

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
CAMPUS CAJAZEIRAS

MARIA GABRIELE LEMOS BARBOSA

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MEDIDA DE DENSIDADE DO
SOLO: UM ESTUDO DE CASO NA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO**

Cajazeiras-PB
2023

MARIA GABRIELE LEMOS BARBOSA

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MEDIDA DE DENSIDADE DO SOLO: UM ESTUDO DE CASO NA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil, sob Orientação da Prof. Katharine Taveira de Brito Medeiros.

Cajazeiras-PB
2023

IFPB / Campus Cajazeiras
Coordenação de Biblioteca
Biblioteca Prof. Ribamar da Silva
Catalogação na fonte: Cícero Luciano Félix CRB-15/750

B238a	<p>Barbosa, Maria Gabriele Lemos. Análise comparativa dos métodos de medida de densidade do solo : um estudo de caso na transposição do Rio São Francisco / Maria Gabriele Lemos Barbosa. – 2023.</p> <p>19f. : il.</p> <p>Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2023.</p> <p>Orientador(a): Prof^a. Me. Katharine Taveira de Brito Medeiros.</p> <p>1. Engenharia civil. 2. Análise de solo. 3. Densidade do solo. 4. Transposição do rio São Francisco. I. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba. II. Título.</p>
-------	---

IFPB/CZ

CDU: 624:631.4(043.2)

CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

Artigo apresentado à coordenação do curso como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MEDIDA DE DENSIDADE DO SOLO: UM ESTUDO DE CASO NA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

MARIA GABRIELE LEMOS BARBOSA

gabriele.lemos@academico.ifpb.edu.br

KATHARINE TAVEIRA DE BRITO MEDEIROS

katharine.medeiros@ifpb.edu.br

RESUMO

A análise da densidade do solo é essencial para compreender suas propriedades físicas, garantindo sua qualidade e adequação para diferentes aplicações na engenharia civil. A Transposição do Rio São Francisco, considerada a maior obra hídrica do Brasil, tem como objetivo integrar as bacias hidrográficas e suprir demandas em regiões áridas. Compreender a densidade do solo corretamente é fundamental para atividades como escavação e compactação, garantindo a estabilidade da obra. Neste estudo, foram comparados dois métodos amplamente utilizados: o frasco de areia/*Speedy* e o gamadensímetro. O objetivo é avaliar a consistência dos resultados e fornecer subsídios técnicos para o controle de qualidade e tomada de decisões. Os dados de densidade e umidade foram obtidos *in situ*, a partir de ensaios realizados no trecho em estudo da obra. Os métodos apresentam particularidades, vantagens e limitações. Os resultados indicam divergências, porém, não comprometem a construção, sendo eficientes dentro dos seus diferenciais.

Palavras-Chave: frasco de areia; gamadensímetro; umidade; densidade.

ABSTRACT

Soil density analysis is essential to understand its physical properties, ensuring its quality and suitability for different applications in civil engineering. The Transposition of the São Francisco River, considered the largest water project in Brazil, aims to integrate the watersheds and supply demands in arid regions. Understanding the soil density correctly is essential for activities such as excavation and compaction, ensuring the stability of the work. In this study, two widely used methods will be compared: the sand bottle/*Speedy* and the gamma-density meter. The objective is to evaluate the consistency of the results and provide technical support for quality control and decision-making. Density and humidity data will be obtained *in situ*, from tests carried out in the section under study of the work. The methods have particularities, advantages and limitations. The results indicate divergences, however, they do not compromise the construction, being efficient within their differentials.

Keywords: sand bottle; gammadensimeter; moisture; density.

1. INTRODUÇÃO

A análise da densidade do solo é de fundamental importância para compreender e caracteriza as propriedades físicas de um solo, podendo assim averiguar se o solo é trabalhável e de qualidade para diferentes contextos na engenharia civil. O método de medida de densidade deve ser adequado para cada ocasião, pois o mesmo deve garantir resultados precisos e confiáveis.

