Tabela 2. Propriedades físicas do solo e matéria orgânica nos diferentes usos do solo estudados e em duas profundidades. Ds (densidade do solo); U (umidade); Ma (macroporosidade); Mi (microporosidade); Pt (porosidade total) e MO (matéria orgânica). Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

Uso do Solo	Ds g cm ⁻³	U	Ma	Mi	Pt	MO dag kg ⁻¹
Mata Nativa	1,48 b	11,10 a	14,50 a	25,26 a	39,76 a	2,40 a
Coco-da-baía	1,71 a	7,73 b	9,39 b	19,24 b	28,63 c	2,23 ab
Pimenta-do-reino	1,66 a	11,66 a	9,08 b	22,95 a	32,04 b	1,80 b
Profundidade						
0-20	1,59 a	10,12 a	12,16 a	22,08 a	34,24 a	2,24 a
20-40	1,65 a	10,13 a	9,81 a	22,89 a	32,71 a	2,05 a
CV (%)	6,06	18,89	28,49	13,91	8,87	18,59

Para Ds, os maiores valores foram encontrados nas áreas de pimenta-do-reino e de coco-da-baía (Tabela 2). Menores densidades do solo têm sido observadas em solos sob florestas nativas, o que é atribuído aos maiores teores de matéria orgânica (Nicodemo et al., 2018) e ausência do tráfego de máquinas e implementos agrícolas (Freitas et al., 2017).

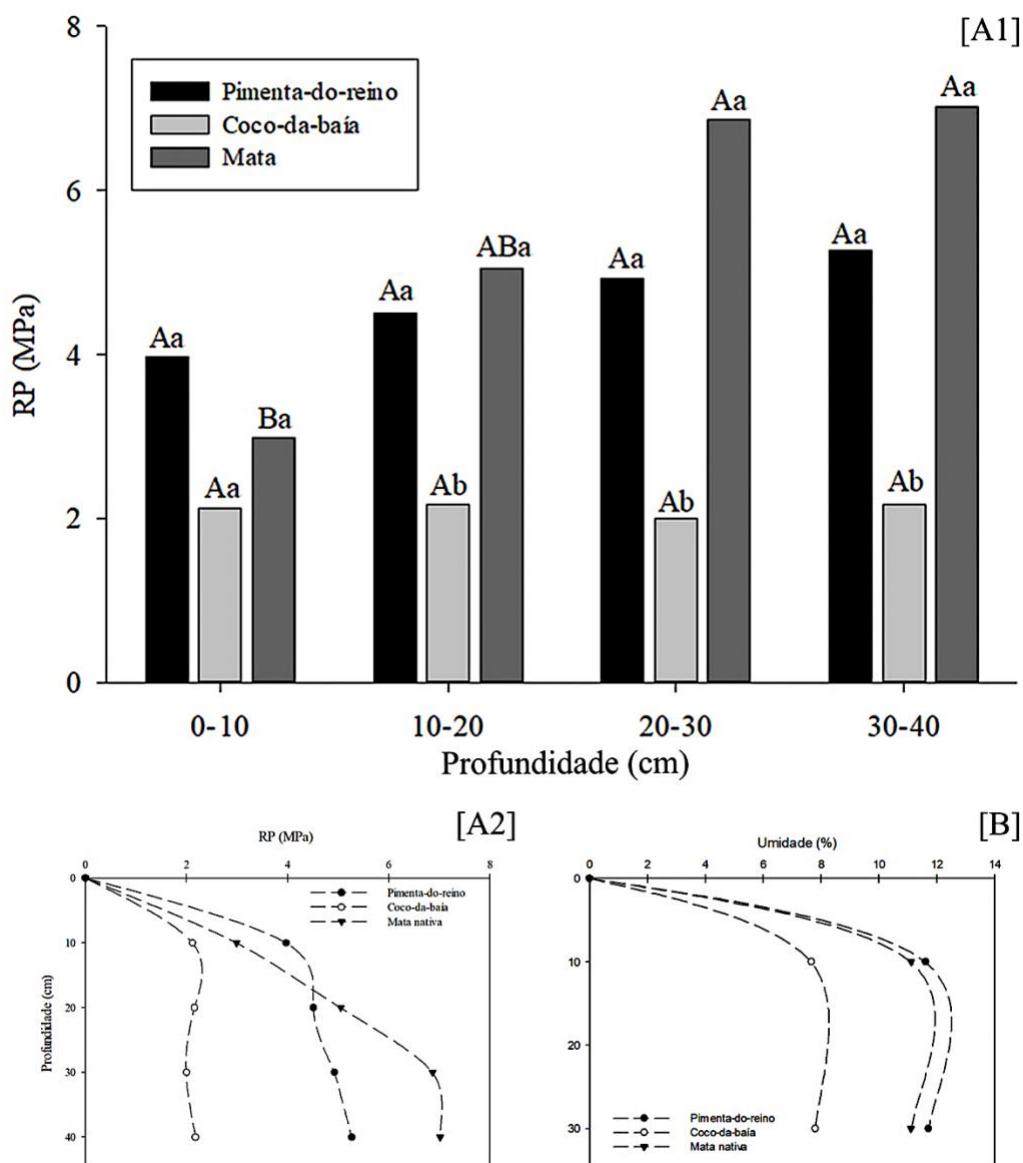
Os valores de U, Mi e Pt apresentaram diferenças significativas entre as áreas de pimenta-do-reino e coco-da-baía. A área de pimenta-do-reino foi semelhante à mata em relação a U e Mi, enquanto todas as áreas foram distintas entre si em relação a Pt (Tabela 2). Assim como a Ds, a porosidade pode ser modificada pelo uso e manejo, o que pode justificar as diferenças nos valores encontrados. A área de mata nativa apresentou maior Pt em relação às demais áreas, resultado da estruturação dos solos, isso é explicado devido à presença de serapilheira e raízes em profundidade (Mendes et al., 2006).

