

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALINE APARECIDA DOS SANTOS

**ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA
ESPECÍFICA DAS PARTÍCULAS DO SOLO**

CURITIBA

2015

ALINE APARECIDA DOS SANTOS

**ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA
ESPECÍFICA DAS PARTÍCULAS DO SOLO**

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheira Agrônoma no curso de graduação em Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Professor Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza

CURITIBA

2015

TERMO DE APROVAÇÃO

ALINE APARECIDA DOS SANTOS

ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DAS PARTÍCULAS DO SOLO

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheira Agrônoma no curso de graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

Prof. Dr. Jorge Luiz Moretti de Souza
Orientador – Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR.
Universidade Federal, UFPR.

Doutoranda Daniela Jerszurki
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo / DSCA / SCA / UFPR

Mestranda Karla Regina Piekarski
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo / DSCA / SCA / UFPR

Curitiba, 14 de dezembro de 2015.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha filha, marido e meus pais, que sempre estiveram presentes fornecendo apoio e muito incentivo.

AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradeço a Deus, por ter me proporcionado saúde, força e sabedoria para seguir meu caminho, e ter colocado todas estas pessoas aqui citadas em minha vida.
- À minha filha, Alice, minha alegria de viver e motivação para seguir realizando meus sonhos.
- Ao meu marido, Claudio, pelo incentivo, compreensão, amor e principalmente pelo companheirismo, sempre motivando e dando muito apoio.
- Aos meus pais e minha irmã, Ilcione, Renaldo e Helenamara por sempre acreditarem em mim e por me darem apoio sempre que precisei.
- Aos meus avós, João e Madalena, por também me apoiarem e incentivarem.
- A minha sogra, Dona Marilene, por dar apoio e muita ajuda, permitindo que eu tivesse mais tempo para estudar e escrever este trabalho.
- Ao meu Orientador, Jorge Luiz Moretti, pela paciência, dedicação, incentivo, sabedoria e idéias inovadoras, que muito me auxiliou para conclusão deste Trabalho de Conclusão de Curso.
- A Universidade Federal do Paraná, por dispor material de apoio e laboratório a disposição para realização deste trabalho.
- À Coordenação do Curso de Agronomia, pela paciência, grande ajuda e principalmente incentivo para finalização dos meus objetivos.
- À Pós-Graduanda Karla Regina Piekarski, do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, pela colaboração e apoio ao fornecer amostras de solo e dados que foram aproveitados e extremamente importante para a realização do presente trabalho;
- A amiga e laboratorista do Departamento de Fitopatologia Cleia, por sempre oferecer prontamente os materiais em falta para realização deste trabalho, além do apoio e incentivo.
- A todos os mestres e amigos, que me ensinaram, incentivaram e ajudaram, direta ou indiretamente, contribuindo assim com o meu desenvolvimento.

ALTERNATIVAS METODOLÓGICAS PARA DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DAS PARTÍCULAS DO SOLO

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho avaliar a eficiência do álcool em diferentes concentrações (0,0; 47,59; 70 e 99%), para determinar a massa específica das partículas do solo com o “Método do Balão Volumétrico” e “Picnômetro”, para cinco solos de texturas diferentes, bem como avaliar a eficiência de antiespumante (simeticona) para reduzir o tempo das análises utilizando-se água. As amostras de solo foram coletadas em cinco áreas experimentais da fundação ABC (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi), na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram armazenadas em saco plástico e levadas ao laboratório de Física do Solo, da Universidade Federal do Paraná. A massa específica das partículas foi determinada com o Método do Balão Volumétrico Modificado (*MBV*) e Picnômetro. As análises com o *MBV* foram realizadas com álcool nas concentrações zero (0,0); 47,59°GL; 70°GL e 99°GL, em cinco repetições, para as localidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi. Também foram realizadas análises com o *MBV* utilizando água deionizada (1 L) com antiespumante (15 ml). As análises com o Picnômetro foram realizadas apenas com água, para amostras de solo de Arapoti, tendo três repetições. O *MBV* com álcool 99°GL foi considerado padrão para comparação. Apesar da perda de álcool por evaporação representar um erro quando se emprega o *MBV* com álcool 99°GL, os resultados obtidos na metodologia padrão é superior à outras concentrações com álcool testadas (46,59°GL e 70°GL) e água. O *MBV* com álcool 99°GL também foi superior à solução formada por água com produto antiespumante, bem como utilizando o picnômetro. O álcool 99°GL além de mais eficiente possibilita melhor execução da metodologia com o *MBV*, não promovendo formação de camadas de material, facilitando a complementação do nível dos balões nos tempos analisados. As concentrações de álcool 46,59°GL e 70°GL não possibilitaram boas condições de análises, e não alcançaram no tempo máximo de 168 horas a eficiência encontrada nas 24 horas de análise com álcool 99°GL.

Palavras-chave: Atributo físico do solo, densidade de partícula, metodologia.

ALTERNATIVE METHODOLOGY FOR DETERMINATION OF SPECIFIC MASS OF SOIL PARTICLE

ABSTRACT

We took up the objective of this study was to evaluate the efficiency of alcohol at different concentrations (0.0, 47.59, 70 and 99%), to determine the specific mass of soil particles with the "Modified Balloon Volumetric Method" and "Pycnometer" for five different soil and textures evaluate the defoamer efficiency (simethicone) to reduce the time of analysis using water. Soil samples were collected in five research areas of the ABC Foundation (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa and Tibagi) at a depth of 0-20 cm. The samples were stored in plastic bags and taken to the Soil Physics Laboratory of the Federal University of Paraná. The specific mass of soil particles was determined with the Modified Balloon Volumetric Method (*BVM*) and pycnometer. Analyses with *BVM* were performed with alcohol in concentrations zero (0.0); 47.59°GL; 70°GL and 99°GL in five repetitions, in Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa and Tibagi. Also analyzes were performed with *BVM* using deionized water (1 L) with antifoam (15 ml). Analyses with the pycnometer have been carried out only with water to soil samples of Arapoti, with three replications. The *BVM* with alcohol 99°GL was considered standard for comparison. Despite the loss of alcohol by evaporation represent an error when employing the *BVM* alcohol 99.0°GL, the results obtained in the standard methodology is superior to the other tested concentrations of alcohol (46.59°GL and 70°GL) and water. The *BVM* with alcohol 99°GL was also superior to the solution formed by water with anti-foaming product and using the pycnometer. Alcohol 99°GL addition to more efficient implementation of the methodology enables better with *BVM* did not promote the formation of layers of material, facilitating the completion of the level of balloons in the analyzed times. Alcohol concentrations 46.59°GL and 70°GL did not allow good condition analysis, and did not reach the maximum of 168 hours the efficiency found in the 24 hour analysis with alcohol 99°GL.

Keyword: Physical soil attribute, particle density, methodology.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	Página
FIGURA 3.1 – Mapa do Estado do Paraná contendo a localização das cidades (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) que tiveram solos analisados no presente trabalho	5
FIGURA 3.2 – Triângulo textural utilizado para o cruzamento dos dados da análise textural	7
FIGURA 4.1 – Análise de regressão linear entre ρ_p obtida para os locais (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) e períodos estudados (zero, 24, 48 e 168 h), com o MBV utilizando álcool à 99°GL versus ρ_p obtida com o MBV para os mesmos locais, períodos e em outras concentrações: (a) álcool à 70°GL; (b) álcool à 47,59°GL; (c) água	13
FIGURA 4.2 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 99°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi	14
FIGURA 4.3 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 70°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi	15
FIGURA 4.4 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 47,59°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi	16
FIGURA 4.5 – Método do balão volumétrico Modificado com água: interação das partículas de solo com as bolhas de ar	17
FIGURA 4.6 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando água, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi.	18
FIGURA 4.7 – Método do balão volumétrico: ocorrência de camada formada por partículas mais leves precipitadas, devido a presença de matéria orgânica	19
FIGURA 4.8 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando solução de água com simeticona, nos períodos de zero (instantâneo), 24 e 48 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi	21
FIGURA 4.9 – Análise de regressão linear entre ρ_p obtida para os locais (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) e períodos estudados (zero, 24 e 48h) com o MBV utilizando álcool à 99°GL versus ρ_p obtida com o MBV para os mesmos locais e períodos, com uso de solução (15 ml de simeticona para 1 L de água)	22
FIGURA 4.10 – Análise de regressão linear entre ρ_p obtida para Arapoti, nos períodos zero (instantâneo) e 24h, com o MBV utilizando álcool à 99°GL versus ρ_p obtida com o picnômetro com água para o mesmo local e períodos	23
FIGURA 4.11 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do picnômetro, utilizando água nos períodos de zero (instantâneo) e 24 horas, para Arapoti	23

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 3.1. Textura e classificação textural dos solos das áreas experimentais da Fundação ABC, estudadas no presente trabalho	7
TABELA 4.2. Média da massa específica das partículas do solo (ρ_p) e coeficiente de variação (CV) obtidas com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 99°GL., nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas	12
TABELA 4.3. Média da massa específica das partículas do solo (ρ_p) e coeficiente de variação (CV) obtidas com o método do balão volumétrico, utilizando a solução água e simeticona, nos períodos de zero (instantâneo), 24 e 48 horas	20
TABELA 4.4. Média da massa específica das partículas do solo (ρ_p) e coeficiente de variação (CV) obtidas com o método do picnômetro, utilizando água, nos períodos de zero (instantâneo), 24 e 48 horas, para Arapoti	23

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Atributos físicos do solo: massa específica das partículas	2
2.2 Métodos para medida da massa específica do solo	3
3 MATERIAL E MÉTODOS	5
3.1 Caracterização da área de estudo	5
3.1.1 Amostragem e preparação das amostras	6
3.1.2 Classificação textural dos solos da área experimental	6
3.2 Procedimentos para análise da ρ_p com o Método do Balão Volumétrico Modificado	7
3.2.1 Cálculo da ρ_p com o MBV	8
3.3 Procedimentos para análise da ρ_p com o método do Picnômetro	9
3.3.1 Cálculo da ρ_p com o método do picnômetro	9
3.4 Procedimentos para análise da ρ_p com o Método do Balão Volumétrico Modificado fazendo uso de antiespumante	9
3.5 Análise e verificação dos resultados	10
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1 Análise textural	11
4.2 Determinação da massa específica (ρ_p) com o MBV	11
a) MBV utilizando álcool 99°GL (padrão)	13
b) MBV utilizando álcool 70°GL	14
c) MBV utilizando álcool 47,59°GL	16
d) MBV utilizando água	17
4.3 Determinação da massa específica (ρ_p) adotando outros métodos	20
a) MBV utilizando a solução água e simeticona	20
b) Picnômetro utilizando somente água	22
5 CONCLUSÃO	24
6 REFERÊNCIAS	25
APÊNDICE 1	28
APÊNDICE 2	31
APÊNDICE 3	48
APÊNDICE 4	51

1 INTRODUÇÃO

A quantificação precisa dos atributos físicos do solo é importante para várias finalidades. A massa específica das partículas do solo (ρ_p), é um indicativo da composição mineralógica do solo, sendo utilizado no cálculo da velocidade de sedimentação de partículas em líquidos e determinação indireta da porosidade (FORSYTHE et al., 1975).

Os métodos mais usuais para determinação da ρ_p baseiam-se na quantificação do deslocamento do volume de líquido ou ar proporcionado por uma amostra de solo de massa conhecida (FLINT et al., 2002). Outra possibilidade consiste na determinação da ρ_p a partir da relação entre a porosidade e massa específica do solo.

Dois métodos baseados no deslocamento de líquido geralmente se destacam nas análises da ρ_p em laboratório: o método do picnômetro e método do balão volumétrico. O método do picnômetro geralmente utiliza água (KIEHL et al., 1972). O método do balão volumétrico (MBV), descrito por KIEHL (1979) e EMBRAPA (1997), é mais comumente utilizado nas rotinas de laboratório e utiliza álcool (99%) para determinação da ρ_p .

O volume de álcool gasto para completar o volume de um balão contendo sólidos pode ser determinado indiretamente, desde que se conheçam as massas do conjunto e massa específica do álcool, o que dispensaria etapas mais demoradas supracitadas no MBV (FLINT et al., 2002). O álcool é utilizado por possuir tensão superficial menor que a água e penetrar mais facilmente nos poros capilares do solo, expulsando o ar contido (KIEL et al., 1979).

Contudo, o álcool 99% comumente utilizado como padrão nas análises laboratoriais pode se tornar um problema: tendo custo elevado quando o número de análises a ser realizado é grande; e, por causa aumento no erro experimental decorrente da evaporação.

Diante das considerações dispostas anteriormente, teve-se por objetivo no presente trabalho avaliar a eficiência do álcool em diferentes concentrações (0,0; 47,6; 70,0 e 99,0%), para determinar a massa específica das partículas do solo com o “Método do Balão Volumétrico” e “Picnômetro”, para cinco solos de texturas diferentes, bem como avaliar a eficiência de antiespumante (simeticona) para reduzir o tempo das análises utilizando-se água.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Atributos físicos do solo: massa específica das partículas

Para avaliação do índice de qualidade do solo (IQS) é fundamental a utilização de um conjunto mínimo de indicadores que apresentem determinadas características, como: facilidade de avaliação, aplicabilidade em diferentes escalas, utilização abrangente e sensibilidade a variações de manejo (DORAN et al., 1996; USDA, 1998). Usualmente, a qualidade do solo agrícola é considerada baseando-se nos aspectos físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo, bem como para identificar a sustentabilidade dos sistemas de manejo (ARATANI et al., 2009). Alguns atributos físicos do solo, como a massa específica (das partículas e do solo), densidade, porosidade total, resistência do solo à penetração, estabilidade de agregados, umidade volumétrica, água disponível e condutividade hidráulica, podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo (ROSA et al., 2003; SECCO et al., 2005; ALBUQUERQUE et al., 2005; VIEIRA & KLEIN, 2007).

A qualidade física do solo merece destaque especial por afetar bastante a qualidade química e biológica (VEZZANI & MIELNICZUK, 2009). Assim, melhorando a qualidade física de determinado solo contribui-se indiretamente para a melhoria de suas condições biológicas e químicas (DEXTER, 2004; ARAÚJO et al., 2007).

A porosidade total é uma das principais propriedades físicas do solo, estando bastante sujeita às alterações devido ao cultivo. Por estar relacionada com o volume e distribuição dos espaços porosos, a porosidade total do solo merece especial atenção dos técnicos e agricultores, visto que é nesses espaços que se processam os principais fenômenos que regulam o crescimento e a produção vegetal (GROHMAN et al., 1972). As massas específicas das “partículas do solo” e “do solo” são os dois atributos que caracterizam a porosidade total do solo.

