

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARCOS VINÍCIUS RAMPI COSTA

**INFLUÊNCIA DO VOLUME DA AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DE
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO**

PATO BRANCO

2022

MARCOS VINÍCIUS RAMPI COSTA

**INFLUÊNCIA DO VOLUME DA AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DE
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO**

Influence of the core size in the evaluation of physical attributes of the soil

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Agronomia do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Rachel Muylaert Locks Guimarães,
Prof.^a Dr.^a

Coorientadora: Vacilania Pacheco, M.Sc.

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARCOS VINÍCIUS RAMPI COSTA

**INFLUÊNCIA DO VOLUME DA AMOSTRA PARA DETERMINAÇÃO DE
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia do Curso de Agronomia
do *Campus* Pato Branco da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 24/novembro/2022

Rachel Muylaert Locks Guimarães
Doutora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Ricardo da Rocha Campos
Doutor
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Esmailson Moreira dos Santos
Mestrando
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2022

Dedico este trabalho à minha família e
minha esposa por todo apoio.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado nestes anos e me dado forças em todos estes dias.

Agradeço a minha orientadora Prof. Dr.^a Rachel Muylaert Locks Guimarães, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala que sempre estiveram comigo em todos os momentos, agradeço por todas as risadas e descontrações e principalmente pela amizade que daqui levamos para a vida.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento aos meus pais, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Agradeço também a mulher a qual tive a alegria de neste ciclo final de graduação, me casar. Obrigado por tudo até aqui, seu apoio me deu forças em todos os momentos.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Agradeço ao LABSOLOS pelo auxílio na construção do conhecimento e nas análises efetuadas para esse trabalho.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

A sabedoria oferece proteção, como o faz o dinheiro, mas a vantagem do conhecimento é esta: a sabedoria preserva a vida de quem a possui.
(Ec7:12)

RESUMO

A qualidade do solo é um dos principais fatores para o desenvolvimento de plantas, no entanto, é imprescindível ter boas características físicas para não limitar o crescimento das raízes. O objetivo deste trabalho foi comparar a influência dos diferentes tamanhos de cilindros volumétricos nas propriedades físicas do solo. Foram testados quatro volumes de amostras 85 cm³ (A), 100 cm³ (B), 141 cm³ (C) e 221 cm³ (D), que foram cravados no solo com auxílio de um amostrador. A amostragem foi realizada na profundidade de 2—7 cm, com 18 repetições. Foram avaliados a densidade; porosidade total; macroporosidade; microporosidade; e resistência à penetração em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico. Efetuou-se uma análise descritiva dos dados, sendo a normalidade dos dados verificada com o teste de Shapiro-Wilk, em nível de 5% de probabilidade, sendo os outliers detectados e removidos. O volume dos cilindros foi comparado utilizando-se o intervalo de confiança observando a relação entre as variáveis (coeficiente de determinação). O cilindro de 221 cm³ pode ser considerado o volume que melhor representa a estrutura do solo para coleta de amostras indeformadas.

Palavras-chave: densidade; estrutura do solo; porosidade.

ABSTRACT

Soil quality is one of the main factors for plant development, however, it is essential to have good physical characteristics of the soil so as not to limit root growth. The objective of this work was to compare the influence of different sizes of volumetric cylinders on the physical properties of the soil. Four sample volumes 85 cm³ (A), 100 cm³ (B), 141 cm³ (C) and 221 cm³ (D) were tested, which were embedded in the soil with the aid of a sampler. Sampling was carried out at a depth of 2–7 cm, with 18 repetitions. Density was evaluated; total porosity; macroporosity; microporosity; and penetration resistance in a Dystroferric RED LATOSOL. A descriptive analysis of the data was carried out, and the normality of the data was verified with the Shapiro-Wilk test, at a 5% probability level, and outliers were detected and removed. The volume of the cylinders was compared using the confidence interval, observing the relationship between the variables (determination coefficient). The 221 cm³ cylinder can be considered the volume that best represents the soil structure for collecting undisturbed samples.

Keywords: density; soil structure; porosity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cilindros utilizados de volumes 85 cm ³ (A), 100 cm ³ (B), 141 cm ³ (C) e 221 cm ³ (D).....	21
Figura 2 – Penetrômetro eletrônico automático de bancada com cilindro de 141 cm ³	22
Figura 3 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Densidade do Solo (Ds).....	24
Figura 4 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Porosidade Total (Pt).....	25
Figura 5 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Microporosidade (Mic).....	26
Figura 6 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Macroporosidade (Mac).....	26
Figura 7 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Resistência à Penetração (RP).....	27
Figura 8 – Gráficos de média e intervalo de confiança para 18 amostras.....	28
Figura 9 – Gráficos de média e intervalo de confiança para 10 amostras.....	29
Figura 10 – Gráficos de média e intervalo de confiança para 4 amostras.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores referentes a regressão (N18) para as variáveis densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e resistência à penetração (RP).	31
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MO	Matéria Orgânica
Ds	Densidade do Solo
Pt	Porosidade Total
Mic	Microporosidade
Mac	Macroporosidade
RP	Resistência do Solo à Penetração
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
PR	Unidade da Federação – Paraná
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

m ³	Metro Cúbico
mm	Milímetros
mL	Mililitros
Mg	Megagrama
s	Segundos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Geral.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	Densidade do solo.....	17
3.2	Porosidade.....	17
3.3	Resistência mecânica do solo à penetração.....	18
3.4	Amostragem.....	19
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	24
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	32
	REFERÊNCIAS.....	33
	APÊNDICE A – Valores de média e intervalo de confiança para 4, 10 e 18 amostras.....	36

1 INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores para o desenvolvimento de plantas é a qualidade do solo, no entanto, é imprescindível ter boas características físicas para não limitar o crescimento das raízes.

De acordo com Siqueira *et al.* (2008), em diversos tipos de manejo na agricultura é possível evidenciar seus efeitos na estrutura do solo, trazendo benefícios ou reduzindo sua qualidade. Dois atributos físicos podem ser destacados por serem indicadores de qualidade de solo sendo eles a porosidade e a densidade, por indicarem as alterações na sua estrutura e inclusive equívocos na amostragem.

Para obtermos uma avaliação da qualidade física do solo, é necessário a obtenção de amostras com estrutura preservada, ou seja, amostras que apresentem uma estrutura física com alto grau de conservação, mantendo a organização dos agregados e a distribuição de poros de acordo com as características da área em que foram retiradas. Portanto, para que se avalie a qualidade física do solo, é preciso que as amostras reproduzam a sua condição física original, a qual pode ter sido modificada pelo manejo adotado na área (MACHADO *et al.*, 2018)

A técnica para avaliar a qualidade física do solo mais comumente utilizada é a coleta de amostras indeformadas, utilizando cilindros metálicos volumétricos, que são introduzidos no solo por aplicação de uma pressão mecânica, de impacto (KLEIN, 2014). Teixeira *et al.* (2017) recomenda a utilização de anéis metálicos com bordas cortantes para que a inserção no solo seja facilitada. Esta inserção é auxiliada por um martelo para que se obtenha pressão nas extremidades do cilindro. Machado *et al.* (2018) ressalta que, “com a utilização deste método, os anéis podem desestruturar, causando assim uma alteração na amostra e comprometendo a qualidade física da mesma”.

Em pesquisas conduzidas por Figueiredo (2010), a técnica em que se utiliza equipamento eletromecânico pode garantir amostras com alto nível de integridade em solos argilosos, contudo requer equipamento de maior nível tecnológico e as amostragens levam cerca de 50% a mais de tempo para ser realizadas.