A Ma foi igual para as áreas cultivadas com coco-da-baía e pimenta-do-reino, sendo que ambas apresentaram menor Ma em comparação com a área de mata nativa. A diminuição nos valores de Ma das áreas cultivadas pode ocorrer devido à pressão mecânica de máquinas agrícolas utilizadas no controle fitossanitário, à intensificação da oxidação da MO e redução de seu teor no solo em razão do manejo pós-retirada da mata nativa, à exposição do solo, especialmente da entrelinha, em razão da menor cobertura do solo em comparação à mata e ao entupimento dos microporos (Araújo et al., 2012) este comportamento foi observado em ambas as áreas produtivas.

Em relação a MO, a área de mata nativa e de coco-da-baía os teores, foram iguais divergindo da área de pimenta-do-reino. Apesar disso, o teor de MO pouco afetou os atributos físicos. A área de coco-da-baía obteve os piores resultados, indicando que o teor de MO não garantiu melhoria no solo. Tais resultados demonstram o efeito do manejo utilizado e seu impacto. Resultados semelhantes foram encontrados por Rodrigues et al. (2015), o que pode ser atribuído à presença de resíduos orgânicos provenientes do manejo do coqueiral. Esses autores verificaram que a idade da lavoura também é preponderante nos resultados onde a MO e a presença de raízes conseguem atenuar o efeito do manejo com máquinas, uma vez que lavouras mais novas apresentaram maior Ds. Essa constatação também se justifica neste estudo, uma vez que na área de estudo as folhas e frutos são mantidos no local, e essa atenuação é esperada. Nas áreas de vegetação nativa um mais alto teor de MO é esperado devido maior taxa de produção e armazenamento de MO proveniente da árvore de folhas, galhos, raízes e outros componentes orgânicos (Gan et al., 2020), associado à baixa taxa de mineralização.

Na Figura 3, são apresentados os resultados obtidos para RP e umidade, fator esse que exerce influência direta nas medições dessa propriedade.

Figura 3. Resistência do solo à penetração (A1 e A2) e umidade do solo (B) para os diferentes usos do solo estudados. Médias seguidas de mesma letra minúscula para Uso do Solo e maiúscula para profundidade não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)



Fonte: Autores

Observa-se que a área de coco-da-baía apresentou menor RP nas profundidades de 10-20, 20-30 e 30-40 cm, indicando menor compactação do solo em comparação com a mata nativa e a área de pimenta-do-reino. Os resultados encontrados para as áreas de mata nativa e pimenta-do-reino foram superiores a 2 MPa, notadamente à medida que se aprofunda no perfil, o que indica uma possível condição restritiva para o crescimento radicular (Reichert et al., 2007).