A correta interpretação dos resultados da massa específica do solo somente é alcançada quando comparada a outras informações, como: massa específica das partículas do solo (ρ_p), distribuição dos poros por tamanho, teor de matéria orgânica e grau de agregação (KIEHL et al., 1972).

A textura do solo é relevante nas análises e estudos envolvendo a massa específica das partículas do solo. MIOTTI et al. (2013) relacionando atributos físicos do solo em profundidade e seus impactos nas raízes de bananeiras verificaram que solos argilosos, mesmo compactados, podem apresentar maior porosidade total devido à maior microporosidade proporcionada devido à argila.

A compactação, ao causar modificações na estrutura do solo, pode limitar a adsorção e absorção de nutrientes e, por sua vez, resultar em problemas no estabelecimento e crescimento de raízes (LHOTSKÝ et al., 1991). A limitação é originada por alterações em parâmetros físicos como a massa específica, aumentando ou diminuindo a resistência à penetração e porosidade do solo (FLOWERS & LAL, 1998).

2.2 Métodos para medida da massa específica do solo

A medida e quantificação dos atributos físicos do solo constituem importantes informações para auxiliar no manejo do solo. Os métodos laboratoriais de medida utilizados são bem variados e podem ser exatos e precisos (AMADO et al., 2007). Para que haja correta interpretação dos resultados da massa específica do solo é indispensável compará-los com outras informações, como a massa específica das partículas (KIEHL et al., 1972).

Define-se massa específica das partículas de um solo como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas suas partículas sólidas (FORSYTHE et al., 1975).

A massa específica das partículas do solo pode ser determinada como o método do picnômetro e similares, geralmente utilizando água (FORSYTHE, 1975; KIEHL, 1979; FLINT & FLINT, 2002), ou querosene (FORSYTHE, 1975). Tais métodos utilizam câmara de vácuo ou submetem a amostra à fervura para retirar o ar do interior da suspensão (GUBIANI et al., 2006). No entanto, devido à sua simplicidade o método do balão volumétrico (*MBV*) predomina na maioria dos laboratórios de física do solo. A rotina do *MBV* utiliza álcool (KIEHL, 1979; EMBRAPA, 1997), dispensando o uso da câmara de vácuo e fervura da suspensão, devido à melhor interação entre o solo e álcool. O álcool possui menor tensão superficial quando comparado à água. A tensão superficial surge nos líquidos como

resultado do desequilíbrio entre as forças, agindo sobre as moléculas da superfície em relação às aquelas que se encontram no interior da solução. A força resultante que atrai as moléculas da superfície de um líquido para o seu interior torna-se o principal obstáculo para a formação de bolhas. Pela mesma razão ocorre à formação dos meniscos, e a consequente diferença de pressões nas superfícies curvas ocasiona o efeito denominado capilaridade. A força que atua na superfície dos líquidos dá-se o nome de tensão superficial (BEHRING et al., 2004).

A determinação da ρ_p também pode ser realizada a partir do deslocamento de ar, sendo necessários equipamentos como compressor, câmaras de pressão e dispositivos para leitura da pressão. Embora seja um método rápido, fácil e exato (FLINT & FLINT, 2002), é menos utilizado em rotinas laboratoriais.

Embora simples, resultados da pesquisa de SANTOS et al. (2009) indicam que a perda de álcool por evaporação está sempre presente na determinação da ρ_p com o método do balão volumétrico, constituindo-se na principal fonte de erro. As perdas de álcool por evaporação mascaram o volume dos sólidos da amostra, diminuindo o seu valor e, consequentemente, aumentando a massa específica da amostra. Para cada 0,1 mL a mais na medição de volume gasto implica no aumento de 0,03 g cm⁻³ da ρ_p .

O empenho em desenvolver métodos e técnicas de análises de solos que forneçam resultados confiáveis com custos reduzidos deve ser permanente (SILVA et al., 2003). Desta forma, são interessantes análises para determinar se concentrações diferentes da usualmente empregada nos métodos laboratoriais (99°GL) conseguem obter os mesmos resultados em tempo igual ou menor. Pode-se avaliar se concentrações menores de álcool permitem obter o mesmo resultado, porém considerando um tempo maior para proceder as leituras, com duração máxima de 168 horas, bem como a influência temporal de fluidos utilizados (álcool, água, entre outros). A aplicação de antiespumante (simeticona) na água empregada para análise, também pode ser correlacionada com os resultados da análise com álcool 99°GL, tentando obter resultados parecidos quanto a eficiência e tempo metodológico. Pesquisas desta natureza são importantes para diminuir os custos nas análises, bem como possibilitar o uso de diferentes fluidos na prática laboratorial.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

As amostras de solo foram coletadas em cinco áreas experimentais da Fundação ABC, que se encontram localizadas nas cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi (FIGURA 3.1).

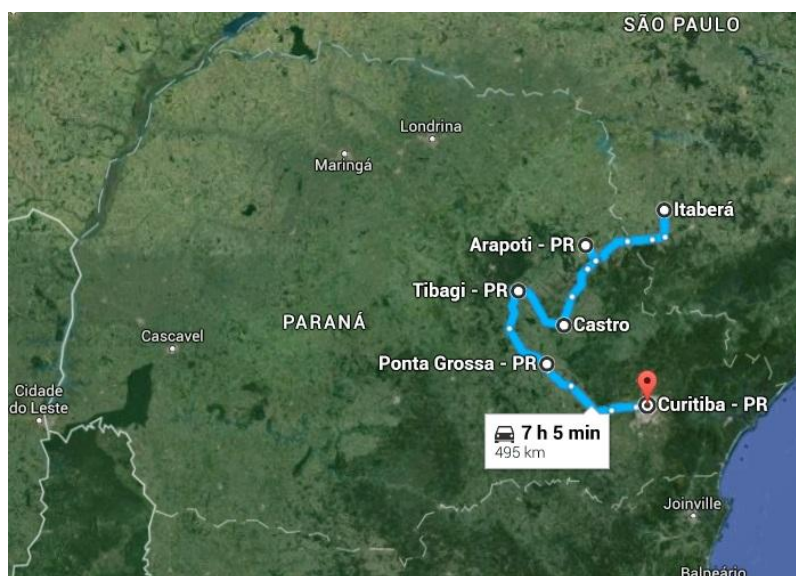


FIGURA 3.1 – Mapa do Estado do Paraná contendo a localização das cidades (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) que tiveram solos analisados no presente trabalho.

Cada parcela das áreas experimentais tem 5000 m² e pertencem ao setor de Agrometeorologia da Fundação ABC, contendo os seguintes tipos de solo, relevo e clima:

- Arapoti: Latossolo Vermelho Distrófico (LVd), relevo suave ondulado, textura franco argilo arenosa e clima Cfa/Cfb;
- Castro: Latossolo Bruno Acrico (LBw), relevo ondulado, textura argilosa e clima Cfb; Itaberá – Planossolo Aplico (SX), relevo plano a suave- ondulado, textura argilosa e clima Cfb;
- Ponta Grossa: com uma associação de Cambissolos Háplicos e Distroficos, relevo plano a suave-ondulado, textura franco argilo arenosa e clima Cfb; e,

– Tibagi: Latossolo Vermelho Distrofico (LVd), relevo ondulado, textura argilosa e clima Cfb.

As áreas de Castro, Ponta Grossa e Tibagi estão apresentadas em mapas que podem ser observados no APÊNDICE 1.

Todas as áreas experimentais foram manejadas no Sistema de Plantio Direto (SPD), em experimento de longa duração, com rotação de cultura, sendo utilizado soja e milho para cultivos de verão e trigo e aveia para cultivos de inverno.

3.1.1 Amostragem e preparação das amostras

Optou-se por realizar o processo de amostragem na camada superficial do solo, à 20 cm, por razão do manejo cultural ser mais concentrado nesta porção, tendo maior concentração de raízes. Foram realizadas cinco amostragens por área, todas foram coletadas no mês de junho de 2015, retirando-se aproximadamente 0,8 kg de solo em cada ponto amostral (PIEKARSKI, 2015)¹.

As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Paraná. Posteriormente, foram realizados procedimentos de preparação das amostras, incluindo maceração, secagem em estufa a 105 °C, por 24 horas, e resfriamento em dessecador (PIEKARSKI, 2015)¹.

3.1.2 Classificação textural dos solos da área experimental

A classificação textural dos solos utilizados nas análises do presente trabalho foi realizada a partir dos resultados de análise granulométrica com o método do densímetro, conforme EMBRAPA (1997), realizada por PIEKARSKI (2015)¹. A partir destes dados criou-se uma tabela textural (TABELA 3.1), com a qual fez-se o cruzamento das porcentagens de areia, silte e argila no triângulo textural (FIGURA 3.2).

¹ [PIEKARSKI, K. R](#) Informação pessoal obtida com essa pós-graduanda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, que desenvolve e realizou análises de solo para a mesma área de estudo do presente trabalho. 2015

TABELA 3.1. Textura e classificação textural dos solos das áreas experimentais da Fundação ABC, estudas no presente trabalho.

Amostras	----- Textura do solo (%)-----			Classificação Textural
	Argila	Silte	Areia total	
Arapoti	32,5	7,5	60,0	Franco argilo arenosa
Castro	56,3	13,8	30,0	Argiloso
Itaberá	48,8	19,8	37,5	Argiloso
Ponta Grossa	36,3	13,8	50,0	Argilo arenosa
Tibagi	60,0	21,3	18,8	Muito Argiloso

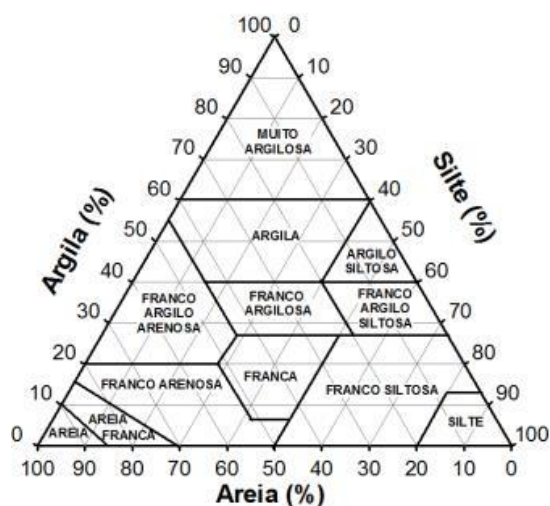


FIGURA 3.2 – Triângulo textural utilizado para o cruzamento dos dados da análise textural.

3.2 Procedimentos para análise da ρ_p com o Método do Balão Volumétrico Modificado

Para determinar da massa específica das partículas do solo (ρ_p) com o método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), seguiu-se o Manual de Métodos de Análise de Solo da EMBRAPA (1997), que consta dos passos:

- Pesagem dos balões volumétricos de 50 ml em balança previamente tarada;
- Posteriormente, transfere-se aproximadamente 20 g do solo da amostra já preparada para o balão volumétrico, tomando-se a massa do balão mais solo;
- Em seguida, adiciona-se o álcool etílico (99°GL) até a metade do volume do balão contendo solo, seguido de agitação manual até eliminação do ar existente entre as

partículas do solo, completando posteriormente o volume do balão até o traço de aferição (menisco).

Para verificar a viabilidade de redução dos custos laboratoriais com álcool, o mesmo procedimento com o MBV foi repetido utilizando-se água e álcool nas concentrações de 47,59°GL e 70°GL. O processo de análise dos balões volumétricos se deu com a pesagem dos balões nos tempos: zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas após o preparo da amostra.

As análises foram realizadas considerando cinco repetições, cinco tipos de amostras, perfazendo um total de 100 amostras (5 tipos de solo . 5 repetições . 4 concentrações de álcool = 100).

Para o álcool 70°GL, diluiu-se 729,16 mL de álcool 96% com 270,84 mL de água deionizada. Os valores foram obtidos com a relação:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

Sendo: C_1 – Concentração inicial (°GL); V_1 – Volume inicial (L); C_2 – Concentração final (°GL); V_2 – Volume final (L).

3.2.1 Cálculo da ρ_p com o MBV.

A massa específica das partículas do solo foi calculada com a expressão:

$$\rho_p = \frac{M_s}{V_s}$$

Sendo: ρ_p – massa específica das partículas do solo (g cm^{-3}); M_s – massa de solo seco em estufa (g); V_s – volume das partículas sólidas do solo (cm^3).

A determinação da ρ_p foi realizada com o Método do Balão Volumétrico Modificado (EMBRAPA, 1997), em que se computa o volume de álcool gasto para completar a capacidade de um balão volumétrico de 50 ml, contendo solo seco ao ar. A equação fica na forma:

$$\rho_p = \frac{M_s}{(50 - V_s)}$$

3.3 Procedimentos para análise da ρ_p com o método do Picnômetro.

Para análise da ρ_p utilizando-se o picnômetro, fez-se uma adaptação da metodologia citada por KRISHNA et al. (2002), seguindo os seguintes passos:

- Primeiramente fez-se a pesagem dos picnômetros;
- Posteriormente adicionou-se 10 g de amostra de solo seco em estufa e pesou-se novamente;
- Completou-se o picnômetro com água até a metade do mesmo, o qual foi agitado até retirada das bolhas da amostra;
- Posteriormente completou-se todo o volume do picnômetro até a borda da tampa.

Foram utilizados três picnômetros e apenas as amostras de solo provenientes do município de Arapoti para realização das análises. Escolheu-se esta área por apresentar o maior teor de areia. O processo de análise se deu com a pesagem dos picnômetro complementados com água, nos tempos: zero (instantâneo) e 24 horas.

3.3.1 Cálculo da ρ_p com o método do picnômetro.

A ρ_p com o método do picnômetro foi calculada com a formula:

$$\rho_p = \frac{(M_2 - M_1)}{(M_2 - M_1) - (M_3 - M_4)}$$

Sendo: ρ_p - massa específica das partículas do solo (g cm^{-3}); M_1 - Peso do picnômetro (g); M_2 - Peso do picnômetro mais as 10g de solo (g); M_3 - Peso do picnômetro mais 10 g de solo mais a água (g); M_4 - Peso do picnômetro mais a água (g).

3.4 Procedimentos para análise da ρ_p com o Método do Balão Volumétrico Modificado fazendo uso de antiespumante.

Também foram realizadas análises com o MBV utilizando-se uma solução de 15 ml de antiespumante (simeticona) em 1 L de água deionizada. A intenção foi verificar se o tempo de análise seria reduzido, quando comparado com o MBV com álcool 99°GL.