Erros cometidos no momento da amostragem, como padronização da profundidade de avaliação, heterogeneidade da área, coleta realizada por diversas pessoas, posicionamento incorreto do equipamento para coleta, equipamentos com

danos/defeitos, bem como volume de solo coletado, podem comprometer os resultados das avaliações. Desta forma, a utilização de uma boa metodologia é essencial para obtenção de resultados fiéis a real condição do solo estudado (SIQUEIRA; VIEIRA; CEDDIA, 2008).

Segundo Jamison *et al.* (1950), um acréscimo no tamanho do amostrador pode aumentar muito sua eficácia, pois um diâmetro do cilindro muito reduzido, pode introduzir um erro inerente decorrente da compactação do solo ao longo da interface entre o cilindro e o plano de corte do solo. Grossman e Reinsch (2002) recomendam que as medidas de anéis para obtenção de amostras indeformadas não sejam inferiores a 75 mm e, de preferência, 100 mm de diâmetro e que a altura do cilindro não exceda o diâmetro, isso porque à medida que são duplicadas medidas de altura e diâmetro, proporcionalmente aumentará a eficácia do amostrador.

Não somente o método de amostragem, mas também o tamanho do anel, são importantes na obtenção de amostras não perturbadas, podendo o tamanho do amostrador aumentar muito sua eficácia.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar se o tamanho do anel amostrado influencia no valor dos atributos físicos do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Verificar o qual é melhor volume de cilindro que para determinar valores das propriedades físicas do solo: densidade do solo; porosidade total; macroporosidade; microporosidade; e resistência mecânica do solo à penetração.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A ideia de se produzir mais com menos é algo que está cada vez mais presente na agricultura pois existe uma necessidade de suprir a demanda requisitada em diversos setores da economia. O principal fator para se implantar uma cultura é a área, ou seja, o solo onde as plantas irão se desenvolver, no entanto, elas precisam de uma boa condição deste ambiente, possível de alcançar com uma boa qualidade dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (ZABOT, 2014).

De acordo com Silva *et al.* (2017), a produtividade de uma lavoura é afetada diretamente pelo solo, logo, tem-se a necessidade de implantar um manejo que evite a degradação de sua estrutura pois é neste local onde as raízes irão se desenvolver e obter nutrientes. Um solo compactado, dificilmente conseguirá suportar vida, pois os seus poros não conseguirão reter nem disponibilizar água, ar e nutrientes para as plantas adequadamente. Redução da porosidade, aumento de densidade e resistência à penetração são alguns dos atributos físicos que caracterizam compactação do solo. Caso estes fatores estejam afetando negativamente a produção, os custos da lavoura serão maiores pela necessidade de reparação do solo degradado. A matéria orgânica (MO) também é um componente essencial responsável por auxiliar na melhoria da qualidade do solo, pois influi diretamente na caracterização, na densidade, porosidade e infiltração da água do solo (ZABOT, 2014).

Dos indicadores físicos de qualidade do solo que são usados atualmente são eles a “textura; espessura (horizonte A; solum); densidade do solo; resistência à penetração; porosidade; capacidade de retenção d’água; condutividade hidráulica; e estabilidade de agregados” (ARAÚJO *et al.*, 2012).

Visto que a qualidade do solo não é definida apenas pelos fatores naturais de formação, é preciso levar em conta que a interferência humana com o uso de máquinas e implementos no manejo pode alterar as condições físicas e conseqüentemente a sua qualidade (ZABOT, 2014).

3.1 Densidade do solo

A densidade de solo (D_s), segundo Marcolin e Klein (2011) pode ser definida como “uma relação entre massa de solo seco e seu volume, sendo, portanto, afetada por modificações na estrutura e no arranjo e volume dos poros.” Logo, a densidade do solo é influenciada diretamente pela sua composição física.

Zabot (2014) destaca que a D_s pode ser modificada por questões antrópicas, como utilização de maquinário, implementos pesados e a presença de animais de grande porte. Estas práticas podem se tornar mais danosas quando houver condição de umidade no solo, pois a compactação será favorecida.

A densidade do solo depende principalmente de sua classe textural. A densidade do solo crítica para classe de solo argiloso, ou seja, a densidade a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que reduz ou impede o crescimento radicular das plantas, está entre 1,30 a 1,40 $Mg\ m^{-3}$ (REICHERT *et al.*, 2009; REICHERT; REINERT; BRAIDA, 2003).

3.2 Porosidade

A estrutura e a textura do solo originam a porosidade do solo, esta pode ser classificada pelo arranjo das partículas e suas classes de tamanho. As classes de tamanho são conhecidas como macroporos, onde circulam ar, água e onde as raízes se desenvolvem, ou seja, são responsáveis pela aeração e drenagem e os microporos que agem como retentores de água (AGUIAR, 2008).

A porosidade total é uma propriedade que regula a erosividade, a capacidade de retenção e transporte de água no solo (ARAÚJO *et al.*, 2012). De acordo com Brady (1984), o intervalo considerado ótimo de porosidade total para solos de textura fina varia de 0,40 m^3 a 0,60 m^3 . As partículas de maior diâmetro, como a areia), principal componente dos solos arenosos, tornam o espaço macroporoso maior, diferentemente dos solos argilosos, que possuem maior microporosidade, devido ao menor tamanho de seus poros (KLEIN, 2005).

Reinert e Reichert (2003) destacam que, “a microporosidade é uma classe de tamanho de poros que, após ser saturada em água, a retém contra a gravidade.

Os macroporos, ao contrário, após serem saturados em água não a retém, ou são esvaziados pela ação da gravidade”. Ainda, para estes autores, a aeração é um fator bastante importante na qualidade dos solos, pois, para suportar vida, estes precisam de espaço poroso para que haja circulação de oxigênio, fazendo com que supra a necessidade dos diferentes organismos que vivem nos solos.

Os cultivos agrícolas podem modificar a estrutura dos solos, e conseqüentemente, sua porosidade, aumentando a D_s . Com a introdução de máquinas pesadas e implementos agrícolas em uma área, ocorre a compressão dos poros, fator desencadeante da compactação do solo, que acarreta a dificuldade de retenção e disponibilidade de água para as culturas, além de elevar a resistência à penetração (RP), impedindo o bom desenvolvimento de raízes (ZABOT, 2014). Estes fatores causam um desbalanço na proporção de macro e microporos, reduzindo a porcentagem de macroporos e, conseqüentemente, causando os numerosos problemas citados anteriormente. De acordo com Reynolds *et al.* (2009), é recomendado que o solo tenha uma capacidade de aeração igual ou superior a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, pois valores abaixo desta faixa são limitantes para a difusão de oxigênio, comprometendo tanto o crescimento e desenvolvimento radicular como também a atividade microbiana do solo.

3.3 Resistência mecânica do solo à penetração

De acordo com Klein *et al.* (2009), o nível de crescimento das raízes está intimamente ligado à resistência à penetração (RP), isto se deve ao fato de que um solo com RP alta não consegue dar condições físicas para uma planta emergir, pois para que haja alongação, é necessário que partículas do solo se desloquem. Além disso, a RP é dependente da densidade e da umidade do solo, ou seja, onde há RP alta, há alta D_s , e o conteúdo de umidade do solo é baixo, e vice-versa. Estes fatores afetarão diretamente o crescimento de raízes e emergência de plântulas, pois suas necessidades por água e nutrientes não serão supridas.