Analizando as profundidades estudadas dentro de cada tratamento, a mata nativa demonstrou menor resistência à penetração nas camadas superficiais, de 0-10 e 10-20 cm. Tal comportamento pode ser compreendido em função da ausência de revolvimento deste uso, o que pode refletir em maior coesão entre as partículas e formação de agregados do solo, e ainda mais elevado teor de MO (Crews & Rumsey, 2017). Tal comportamento pode ser explicado pela textura do solo (Tabela 1), já que o teor de areia é maior na camada de 0-20 cm, implicando em uma menor barreira física devido à baixa coesão das partículas.

Houve aumento da RP e da U com a profundidade para as áreas de mata nativa e pimenta-do-reino (Figura 3). No caso da mata nativa, o aumento da RP pode estar relacionado à presença das raízes espessas que influenciaram na determinação com o penetrômetro de impacto. A presença das raízes mais densas na camada mais profunda pode ter impactado a obtenção da RP do solo, tornando-a aparentemente maior nessa região. Outra provável causa para esse resultado é o incremento de argila em profundidade (Tabela 1), resultando em adensamento natural para os Argissolos.

Observa-se também que a área de coco-da-baía apresenta os menores valores de RP e que tem uma tendência de se manterem com a profundidade, o que pode ter relação com a maior porcentagem de areia encontrada na área cultivada com essa cultura (Tabela 1), e método de preparo do solo que inclui o uso de subsolador Ripper.

Quanto à agregação do solo, para o DMG não houve interação significativa entre uso do solo e a profundidade (Tabela 3). Já para o DMP, houve interação entre a profundidade e os diferentes usos do solo (Tabela 4).

Tabela 3. Diâmetro médio geométrico (DMG) nos diferentes usos do solo estudados e em duas profundidades.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

Uso do Solo	DMG (mm)
Mata Nativa	3,80 a
Coco-da-baía	1,72 b
Pimenta-do-Reino	2,47 b
Profundidade	
0-20	3,21 a
20-40	2,12 b
CV (%)	35,66

Ao analisar os usos do solo, nota-se para mata os maiores valores de DMG do que as áreas de pimenta-do-reino e coco-da-baía. Já quando se analisa a profundidade, 0-20 cm foi significativamente diferente de 20-40 cm (Tabela 3). Estudos anteriores, conduzidos por Mendes et al. (2006), também observaram resultados semelhantes, com maiores valores de DMG para a área de mata nativa. Locais com pouco revolvimento do solo, como em solos sob mata nativa, apresentam maior estabilidade de agregados, resultando em maiores médias de DMG e DMP (Pinto, 2016).

Tabela 4. Diâmetro médio ponderado (DMP) nos diferentes usos do solo estudados e em duas profundidades.

Médias seguidas de mesma letra minúscula para mesma profundidade e maiúscula para mesmo uso não diferem entre si pelo teste Tukey ($p < 0,05$)

Uso do Solo	Profundidade	
	0-20	20-40
Mata Nativa	5,22 aA	0,46 cB
Coco-da-baía	3,82 bA	2,21 bB
Pimenta-do-reino	4,40 abA	3,60 aA
CV (%)	22,97	

O DMP apresentou maiores valores nas camadas superficiais (0-20 cm) e diminuiu com o aumento da profundidade (Tabela 4). Essa mesma tendência foi observada por Suzuki et al. (2014) em um estudo realizado em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto, onde também foi constatada uma redução do DMP dos agregados com o aumento da profundidade do solo. O comportamento de diminuição do DMP com a profundidade para mata nativa e a área de coco-da-baía, pode estar associado ao declínio de matéria orgânica no perfil (Levinski-Huf & Klein, 2018). Todavia, esse comportamento não foi

observado no presente trabalho, pois os valores de MO foram iguais para as duas profundidades avaliadas. A presença de maior número de raízes e principalmente de radicelas nas camadas superficiais pode explicar a diferença do DMP nas duas profundidades, considerando as raízes que impactam significativamente a agregação do solo (Ferreira et al., 2024).

Ao comparar os diferentes usos do solo, tanto a mata nativa quanto a área de pimenta-do-reino apresentaram valores estatisticamente iguais na profundidade de 0-20 cm, sendo os maiores registrados. Esse resultado pode ser atribuído ao efeito de agregação mecânica das raízes finas das árvores e da pimenteira.

