

# QUALIDADE FÍSICA DO SOLO SOB SISTEMA DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA: EFEITOS DE 6 ANOS DE IMPLANTAÇÃO

## CALIDAD FÍSICA DEL SUELO BAJO SISTEMA DE INTEGRACIÓN CULTIVO-GANADERIA-BOSQUE: EFECTOS DE 6 AÑOS DE IMPLEMENTACIÓN

### PHYSICAL QUALITY OF SOIL UNDER INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEM: EFFECTS OF 6 YEARS OF IMPLEMENTATION

Bruna Thalia Silvaira Sabino\*  
bruna.thalia18@hotmail.com

Pedro Luan Ferreira da Silva\*\*  
pedroluanferreira@gmail.com

Flávio Pereira de Oliveira\*  
flavio.oliveira@academico.ufpb.br

Milton César Costa Campos \*  
mcesarsolos@gmail.com

\* Universidade Federal da Paraíba/Brasil

\*\*Universidade Estadual de Maringá/Brasil

---

#### Resumo

A integração lavoura-pecuária (iLPF), é um sistema de produção sustentável que integra os componentes animal e vegetal em uma mesma área, e tem como finalidade principal tornar o solo produtivo sem ocasionar impactos negativos ao ambiente. A iLPF promove inúmeros benefícios físicos e químicos ao solo, destacando-se as melhorias na taxa de infiltração de água, elevação na estabilidade de agregados e maior ciclagem de nutrientes. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e seus efeitos após um período de seis anos implantação. O experimento foi instalado na fazenda experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado da Paraíba - EMEPA, no município de Alagoinha-PB (06°57'00''S e 35°32'42''W; 317 m). O solo foi caracterizado como Planossolo Háplico de classificação textural franco-arenosa. Os tratamentos avaliados foram: 1) Gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) + *Brachiariadecumbens*; 2) Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) + *Brachiariadecumbens*; 3) Ipê amarelo (*Tabebuia alba* (chamiso) sandwith) + *Brachiariadecumbens*; 4) Milho (*Zeamays* L.) + *Brachiariadecumbens*; *Brachiariadecumbens*, em delineamento de blocos casualizados (DBC), com três repetições. Cada parcela tem dimensão de 38 x 20 m, totalizando uma área de 760m<sup>2</sup>. Foram coletadas amostras de solo em duas profundidades, 0-0,10 e 0,10-0,20 m. As variáveis analisadas foram: Densidade do solo, porosidades (total, microporosidade e

macroporosidade) e diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs). De acordo com os resultados, a densidade do solo aumentou em profundidade, a porosidade total, macroporosidade e microporosidade não apresentaram variação e os maiores valores de diâmetro médio ponderado de agregados secos foram encontrados no tratamento com *Brachiariadecumbens*.

**Palavras-Chave:** densidade do solo, agricultura conservacionista, Agreste da Paraíba.

---

### Resumen

La integración cultivo-ganadería-bosque (iCGB) es un sistema de producción sostenible que integra componentes animales y vegetales en una misma área, y su objetivo principal es hacer que el suelo sea productivo sin causar impactos negativos al medio ambiente. iCGB promueve numerosos beneficios físicos y químicos para el suelo, destacando mejoras en la tasa de infiltración de agua, mayor estabilidad de los agregados y mayor ciclo de nutrientes. En este sentido, el objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad física del suelo bajo un sistema de integración cultivo-ganadería-bosque y sus efectos luego de un período de implementación de seis años. El experimento fue instalado en la finca experimental de la Empresa de Investigación Agropecuaria del Estado de Paraíba - EMEPA, en el municipio de Alagoinha-PB, Brasil (06°57'00"S y 35°32'42"W; 317 m). El suelo se caracteriza como Planosol con clasificación textural franco-arenosa. Los tratamientos evaluados fueron: 1) *Gliricidia* (*Gliricidiasepium* (Jacq.) Steud.) + *Brachiariadecumbens*; 2) *Mimosa caesalpinifolia* + *Brachiariadecumbens*; 3) Ipê amarillo (*Tabebuia alba* (chamiso) sandwith) + *Brachiariadecumbens*; 4) Maíz (*Zea mays* L.) + *Brachiariadecumbens*; 5) *Brachiariadecumbens*, en un diseño experimental de bloques al azar (BA), con tres repeticiones. Cada parcela mide 38 x 20 m, totalizando una superficie de 760m<sup>2</sup>. Se recolectaron muestras de suelo a dos profundidades, 0-0,10 y 0,10-0,20m. Las variables analizadas fueron: Densidad del suelo, porosidad (total, microporosidad y macroporosidad) y diámetro medio ponderado de los agregados secos (DMPAs). De acuerdo a los resultados, la densidad del suelo aumentó en profundidad, la porosidad total, macroporosidad y microporosidad no presentaron variación y los mayores valores de diámetro promedio ponderado de agregados secos se encontraron en el tratamiento con *Brachiariadecumbens*.