3.5 Análise e verificação dos resultados

A verificação dos resultados obtidos, confrontando valores de ρ_p obtidas com MBV com álcool 99°GL vs métodos alternativos, foram realizadas considerando: média, coeficiente de variação, diagramas de dispersão, análises de regressão linear, coeficiente de determinação (R^2), diagrama “boxplot” e erro absoluto médio.

Os valores de Erro Absoluto Médio foram determinados empregando a formula:

$$EAM = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |\rho_{p_i} - \hat{\rho}_{p_i}|$$

Sendo: EAM – erro absoluto médio; ρ_{p_i} – i -ésimo valor de massa específica das partículas do solo obtido com o Método do Balão Volumétrico Modificado utilizando álcool 99°GL (g cm^{-3}); $\hat{\rho}_{p_i}$ – i -ésimo valor de massa específica das partículas do solo obtido com metodologia alternativa (g cm^{-3}); n – número de repetições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise textural

Apesar das diferenças entre alguns solos quanto à porcentagem de argila, quando os dados foram cruzados no triângulo textural, verificou-se que as áreas não apresentaram grande variação da textura (TABELA 3.1). O ideal seria obter em um dos locais amostrados com textura “argilosa”, outro tipo de textura, como “argilo siltosa” ou “franco argilo siltosa”, para permitir maior diversidade e representação no triângulo textural (FIGURA 3.2). No entanto, as classes texturais encontradas predominam na região estudada e no Estado do Paraná, o que não invalida ou prejudica os objetivos estabelecidos para a realização do presente estudo.

4.2 Determinação da massa específica (ρ_p) com o MBV

A média dos valores das análises de massa específica das partículas do solo determinados com o método do Balão Volumétrico, utilizando álcool 99,00°; 70,00°; 47,59°GL e água, nos períodos zero (instantâneo), 24, 48 e 168 h, encontram-se apresentados na TABELA 4.1 e FIGURAS 4.1 a 4.4 e 4.6. Os resultados de todas análises (repetições), que originaram a média dos valores das análises de massa específica das partículas estão detalhados e apresentados no APÊNDICE 2 (TABELAS A.2.1 a A.2.16).

As análises de regressão linear (FIGURA 4.1) entre ρ_p obtida com o MBV utilizando álcool à 99°GL versus a ρ_p obtida com o MBV para outras concentrações (álcool à 70°GL, 47,59°GL e água), indicaram baixos valores de coeficiente de determinação ($R^2 < 0,4953$). As análises de regressões consideraram os dados de todas as localidades (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) e períodos estudados (zero, 24, 48 e 168 h). Os resultados obtidos indicaram dificuldade para substituir o álcool à 99°GL por outra concentração, nas análises.

TABELA 4.1. Média da massa específica das partículas do solo (ρ_p) e coeficiente de variação (CV) obtidas com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 99°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas.

Amostras	----- Massa específica das partículas do solo (g cm ⁻³) -----							
	---- Zero ----		--- 24 h ---		--- 48 h ---		--- 168 h ---	
	Média	CV **	Média	CV **	Média	CV **	Média	CV **
----- Método do Balão Volumétrico Modificado utilizando álcool 99°GL -----								
Arapoti	2,71	9,77	2,91	15,85	2,90	15,41	2,91	15,71
Castro	2,36	12,82	2,42	3,39	2,42	3,27	2,42	3,35
Itaberá	2,53	2,03	2,58	2,19	2,58	2,12	2,59	2,13
Ponta Grossa	2,47	2,42	2,50	2,36	2,50	2,64	2,50	2,76
Tibagi	2,44	1,50	2,46	1,45	2,46	1,92	2,46	1,87
----- Método do Balão Volumétrico Modificado utilizando álcool 70°GL -----								
Arapoti	2,42	3,62	2,55	1,69	2,55	1,72	2,55	1,68
Castro	2,23	1,80	2,39	1,04	2,39	1,05	2,39	1,02
Itaberá	2,49	1,95	2,59	1,40	2,59	1,40	2,59	1,45
Ponta Grossa	2,34	2,37	2,51	1,25	2,50	1,55	2,51	1,53
Tibagi	2,31	3,94	2,51	2,66	2,50	2,65	2,51	2,64
----- Método do Balão Volumétrico Modificado utilizando álcool 47,59°GL -----								
Arapoti	2,49	3,06	2,57	1,05	2,57	0,97	2,57	1,16
Castro	2,32	1,47	2,44	1,27	2,44	1,24	2,44	1,22
Itaberá	2,49	1,51	2,57	1,43	2,57	1,39	2,57	1,58
Ponta Grossa	2,37	3,38	2,50	2,24	2,50	2,31	2,51	2,34
Tibagi	2,38	2,80	2,49	2,00	2,48	1,95	2,49	2,04
----- Método do Balão Volumétrico Modificado utilizando água -----								
Arapoti	2,36	3,65	2,36	3,65	2,57	4,02	2,44	4,56
Castro	1,89	3,06	1,89	3,06	2,45	0,65	2,41	1,03
Itaberá	2,35	7,06	2,35	7,06	2,69	2,85	2,61	1,46
Ponta Grossa	2,07	4,09	2,07	4,09	2,48	14,69	2,72	5,22
Tibagi	2,03	2,86	2,03	2,86	2,25	13,12	2,34	9,84

** CV – Coeficiente de variação

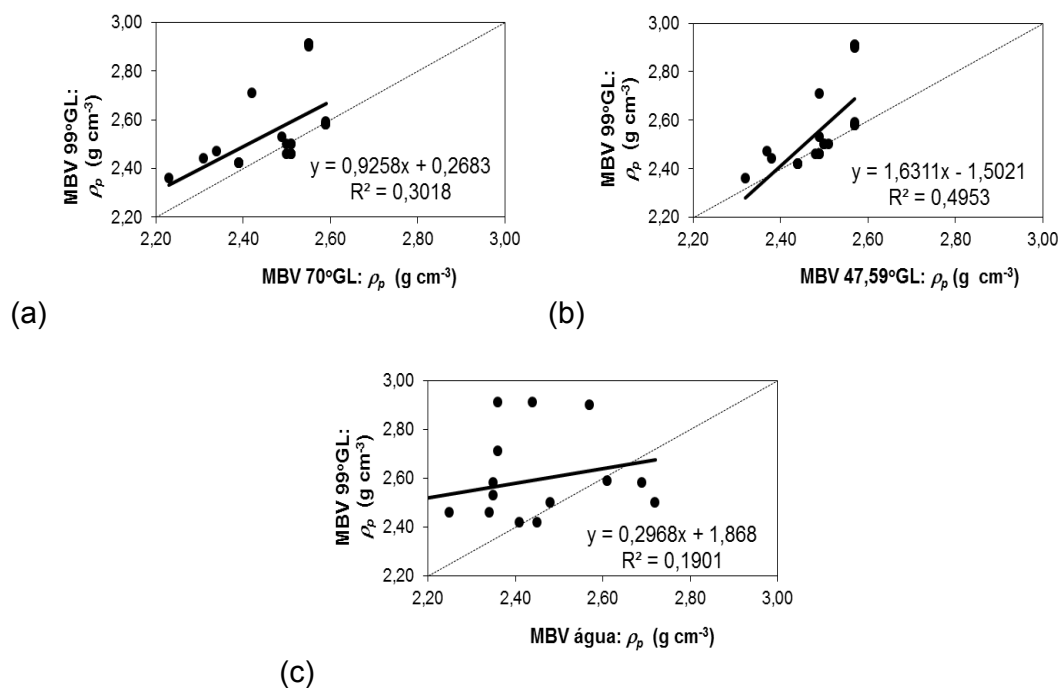


FIGURA 4.1 – Análise de regressão linear entre ρ_p obtida para os locais (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) e períodos estudados (zero, 24, 48 e 168 h), com o MBV utilizando álcool à 99°GL *versus* ρ_p obtida com o MBV para os mesmos locais, períodos e em outras concentrações: (a) álcool à 70°GL; (b) álcool à 47,59°GL; (c) água.

a) MBV utilizando álcool 99°GL (padrão)

Os resultados da ρ_p obtida com o MBV utilizando álcool à 99°GL, para as leituras realizadas às 24, 48 e 168 h, evidenciaram médias muito próximas e baixa variabilidade para todas as localidades estudadas (TABELA 4.1 e FIGURA 4.2), com exceção das amostras de solo de Arapoti. Contudo, as medidas realizadas instantaneamente (zero hora) sempre indicaram valores de ρ_p inferiores às medias realizadas nos outros períodos. Logo, o álcool 99°GL realmente se mostrou eficiente para realizar boas medias da ρ_s a partir das 24 h. As bolhas de ar foram eliminadas e a variabilidade entre amostras foi baixa. No entanto, a medida da ρ_p instantaneamente deve ser evitada sempre que possível, pois os resultados indicam que bolhas de ar podem resistir por algum tempo. Verifica-se assim, que seria interessante investigar entre zero e 24 horas o período em que as bolhas de ar

deixam de interferir nos resultados (Obs.: Essas análises não foram realizadas no presente trabalho por não ter mais solo amostrado das regiões que foram analisadas)

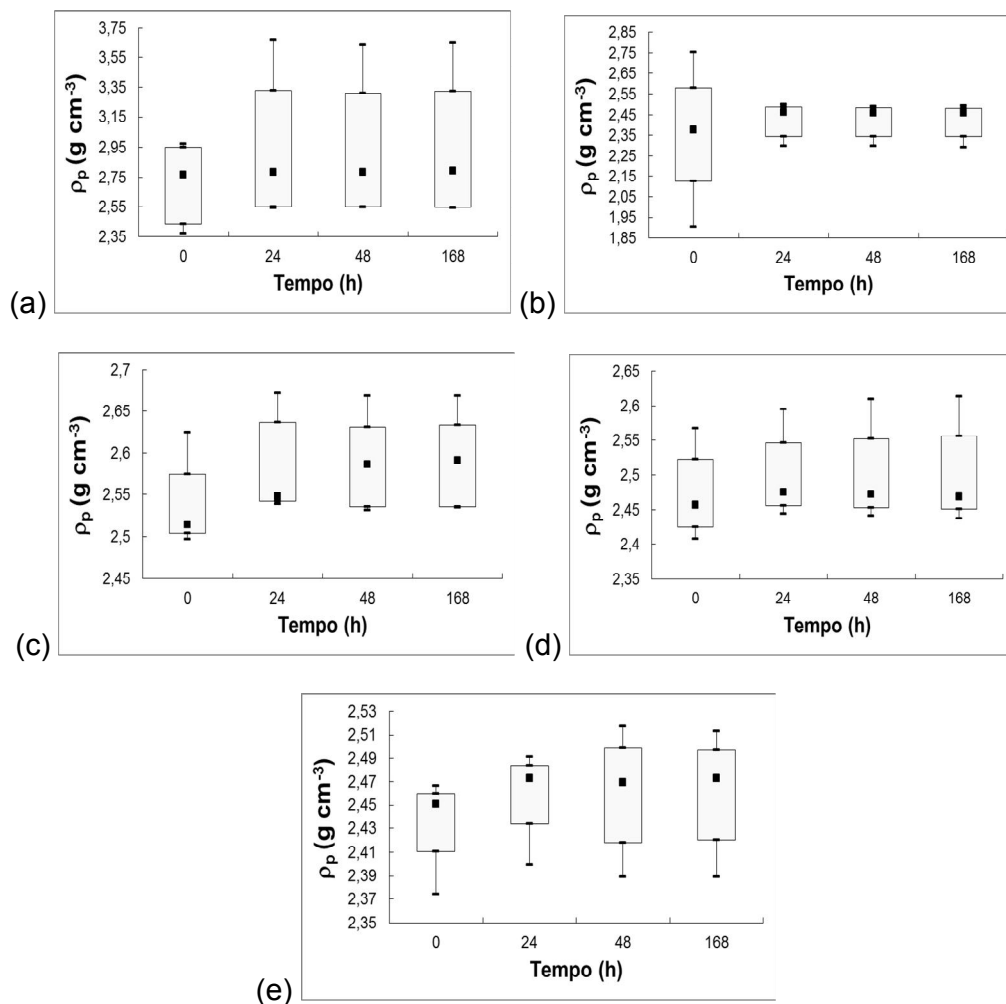


FIGURA 4.2 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 99°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapotí; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi.

b) MBV utilizando álcool 70°GL

Os resultados da ρ_p obtida com o MBV utilizando álcool à 70°GL (TABELA 4.1 e FIGURA 4.3), tiveram tendência similar aos obtidos com álcool à 99°GL, no que se refere aos períodos. A leitura instantânea mostrou-se ainda mais limitada.

Contudo, apesar da concentração do álcool de 70°GL, verificou-se que as magnitudes dos valores foram diferentes (FIGURA 4.1 “a”). As análises com álcool 70°GL subestimaram praticamente todos os valores ρ_p obtidos com álcool à 99°GL. O erro absoluto médio entre as leituras ρ_p (MBV 99°GL) e ρ_p (MBV 70°GL) foi de 0,10 g cm⁻³.