Com isso, Klein *et al.* (2009), afirma que “a determinação da RP se apresenta como uma metodologia alternativa para detecção dessas alterações nas propriedades físicas do solo”. No entanto, é possível dizer que através da RP consegue-se ter uma visão sobre o histórico do solo e os tipos de manejo utilizados,

visto que a alteração das propriedades físicas pode ser afetada pelos diferentes sistemas de preparo. Salienta-se que a RP destaca mais divergências na estrutura do solo comparado à Ds.

Tavares Filho e Ribon (2008) ressaltam que para que seja possível avaliar os efeitos dos manejos do solo em sua estrutura e no desenvolvimento da parte aérea e raízes das plantas, é necessário que haja monitoramento em vários ciclos das culturas, pois assim, pode-se acompanhar o nível de compactação do solo pela determinação da RP, evitando possíveis danos e também agregando valor às pesquisas de campo.

3.4 Amostragem

Quando se tem o objetivo de obter uma avaliação da qualidade física do solo, é necessário a obtenção de amostras com estrutura preservada, ou seja, amostras que apresentem uma estrutura física com alto grau de conservação, mantendo a organização dos agregados e a distribuição de poros de acordo com as características da área em que foram retiradas. Em resumo, para que se avalie a qualidade física do solo, é preciso que as amostras reproduzam a sua condição física original, esta que pode ter sido atingida e modificada pelo manejo adotado na área (MACHADO *et al.*, 2018).

De acordo com Silva (2019), análises defeituosas são fruto de amostragens inadequadas, logo, os resultados, interpretações e recomendações serão equivocadas. No entanto, é indispensável que se tenha uma amostragem adequada, que envolve o modo de coleta, quantidade de amostras e homogeneidade da área coletada.

Amostras indeformadas são aquelas que podem ser retiradas do solo com a utilização de anéis volumétricos de determinado volume e devem apresentar os horizontes ou camadas que objetivam a pesquisa. As amostras necessitam ser extraídas sem deformação, ou, pelo menos, o mínimo possível (IBGE, 2015). Para isso, Teixeira (2017) recomenda a utilização de anéis metálicos com bordas cortantes para que a inserção no solo seja facilitada. Esta inserção é auxiliada por um martelo para que se obtenha pressão nas extremidades do cilindro. Machado *et al.* (2018) resalta que, “com a utilização deste método, os anéis podem

desestruturar, causando assim uma alteração na amostra e comprometendo a qualidade física da mesma". Em pesquisas conduzidas por Figueiredo (2010), a técnica em que se utiliza equipamento eletromecânico pode garantir amostras com alto nível de integridade em solos argilosos, contudo requer equipamento de maior nível tecnológico e as amostragens levam cerca de 50% a mais de tempo para ser realizadas.

Apesar dos pontos negativos citados acima, um acréscimo no tamanho do amostrador pode aumentar muito sua eficácia, pois um diâmetro do cilindro muito reduzido, pode introduzir um erro inerente decorrente da compactação do solo ao longo da interface entre o cilindro e o plano de corte do solo (JAMISON; WEAVER; REED, 1950). Topp *et al.* (1993) recomendam que as medidas de anéis para obtenção de amostras indeformadas não sejam inferiores a 75 mm e, de preferência, 100 mm de diâmetro e que a altura do cilindro não exceda o diâmetro, para valores de densidade do solo, isso porque a medida em que são duplicadas medidas de altura e diâmetro, proporcionalmente aumentará a eficácia do amostrador.

Com base nas afirmações apresentadas, é imprescindível a obtenção e condução de uma amostragem adequada, pois, esta será responsável pelas decisões sobre a área analisada, visto que qualquer resultado equivocado pode elevar os custos da propriedade, podendo torná-la inviável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

As coletas foram realizadas na área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Pato Branco. O solo é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (CUNHA *et al.*, 2006). O clima é classificado como subtropical úmido (Cfa), com chuvas bem distribuídas durante o ano, com média de 2075 mm ao ano.

Foram testados quatro tamanhos de amostras diferentes: um cilindro de 3 cm de altura e com diâmetro de 6 cm (A) e três cilindros de metal de 5 cm de altura e com diâmetro de 5 (B), 6 (C) e 7,5 cm (D), com os respectivos volumes: 85 cm³ (A), 100 cm³ (B), 141 cm³ (C) e 221 cm³ (D) (Figura 1). Foram cravados no solo com auxílio de um amostrador. A amostragem foi realizada na profundidade de 2—7 cm, com 18 repetições cada. Estas 18 amostras foram organizadas em grupos para mostrar a diferença no número de amostras, sendo as 4 primeiras, as 10 e as 18 amostras respectivamente, formando 3 grupos, ou seja, simulando um valor de amostragem mínimo com 4, depois aumentando para 10 e por fim com 18.

Figura 1 – Cilindros utilizados de volumes 85 cm³ (A), 100 cm³ (B), 141 cm³ (C) e 221 cm³ (D)



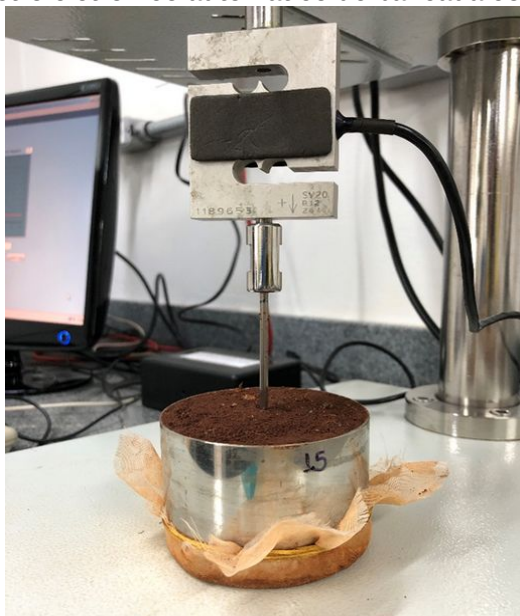
Fonte: Acervo do autor (2021).

No laboratório de física do solo da UTFPR as amostras foram previamente ajustadas ao volume do cilindro e adicionado de 4 a 8 mL de solução de formaldeído a 4%, para eliminação de organismos vivos. A saturação foi realizada de maneira gradativa com água até a total submersão, durante 48 h (CRAWFORD, 2015). Em

seguida, pesadas e submetidas à mesa de tensão a um potencial de -6 kPa. Após o equilíbrio, as amostras foram novamente pesadas e secas em estufa a $\pm 105^{\circ}\text{C}$ por 72 h, onde foi realizada a última pesagem. A porosidade total foi determinada pela diferença de massa entre o solo saturado e o solo seco, enquanto a microporosidade obtida a partir do volume de água retido nas amostras indeformadas de solo submetidas à tensão de -6 kPa equivalente a capacidade de campo deste solo. A macroporosidade foi determinada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

A densidade do solo foi determinada pelo método do volume conhecido (KLEIN, 2014).

Figura 2 – Penetrômetro eletrônico automático de bancada com cilindro de 141 cm³



Fonte: Acervo do autor (2021).