**Palabras clave:** densidad del suelo, Integración cultivo-ganadería, Agreste de Paraíba.

---

### Abstract

Crop-livestock integration (iCLF) is a sustainable production system that integrates animal and plant components in the same area, and its main purpose is to make the soil productive without causing negative impacts to the environment. iCLF promotes numerous physical and chemical benefits to the soil, highlighting improvements in the rate of water infiltration, increased stability of aggregates and greater cycling of nutrients. In this sense, the objective of this work was to evaluate the physical quality of the soil under a crop-livestock-forest integration system and its effects after a period of six years implementation. The experiment was installed on the experimental farm of the Agricultural Research Corporation of the State of Paraíba - EMEPA, in the municipality of Alagoinha-PB (06°57'00"S; 35°32'42"W; 317 m). The soil was characterized as Planosol with sandy loam texture. The treatments evaluated were: 1) *Gliricidia* (*Gliricidiasepium* (Jacq.) Steud.) + *Brachiariadecumbens*; 2) *Mimosa caesalpinifolia* + *Brachiariadecumbens*; 3) *Tabebuia alba* (chamiso) sandwith) + *Brachiariadecumbens*; 4) Maíz (*Zea mays* L.) + *Brachiariadecumbens*; 5) *Brachiariadecumbens*, in a randomized block design (BA), with three replications. Each plot measures 38 x 20 m, totaling a surface area of 760m<sup>2</sup>. Soil samples were collected at two depths, 0-0.10 and 0.10-0.20m. The variables analyzed were: Soil density, porosity (total, microporosity and macroporosity) and weighted mean diameter of dry aggregates (DMPAs). According to the results, soil density increased with depth, total porosity, macroporosity and microporosity did not show variation and the highest values of weighted mean diameter of dry aggregates were found in the treatment with *Brachiariadecumbens*.

*Brachiariadecumbens*; 4) Corn (*Zea mays* L.) + *Brachiariadecumbens*; 5) *Brachiariadecumbens*, in a randomized block design (RBD), with three replications. Each plot measures 38 x 20 m, totaling an area of 760m<sup>2</sup>. Soil samples were collected at two depths, 0-0.10 and 0.10-0.20 m. The variables analysed were: bulk density, porosity (total, microporosity and macroporosity) and weighted average diameter of dry aggregates (DMPAs). According to the results, the soil density increased in depth, the total porosity, macroporosity and microporosity showed no variation and the highest values of weighted average diameter of dry aggregates were found in the treatment with *Brachiariadecumbens*.

**Key-words:** bulk density, conservationist agriculture, Agreste of Paraíba.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Práticas agrícolas inadequadas podem desencadear diversos problemas ao solo, principalmente no que diz respeito aos seus atributos físicos, químicos e biológicos, podendo afetar a agregação do solo, densidade e porosidade que são importantes para o funcionamento adequado do solo (GOMES et al., 2020). Os atributos físicos, por desempenharem papel significativo no solo possuem um alto poder de afetar o funcionamento do mesmo, sendo importante assim, manter a qualidade física do solo, que é considerada boa quando há a ausência dos problemas já mencionados (ANDRADE; STONE, 2009). Esses atributos, por sua vez, afetam o funcionamento do solo ocasionando problemas como compactação, má estruturação do solo, entre outros (RICHART et al., 2005). A má condição de densidade e agregação são características de um solo compactado que afeta, por exemplo, o desenvolvimento das plantas significativamente (CORTEZ et al., 2011).

Contudo, a qualidade do solo é estabelecida a partir de alguns aspectos e, os sistemas integrados de produção como a Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), é um sistema de grande importância, isso porque possibilita o uso da terra de forma sinérgica entre espécies vegetais e animais, contribuindo para uma melhor produção de área (BALBINO et al., 2011). Apesar dos inúmeros questionamentos sobre a adoção de sistemas de integração sobre os possíveis impactos deixados pela prática ligados a degradação do solo (SILVA et al., 2017), estes sistemas surgem como alternativa para recuperar áreas com o próprio uso da terra, potencializando os efeitos sinérgicos e tornando possível uma maior sustentabilidade na produção (ZONTA et al., 2017). Além de que os sistemas integrados possuem inúmeros benefícios, que são atribuídos a vários aspectos que vão desde a conservação do solo por meio do acúmulo de palhada na superfície do solo, como é o caso da integração lavoura-pecuária (ZONTA, et al., 2016) até a melhoria nos indicadores químicos do solo, quando se relaciona os sistemas de integração e a permanência de matéria orgânica no solo que favorece o aporte de carbono orgânico no solo (IWATA et al., 2012).

Considerando a qualidade do solo como um fator determinante relacionado a sustentabilidade, uma grande atenção tem que ser dada aos atributos físicos do solo, visto que são fatores que podem explicar alguns processos que ocorrem no ambiente, a exemplo o de degradação do solo (RAMOS et al., 2014).

Desse modo, objetivou-se com este trabalho avaliar a qualidade física do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta e seus efeitos após um período de seis anos implantação no Agreste da Paraíba.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento está sendo conduzido desde julho de 2015 em área experimental da Empresa Paraibana de Pesquisa, Extensão Rural e Regularização Fundiária (EMPAER), em Alagoinha (PB). O município está inserido na microrregião de Guarabira e mesorregião geográfica do Agreste da Paraíba sob as coordenadas (06°57'00" S e 35°32'42" W) e 317 metros de altitude. O solo da área experimental foi classificado como Planossolo Háplico Eutrófico de classificação textural argilo-arenosa (SANTOS et al., 2010). A caracterização física do solo da área experimental encontra-se apresentada na (Tabela 1) de acordo com Silva et al. (2019).