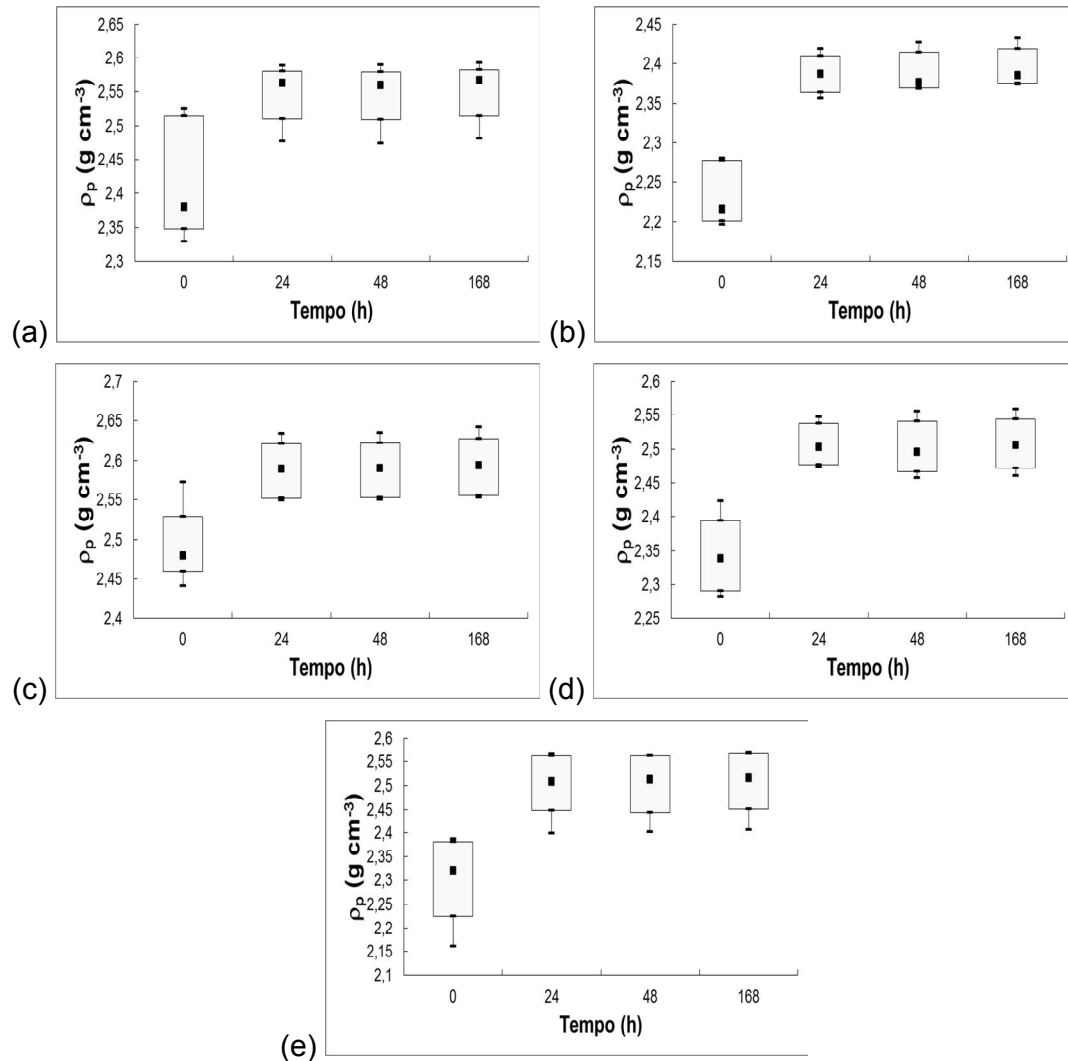


FIGURA 4.3 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 70°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi.

Os resultados obtidos evidenciam que o álcool 99°GL proporcionou menor formação de bolhas de ar que o álcool 70°GL, provavelmente devido à menor tensão superficial.

c) MBV utilizando álcool 47,59°GL

Os resultados de ρ_p obtidos com o MBV utilizando álcool 47,59°GL mostraram-se estáveis para os períodos de leitura às 24, 48 e 168 h. A leitura instantânea (zero hora) também apresentou maior variabilidade, subestimando os valores da ρ_p (TABELA 4.1 e FIGURA 4.4).

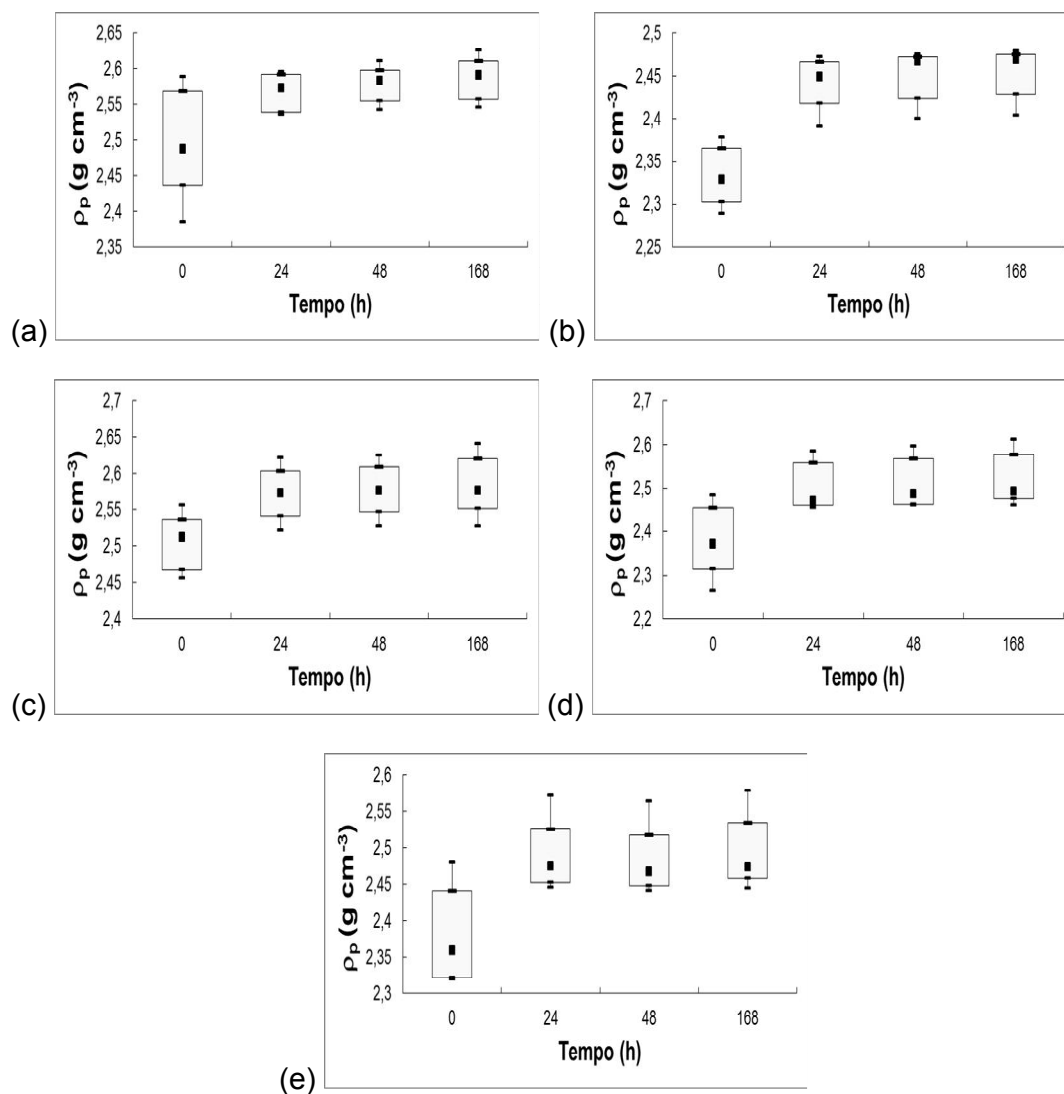


FIGURA 4.4 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando álcool 47,59°GL, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi.

Um aspecto interessante observado refere-se à associação dos resultados da ρ_p , que foi maior para as análises ρ_p (MBV 99°GL vs MBV 70°GL) que ρ_p (MBV 99°GL vs MBV 47,59°GL).

(FIGURA 4.1 “a” e “b”). O motivo deveu-se provavelmente aos seguintes aspectos: (i) As amostras de solos utilizadas para fazer as análises não são as mesmas, o que pode levar a ocorrência de variações; e, (ii) Houve grandes variações de temperatura nos dias de avaliação, e as amostras não foram trabalhadas no mesmo período, sendo um fator que também pode ter contribuído para a diferença nos resultados. O erro absoluto médio entre as leituras ρ_p (MBV 99°GL) e ρ_p (MBV 47,59°GL) também foi menor, ficando em $0,08 \text{ g cm}^{-3}$.

A princípio, em relação ao MBV 99°GL, esperava-se que os resultados do MBV 47,59°GL fossem piores que os resultados MBV 70°GL. No entanto, isso não ocorreu, a alteração da concentração do álcool introduziu inconsistência e incerteza, indicando que concentrações de álcool próximas de 99°GL realmente são necessárias para se ter bons resultados com o MBV.

d) MBV utilizando água

A determinação da ρ_p com o MBV utilizando apenas a água evidenciou resultados interessantes para as tendências das amostras das cinco localidades estudadas. Os períodos zero (instantâneo) e 24 h indicaram a existência de bastante ar no balão (FIGURA 4.5 e 4.6) em todas as amostras. Os horários 48 e 168 h evidenciam estabilidade dos resultados, mas muita variabilidade entre as amostras de um mesmo local.

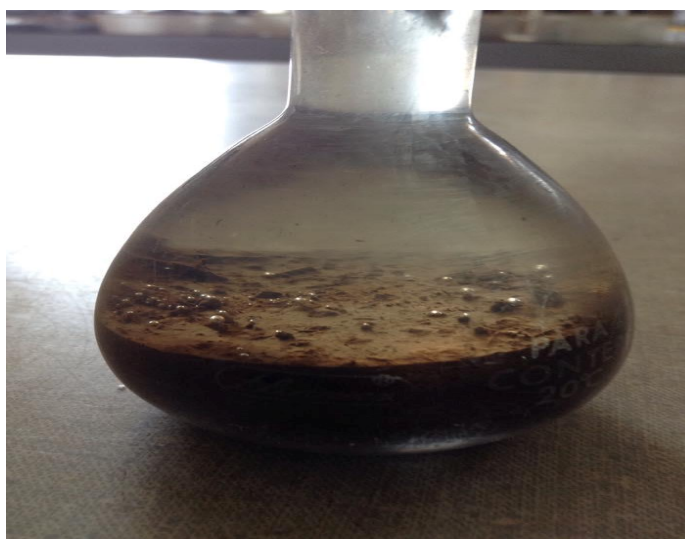


FIGURA 4.5 – Método do Balão Volumétrico Modificado com água: interação das partículas de solo com as bolhas de ar.

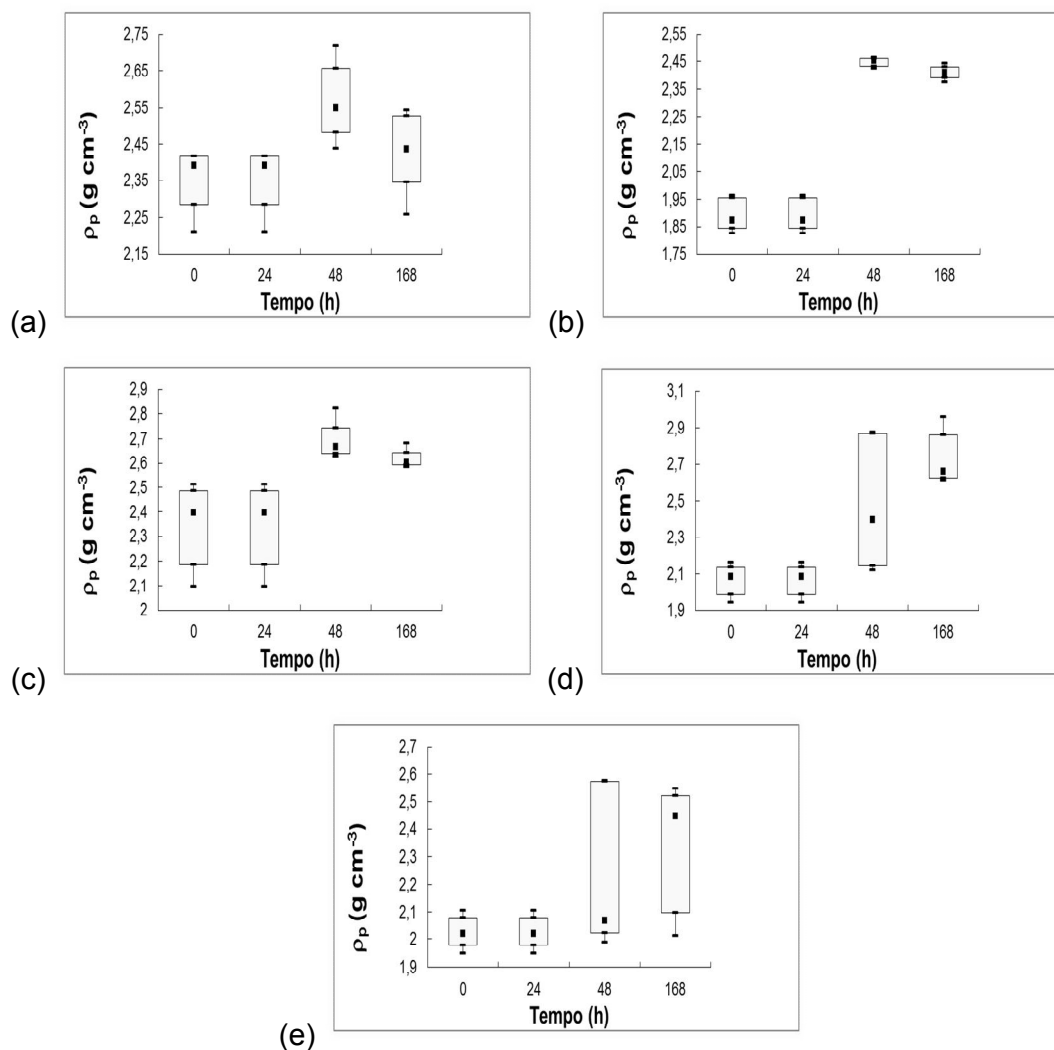


FIGURA 4.6 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando água, nos períodos de zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi.

As amostras de Arapoti, Ponta Grossa e Tibagi mesmo após 168 horas ainda se mostraram com bolhas, evidenciando que o tempo da análise com água necessita de um período ainda mais prolongado (FIGURA 4.6 “a”, “d” e “e”). Este fato pode ser decorrente da forte interação das bolhas com as partículas do solo, a qual não pode ser quebrada utilizando somente a água como solvente (FIGURA 4.5).

As análises de Arapoti apresentam inconsistência nos resultados, uma vez que a massa específica das partículas do solo diminuiu nas 168 horas (FIGURA 4.6

“a”). O resultado caracteriza a dificuldade em se trabalhar com a água no MBV. Algumas análises apresentaram uma camada formada por partículas mais leves precipitadas. Em alguns casos a camada formada ficou tão fortemente aderida às paredes do balão que tornou a complementação da água até à altura dos 50 ml muito difícil. Assim, ao aplicar a(s) gota(s) de água complementares em cima da camada formada teve-se que esperar a absorção da(s) mesma(s). As camadas ocorreram de diferentes formas, umas mais aderidas as paredes do balão, fato ocorrido nas amostras de Arapoti, e outras menos, ocorrido em Itaberá (FIGURA 4.7).