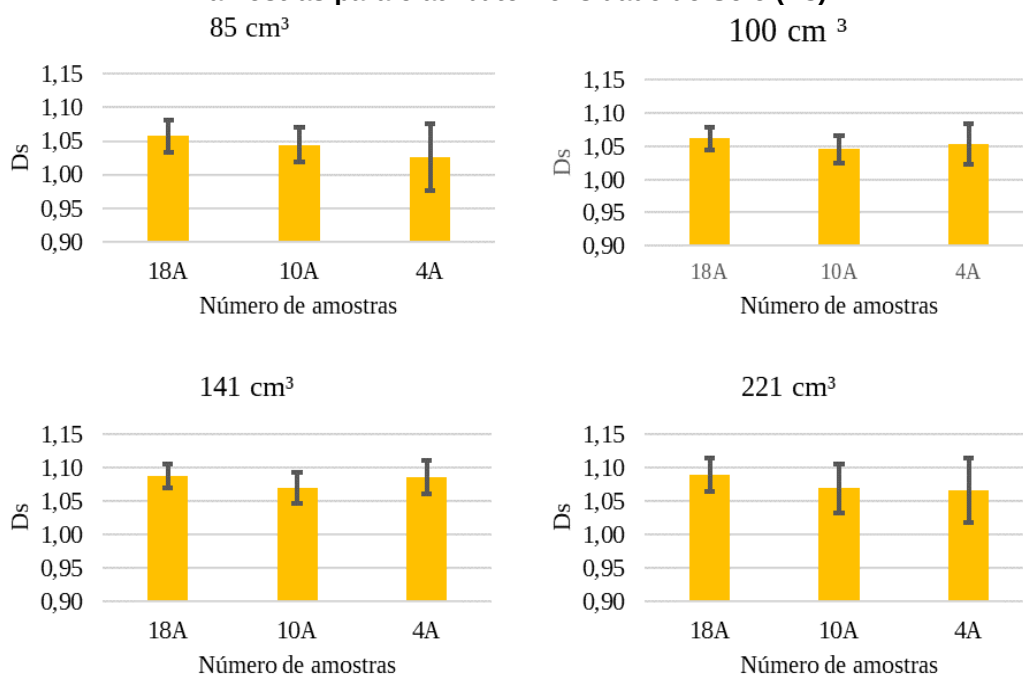
A resistência mecânica do solo a penetração foi determinada utilizando um penetrômetro eletrônico automático de bancada, com haste de penetração de ponta cônica com diâmetro de 3 mm, ângulo de 30° , em velocidade constante de $0,0667 \text{ mm s}^{-1}$ e leitura a cada 1 s (Figura 2). Foi realizada uma repetição por amostra, realizando as leituras na parte central, utilizando uma célula de carga de 20 kgf. Foram eliminados o primeiro e o último cm de cada amostra para analisar os dados.

Para cada atributo estudado, efetuou-se uma análise descritiva dos dados. A hipótese de normalidade dos dados foi verificada com o teste de Shapiro Wilk, a nível de 5% de probabilidade, através do software R (R CORE TEAM, 2020). O volume dos cilindros foi comparado utilizando-se o intervalo de confiança observando a relação entre as variáveis (coeficiente de determinação).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não foram observadas diferença significativa entre o número de repetições 4, 10 e 18 (figuras 3, 4, 5, 6 e 7), porém foi possível observar que o intervalo de confiança diminui quando se aumenta a quantidade de amostras.

Figura 3 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Densidade do Solo (D_s)



Fonte: Autoria própria (2022).

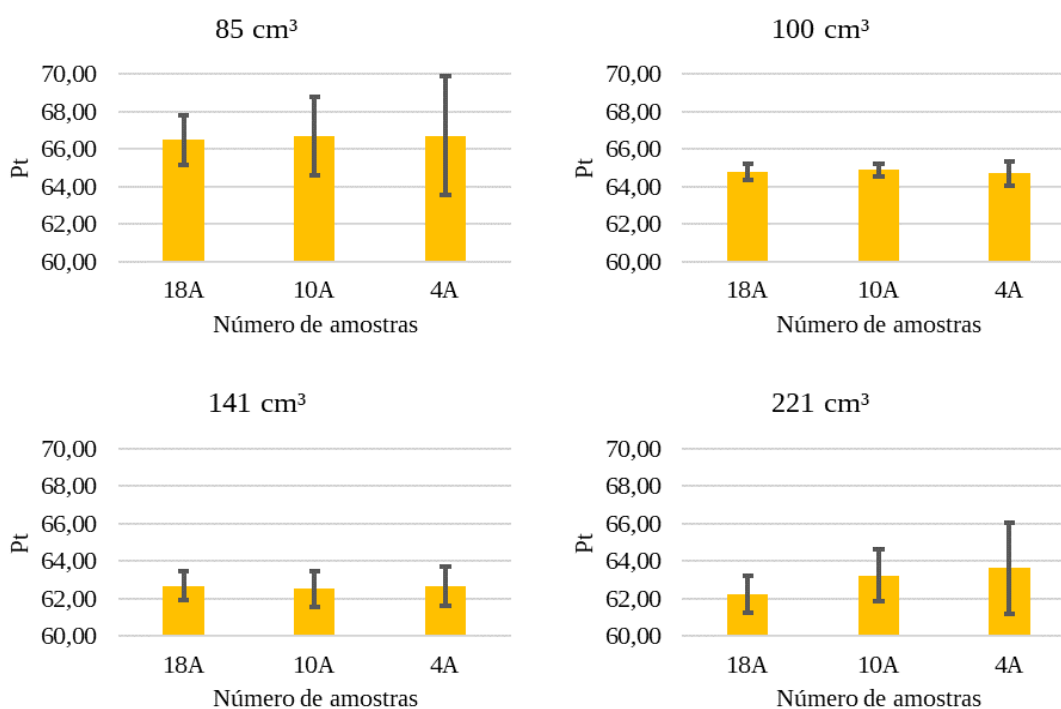
Quando se comparou volume de amostra no mesmo número de repetições observou-se diferenças. O cilindro com volume de 100 cm^3 apresentou sempre o menor intervalo de confiança em todos os números de amostras avaliadas (com 4, 10 e 18 amostras), ou seja, estas amostras variaram menos. Isto pode ser explicado pela experiência obtida em campo para retirada das amostras. Os usuários perceberam uma facilidade maior para retirada desses cilindros (de 5 cm de diâmetro) quando comparado com os demais. Como a amostragem é grande responsável pela preservação da amostra, o diâmetro menor pode ter facilitado a introdução do cilindro no solo de forma a preservar melhor a estrutura do solo. Também, a área de exposição nas extremidades do cilindro é menor, onde

possivelmente pode-se ter erro ao ajustar a amostra ao cilindro, nas condições de solo do experimento.

Para a avaliação com 10 amostras, a Ds não teve diferença significativa. Na Pt (figura 4) tivemos um intervalo de confiança bem grande para o volume de 85, provavelmente pela rugosidade da superfície que se dilui menos nessas amostras de menor altura, como elucidado no parágrafo anterior.

A avaliação com 4 amostras não apresentou diferença, pois teve uma variação muito grande. Portanto quando usamos 4 amostras não conseguimos observar a diferença entre os volumes tão nítida quando se aumenta o número de amostragem.