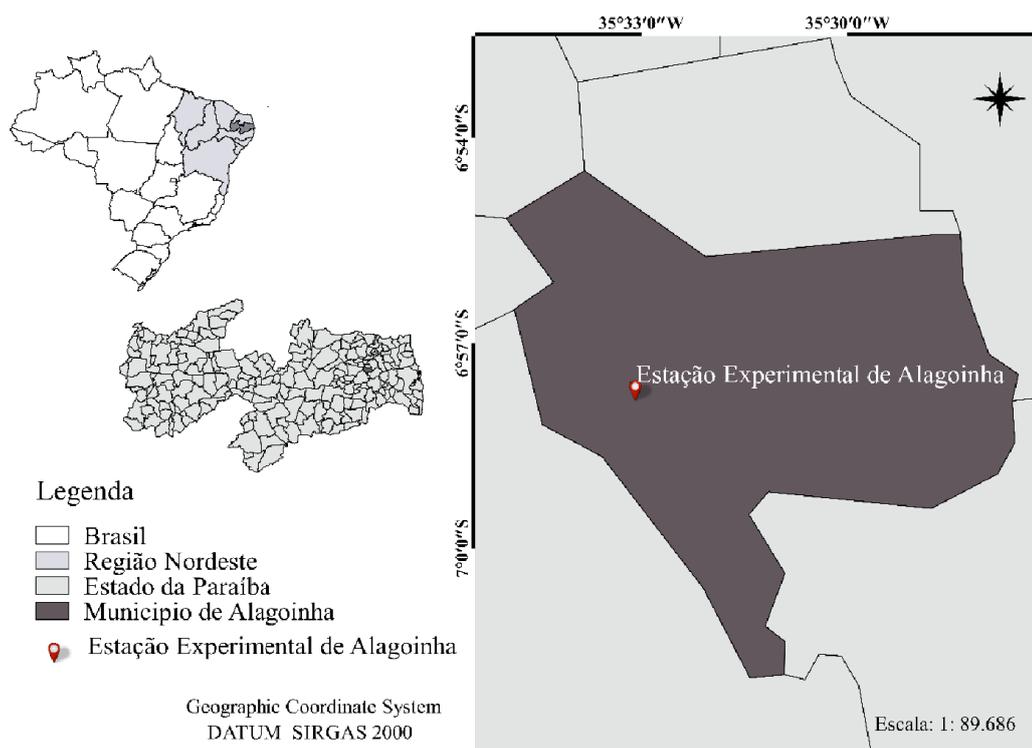


Figura 1 – Mapa de localização da estação experimental de Alagoinha.



Figura 2 – Imagens da área experimental, (A) Componente florestal e animal; (B) Vista panorâmica das parcelas experimentais.

Tabela 1 - Caracterização física do PlanossoloHáplico antecedente a implantação do experimento, camada de (0,00-0,20 m).

Areia	Silte	Argila	ADA	GF	Ds	Dp	PT	Classe Textural
----- g kg <sup>-1</sup> -----				%	--- g cm <sup>-3</sup> ---		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	
685	172	143	38	73,4	1,54	2,64	0,42	Franco Arenosa

ADA = Argila dispersa em água; GF = Grau de floculação; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade de partículas; PT = Porosidade total.

Tabela 2 - Caracterização de química do PlanossoloHáplico antecedente a implantação do experimento, camada de (0,00-0,20 m).

pH (H <sub>2</sub> O)	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	SB	CTC	COT
(1:2,5)	- mg dm <sup>-3</sup> -			----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----						g kg <sup>-1</sup>
5,7	6,98	194,00	0,03	4,46	0,00	2,71	1,17	4,47	8,87	9,10

SB = Soma de bases; CTC = Capacidade de troca de cátions; COT = carbono orgânico total.

## 2.1 Delineamento experimental e amostragem

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados (DBC) com cinco tratamentos e quatro repetições (5x4). Os tratamentos foram compostos pelos seguintes consórcios: 1) Gliricídia (*Gliricidiasepium*(Jacq.) Steud.) + *Brachiariadecumbens*; 2) Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) + *Brachiariadecumbens*; 3) Ipê amarelo (*Tabebuia alba* (chamiso) sandwith) + *Brachiariadecumbens*; 4) Milho (*Zeamays*L.) + *Brachiariadecumbens*; 5) *Brachiariadecumbens*. Cada parcela tem dimensão de 38 x 20 m, totalizando uma área de 760m<sup>2</sup>. Foram coletadas amostras de solo em duas camadas, 0-0,10 e 0,10-0,20m de profundidade. As variáveis resposta analisadas foram: Densidade do solo, porosidades (total, microporosidade e macroporosidade) e diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs).

## 2.2 Densidade do solo (Ds), porosidadetotal(PT), macroporosidade (Mac), microporosidade (Mi)

A densidade do solo (Ds), foi determinada através da relação entre a massa do solo seco/volume da amostra (GEE;BAUDER, 1986). Para a obtenção da massa do solo seco, a amostra de solo foi colocada em estufa a 105 °C por um intervalo de 48 horas até atingir o peso constante (TEIXEIRA et al., 2017). A porosidade total (PT) foi determinada pela umidade correspondente ao volume de saturação do solo (TEIXEIRA et al., 2017), conforme equação 1.

$$PT = \frac{Msat - Mseco}{Vt} \quad (1)$$

onde PT - é a porosidade total do solo (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>), Msat - massa de solo saturado (kg), Mseco - massa de solo seco a 105 °C (kg) e Vt - volume do cilindro (cm<sup>3</sup>). A microporosidade (Mi), foi obtida utilizando-se a mesa de tensão com o volume de água no potencial matricial de  $\Psi = 0,006$  kPa. A macroporosidade (Mac) foi obtida através da relação entre a porosidade total e a microporosidadedo solo (TEIXEIRA et al., 2017), equações 2 e 3:

$$Mi = \frac{Ms_{6\text{ kPa}} - Mss}{V} \quad (2)$$

$$\text{Mac} = \text{PT} - \text{Mi} \quad (3)$$

onde  $\text{Mi}$  - é a microporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),  $\text{Mss}$  (massa do solo seco a  $105^\circ \text{C}$ ),  $\text{PT}$  (porosidade total),  $\text{Mac}$  macroporosidade ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ),  $\text{Ms}$  6 kPa - massa do solo submetido ao potencial matricial de  $\Psi$  - 6 kPa na mesa de tensão ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ) e  $V$ - volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ ).