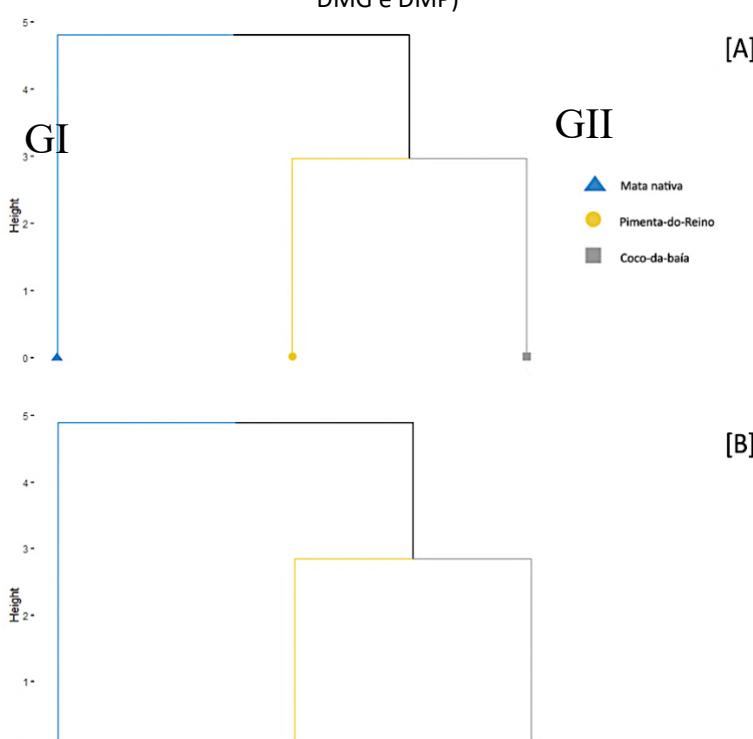
Os baixos valores de DMP encontrados na camada de 20-40 cm para a mata nativa podem ser em função da dificuldade em se extrair agregados estáveis nesta profundidade, devido à presença de raízes mais espessas.

Análise de Dissimilaridade

A Análise de Agrupamentos tem se destacado como uma ferramenta valiosa em diversas áreas do conhecimento, sendo especialmente empregada para identificar padrões de comportamento em dados de observações (Alencar et al., 2013). Esse tipo de análise possibilita identificar elementos com características semelhantes dentro dos grupos e distintas entre os grupos (Härdle & Simar, 2019). Realizar uma análise multivariada para atributos físicos do solo é importante porque essa abordagem permite avaliar como as propriedades físicas se comportam em conjunto e como estão relacionadas entre si.

Através da análise de agrupamento hierárquico das propriedades físicas do solo e da construção do dendrograma, foi possível identificar a semelhança entre os diferentes usos do solo, para ambas as profundidades (Figura 4).

Figura 4. Dendrograma de agrupamento construído com base na matriz de distâncias euclidianas, para a profundidade de 0-20 cm (A) e 20-40 cm (B), obtido a partir de oito variáveis analisadas (U, MO, Ma, Mi, Pt, Ds, DMG e DMP)



Fonte: Autores

A partir da análise da variação da distância euclidiana em relação à similaridade das propriedades físicas, classificou-se os usos do solo em dois grupos distintos (GI e GII), para ambas as profundidades. A distância de GI em relação a GII indica que os atributos do solo encontrados na mata nativa diferem dos resultados obtidos na área de pimenta-do-reino e de coco-da-baía. A variação dos atributos do solo na vegetação nativa é significativamente menor quando comparada a dos solos de áreas cultivadas, segundo Freitas et al. (2017) a vegetação nativa é um referencial importante para a avaliação de solos incorporados a sistemas agrícolas

As áreas de pimenta-do-reino e coco-da-baía se encontram no mesmo grupo (GII), indicando que as duas formas de uso do solo possuem atributos semelhantes. A comparação entre a mata nativa e as áreas cultivadas possibilita observar as alterações nos atributos do solo após a utilização agrícola, confirmando que a substituição da vegetação nativa por sistemas agrícolas pode resultar em mudanças nas propriedades físicas do solo, ocasionadas pelo compactação do solo, em decorrência do tráfego de máquinas para controle fitossanitário e colheita, redução dos teores de matéria orgânica e menor estabilidade da estrutura do solo em sistemas de cultivo convencional de culturas perenes.