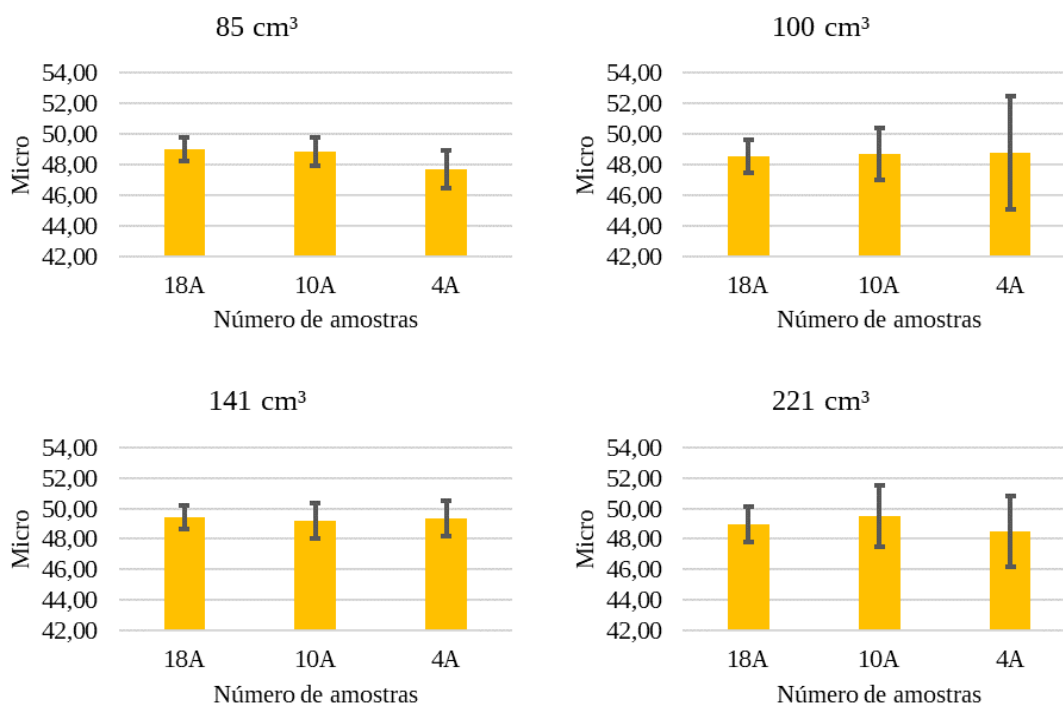
Figura 4 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Porosidade Total (Pt)



Fonte: Autoria própria (2022).

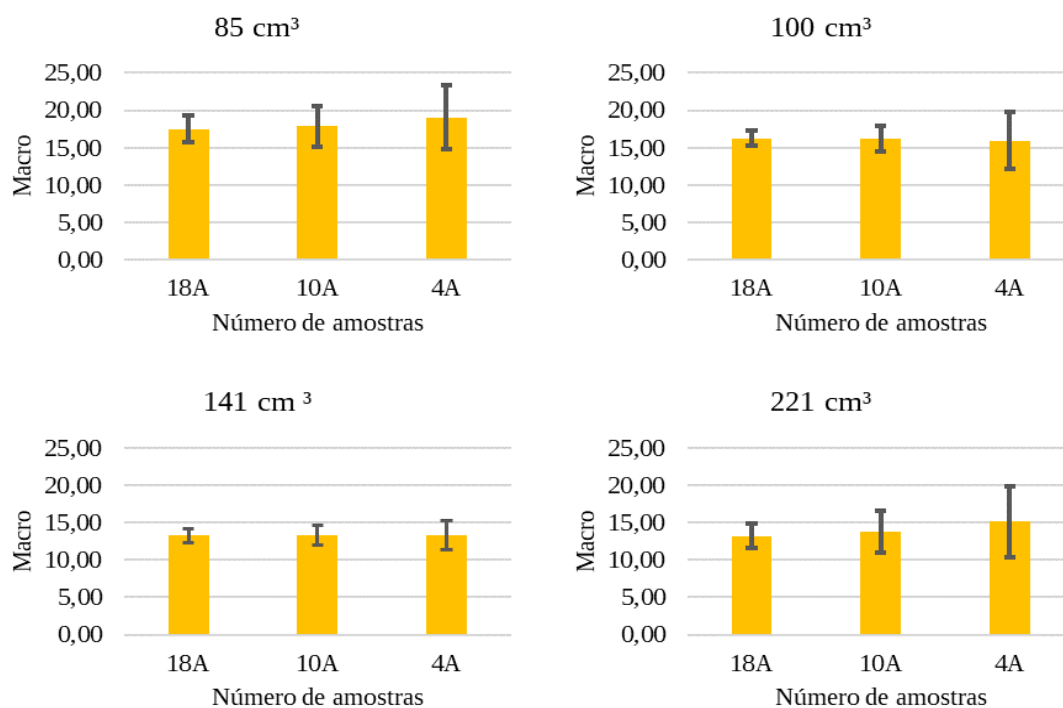
Na RP houve diferença significativa entre o número de amostras, sendo mais eficaz quando se aumenta o número de amostragem variando menos.

Figura 5 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Microporosidade (Mic)



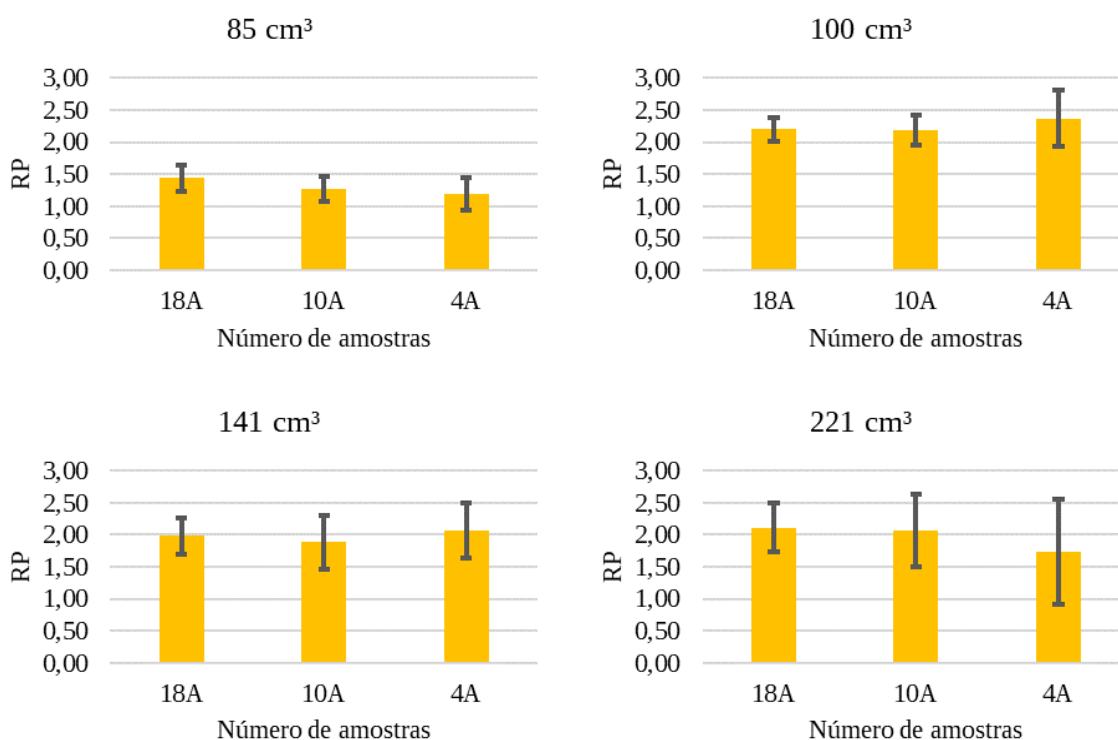
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 6 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Macroporosidade (Mac)



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 7 – Valores de intervalo de confiança para cada volume comparando o número de amostras para o atributo Resistência à Penetração (RP)



Fonte: Autoria própria (2022).