### 2.3 Estabilidade de agregados via seca

A separação dos agregados secos e o diâmetro médio ponderado de agregados secos (DMPAs) foram determinados de acordo com a metodologia proposta por Teixeira et al., (2017), fazendo a utilização de amostras com aproximadamente 50g de agregados com diâmetro de até 9,52 mm e posterior separação em peneiras com diferentes malhas: 2,00; 1,00; 0,50; 0,250; 0,106 e 0,053 mm, essa separação ocorre com o auxílio de um vibrador *ProduTest*<sup>®</sup>, durante um minuto. O DMPAs foi obtido através da equação 4.

$$\text{DMPAs (mm)} = \sum (X_{iu} \times W_{iu}) \quad (4)$$

onde DMPAs (mm) – diâmetro médio ponderado de agregados via seca,  $X_{iu}$  (mm) – diâmetro médio de cada classe de agregado por via úmida e  $W_{iu}$  (%) – proporção de agregados em cada classe de peneira (i) por via úmida.

### 2.4 Análise estatística dos dados

As médias das variáveis respostas foram analisadas por teste de agrupamento Skot e Kanott e realizou-se a análise de componentes principais utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Atributos físicos do solo

Na Figura 1, encontram-se apresentados os valores médios de densidade do solo ( $D_s$ ) para os tratamentos analisados. Constata-se que não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos avaliados para cada camada 0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. Verifica-se que os maiores valores de  $D_s$  encontram-se nas camadas mais profundas, a qual destaca-se o tratamento GLI+BRA com  $D_s$  de  $1,40 \text{ kg dm}^{-3}$ . Esses dados corroboram com o que foi constatado por Silva et al. (2017), ao observarem que o aumento da densidade do solo ocorre com o aumento da profundidade, devido a menor quantidade de raízes, redução da quantidade de matéria orgânica e, conseqüentemente, aumentada densidade do solo na camada subsuperficial.

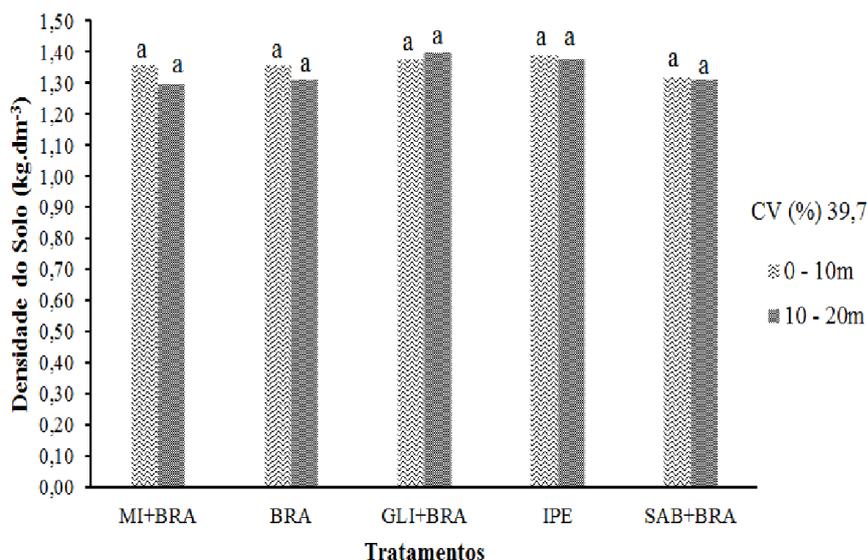


Figura 3 - Valores médios da densidade do solo em um Planossolo sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

Apesar disso, os valores de densidade do solo estão abaixo do valor crítico quando se considera a textura do solo em estudo, que varia de 1,70 a 1,80 kgdm<sup>-3</sup> (REICHERT et al., 2003). A densidade do solo, entretanto, é um atributo que merece atenção, por isso, é bastante considerada nas análises físicas do solo, pois causa alterações nos demais atributos, como é o caso da porosidade total, principalmente a macroporosidade. Santos et al. (2010) afirmam que quanto maior o valor da Ds, maior a compactação e menor será a estruturação do solo e sua porosidade total. Verifica-se, contudo, que o maior valor de Ds observado no solo sob esse experimento está 17,64% abaixo do valor de densidade crítica do solo (Figura 3) como detectado no tratamento composto por GLI+BRA (0,10-0,20 m).

Na Figura 2, observa-se os valores médios de porosidade total do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. Não houve diferença significativa ( $p > 0,05$ ) para o atributo porosidade total (PT), porém a porosidade total variou de 0,35 a 0,40 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>, onde o maior valor médio foi verificado no tratamento BRA nas duas profundidades avaliadas.

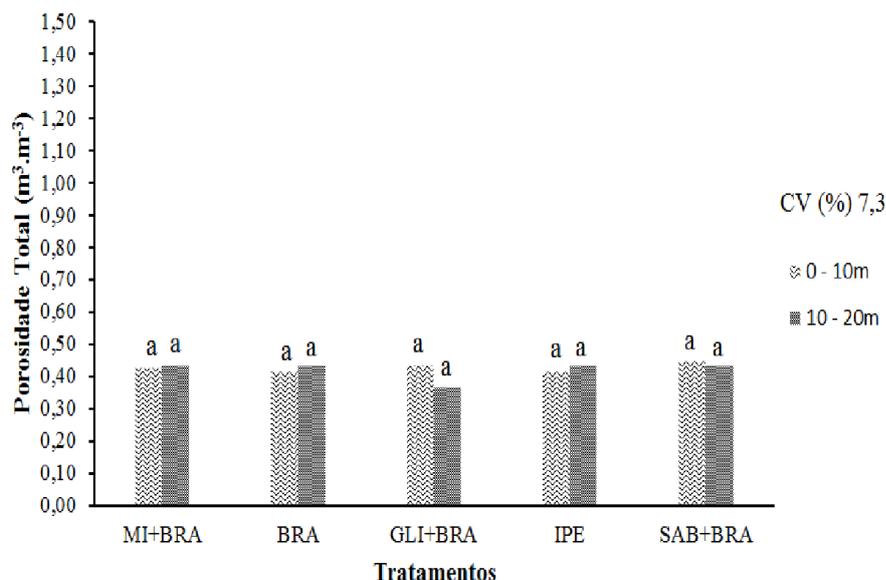


Figura 4 - Valores médios da porosidade total do solo em um Planossolo sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