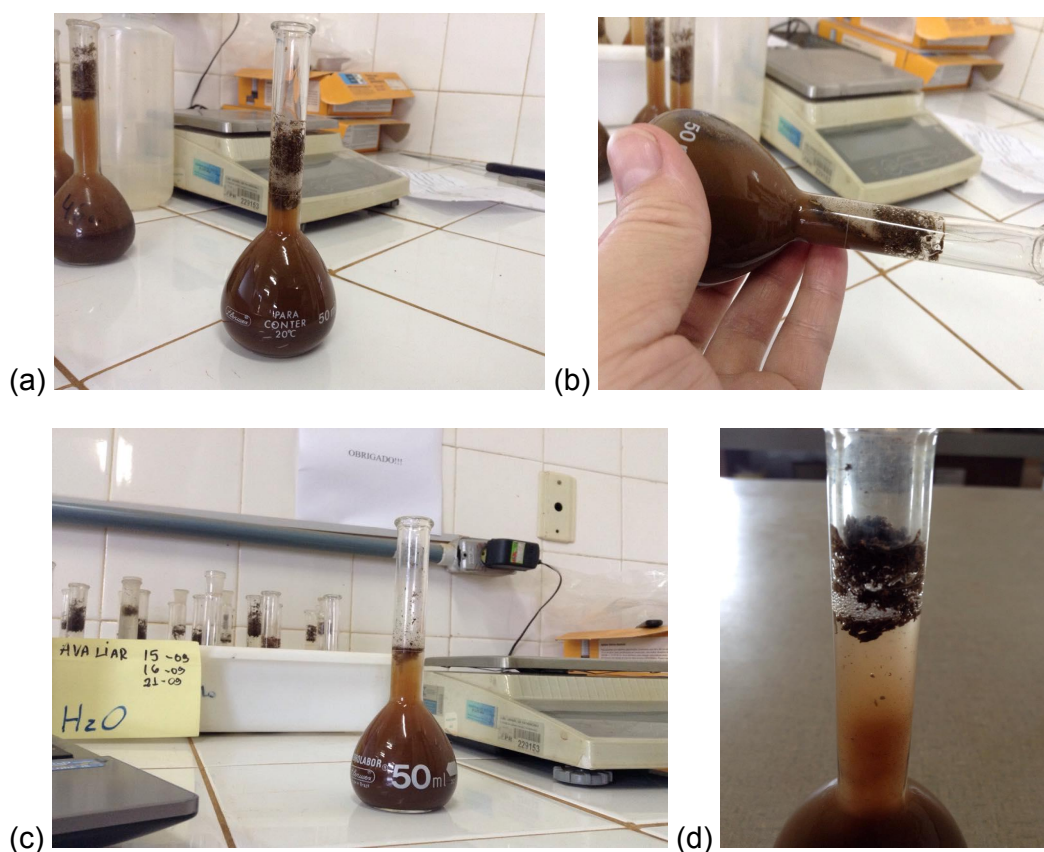


FIGURA 4.7 – Método do balão volumétrico: ocorrência de camada formada por partículas mais leves precipitadas, devido a presença de matéria orgânica.

A associação entre os resultados ρ_p (MBV 99°GL vs MBV água), com $R^2 = 0,1901$ (FIGURA 4.1), não foram boas, assim como foi verificado para as associações ρ_p (MBV 99°GL vs MBV 70°GL) e ρ_p (MBV 99°GL vs MBV 47,59°GL). O erro absoluto médio entre as leituras ρ_p (MBV 99°GL) e ρ_p (MBV com água) também não foram bons, ficando em $0,28 \text{ g cm}^{-3}$.

4.3 Determinação da massa específica (ρ_p) adotando outros métodos

A água apresentou sérias limitações para ser utilizada nas análises de determinação da ρ_p com o *MBV*, evidenciando sua ineficiência na retirada do ar em solos com textura argilosa. Assim, os resultados obtidos inviabilizam a sua utilização nas rotinas laboratoriais, para substituir o álcool 99°GL. Por outro lado, o álcool 70°GL e 47,59°GL não apresentaram bons resultados também, indicando que não é possível realizar economia com álcool nas análises de laboratório, reduzindo a concentração do álcool 99°GL.

Tendo as análises ρ_p obtidas com *MBV* com álcool 99°GL, as análises dispostas a seguir apresentam os resultados de tentativas para obter a ρ_p a partir de adaptações metodológicas, sempre utilizando água com um aditivo (simeticona).

a) *MBV* utilizando a solução água e simeticona

Os resultados da ρ_p obtida com o *MBV* utilizando água e simeticona, para as leituras realizadas às 24, 48, evidenciaram médias muito próximas e baixa variabilidade para todas as localidades estudadas (TABELA 4.2 e FIGURA 4.8). Contudo, assim como foi verificado para outras análises com álcool, as medidas realizadas instantaneamente (zero hora) sempre indicaram valores de ρ_p inferiores às medias realizadas nos outros períodos. Maiores detalhes sobre os resultados obtidos em todas as análises realizadas também podem ser verificados no APÊNDICE 3.

TABELA 4.2. Média da massa específica das partículas do solo (ρ_p) e coeficiente de variação (CV) obtidas com o método do balão volumétrico, utilizando a solução água e simeticona, nos períodos de zero (instantâneo), 24 e 48 horas.

Amostras	----- Massa específica das partículas do solo (g cm ⁻³) -----					
	--- Zero ---		--- 24 h ---		--- 48 h ---	
	Média	CV **	Média	CV **	Média	CV **
Arapoti	2,50	2,88	2,61	1,67	2,62	1,77
Castro	2,02	4,54	2,41	2,16	2,42	2,12
Itaberá	2,35	4,20	2,63	2,03	2,63	2,26
Ponta Grossa	2,36	8,84	2,52	3,96	2,52	3,71
Tibagi	2,07	3,79	2,48	3,44	2,48	3,41

** CV – Coeficiente de variação

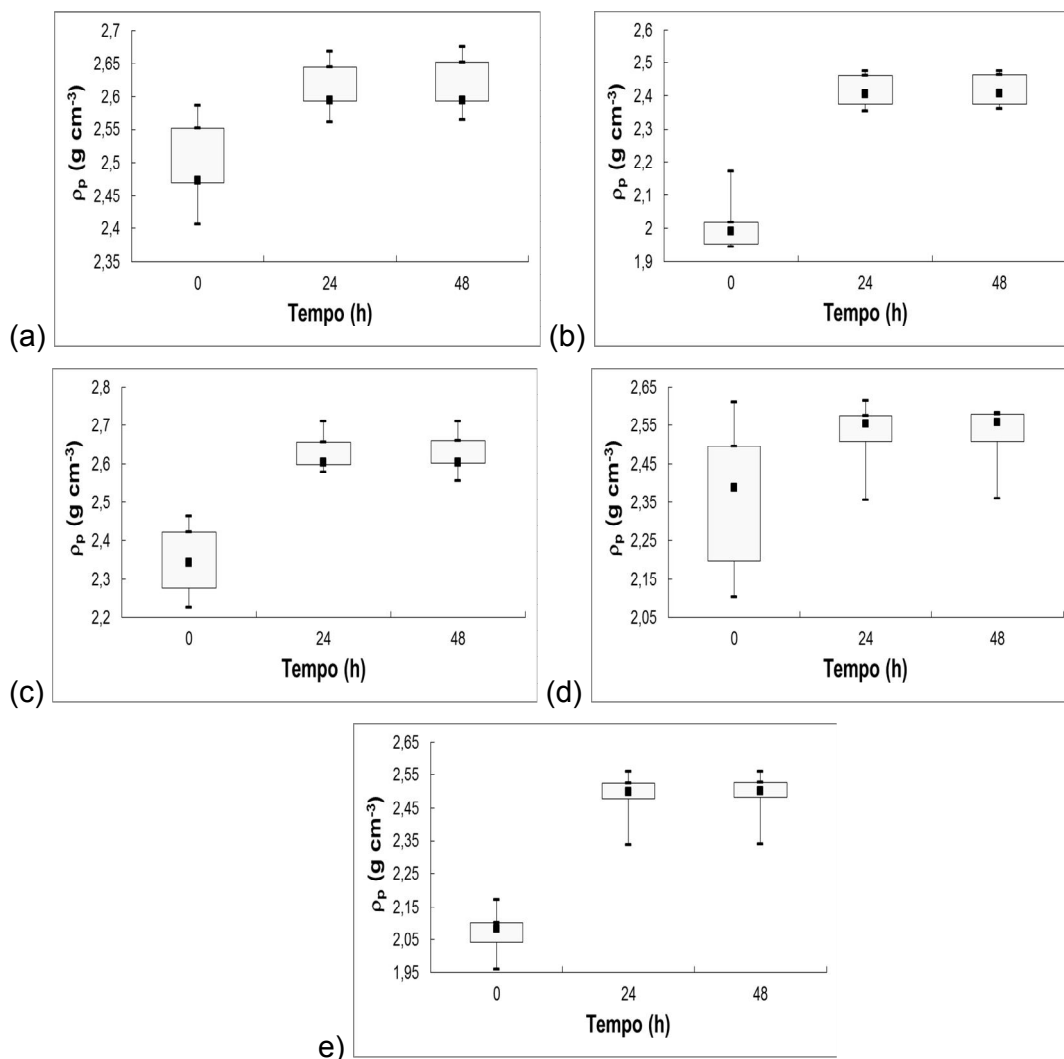


FIGURA 4.8 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do balão volumétrico, utilizando solução de água com simeticona, nos períodos de zero (instantâneo), 24 e 48 horas, para: (a) Arapoti; (b) Castro; (c) Itaberá; (d) Ponta Grossa; e, (e) Tibagi.

A água com uso de simeticona mostrou-se eficiente na retirada do ar das amostras, e proporcionou melhoria na qualidade das análises, uma vez que não houve formação de camada de matéria orgânica nos balões, facilitando a complementação com a solução nos tempos de análise. Assim, os resultados do MBV com água e semeticona foram superiores ao MBV com água e tiveram erro próximo aos verificados nas análises utilizando álcool 70°GL e 47,59°GL. Logo, a semeticona propiciou retirada do ar das amostras e análises, mas os resultados ainda foram inferiores ao MBV utilizando álcool 99° GL.

As análises com o *MBV* utilizando água e semeticona subestimaram praticamente os valores ρ_p obtidos com álcool à 99°GL (FIGURA 4.9). O erro absoluto médio entre as leituras ρ_p (*MBV* 99°GL) e ρ_p (*MBV* água+semeticona) foi de 0,13 g cm⁻³.

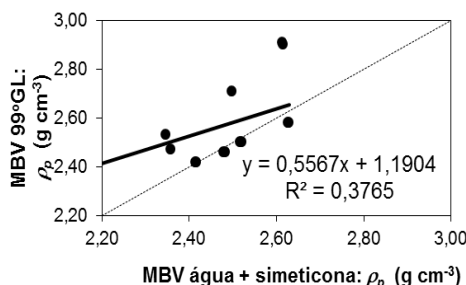


FIGURA 4.9 – Análise de regressão linear entre ρ_p obtida para os locais (Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi) e períodos estudados (zero, 24 e 48h) com o *MBV* utilizando álcool à 99°GL *versus* ρ_p obtida com o *MBV* para os mesmos locais e períodos, com uso de solução (15 ml de simeticona para 1 L de água).

b) Picnômetro utilizando somente água.

Os resultados obtidos em todas as análises realizadas com o picnômetro podem ser verificados no APÊNDICE 4.

Os valores de massa específica das partículas do solo obtidas com o picnômetro também subestimaram os valores medidos no *MBV* com álcool 99°GL (TABELA 4.3 e FIGURA 4.10). Embora realizada apenas para uma localidade (Arapoti), as leituras instantâneas (zero) e à 24 h (FIGURA 4.11) também apresentaram tendência parecida com as verificadas nas análises anteriores, considerando o *MBV* com álcool em diferentes concentrações e água. No entanto, o coeficiente de variação (CV) mostrou-se maior (TABELA 4.3).

TABELA 4.3. Média da massa específica das partículas do solo (ρ_p) e coeficiente de variação (CV) obtidas com o método do picnômetro, utilizando água, nos períodos de zero (instantâneo), 24 e 48 horas, para Arapoti.

Amostra	----- Massa específica das partículas do solo (g cm^{-3}) -----			
	----- Zero -----		----- 24 h -----	
	Valor	CV **	Valor	CV **
Amostra 1	2,47	-----	2,54	-----
Amostra 2	2,45	-----	2,56	-----
Amostra 3	1,81	-----	1,89	-----
Amostra 4	2,45	-----	2,54	-----
Média	2,30	14,09	2,38	13,79

** CV – Coeficiente de variação

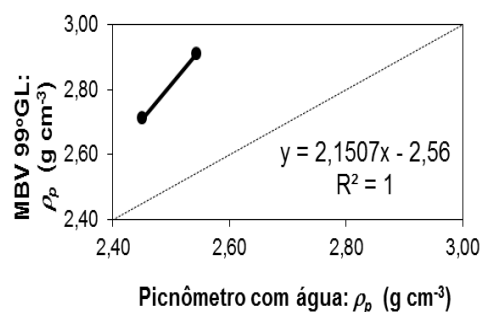


FIGURA 4.10 – Análise de regressão linear entre ρ_p obtida para Arapoti, nos períodos zero (instantâneo) e 24h, com o MBV utilizando álcool à 99°GL *versus* ρ_p obtida com o picnômetro com água para o mesmo local e períodos.

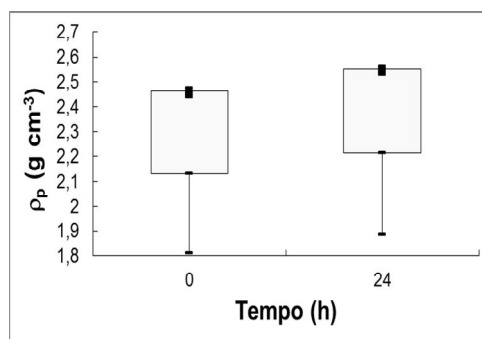


FIGURA 4.11 – Box Plot da massa específica das partículas do solo (ρ_p), obtida com o método do picnômetro, utilizando água nos períodos de zero (instantâneo) e 24 horas, para Arapoti.

5 CONCLUSÕES

Para todos os métodos estudados no presente trabalho, a leitura instantânea (zero hora) da massa dos componentes metodológicos subestimou o valor de ρ_p . Isso indica que a leitura deve ser realizada com, no mínimo, 24 horas após a mistura do solo com a solução solvente.

Apesar da perda de álcool por evaporação representar um erro quando se emprega o *MBV* com álcool 99°GL, os resultados obtidos na metodologia padrão é superior à outras concentrações com álcool testadas (46,59°GL e 70°GL) e água. O *MBV* com álcool 99°GL também foi superior à solução formada por água com produto antiespumante, bem como utilizando o picnômetro. O álcool 99°GL além de mais eficiente possibilita melhor execução da metodologia com o *MBV*, não promovendo formação de camadas de material, facilitando a complementação do nível dos balões nos tempos analisados. As concentrações de álcool 46,59°GL e 70°GL não possibilitaram boas condições de análises, e não alcançaram no tempo máximo de 168 horas a eficiência encontrada nas 24 horas de análise com álcool 99°GL.