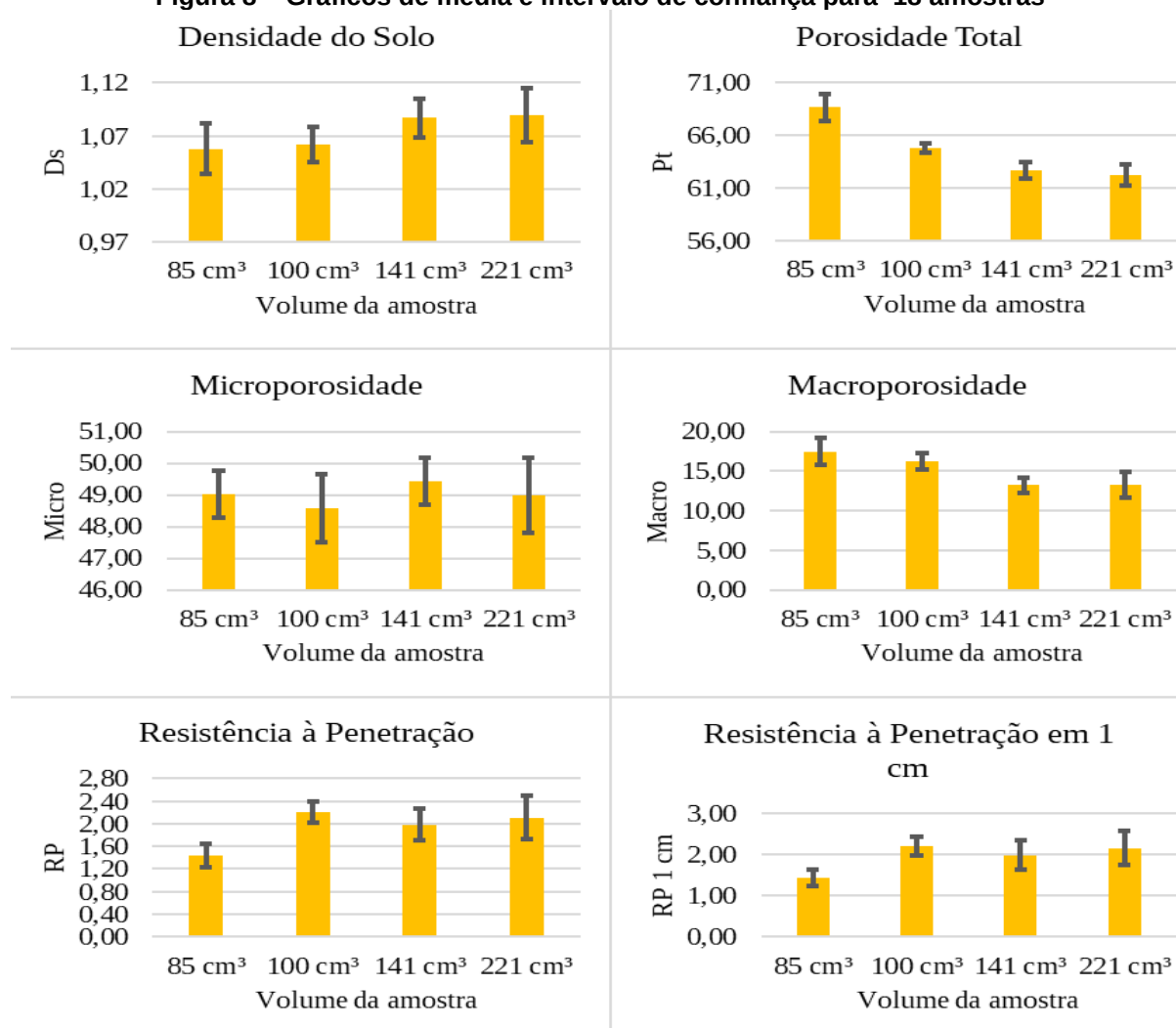
Portanto notamos que o intervalo de confiança é menor quando se aumenta a quantidade de amostras. Esta diferença é muito mais sobre o volume do que o número de amostragens, mas o número de amostragens contribui para ver a diferença no volume.

Na figura 1 vemos que o cilindro menor (A) possui uma relação de espaço de abertura maior comparando ao volume da amostra e, comparado a uma amostra mais profunda, portanto este erro é diluído e com isso acaba apresentando bordas com falhas ou com buracos. Com isso a amostragem neste cilindro apresenta uma densidade mais baixa por ela não ter tido diferença.

A RP no cilindro de menor volume e menor altura apresentou menor valor quando comparado com os demais volumes de cilindro em todos números de amostragens (figuras 8, 9 e 10). Isto provavelmente ocorreu por esta fuga de solo que há quando a haste é introduzida no solo. Ao ser inserida a haste na amostra, a haste acaba empurrando o solo do cilindro contra a sua parede e, com isso, este solo busca uma fuga, o que leva parte deste solo a se desloca para a superfície do

cilindro e outra parte é deslocada para baixo. Como o cilindro só apresenta 3 cm de altura, isto acaba resultando em uma menor resistência no centímetro central do cilindro.

Figura 8 – Gráficos de média e intervalo de confiança para 18 amostras



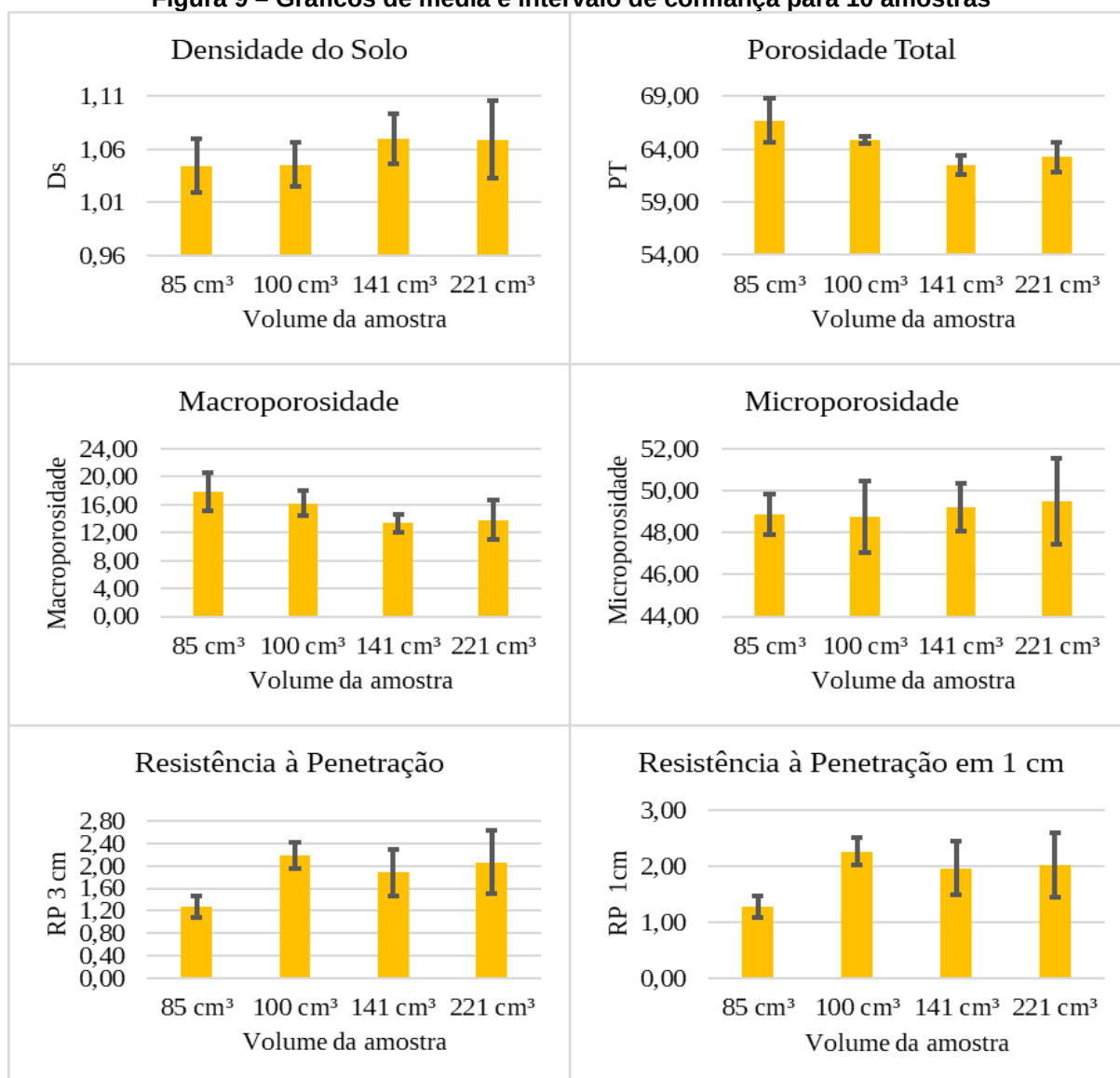
Fonte: Autoria própria (2022).