Esses valores são pertinentes quando comparados com o que foi visto por Kiehl (1979), segundo o autor, um solo para se configurar como bom para a atividade agrícola deve apresentar porosidade total próxima a  $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . Um dos principais indicadores de qualidade do solo é a Mac, em função de sua sensibilidade as alterações estruturais do solo ocasionada pelo manejo, ou até mesmo pelas culturas. Neste trabalho, nas duas profundidades avaliadas (0-0,10 e 0,10-0,20 m), a maioria dos tratamentos apresentaram valores médios dentro da faixa adequada, que segundo Prevedello (1996) variade  $0,10$  a  $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ .

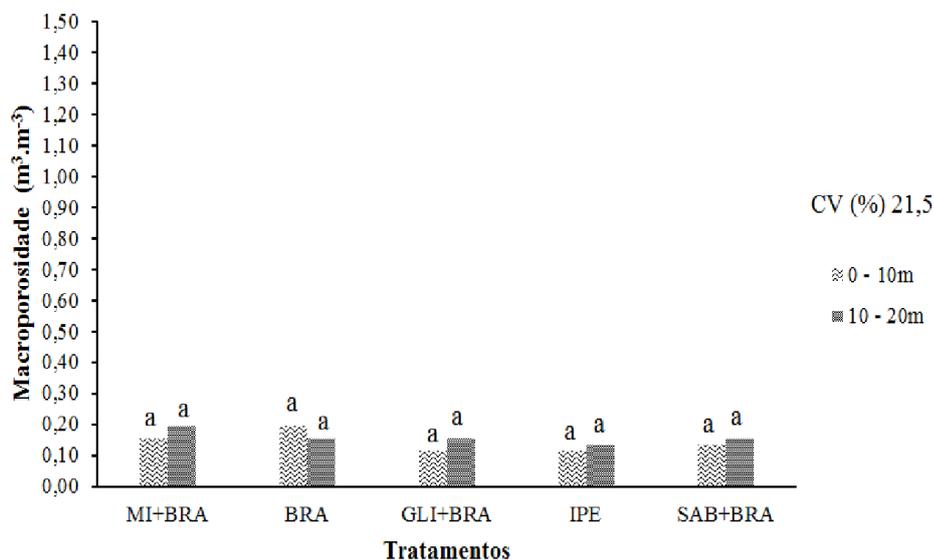


Figura 5 -Valores médios de macroporosidade do solo em um Planossolo sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

Apesar da variação entre os tratamentos ser mínima, os maiores valores de macroporosidade constatados nos tratamentos MI+BRA e BRA se devem certamente, a uma maior quantidade da fração areia nesse solo, diferente de solos com maiores teores de argila

que possuem relativamente maiores quantidades de microporos, como ressalta Silva et al. (2020) em estudo sobre a distribuição de poros por tamanho e sua relação com os parâmetros de ajustes da curva de retenção de água no solo.

Na Figura 4, têm-se os valores médios demicroporosidade. Não houve diferença significativa para este atributo nas profundidades de 0-0,10 m e 0,10-0,20 m, porém, é possível perceber que o tratamento que apresentou maior valor paramicroporosidade foi o de GLI+BRA na profundidade de 0-0,10 m, esse valor obtido vai de encontro com o observado por Silva et al. (2020) no solo da mesma área experimental, sendo possível dizer que a maior parte dos microporos estão na superfície e devido a textura do solo que possui maior concentração de areia.

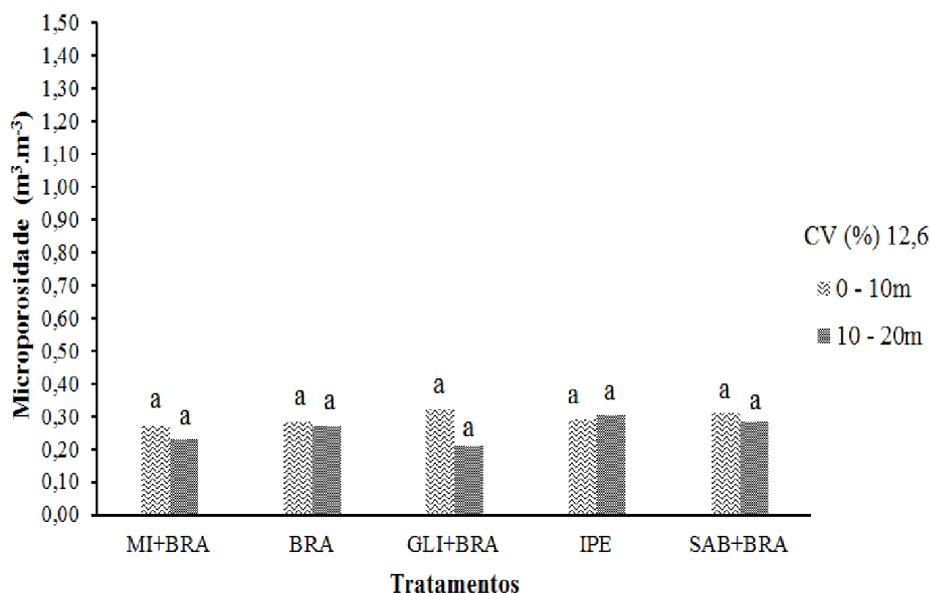


Figura 6 - Valores médios de microporosidade do solo em Planossolo sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta.