A Transposição do Rio São Francisco é considerada a maior obra hídrica do Brasil, buscando integrar as bacias hidrográficas do rio São Francisco, como também, almeja suprir a demanda de água nas regiões áridas do país, considerada de alta relevância no cenário da engenharia civil e ambiental, é

responsável pelo desenvolvimento regional. A obra envolve a construção de canais, túneis, barragens e estações de bombeamento.

Desse modo, compreender a densidade do solo de maneira correta é de suma importância para alicerçar as movimentações de terra, como escavação, aterramento e compactação, garantindo a estabilidade e eficiência da obra. Por tanto, a comparação dos métodos de medida de densidade torna-se necessário para avaliar a consistência dos resultados, visando apresentar subsídios técnicos para o controle de qualidade e auxiliar nas tomadas de decisões.

No Brasil, existe uma diversidade de métodos padronizados para a medição da densidade do solo. No entanto, neste estudo, serão abordados dois métodos amplamente utilizados na determinação da densidade do solo. O primeiro método é o frasco de areia/Speedy, normatizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio das normas NBR 7185 “Determinação da massa específica aparente, *in situ*, com emprego de frasco de areia” (ABNT, 2016) e NBR 16097 “Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio” (ABNT, 2012). O segundo método é o gamadensímetro, normatizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), através da ME 405 “Controle de compactação em aterros com o equipamento gamadensímetro”. Ambos os métodos apresentam suas particularidades, vantagens e limitações.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo é comparar os diferentes métodos de medida de densidade do solo que foram utilizados na obra já citada. O estudo será realizado por meio dos dados de densidade e de umidade encontrados *in situ*, obtidas através das fichas de ensaios cedidas pela empresa contratada para execução da obra Ramal do Apodi, pertencente ao Eixo Norte da Transposição do Rio São Francisco. O trecho em estudo localiza-se entre os quilômetros 24+280 a 28+730. Portanto, serão analisadas as variações e diferenças entre os ensaios realizados com o método convencional mais utilizado para medida de densidade do solo, o frasco de areia/Speedy e o método nuclear gamadensímetro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COMPACTAÇÃO DO SOLO

Segundo Caputo (2016), a compactação do solo se dá por meio da expulsão de vazios, podendo ser um processo tanto mecânico quanto manual. Essa técnica pretende aumentar a resistência do solo. Ao tempo em que vão sendo aplicadas cargas repetidas, a saída do ar ocorre sem que a água presente no solo seja removida, desse modo, as partículas obtêm maior contato entre si, melhorando a compressibilidade, absorção de água e permeabilidade do solo.

Silva (2013), o processo de compactação do solo é influenciado por quatro variáveis principais, as quais exercem um papel direto na sua efetividade. Essas variáveis são: o peso específico seco (γ), que representa a massa do solo por unidade de volume após a completa remoção da água; o teor de água (w), que indica a quantidade de água presente no solo em relação ao seu peso seco; a energia de compactação, que corresponde à quantidade de energia aplicada no solo durante o processo de compactação; e por fim, o tipo de solo, que engloba suas características físicas e composição mineralógica.

- a) **Peso específico do solo (γ):** Relação entre o peso total e o volume aparente total do solo.

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} \text{ (kN } \cdot \text{ m}^3) \quad (1)$$

W_s : peso do solo / V : volume aparente

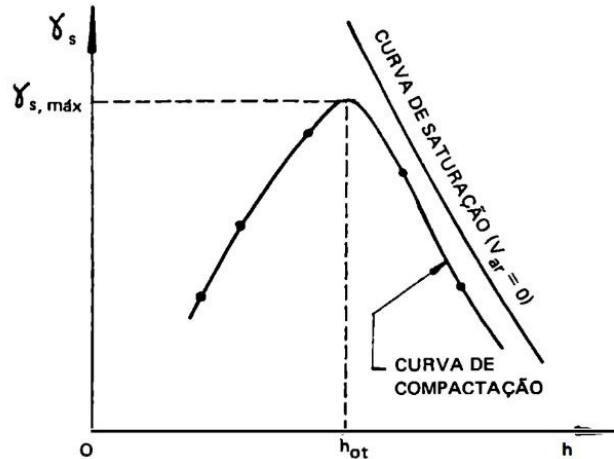
- b) **Teor de água (W):** Razão entre o peso da água num certo volume do solo e o peso deste mesmo volume.