O emprego do álcool 99°GL é mais indicado para a análise da massa específica das partículas do solo com uso do Métodos do Balão Volumétrico, uma vez que este se apresenta com maior eficiência na retirada do ar em menor tempo.

6 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. & KUNTZE, M.A.G. **Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo 29:415-424, 2005.
- AMADO, T.J.C.; CONCEIÇÃO, P.C.; BAYER, C. & ELTZ, F.L.F. **Qualidade do solo avaliada pelo Soil quality kit test em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 31:109-121, 2007.
- ARATANI, R. G.; Freddi, O. da S.; Centurion, J. F. & Andrioli, I. **Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférico sob diferentes sistemas de uso e manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:677-687, 2009.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W.J. & LACERDA, M.P.C. **Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1099-1108, 2007.
- BEHRING, J. L.; LUCAS, M.; MACHADO, Clodoaldo and BARCELLOS, Ivonete Oliveira. **Adaptação no método do peso da gota para determinação da tensão superficial: um método simplificado para a quantificação da CMC de surfactantes no ensino da química.** Quím. Nova [online]. 27:492-495, 2004.
- DEXTER, A.R. **Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth.** Geoderma, 20:201-214, 2004
- DORAN, J.W.; SARRANTONIO, M. & LIEBIG, M.A. **Soil health and sustainability.** Adv. Agron., 56:1-54, 1996.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPACNPS, 1997.
- FLINT, A.L.; FLINT, L.E. Particle density. In: DANE, J.H ; TOPP, G.C. (Ed). **Methods of soil analysis: part 4 – physical methods.** Madison: American Society of America, 2002.
- FLOWERS, M.D.; LAL, R. **Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio.** Soil and Tillage Research, 48:21-35, 1998.
- FORSYTHE, W. **Física de suelos.** Costa Rica: IICA, 1975.

GROHMAN, F. Porosidade. In: MONIZ, A.C. **Elementos de pedologia**. São Paulo, Polígono, 1972.

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. **Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo: exatidão, precisão e tempo de processamento**. Ciência Rural, 36:664-668, 2006.

KRISHNA R. REDDY, PH.D., P.E. **Engineering properties of soils based on laboratory testing**. Department of Civil and Materials Engineering University of Illinois at Chicago. 2002.

KIEHL, E.J.; KINJO, T.; MARCOS, Z.Z. **Caracterização e interpretação das propriedades do solo**. 2.ed. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Solos e Geologia, 1972.

KIEHL, E.J. Manual de edafologia: **Relações solo-planta**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979.

LHOTSKÝ, J. et al. **Degradation of soil by increasing compression**. Soil and Tillage Research, 19:87-295, 1991.

MIOTTI, Alan Antônio; COSTA, Mirian Cristina Gomes; FERREIRA, Tiago Osório and ROMERO, Ricardo Espíndola. **Profundidade e atributos físicos do solo e seus impactos nas raízes de bananeiras**. Revista Brasileira de Fruticultura. [online], 35:536-545, 2013.

ROSA, M.E.C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M. & CORREIA, J.R. **Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado**. Revista Brasileira de ciência do Solo, 27:911-923, 2003.

SANTOS, A. M. et al. **Comparação entre as densidades da partícula de seis solos do estado de Pernambuco obtidas pelo método clássico do picnômetro com água e o método do balão volumétrico com álcool etílico**. Artigo acadêmico da Universidade Federal de Pernambuco [online] 2009.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K. & FIORIN, J.E. **Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo**. Revista Brasileira de ciência do Solo, 29:407-414, 2005.

SILVA, E. M. B. et al. **Utilização de cera de abelhas na determinação da densidade do solo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online], 27:955-959, 2003.

USDA-ARS. **Soil quality test kit guide**. Washington, Soil Quality Institute, 1998.

VEZZANI, F. M.; Mielniczuk, J. **Uma visão sobre qualidade do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:743-755, 2009.

VIEIRA, Márcio Luis e KLEIN, Vilson Antonio. **Propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 31:1271-1280, 2007.

APÊNDICE 1 – Mapas das áreas de Castro, Ponta Grossa e Tibagi.

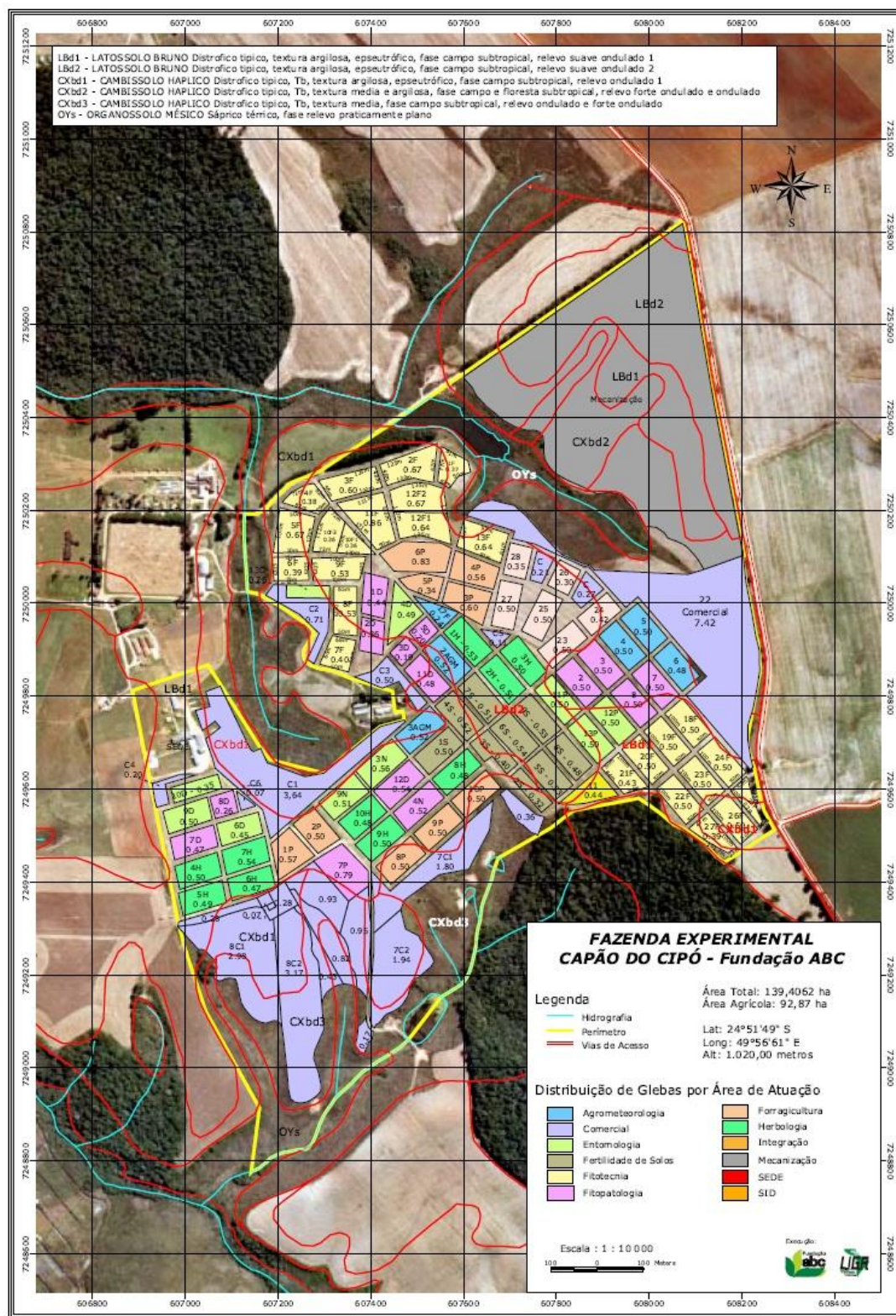


FIGURA A.1.1 – Área experimental da Fundação ABC em Castro.

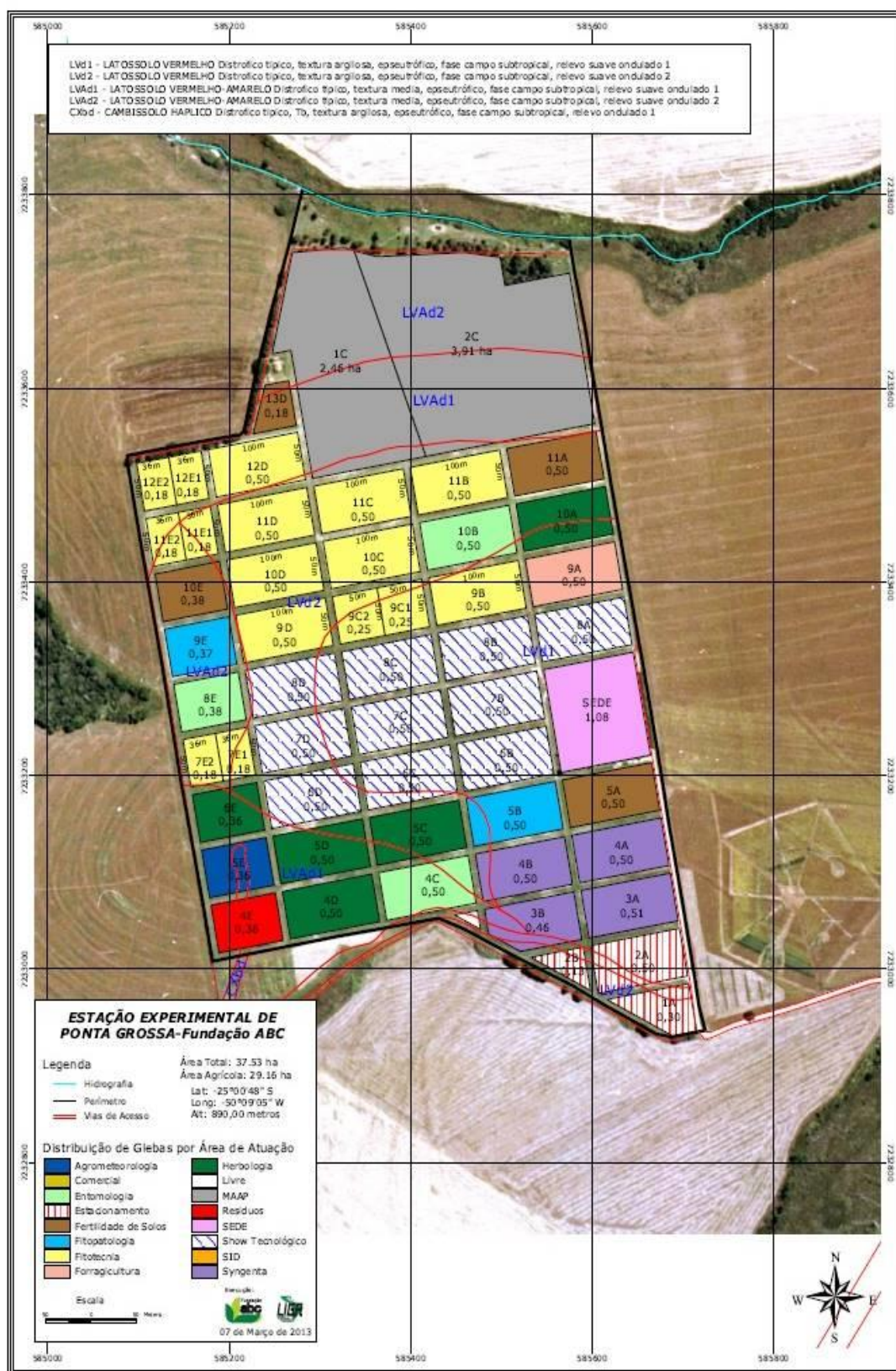


FIGURA A.1.2 – Área experimental da Fundação ABC em Ponta Grossa

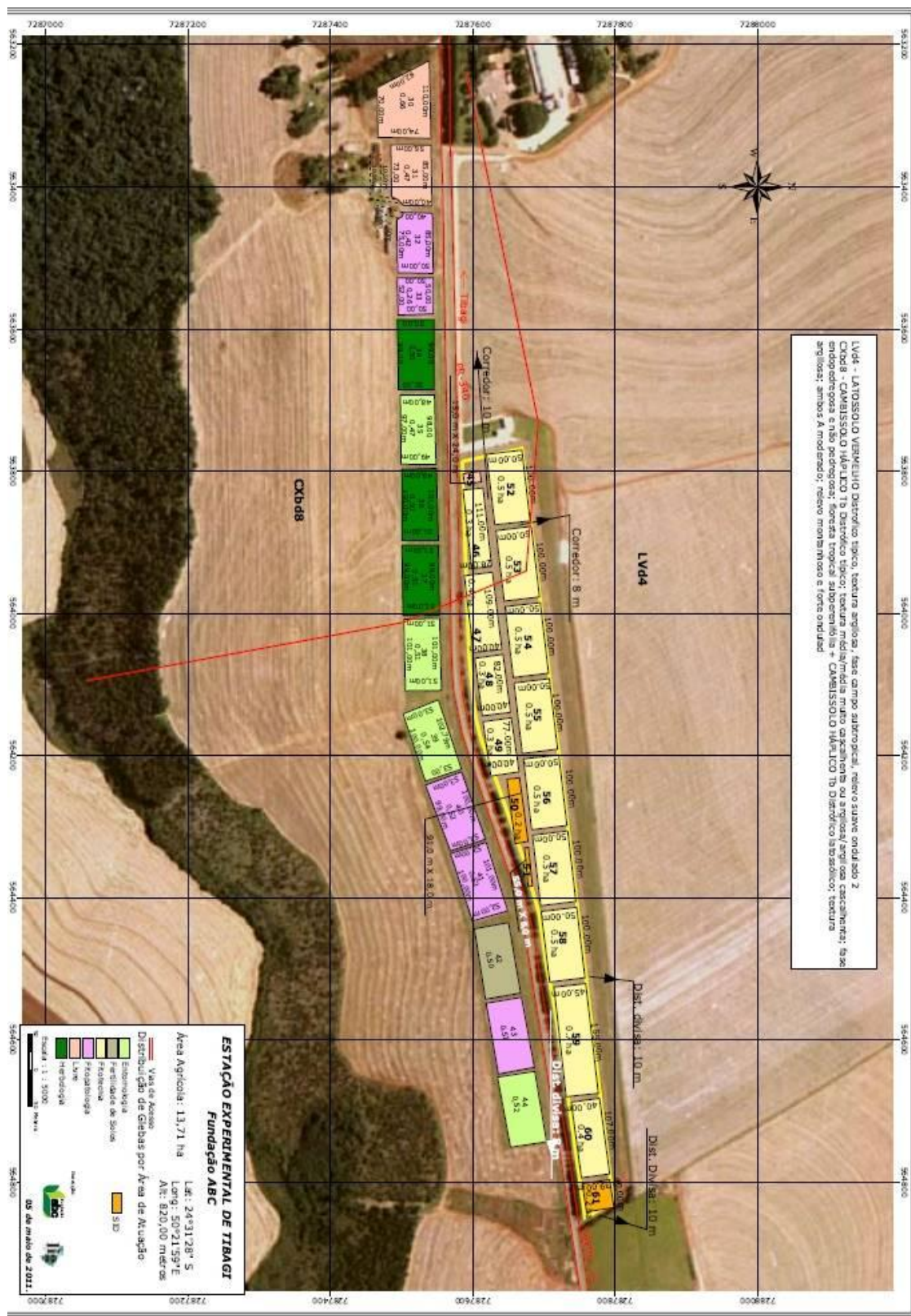


FIGURA A.1.3 – Área experimental da Fundação ABC em Tibagi

APÊNDICE 2: Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (*MBV*), com álcool 99°GL, 70°GL, 46,59°GL e zero (água), nos tempos zero (instantâneo), 24, 48 e 168 horas para as cidades de: Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