A análise de componentes principais (ACP) explicou 89,5% da variância total em seus dois primeiros eixos (CP1 e CP2) (Figura 7). Para o eixo 1, que aglutinou 46,4% da variância dos dados, observa-se a associação antagônica entre PT ( $r = 0,92$ ;  $p < 0,01$ ) e DS ( $r = -0,79$ ;  $p < 0,01$ ). Ou seja, quando aumenta PT, diminui DS. Nesse eixo, destacam-se GC+BD na profundidade de 0-0,10 m e IP+BD na profundidade de 0,10 a 0,20 m, com maiores valores de DS e menores valores de PT, e SB+BR na profundidade de 0-0,10 m, com comportamento inverso.

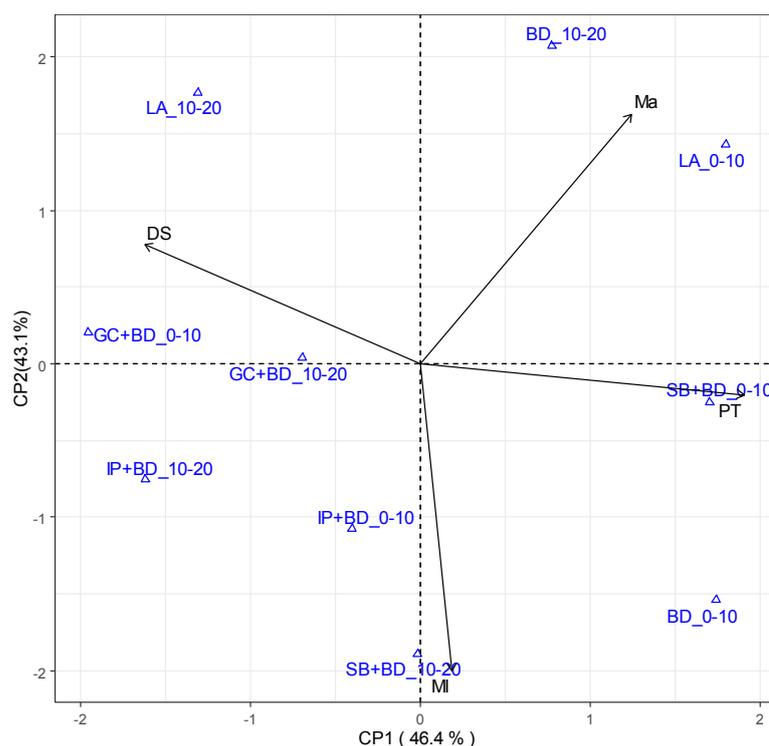


Figura 7 -Autovetores da análise de componentes principais para os atributos físicos de um Planossolo sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta com seis anos de implantação.

No eixo 2, que acumulou 43,1% da variância, verifica-se a relação inversa entre Ma ( $r = 0,79$ ;  $p < 0,01$ ) e Mi ( $r = -0,97$ ;  $p < 0,01$ ). Demonstrando que na mesma profundidade (0,10-0,20 m), o uso de SB+BD propiciou maior Mi e menor Ma, comportamento contrário ao observado com o uso de BD. Essa informação corrobora com Kondo et al. (2012) que estudando sobre os efeitos de coberturas vegetais sobre atributos físicos do solo verificou que a estrutura radicular desse tipo de gramínea causa mais efeito sobre os macroporos quando comparados aos microporos do solo. Estudando sobre os estoques de carbono e retenção hídrica em biomassa de gramíneas no Agreste da Paraíba, Silva et al. (2019) verificaram também que os grupos que possuem tratamentos com o gênero *Brachiaria* acumularam a maior parte da variância dos dados que foram avaliados, assim como neste trabalho, a qual as maiores variâncias acumuladas estiveram nos grupos representados pelos tratamentos com a mesma gramínea.

### 3.2 Diâmetro médio ponderado de agregados

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios de diâmetro médio ponderado de agregados secos, macroagregados e microagregados. Não houve variação significativa entre os tratamentos, apesar disso, observa-se que os valores são diretamente proporcionais a profundidade, ou seja, quanto maior a profundidade, maior o valor de DMPAs. Isso se deve, provavelmente, a fração argila que tem um destaque maior nas camadas mais profundas do solo. Os dados obtidos por Silva et al. (2014) estão coniventes com o que foi encontrado neste estudo, segundo os autores a textura é uma característica que afeta a estabilidade e a formação dos agregados do solo, nesse sentido, solos com maiores quantidades de argila favorecem uma melhor agregação do solo.

Tabela 4 -Valores médios diâmetro médio ponderado, macroagregados e microagregados do solo sob integração Lavoura-Pecuária.

Sistema	DMPAs	Macro	Micro
	mm	%	
		<u>0 – 0,10 m</u>	
MI+BRA	2,69 a	83,99 a	16,01 a
BRA	3,19 a	86,89 a	17,37 a
GLI+BRA	2,25 a	73,33 a	26,67 a
IPE	2,59 a	83,86 a	16,14 a
SAB+BRA	2,41a	77,11 a	22,89 a
		<u>0,10 – 0,20 m</u>	
MI+BRA	2,72 a	83,65 a	15,35 a
BRA	2,87 a	83,40 a	16,60 a
GLI+BRA	2,46 a	73,38 a	26,62 a
IPE	3,15 a	84,07 a	15,93 a
SAB+BRA	2,79 a	82,63 a	13,11 a

DMPAs: diâmetro médio ponderado de agregados secos; Macro: macroagregados; Micro: microagregados.