Os valores mais elevados da macroporosidade (figuras 8, 9 e 10) podem ser explicados por essa fuga de solo dos cilindros, que acabam gerando falhas ou buracos dentro dessas amostras que assim elevam estes valores de macroporosidade neste volume de cilindro em todos grupos de amostras (04, 10 e 18), portanto, esta diferença de volumes pode ser explicada pela relação

diâmetro/volume da amostra, ou seja, este cilindro apresentar mais superfície por volume.

Sendo as relações de densidade do solo e macroporosidade, densidade e porosidade total, densidade e resistência à penetração fortes e muito conhecidas, procedeu-se a realização dessas relações para observar se o volume da amostra influencia nos valores de R² dessas relações (tabela 1). O cilindro 221 cm³ foi o tamanho de amostra que apresentou mais relações fortes, e que são certamente explicadas pela variação na densidade do solo.

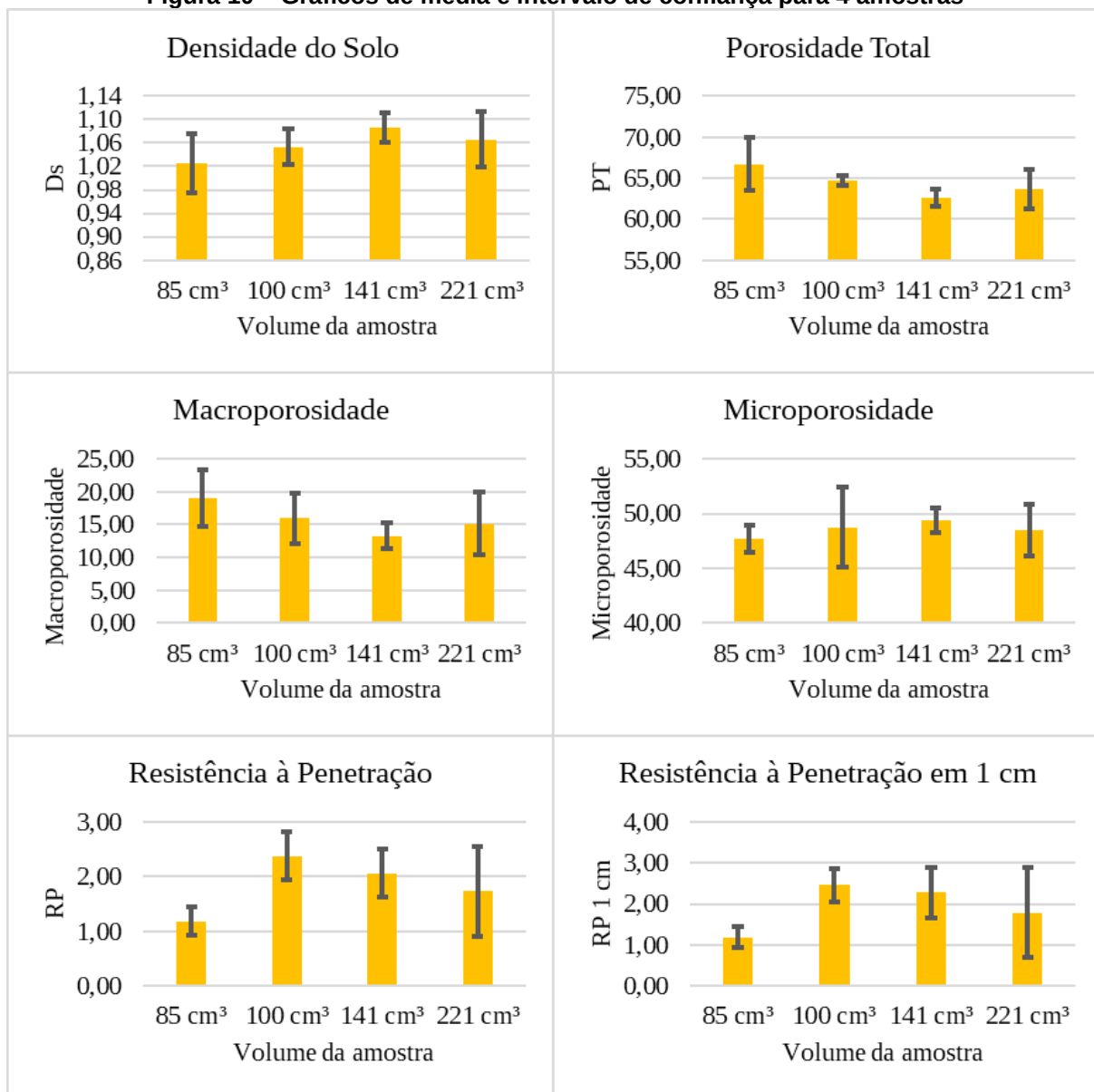
Figura 9 – Gráficos de média e intervalo de confiança para 10 amostras



Fonte: Autoria própria (2022).

As amostras com volume de 100 e 141 cm³, não tiveram uma correlação forte, indicando que possivelmente não há uma correlação expressiva entre estas variáveis. Levando-se em consideração que as relações entre densidade do solo e microporosidade podem não ocorrer de forma linear, ao desconsiderar esta relação para todos os volumes de cilindro utilizados, observamos que o volume de 221 cm³ foi o que melhor representou as relações entre Ds, Pt, macroporosidade e RP.

Figura 10 – Gráficos de média e intervalo de confiança para 4 amostras



Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 1 – Valores referentes a regressão (N18) para as variáveis densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mac) e resistência à penetração (RP).

Volume da amostra (cm³)	Variável independente	Variável dependente	R²	Equação Linear (Y = b + aX)
85	Ds	Mac	0,623	y = -58,231x + 79,062
	Ds	RP	0,502	y = 6,2258x - 5,1486
	Ds	Pt	0,437	y = -36,621x + 105,22
	Ds	Mic	0,472	y = 21.609x + 26.161
100	Ds	Mac	0,134	y = -22,778x + 40,432
	Ds	RP	0,146	y = 4,2336x - 2,2926
	Ds	Pt	0,002	y = 1,1718x + 63,574
	Ds	Mic	0,141	y = 23.95x + 23.141
141	Ds	Mac	0,081	y = -15,339x + 29,933
	Ds	RP	0,140	y = 5,942x - 4,4731
	Ds	Pt	0,019	y = -5,9259x + 69,123
	Ds	Mic	0,0505	y = 9.4133x + 39.19
221	Ds	Mac	0,681	y = -51,201x + 69,02
	Ds	RP	0,455	y = 9,9255x - 8,7025
	Ds	Pt	0,645	y = -30,648x + 95,61
	Ds	Mic	0,202	y = 20.552x + 26.59

Fonte: Autoria própria (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função das melhores relações entre os atributos físicos avaliados o cilindro de 221 cm³ pode ser considerado o volume que melhor representa a estrutura do solo para coleta de amostras indeformadas. Ainda, recomenda-se que os cilindros tenham pelo menos 5 cm de altura para obtenção de valores de resistência do solo à penetração das raízes utilizando-se um penetrômetro de bancada, para as condições de solo estudada.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. I. D. Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**, , p. 89, 2008. .