CONCLUSÃO

A mata nativa apresentou as propriedades físicas do solo mais favoráveis ao desenvolvimento vegetal, exceto a resistência à penetração na camada de 20 a 40 cm. A área cultivada com pimenta-do-reino e coco-da-baía apresentam dissimilaridade em relação a mata nativa. A substituição da vegetação nativa provocou aumento da Ds e redução da Ma, Pt, evidenciando a influência do uso do solo nas suas propriedades físicas, sendo necessárias estratégias de manejo favoráveis à melhoria da qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

- Alencar, B. J., Barroso, L. C., & Abreu, J. F. (2013). Análise multivariada de dados no tratamento da informação espacial: uma abordagem com análise de agrupamentos. *Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, 10(2), 6-12. Recuperado de <https://www.iiisci.org/Journal/pdv/risci/pdfs/CA215JK13.pdf>
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Moraes Gonçalves, J. L., de., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Araújo, E. A., de., Ker, J. C., Neves, J. C. L., & Lani, J. L. (2012). Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Applied Research & Agrotechnology*, 5(1), 187-206. <http://dx.doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12>
- Cavalcante, D. M., Silva, A. P. F., e., Almeida, B. G., de., Freire, F. J., Silva, T. H. S. dos., & Cavalcante, F. M. S.(2021). Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. *Soil and Tillage Research*, 209, 104951. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.104951>
- Cavalcanti, R. Q. (2018). Atributos físicos e mecânicos do solo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar em Tabuleiro Costeiro (Dissertação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil. Recuperado de <http://ww2.pgea.ufrpe.br/sites/ww3.pgea.ufrpe.br/files/documentos/dissertacao - roberta queiroz cavalcanti.pdf>
- Crews, T. E. & Rumsey, B. E. (2017). What agriculture can learn from native ecosystems in building soil organic matter: a review. *Sustainability* 9(4), 578. <https://doi.org/10.3390/su9040578>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2017). Manual de métodos de análise de solo. (3. ed. rev. e ampl.). Brasília, Embrapa.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.(2009). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília, Embrapa.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.(2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, Embrapa.
- Ferreira, C. E. M. A., Barreto-Garcia, P. A. B., Monroe, P. . H. M., Rocha, R. L., & Silva, I. L. da. (2025). Estabilidade de agregados no perfil do solo sob influência de uma cronossequência em agroflorestas. *Semana De Engenharia Florestal Da*