No tocante aos macroagregados com diâmetro > 0,25 mm, a maior quantidade foi observada no tratamento BRA na profundidade de 0-0,10 m, um percentual de 86,89%. Salton et al. (2008) estudando agregação do solo, observaram que a formação de macroagregados está relacionada a presença de raízes, que possuem maior expressão sob pastagem de gramíneas, a qual confirma o que foi verificado neste trabalho, já que o maior valor de macroagregados corresponde ao tratamento com gramínea.

Em relação aos microagregados do solo, não houve diferença estatística significativa, mas o tratamento que apresentou maior quantidade de microagregados nas duas profundidades foi o GLI+BRA sendo 26,67% e 26,62% nas profundidades de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente, sendo que em superfície esse valor ainda foi maior, corroborando com o que foi encontrado por Nóbrega (2020) a qual estudando essa mesma área observou que o tratamento de GLI+BRA apresentou resultados menos favoráveis para as variáveis como microagregados e macroagregados, indicando uma estabilidade agregada menor entre os tratamentos. Foi possível constatar que, com o aumento da profundidade os valores de microagregados reduziram entre os tratamentos, fato que também foi percebido por Silva et al. (2019) estudando essa mesma área.

Para o diâmetro médio ponderado dos agregados, a ACP explicou 93,9% da variância, estando essa concentrada principalmente no eixo 1, com 62,2% da explicação dos dados (Figura 8). Para esse eixo, associaram-se significativamente DMPAs ( $r = 0,86$ ;  $p < 0,01$ ), u-Macro ( $r = 0,83$ ;  $p < 0,01$ ), s-Macro ( $r = 0,74$ ;  $p < 0,05$ ), DMPAu ( $r = 0,69$ ;  $p < 0,01$ ) e que se correlacionaram negativamente com s-Micro ( $r = -0,74$ ;  $p < 0,01$ ) e u-Micro ( $r = -0,83$ ;  $p < 0,01$ ). Ou seja, quando esses dois últimos aumentam, os outros diminuem e vice-versa.

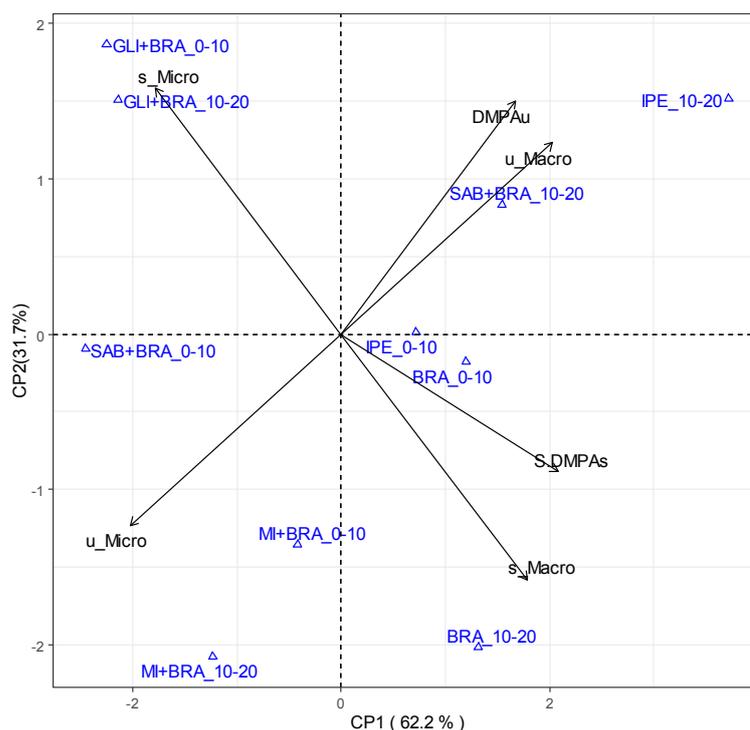


Figura 8 - Autovetores da análise de componentes principais para diâmetro médio ponderado de agregados em um Planossolo sob sistema de integração Lavoura-Pecuária-Floresta com seis anos de implantação.

No eixo 2, por sua vez, com 31,7% da variância, evidencia-se o comportamento antagônico entre  $s_{Micro}$  ( $r = 0,65$ ;  $p < 0,05$ ) e  $s_{Macro}$  ( $r = -0,65$ ;  $p < 0,01$ ). Demonstrando, que tratamentos com GLI+BRA nas duas profundidades possuem maior  $s_{Micro}$  e menor  $s_{Macro}$ , o inverso ao obtido com BRA isoladamente e em associação com BRA na profundidade de 10 a 20 cm. Esse resultado corrobora com o que Silva et al. (2019) estudaram, pois estes afirmam que pelas gramíneas terem facilidade de se adaptar aos tipos de sistemas de produção, podem contribuir com a fixação de carbono, logo, auxiliando na agregação do solo. De acordo com Melo et al. (2017) deve-se levar em consideração também, a textura do solo, que influencia na agregação e grau de estabilidade dos agregados, solos argilosos ou muito argilosos, por exemplo, desempenham grande influência na agregação das partículas, apresentando um percentual de macroagregados maior, como constatado neste trabalho. No caso do presente estudo, foi possível observar que com a instalação do experimento os atributos físicos do solo e a agregação do mesmo sofreu melhorias, constatando que os sistemas de integração são eficientes para a promoção da qualidade física do solo.