ARAÚJO, E. A. de; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 2012.
<https://doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12>. Acesso em: 09 mar 2022.

BRADY, N. C. **The Nature and Properties of Soils**. 9. ed. New York: Macmillan Publishing Company, 1984.

CRAWFORD, C. **Crop and soil systems (crop sector) standard operating procedure water desorption**. [S. l.]: Scotlnd Rural College, 2015.

CUNHA, T. J. F.; SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; COELHO, M. R.; LUMBREERAS, J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: [s. n.], 2006.

FIGUEIREDO, G. C. **Avanços metodológicos e instrumentais em física do solo**. 2010. 164 f. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010. Disponível em:
https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-21062010-110626/publico/Getulio_Figueiredo.pdf. Acesso em: 09 mar 2022.

GROSSMAN, R. B.; REINSCH, T. G. The solid phase, bulk density and linear extensibility. *In*: DANE, J. H.; CLARKE TOPP, G. (orgs.). **Methods of soil analysis**. [S. l.: s. n.], 2002. v. 4, p. 201–228. DOI 10.2136/sssabookser5.4.c9. Disponível em:
<http://doi.wiley.com/10.2136/sssabookser5.4.c9>. Acesso em: 09 mar 2022.

IBGE (Org.). **Manual técnico de pedologia: guia prático de campo**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95015.pdf>. Acesso em: 09 mar 2022.

JAMISON, V. C.; WEAVER, H. A.; REED, I. F. A hammer-driven soil-core sampler. *Soil Science*. **Soil Science**, v. 69, n. 6, p. 487–496, jun. 1950.
<https://doi.org/10.1097/00010694-195006000-00005>. Acesso em: 09 mar 2022.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. [S. l.]: Universidade de Passo Fundo, 2014.

KLEIN, V. A. **Propriedades do solo e manejo da água em ambientes protegidos com cultivo de morangueiro e figueira**. 1. ed. [S. l.: s. n.], 2005.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T. Indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico típico sob plantio direto escarificado. v. 39, n. 9, p.

2475–2481, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000225>. Acesso em: 09 mar 2022.

MACHADO, A. L. S.; DUARTE, J.; DAPPER, F. P.; KAISER, D. R. Métodos de amostragem e qualidade física das amostras de solos para a determinação da densidade e distribuição de poros. 2018. Disponível em: <https://maissoja.com.br/metodos-de-amostragem-e-qualidade-fisica-das-amostras-de-solos-para-a-determinacao-da-densidade-e-distribuicao-de-poros/>. Acesso em: 09 mar 2022.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. v. 33, n. 2, p. 349–354, 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.6120>. Acesso em: 09 mar 2022.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. 2020. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/oxygen-consuming-substances-in-rivers/r-development-core-team-2006>. Acesso em: 09 mar 2022.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 3, p. 310–319, mar. 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>. Acesso em: 09 mar 2022.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. , p. 20, 2003. .

REYNOLDS, D.; DRURY, C. F.; TAN, C. S.; FOX, C. A.; YANG, X. M. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v. 152, n. 4, p. 252–263, set. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.06.009>. Acesso em: 09 mar 2022.

SILVA, J. D.; GONÇALVES, I. A. S.; SILVA, C. T. T.; MENEZES, L. F. S.; BEZERRA, S. A. Avaliação dos atributos físicos do solo na área experimental sobre cultivo da banana (musa paradisíaca). 2017. [S. l.: s. n.], 2017. <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IICOINTERPDVAGRO.2017.00215>. Acesso em: 09 mar 2022.

SILVA, K. A. D. Otimização da amostragem de solo usando análise espacial em área de mangueira irrigada no semiárido brasileiro. , p. 59, 2019. .

SIQUEIRA, G. M.; VIEIRA, S. R.; CEDDIA, M. B. Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos. **Variabilidade de atributos físicos do solo determinados por métodos diversos**, v. 67, n. 1, p. 203–211, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000100025>. Acesso em: 09 mar 2022.

TAVARES FILHO, J.; RIBON, A. A. Resistência do solo à penetração em resposta ao número de amostras e tipo de amostragem. **Revista Brasileira de Ciência do**

Solo, v. 32, n. 2, p. 487–494, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200003>. Acesso em: 09 mar 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa, 2017. Disponível em: <file:///C:/Users/marco/Downloads/Manual-de-Metodos-de-Analise-de-Solo-2017.pdf>. Acesso em: 09 mar 2022.

TOPP, R.; MIKESKY, A.; WIGGLESWORTH, J.; HOLT, W.; EDWARDS, J. E. The Effect of a 12-week Dynamic Resistance Strength Training Program on Gait Velocity and Balance of Older Adults. **The Gerontologist**, v. 33, n. 4, p. 501–506, 1993. <https://doi.org/10.1093/geront/33.4.501>. Acesso em: 09 mar 2022.

ZABOT, G. F. Manejo sustentável do solo: Práticas de Manejo e conservação em uma propriedade familiar. , p. 30, 2014. .

APÊNDICE A – Valores de média e intervalo de confiança para 4, 10 e 18 amostras

1 - Média e intervalo de confiança para 4 amostras

Volume da amostra (cm³)	Variável	Média	IC
85	Ds	1,03	0,05
100		1,05	0,03
141		1,09	0,02
221		1,07	0,05
85	Pt	66,73	3,18
100		64,71	0,62
141		62,65	1,05
221		63,63	2,43
85	Mac	47,70	1,24
100		48,77	3,71
141		49,37	1,16
221		48,48	2,34
85	Mic	19,03	4,31
100		15,94	3,81
141		13,29	1,95
221		15,15	4,73
85	RP	1,18	0,26
98		2,37	0,44
141		2,06	0,44
221		1,73	0,83

Fonte: Autoria própria (2022).

2 - Média e intervalo de confiança para 10 amostras

Volume da amostra (cm³)	Variável	Média	IC
85	Ds	1,04	0,03
98		1,05	0,02
141		1,07	0,02
221		1,07	0,04
85	Pt	66,69	2,08
98		64,90	0,36

141		62,52	0,94
221		63,25	1,39
85		48,86	0,94
98		48,72	1,70
141	Mac	49,20	1,14
221		49,49	2,03
85		17,83	2,80
98		16,17	1,76
141	Mic	13,31	1,27
221		13,76	2,78
85		1,27	0,20
98		2,18	0,24
141	RP	1,88	0,41
221		2,07	0,57

Fonte: Autoria própria (2022).

3 – Média e intervalo de confiança para 18 amostras

Volume da amostra (cm³)	Variável	Média	IC
85		1.06	0.02
100		1.06	0.02
141	Ds	1.09	0.02
221		1.09	0.03
85		68.65	1.32
100		64.82	0.43
141	Pt	62.68	0.77
221		62.22	0.99
85		17.48	1.75
100		16.25	1.05
141	Mac	13.26	0.96
221		13.24	1.60
85	Mic	49.01	0.75
100		48.57	1.07
141		49.42	0.75

221		48.98	1.18
85		1.44	0.21
100		2.20	0.19
141	RP	1.98	0.28
221		2.11	0.38

Fonte: Autoria própria (2022).