- Bahia (SEEFLOR-BA), 4. Recuperado de <http://anais2.uesb.br/index.php/seeflor/article/view/2879>
- Fontana, A., Anjos, L. H. C., dos., & Pereira, M. G.(2016). Os Tabuleiros Costeiros do Estado do Espírito Santo: Ocorrência e componentes ambientais. Cap. 2, 31-43pp. *Rupestre*. Recuperado de <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1055644/1/2016054.pdf>
- Freitas, L. de., Oliveira, I. A., de., Silva, L. S., Frare, J. C. V., Filla, V. A., & Gomes, R. P. (2017). Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Unimar Ciências*, 26(1-2). Recuperado de <http://ojs.unimar.br/index.php/ciencias/article/view/511>
- Gan, H. Y., Schoning, I., Schall, P., Ammer, C., & Schrumpf, M. (2020). Soil organic matter mineralization as driven by nutrient stoichiometry in soils under differently managed forest stands. *Frontiers in Forests and Global Change*, 3, 99. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00099>
- Giarola, N. F. B., Silva, A. P., Tormena, C., Souza, L. S., & Ribeiro, L. P. (2001). Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento hardsetting. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, 239-247. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100026>
- Härdle, W. K. & Simar, L. (2019). Applied multivariate statistical analysis. *Springer Nature*. Recuperado de <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-45171-7>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Produção de pimenta-do-reino e produção agrícola de coco-da-baía. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>
- Kemper, W. D. & Chepil, W. S. (1965). Methods of soil analysis. Cap. 39, 499-510pp. Madison: *American Society of Agronomy*.
- Laudicina, V. A., Ruisl, P., & Badalucco, L.(2023). Soil Quality and Crop Nutrition. *Agriculture*, 13(7), 1412. <https://doi.org/10.3390/agriculture13071412>
- Lemos, R. C., & Santos, R. D. (1996). Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3a ed. Campinas: SBCS.
- Levinski-huf, F. & Klein, V. A. (2018). Matéria orgânica e propriedades físicas de um Latossolo Vermelho em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 48, 316-322. <https://doi.org/10.1590/1983-40632018v4852737>
- Maurya, S., Abrahan, J. S., Somasudaram, S., Toteja, R., Gupta, R., & Makhija, S. (2020). Indicators for assessment of soil quality: a mini-review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08556-z>
- Mendes, F. G., Guimarães, E. M. P., & Melloni, R. (2006). Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. 12(3), 211-220. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.ox?id=74412302>
- Nicodemo, M. L. F., Borges, W. L. B., & Souza, I. M. D., de. (2018). Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 13(2), 1-7. <https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5524>
- Pacheco, E. P. (2010). Estudo da compressibilidade e qualidade de um Argissolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar nos Tabuleiros Costeiros de Alagoas (tese de Doutorado) *Universidade federal Rural de Pernambuco*, Recife, PE, Brasil. Recuperado de <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede/bitstream/tede2/4991/2/Edson%20Patto%20Pacheco.pdf>
- Pinto, F. B. (2016). Atributos físicos e químicos do solo em área sob diferentes usos na região Norte do Estado do Espírito Santo, (dissertação de mestrado). *Universidade federal do Espírito Santo*, São Mateus, ES, Brasil. Recuperado de <http://biblioteca.incapr.es.gov.br/digital/handle/item/2775>
- R CORE TEAM. (2022). A language and environment for statistical computing. *R Foundation for Statistical Computing*. Viena, Áustria.
- Reichert, J. M., Suzuki, L. E. A. S., & Reinert, D. J. (2007). Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. *Tópicos em Ciência do Solo*, 5, 49-134. Recuperado de <https://www.fisicadosolo.ccr.ufsm quoos.com.br/downloads/Producao Artigos/2007 Topics.pdf>
- Rodrigues, M. S., Souza, C., Lima, D. D., Silva, S. D. P., & Alves, D. C. (2015). Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física de um Argissolo Amarelo no Vale do São Francisco. *XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, Natal, RN, Brasil. Recuperado de <https://www.eventosolos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/91.pdf>
- Santana, M. B., Souza, L. S. da., Souza, L. D., & Fontes, L. E. F. (2006). Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como

indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, 1-12. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000100001>

Silva, A. J. N. da & Ribeiro, M. R. (1997). Caracterização de Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21, 677-684, 1997. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000400019>

Souza, L. D., Souza, L. S. da., Ledo, C. A. S. da., & Cardoso, C. E. L. (2016). Distribuição de raízes e manejo do solo em cultivo de mamão nos Tabuleiros Costeiros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 51, 1937-1947. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016001200004>

Stolf, R. (1991). Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15, 229-235. Recuperado de [https://www.servidores.ufscar.br/hprubismar/hprubismar_ARTIGOS/63_Teoria_e_teste_de_transfomacao_dos_dados_de_penetrometro_de_impacto_em_resistencia_do_solo_\(Stolf,R.\).pdf](https://www.servidores.ufscar.br/hprubismar/hprubismar_ARTIGOS/63_Teoria_e_teste_de_transfomacao_dos_dados_de_penetrometro_de_impacto_em_resistencia_do_solo_(Stolf,R.).pdf)

Suzuki, L. E. A. S., Lima, C. L. R. de., Reinert, D. J., Reichert, J. M., & Pillon, C. N. (2014). Estrutura e

armazenamento de água em um Argissolo sob pastagem cultivada, floresta nativa e povoamento de eucalipto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38, 94-106. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100009>

Vasconcelos, R. F. B. de., Cantalice, J. R. B., Oliveira, V. S. de., Costa, Y. D. J. da., & Cavalcante, D. M. (2010). Estabilidade de agregados de um Latossolo Amarelo distrocoeso de tabuleiro costeiro sob diferentes aportes de resíduos orgânicos da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 309-316. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200004>

Vasconcelos, R. F. B. de., Souza, E.R. de., Cantalice, J.R.B., & Silva, L.S.(2014). Qualidade física de Latossolo Amarelo de tabuleiros costeiros em diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(4), 381-386. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400004>

Zuffo, V. J., Pires, F. R., Bonomo, R., Vitoria, E. D. L., Filho, A. C., Santos, E. O. J., de. (2013). Effects of tillage systems on physical properties of a cohesive yellow argisol in the northern state of Espírito Santo, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1372-1382. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500026>