#### 4. CONCLUSÕES

A densidade e a porosidade do solo na integração lavoura-pecuária-floresta implantada no agreste paraibano não apresentaram variação significativa após um período de seis anos.

Os maiores valores de agregação foram constatados em maiores profundidades, sendo que, o maior valor encontrado é correspondente ao tratamento com *Brachiaria decumbens*, que por ser uma gramínea e estar diretamente relacionada com a presença de raízes.

## Referências

- 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, n. 4, p. 382-388, 2009.
- BALBINO, L. C.; COREIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.10, p.1-12, 2011.
- CORTEZ, J. W.; ALVES, A. D. S.; MOURA, M. R. D.; OLSZEWSKI, N.; NAGAHAMA, H. J. Atributos físicos do Argissolo Amarelo do semiárido nordestino sob sistemas de preparo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, p. 1207-1216, 2011.
- GEE, G. W.; J.W. BAUDER. Particle Size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part I*. A. KLUTE (ed.) 9nd. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-411.
- GOMES, G. H. J.; PEREIRA, M. G.; FRANCELINO, M. R.; LARANGEIRA, J. P. B. Physical and chemical attributes of soil on gully erosion in the Atlantic forest biome. *Revista Ambiental e Água*, v. 15, n. 2, e2459, 2020.
- IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.
- KIEHL, E. J. Manual de edafologia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.
- KONDO, M. K.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; WENDLING, B.; CARDOSO, M. M. Efeito de coberturas vegetais sobre os atributos físicos do solo e características agronômicas do sorgo granífero. *Bioscience Journal*, v. 28, n. 1, p. 33-40, 2012.
- MELO, M. L.; BATISTA, A.; ARAÚJO, G.; SILVA, B.; VIANA, M. Estabilidade de agregados em solo cultivado com capim tifton 85 sob irrigação e formas de suprimento de N. *Enciclopédia Biosfera*, v. 14, n. 25, p. 530-543, 2017.
- MOREIRA, W. H.; TORMENA, C. A.; BETIOLI JÚNIOR, E.; PETEAN, L. P.; ALVES, S. J. Influência da altura de pastejo de azevém e aveia, em atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico após sete anos de integração lavoura-pecuária. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 4, p. 1315-1326, 2014.

NÓBREGA, C. C. Atributos Físicos de um Planossolo Háptico sob sistema de Integração lavoura-pecuária-floresta para agricultura familiar no Agreste Paraibano. 2020. 164 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2020.

PREVEDELLO, C. L. Física do solo com problemas resolvidos. Curitiba: Salesward-discovery, 1996. 446p.

RAMOS, M. R.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; DEDECK, R. A.; VEZANI, F. M.; ALMEIDA, L.; SPERRIN, M. Soil, water and nutrient loss under conventional and organic vegetable production managed in small farms versus forest system. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, v. 115, n. 1, p. 131–40, 2014.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente*, v. 27, n. 1, p. 29-48, 2003.

RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; BRITO, O. R.; LLANILO, R. F.; FERREIRA, R. Compactação do solo: Causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, v.26, n. 3, p.321-344, 2005.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32 n. 1, p. 11-21, 2008.

SANTOS, J. T.; ANDRADE, A. P.; SILVA, I. F.; SILVA, D. F.; SANTOS, E. M.; SILVA, A. P. G. Atributos físicos e químicos do solo de áreas sob pastejo na microrregião do Brejo paraibano. *Ciência Rural*, v. 40, n. 12, p. 2486-2492, 2010.

SILVA, A. S.; SILVA, I. F.; BANDEIRA, L. B.; DIAS, B. O.; SILVA NETO, L. F. Argila e matéria orgânica e seus efeitos na agregação em diferentes usos do solo. *Ciência Rural*, v. 44, n. 10, p. 1783-1789, 2014.

SILVA, M. P.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ABRANTES, F. L.; BERTI, C. L. F.; SOUZA, L. C. D. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 12, n. 1, p. 60-67, 2017.

SILVA, P.L.F.; NASCIMENTO, R. S. Balanço hídrico climatológico e índice de aridez para municípios da microrregião de Guarabira, Paraíba. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 14, n. 2, p. 125-139, 2020.

SILVA, P.L.F.; OLIVEIRA, F. P.; PEREIRA, W. E.; BORBA, J. O. M.; TAVARES, D. D.; SANTOS, T. E. D.; MARTINS, A. F. Estoques de carbono e retenção hídrica em biomassa de gramíneas no agreste da Paraíba. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 13, n. 2, p. 155-167, 2019.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; AMARAL, A. J.; PEREIRA, W. E.; MARTINS, A. F.; TAVARES, D. D. Distribuição de poros por tamanho e sua relação com os parâmetros de ajustes da curva de retenção de água no solo. *Agri-environmental Sciences*, v. 6, n. 13, e020011, 2020.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; TAVARES, D. D.; NÓBREGA, C. C.; AMARAL, A. J. Water Availability in a Planosol under integrated Crop-Livestock-Forestry system in the Agreste region of Paraíba, Brazil. *Revista Caatinga*, v. 32, n. 2, p. 449-457, 2019.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos e análise de solos. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.

ZONTA J. H.; SOFIATTI, V.; SILVA, O. R. R. F.; RAMOS, E. N.; BARBOSA, H. F.; CORDEIRO JUNIOR, A. F.; LIRA, A. J. S. Sistema Integração Lavoura-Pecuária (ILP) para a região Agreste do Nordeste. Campina Grande: EMBRAPA Algodão. 2016. 26 p.

Recebido em: 20/05/2022

Aceito em: 16/09/2022

Endereço para correspondência:

Nome Bruna Thalia Silvair Sabino

Email: bruna.thalia18@hotmail.com



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)