TABELA A.2.1. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **99°GL**, no tempo **zero (instantâneo)**, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	“Balão + Solo”	“Balão + Solo + Álcool 99°”	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	62,3	94,50	2,37
1	b	36,38	57,17	91,05	2,93
1	c	37,32	57,36	91,13	2,77
1	d	34,60	54,97	89,05	2,97
1	e	37,72	58,66	91,53	2,50
----- Castro -----					
16	a	40,85	60,85	92,05	1,91
16	b	43,03	63,54	97,15	2,75
16	c	66,10	86,51	119,21	2,37
16	d	41,00	61,08	93,81	2,35
16	e	40,00	60,49	93,26	2,41
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,92	94,09	2,51
31	b	37,44	57,50	90,69	2,51
31	c	58,94	78,94	112,17	2,52
31	d	62,61	82,75	116,18	2,62
31	e	37,52	57,66	90,78	2,50
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,65	86,67	2,48
46	b	31,87	51,87	84,80	2,41
46	c	40,38	60,50	93,80	2,57
46	d	66,60	86,60	119,66	2,46
46	e	41,11	61,55	94,43	2,44
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,81	87,86	2,47
76	b	23,92	43,96	77,00	2,45
76	c	65,61	85,71	118,71	2,45
76	d	40,35	60,52	93,51	2,45
76	e	62,20	81,29	114,43	2,37

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 99,57 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,79.

TABELA A.2.2. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **99°GL**, no tempo **24 horas**, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 99	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	62,3	95,01	2,56
1	b	36,38	57,17	91,15	2,99
1	c	37,32	57,36	91,15	2,79
1	d	34,60	54,97	90,05	3,66
1	e	37,72	58,66	91,63	2,54
----- Castro -----					
16	a	40,85	60,85	93,45	2,30
16	b	43,03	63,54	96,23	2,39
16	c	66,10	86,51	119,54	2,50
16	d	41,00	61,08	94,11	2,46
16	e	40,00	60,49	93,42	2,47
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,92	94,14	2,54
31	b	37,44	57,50	90,75	2,55
31	c	58,94	78,94	112,34	2,60
31	d	62,61	82,75	116,27	2,67
31	e	37,52	57,66	90,89	2,55
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,65	86,7	2,50
46	b	31,87	51,87	84,88	2,44
46	c	40,38	60,50	93,85	2,60
46	d	66,60	86,60	119,67	2,47
46	e	41,11	61,55	94,50	2,47
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,81	87,86	2,47
76	b	23,92	43,96	77,08	2,49
76	c	65,61	85,71	118,75	2,47
76	d	40,35	60,52	93,56	2,48
76	e	62,20	81,29	114,48	2,40

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 99,57 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,79.

TABELA A.2.3. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **99°GL**, no tempo **48 horas**, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 99	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	62,30	95,01	2,55
1	b	36,38	57,17	91,16	2,99
1	c	37,32	57,36	91,17	2,79
1	d	34,60	54,97	90,03	3,63
1	e	37,72	58,66	91,67	2,55
----- Castro -----					
16	a	40,85	60,85	93,47	2,30
16	b	43,03	63,54	96,25	2,39
16	c	66,10	86,51	119,53	2,49
16	d	41,00	61,08	94,12	2,46
16	e	40,00	60,49	93,44	2,47
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,92	94,14	2,53
31	b	37,44	57,50	90,75	2,54
31	c	58,94	78,94	112,34	2,59
31	d	62,61	82,75	116,28	2,67
31	e	37,52	57,66	91,00	2,59
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,65	86,71	2,49
46	b	31,87	51,87	84,89	2,44
46	c	40,38	60,50	93,9	2,61
46	d	66,60	86,60	119,68	2,46
46	e	41,11	61,55	94,51	2,47
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,81	87,99	2,52
76	b	23,92	43,96	77,04	2,47
76	c	65,61	85,71	118,8	2,48
76	d	40,35	60,52	93,5	2,45
76	e	62,20	81,29	114,47	2,39

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 99,57 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,79; Tempo de análise 48 horas.

TABELA A.2.4. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **99°GL**, no tempo **168 horas**, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 99	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	62,30	95,00	2,55
1	b	36,38	57,17	91,18	3,00
1	c	37,32	57,36	91,18	2,79
1	d	34,60	54,97	90,05	3,65
1	e	37,72	58,66	91,65	2,54
----- Castro -----					
16	a	40,85	60,85	93,45	2,29
16	b	43,03	63,54	96,26	2,39
16	c	66,10	86,51	119,54	2,50
16	d	41,00	61,08	94,12	2,46
16	e	40,00	60,49	93,42	2,47
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,92	94,15	2,54
31	b	37,44	57,50	90,74	2,53
31	c	58,94	78,94	112,35	2,60
31	d	62,61	82,75	116,28	2,67
31	e	37,52	57,66	91,01	2,59
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,65	86,72	2,50
46	b	31,87	51,87	84,88	2,44
46	c	40,38	60,50	93,91	2,61
46	d	66,60	86,60	119,69	2,47
46	e	41,11	61,55	94,49	2,46
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,81	87,98	2,51
76	b	23,92	43,96	77,05	2,47
76	c	65,61	85,71	118,8	2,48
76	d	40,35	60,52	93,51	2,45
76	e	62,20	81,29	114,47	2,39

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 99,57 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,79.

TABELA A.2.5. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **70°GL**, no tempo **0 (instantâneo)**, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	40,46	60,41	96,4	2,33
1	b	36,47	56,47	92,6	2,38
1	c	37,46	57,45	93,94	2,50
1	d	35,01	54,95	91,06	2,37
1	e	37,82	57,83	94,38	2,53
----- Castro -----					
16	a	41,25	61,28	96,79	2,20
16	b	43,22	63,22	98,81	2,22
16	c	66,5	86,48	122,3	2,28
16	d	41,09	61,05	96,86	2,28
16	e	40,34	60,39	95,92	2,20
----- Itaberá -----					
31	a	40,83	60,84	97,15	2,44
31	b	37,67	57,66	94,1	2,48
31	c	59,07	79,02	115,46	2,48
31	d	62,85	82,87	119,54	2,57
31	e	37,63	57,66	94,07	2,48
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,51	53,51	89,51	2,34
46	b	31,9	51,88	87,97	2,36
46	c	40,44	60,41	96,68	2,42
46	d	66,79	86,76	122,59	2,28
46	e	41,11	61,1	96,98	2,30
----- Tibagi -----					
76	a	34,89	54,86	90,99	2,38
76	b	23,92	53,93	85,98	2,29
76	c	65,75	85,75	121,14	2,16
76	d	40,41	60,42	96,57	2,39
76	e	61,62	81,63	117,57	2,32

Massa do Balão: 60,28 g; Massa do Balão + álcool: 103,71 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,87.

TABELA A.2.6. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **70°GL**, no tempo **24 horas**, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	40,46	60,41	97,02	2,54
1	b	36,47	56,47	93,18	2,59
1	c	37,46	57,45	94,12	2,57
1	d	35,01	54,95	91,38	2,48
1	e	37,82	57,83	94,47	2,56
----- Castro -----					
16	a	41,25	61,28	97,36	2,37
16	b	43,22	63,22	99,46	2,42
16	c	66,5	86,48	122,63	2,39
16	d	41,09	61,05	97,25	2,40
16	e	40,34	60,39	96,42	2,36
----- Itaberá -----					
31	A	40,83	60,84	97,55	2,59
31	B	37,67	57,66	94,27	2,55
31	C	59,07	79,02	115,8	2,61
31	d	62,85	82,87	119,69	2,63
31	e	37,63	57,66	94,27	2,55
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,51	53,51	89,99	2,50
46	b	31,9	51,88	88,44	2,53
46	c	40,44	60,41	97,02	2,55
46	d	66,79	86,76	123,17	2,47
46	e	41,11	61,1	97,52	2,48
----- Tibagi -----					
76	a	34,89	54,86	91,52	2,57
76	b	23,92	53,93	86,49	2,40
76	c	65,75	85,75	122,21	2,50
76	d	40,41	60,42	96,91	2,51
76	e	60,62	81,63	117,92	2,56

Massa do Balão: 60,28 g; Massa do Balão + álcool: 103,71 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,87.

TABELA A.2.7. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **70°GL**, no tempo 48 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	40,46	60,41	97,03	2,54
1	b	36,47	56,47	93,19	2,59
1	c	37,46	57,45	94,12	2,57
1	d	35,01	54,95	91,38	2,47
1	e	37,82	57,83	94,47	2,56
----- Castro -----					
16	a	41,25	61,28	97,37	2,37
16	b	43,22	63,22	99,49	2,43
16	c	66,5	86,48	122,58	2,37
16	d	41,09	61,05	97,26	2,40
16	e	40,34	60,39	96,49	2,38
----- Itaberá -----					
31	a	40,83	60,84	97,56	2,59
31	b	37,67	57,66	94,28	2,55
31	c	59,07	79,02	115,81	2,61
31	d	62,85	82,87	119,7	2,63
31	e	37,63	57,66	94,28	2,55
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,51	53,51	89,98	2,50
46	b	31,9	51,88	88,44	2,53
46	c	40,44	60,41	97,05	2,55
46	d	66,79	86,76	123,13	2,46
46	e	41,11	61,1	97,52	2,48
----- Tibagi -----					
76	a	34,89	54,86	91,52	2,56
76	b	23,92	53,93	86,51	2,40
76	c	65,75	85,75	122,19	2,49
76	d	40,41	60,42	96,93	2,51
76	e	60,62	81,63	117,94	2,56

Massa do Balão: 60,28 g; Massa do Balão + álcool: 103,71 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,87.

TABELA A.2.8. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **70°GL**, no tempo 168 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	40,46	60,41	97,03	2,55
1	b	36,47	56,47	93,19	2,59
1	c	37,46	57,45	94,12	2,57
1	d	35,01	54,95	91,39	2,48
1	e	37,82	57,83	94,48	2,57
----- Castro -----					
16	a	41,25	61,28	97,38	2,38
16	b	43,22	63,22	99,50	2,43
16	c	66,5	86,48	122,59	2,37
16	d	41,09	61,05	97,26	2,40
16	e	40,34	60,39	96,51	2,39
----- Itaberá -----					
31	a	40,83	60,84	97,56	2,59
31	b	37,67	57,66	94,28	2,55
31	c	59,07	79,02	115,81	2,61
31	d	62,85	82,87	119,71	2,64
31	e	37,63	57,66	94,28	2,56
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,51	53,51	90,00	2,51
46	b	31,90	51,88	88,44	2,53
46	c	40,44	60,41	97,05	2,56
46	d	66,79	86,76	123,13	2,46
46	e	41,11	61,10	97,53	2,48
----- Tibagi -----					
76	a	34,89	54,86	91,53	2,57
76	b	23,92	53,93	86,52	2,41
76	c	65,75	85,75	122,21	2,50
76	d	40,41	60,42	96,93	2,51
76	e	60,62	81,63	117,94	2,57

Massa do Balão: 60,28 g; Massa do Balão + álcool: 103,71 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,87.

TABELA A.2.9. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **47,59°GL**, no tempo 0 (instantâneo), para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	36,08	56,57	95,17	2,58
1	b	37,99	57,84	96,38	2,48
1	c	24,21	44,49	82,87	2,48
1	d	60,22	80,12	118,33	2,38
1	e	65,75	85,73	124,4	2,54
----- Castro -----					
16	a	24,43	44,36	82,37	2,32
16	b	25,23	45,32	83,22	2,31
16	c	38,04	58,11	96,15	2,34
16	d	64,87	84,81	122,98	2,37
16	e	59,38	79,35	117,21	2,28
----- Itaberá -----					
31	a	62,96	82,91	121,61	2,54
31	b	37,43	57,46	96,02	2,51
31	c	43,83	63,82	102,38	2,50
31	d	32,96	52,96	91,42	2,47
31	e	59,83	79,89	118,26	2,45
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,23	85,28	123,56	2,42
46	b	63,36	83,33	121,44	2,35
46	c	58,6	78,58	117,06	2,47
46	d	58,04	78,04	116,16	2,36
46	e	64,83	84,84	122,6	2,26
----- Tibagi -----					
76	a	60,09	80,07	118,33	2,40
76	b	35,58	55,47	93,5	2,32
76	c	64,12	84,17	122,65	2,48
76	d	37,76	57,81	95,91	2,36
76	e	56,82	76,89	114,86	2,32

Massa do Balão: 60,32 g; Massa do Balão + álcool: 106,21 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,92.

TABELA A.2.10. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **47,59°GL**, no tempo 24 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	36,08	56,57	95,19	2,60
1	b	37,99	57,84	96,52	2,54
1	c	24,21	44,49	83,12	2,57
1	d	60,22	80,12	118,8	2,54
1	e	65,75	85,73	124,51	2,59
----- Castro -----					
16	a	24,43	44,36	82,74	2,44
16	b	25,23	45,32	83,69	2,46
16	c	38,04	58,11	96,27	2,39
16	d	64,87	84,81	123,27	2,47
16	e	59,38	79,35	117,73	2,45
----- Itaberá -----					
31	a	62,96	82,91	121,79	2,62
31	b	37,43	57,46	96,18	2,57
31	c	43,83	63,82	102,59	2,59
31	d	32,96	52,96	91,66	2,56
31	e	59,83	79,89	118,45	2,52
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,23	85,28	123,88	2,53
46	b	63,36	83,33	121,76	2,47
46	c	58,6	78,58	117,35	2,58
46	d	58,04	78,04	116,47	2,47
46	e	64,83	84,84	123,22	2,45
----- Tibagi -----					
76	a	60,09	80,07	118,48	2,46
76	b	35,58	55,47	93,96	2,48
76	c	64,12	84,17	122,88	2,57
76	d	37,76	57,81	96,15	2,45
76	e	56,82	76,89	115,32	2,48

Massa do Balão: 60,32 g; Massa do Balão + álcool: 106,21 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,92

TABELA A.2.11. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **47,59°GL**, no tempo 48 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	36,08	56,57	95,23	2,60
1	b	37,99	57,84	96,61	2,56
1	c	24,21	44,49	83,15	2,57
1	d	60,22	80,12	118,8	2,53
1	e	65,75	85,73	124,5	2,57
----- Castro -----					
16	a	24,43	44,36	82,75	2,44
16	b	25,23	45,32	83,71	2,46
16	c	38,04	58,11	96,3	2,39
16	d	64,87	84,81	123,28	2,46
16	e	59,38	79,35	117,79	2,46
----- Itaberá -----					
31	a	62,96	82,91	121,8	2,61
31	b	37,43	57,46	96,19	2,56
31	c	43,83	63,82	102,61	2,58
31	d	32,96	52,96	91,67	2,55
31	e	59,83	79,89	118,47	2,52
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,23	85,28	123,9	2,53
46	b	63,36	83,33	121,75	2,45
46	c	58,6	78,58	117,38	2,58
46	d	58,04	78,04	116,52	2,47
46	e	64,83	84,84	123,24	2,45
----- Tibagi -----					
76	a	60,09	80,07	118,5	2,46
76	b	35,58	55,47	93,97	2,47
76	c	64,12	84,17	122,89	2,56
76	d	37,76	57,81	96,17	2,44
76	e	56,82	76,89	115,33	2,47

Massa do Balão: 60,32 g; Massa do Balão + álcool: 106,21 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,92.

TABELA A.2.12. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com álcool **47,59°GL**, no tempo 168 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	36,08	56,57	95,27	2,61
1	b	37,99	57,84	96,61	2,56
1	c	24,21	44,49	83,17	2,58
1	d	60,22	80,12	118,81	2,53
1	e	65,75	85,73	124,53	2,58
----- Castro -----					
16	a	24,43	44,36	82,77	2,44
16	b	25,23	45,32	83,72	2,46
16	c	38,04	58,11	96,31	2,39
16	d	64,87	84,81	123,29	2,47
16	e	59,38	79,35	117,79	2,46
----- Itaberá -----					
31	a	62,96	82,91	121,84	2,63
31	b	37,43	57,46	96,19	2,56
31	c	43,83	63,82	102,63	2,59
31	d	32,96	52,96	91,70	2,56
31	e	59,83	79,89	118,47	2,52
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,23	85,28	123,91	2,53
46	b	63,36	83,33	121,84	2,48
46	c	58,6	78,58	117,42	2,60
46	d	58,04	78,04	116,53	2,48
46	e	64,83	84,84	123,24	2,45
----- Tibagi -----					
76	a	60,09	80,07	118,55	2,47
76	b	35,58	55,47	93,99	2,47
76	c	64,12	84,17	122,93	2,58
76	d	37,76	57,81	96,18	2,44
76	e	56,82	76,89	115,39	2,49

Massa do Balão: 60,32 g; Massa do Balão + álcool: 106,21 g; Volume do balão: 50,0 mL; Densidade do álcool: 0,92.

TABELA A.2.13. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com água, no tempo zero (instantâneo), para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	35,97	55,98	97,71	2,42
1	b	37,78	57,8	99,52	2,42
1	c	24,06	44,13	85,64	2,36
1	d	60,01	80,10	121,02	2,21
1	e	65,67	85,82	127,4	2,39
----- Castro -----					
16	a	24,27	44,27	83,99	1,94
16	b	25,05	45,05	84,87	1,96
16	c	37,74	57,81	96,82	1,82
16	d	64,71	84,98	124,11	1,86
16	e	59,26	79,29	118,60	1,87
----- Itaberá -----					
31	a	62,80	82,80	124,85	2,51
31	b	37,21	57,35	98,96	2,40
31	c	43,68	63,75	104,19	2,10
31	d	32,72	52,96	94,74	2,46
31	e	59,41	79,44	120,65	2,28
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,02	85,09	125,83	2,17
46	b	63,01	83,05	123,45	2,09
46	c	58,55	78,63	119,11	2,11
46	d	57,54	77,69	117,77	2,03
46	e	64,48	84,56	124,23	1,94
----- Tibagi -----					
76	a	59,73	79,78	119,8	2,01
76	b	35,22	55,5	95,87	2,10
76	c	64	84,45	124,33	2,02
76	d	37,49	57,7	97,33	1,95
76	e	56,34	76,58	116,73	2,05

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 110,09 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 1,00.

TABELA A.2.14. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com água, no tempo 24 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	35,97	55,98	97,71	2,42
1	b	37,78	57,8	99,52	2,42
1	c	24,06	44,13	85,64	2,36
1	d	60,01	80,10	121,02	2,21
1	e	65,67	85,82	127,40	2,39
----- Castro -----					
16	a	24,27	44,27	83,99	1,94
16	b	25,05	45,05	84,87	1,96
16	c	37,74	57,81	96,82	1,82
16	d	64,71	84,98	124,11	1,86
16	e	59,26	79,29	118,60	1,87
----- Itaberá -----					
31	a	62,80	82,80	124,85	2,51
31	b	37,21	57,35	98,96	2,40
31	c	43,68	63,75	104,19	2,10
31	d	32,72	52,96	94,74	2,46
31	e	59,41	79,44	120,65	2,28
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,02	85,09	125,83	2,17
46	b	63,01	83,05	123,45	2,09
46	c	58,55	78,63	119,11	2,11
46	d	57,54	77,69	117,77	2,03
46	e	64,48	84,56	124,23	1,94
----- Tibagi -----					
76	a	59,73	79,78	119,8	2,01
76	b	35,22	55,5	95,87	2,10
76	c	64,00	84,45	124,33	2,02
76	d	37,49	57,7	97,33	1,95
76	e	56,34	76,58	116,73	2,05

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 110,09 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 1,00.

TABELA A.2.15. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com água, no tempo 48 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	35,97	55,98	98,14	2,55
1	b	37,78	57,80	99,60	2,44
1	c	24,06	44,13	86,40	2,59
1	d	60,01	80,10	122,15	2,52
1	e	65,67	85,82	128,42	2,72
----- Castro -----					
16	a	24,27	44,27	86,03	2,42
16	b	25,05	45,05	86,86	2,44
16	c	37,74	57,81	99,65	2,46
16	d	64,71	84,98	126,73	2,45
16	e	59,26	79,29	121,17	2,46
----- Itaberá -----					
31	a	62,8	82,8	125,72	2,82
31	b	37,21	57,35	99,81	2,67
31	c	43,68	63,75	106,24	2,67
31	d	32,72	52,96	95,33	2,65
31	e	59,41	79,44	121,83	2,63
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,02	85,09	128,12	2,88
46	b	63,01	83,05	126,05	2,86
46	c	58,55	78,63	120,26	2,40
46	d	57,54	77,69	118,19	2,12
46	e	64,48	84,56	125,32	2,17
----- Tibagi -----					
76	a	59,73	79,78	121,99	2,57
76	b	35,22	55,5	97,64	2,58
76	c	64,00	84,45	124,52	2,06
76	d	37,49	57,70	97,54	1,99
76	e	56,34	76,58	116,8	2,07

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 110,09 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 1,00.

TABELA A.2.16. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com água, no tempo 168 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + Álcool 70	
----- Arapoti -----					
1	a	35,97	55,98	98,02	2,51
1	b	37,78	57,80	98,94	2,26
1	c	24,06	44,13	86,25	2,54
1	d	60,01	80,30	121,98	2,44
1	e	65,67	85,82	127,54	2,43
----- Castro -----					
16	a	24,27	44,27	85,98	2,41
16	b	25,05	45,05	86,75	2,41
16	c	37,74	57,81	99,52	2,42
16	d	64,71	84,98	126,45	2,37
16	e	59,26	79,29	121,1	2,44
----- Itaberá -----					
31	a	62,80	82,8	125,35	2,68
31	b	37,21	57,35	99,62	2,60
31	c	43,68	63,75	105,99	2,58
31	d	32,72	52,96	95,20	2,61
31	e	59,41	79,44	121,75	2,60
----- Ponta Grossa -----					
46	a	65,02	85,09	127,55	2,66
46	b	63,01	83,05	125,80	2,76
46	c	58,55	78,63	121,85	2,96
46	d	57,54	77,69	119,98	2,61
46	e	64,48	84,56	126,95	2,64
----- Tibagi -----					
76	a	59,73	79,78	121,75	2,49
76	b	35,22	55,50	97,55	2,55
76	c	64,00	84,45	124,30	2,01
76	d	37,49	57,70	99,45	2,45
76	e	56,34	76,58	117,30	2,18

Massa do Balão: 60,08 g; Massa do Balão + álcool: 110,09 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 1,00.

APENDICE 3: Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com uso de solução formada por 15 ml de simeticona em 1 L de água, nos tempos zero (instantâneo), 24 e 48 horas para as cidades de: Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi

TABELA A.3.1. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com solução no tempo zero (instantâneo), para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + solução	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	60,58	101,76	2,41
1	b	36,38	56,75	98,06	2,47
1	c	37,32	57,48	99,24	2,59
1	d	34,60	54,72	96,14	2,47
1	e	37,72	58,07	99,65	2,55
----- Castro -----					
16	a	40,85	61,06	100,62	2,02
16	b	43,03	63,04	102,33	1,94
16	c	66,10	86,27	125,72	1,99
16	d	41,00	61,09	100,39	1,95
16	e	40,00	60,34	100,54	2,17
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,84	102,27	2,46
31	b	37,44	57,67	98,35	2,28
31	c	58,94	79,05	119,58	2,23
31	d	62,61	82,85	124,05	2,42
31	e	37,52	57,64	98,61	2,34
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,52	93,50	2,10
46	b	31,87	51,89	92,34	2,20
46	c	40,38	60,45	102,31	2,61
46	d	66,60	86,80	127,90	2,39
46	e	41,11	61,12	102,65	2,49
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,89	95,16	2,17
76	b	23,92	43,92	83,90	2,09
76	c	65,61	85,75	125,46	2,04
76	d	40,35	60,42	100,44	2,10
76	e	62,20	81,62	121,28	1,96

Massa do Balão: 40,42g; Massa do Balão + álcool: 89,89 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 0,99.

TABELA A.3.2. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com solução no tempo 24 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + solução	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	60,58	102,26	2,56
1	b	36,38	56,75	98,45	2,59
1	c	37,32	57,48	99,41	2,65
1	d	34,60	54,72	96,73	2,67
1	e	37,72	58,07	99,78	2,59
----- Castro -----					
16	a	40,85	61,06	102,04	2,36
16	b	43,03	63,04	104,51	2,47
16	c	66,10	86,27	127,63	2,46
16	d	41,00	61,09	102,29	2,40
16	e	40,00	60,34	101,34	2,38
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,84	102,7	2,60
31	b	37,44	57,67	99,38	2,58
31	c	58,94	79,05	121,03	2,66
31	d	62,61	82,85	124,93	2,71
31	e	37,52	57,64	99,45	2,60
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,52	94,52	2,36
46	b	31,87	51,89	93,46	2,51
46	c	40,38	60,45	102,32	2,61
46	d	66,60	86,80	128,51	2,58
46	e	41,11	61,12	102,84	2,55
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,89	96,56	2,56
76	b	23,92	43,92	85,47	2,50
76	c	65,61	85,75	127,18	2,48
76	d	40,35	60,42	102,02	2,52
76	e	62,20	81,62	122,87	2,34

Massa do Balão: 40,42g; Massa do Balão + álcool: 89,89 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 0,99.

TABELA A.3.3. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Balão Volumétrico Modificado (MBV), com solução no tempo 48 horas, para as cidades de Arapoti, Castro, Itaberá, Ponta Grossa e Tibagi.

Número do balão	Amostra	Massa (g)			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Balão	Balão + Solo	Balão + Solo + solução	
----- Arapoti -----					
1	a	40,42	60,58	102,27	2,56
1	b	36,38	56,75	98,45	2,59
1	c	37,32	57,48	99,43	2,65
1	d	34,60	54,72	96,75	2,68
1	e	37,72	58,07	99,78	2,59
----- Castro -----					
16	a	40,85	61,06	102,06	2,36
16	b	43,03	63,04	104,51	2,47
16	c	66,10	86,27	127,64	2,46
16	d	41,00	61,09	102,30	2,41
16	e	40,00	60,34	101,34	2,38
----- Itaberá -----					
31	a	40,82	60,84	102,70	2,60
31	b	37,44	57,67	99,31	2,56
31	c	58,94	79,05	121,04	2,66
31	d	62,61	82,85	124,93	2,71
31	e	37,52	57,64	99,46	2,60
----- Ponta Grossa -----					
46	a	33,35	53,52	94,53	2,36
46	b	31,87	51,89	93,46	2,51
46	c	40,38	60,45	102,22	2,58
46	d	66,60	86,80	128,53	2,58
46	e	41,11	61,12	102,85	2,56
----- Tibagi -----					
76	a	34,70	54,89	96,56	2,56
76	b	23,92	43,92	85,48	2,50
76	c	65,61	85,75	127,2	2,48
76	d	40,35	60,42	102,03	2,53
76	e	62,20	81,62	122,88	2,34

Massa do Balão: 40,42g; Massa do Balão + álcool: 89,89 g; Volume do balão: 50,00 mL; Densidade do álcool: 0,99.

APENDICE 4: Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Picnômetro, com uso de água nos tempos zero (instantâneo) e 24 horas para Arapoti.

TABELA A.4.1. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Picnômetro, com solução no tempo zero (instantâneo), para Arapoti.

Número do picnômetro	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Picnômetro	picnômetro + Solo	Picnômetro + Solo + água	
----- Arapoti -----					
1	a	28,10	38,07	84,53	78,57
1	b	27,13	37,13	83,32	77,40
1	c	25,06	38,06	84,32	78,50

TABELA A.4.2. Resultados da massa específica do solo (ρ_p) obtidos nas análises com o Método do Picnômetro, com solução no tempo 24 horas, para Arapoti.

Número do picnômetro	Amostra	----- Massa (g) -----			Massa específica das partículas (g cm ⁻³)
		Picnômetro	picnômetro + Solo	Picnômetro + Solo + água	
----- Arapoti -----					
1	a	28,10	38,07	84,64	78,57
1	b	27,13	37,13	83,50	77,40
1	c	25,06	38,06	84,60	78,50