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \text{ (\%)} \quad (2)$$

W : teor de umidade / W_w : peso da água / W_s : peso do solo

A maneira que vai se realizando a compactação dos solos, com aplicações de variadas umidades e determinada energia de compactação, observa-se que a curva de peso específico atinge o formato de parábola. A Figura 1 apresenta o fenômeno que acontece no modelo clássico da curva de compactação.

Figura 1 - Curva de compactação



Fonte: Caputo (2016).

Ainda de acordo com Caputo (2016), esta curva mostra que conforme é aumentado o teor de umidade o solo torna-se mais trabalhável, sendo possível até que o teor de umidade não ultrapasse o teor de umidade ótimo (h_{ot}), caso contrário torna-se inoperante, pois é nesse momento em que o solo fica saturado, sem a presença de ar. Com determinada energia de compactação e variações de umidade é encontrado o peso específico máximo (γ_{dmax}) e a umidade ótima (h_{ot}) do solo. Esses valores representam as condições ideais para que um determinado solo atinja a resistência máxima possível. O lado ascendente da curva é chamado de ramo seco e o lado descendente é chamado de ramo úmido.

2.1.1 Ensaio de compactação

Realizado no laboratório, o ensaio de compactação do solo serve para determinar as características do mesmo, de tal forma que seja possível reproduzir em campo a sua melhor configuração, com densidade ideal para desempenhar a melhor performance na obra. O ensaio de compactação do solo é realizado por meio do método desenvolvido no ano de 1930, por Ralph R. Proctor. Normalizado pela ABNT através da NBR 7182 “Solo – Ensaio de Compactação” (ABNT, 2016).

Massad (2003), descreve que o ensaio é realizado a partir de uma amostra do solo, a qual é adicionada água, logo em seguida é homogeneizada a fim de distribuir a umidade e desfazer os torrões presentes, posteriormente colocada em um cilindro com o volume de 1000 cm³, em seguida a amostra é compactada aplicando uma energia por impacto, onde é deixado um soquete cair uma massa de 2,5 kg, repetindo-se 26 vezes, de uma altura de 30,5 cm, o processo repete-se por mais 2 vezes. Para obtenção dos dados, é pesado a amostra juntamente com o cilindro e obtém-se o peso úmido e o peso específico natural, logo após é feito o ensaio de umidade, pelo método da estufa ou também pelo método da frigideira, após ter a umidade conhecida, com todos os dados, calcula o peso específico seco e lança no diagrama de Proctor para confecção da curva de compactação. A NBR 7182 (ABNT, 2016), ressalta que os golpes devem ser aplicados de forma perpendicular, ainda como uniforme em toda a camada.

2.1.2 Compactação de campo

Com o propósito de aprimorar as propriedades geotécnicas do solo, tais como, estabilidade estrutural, deformabilidade controlada, impermeabilidade e resistência à erosão, a compactação de campo é uma prática essencial executada através da aplicação de técnicas de terraplenagem. A execução do aterro compactado envolve a aplicação de forças externas no solo. Essa técnica

desempenha um papel crucial na construção de estruturas seguras e duráveis, proporcionando uma base sólida e confiável para o desenvolvimento de projetos geotécnicos.

A norma ES 108 “Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço” (DNIT, 2009) descreve o itinerário para a realização do aterro compactado, ainda como diretrizes técnicas com o mesmo fim, preconiza que a umidade *in situ* pode variar mais ou menos 3% da umidade ótima prevista em laboratório. Os equipamentos utilizados são tratores de lâmina, caminhões basculantes, moto-escavadeira e rolos compactadores, além desses equipamentos, Caputo (2016) ressalta que é necessário carros-pipa para irrigação do solo.

Inicialmente é feito o transporte e descarga de material em camadas, que é a retirada do material da área de empréstimo e transportado para o local de compactação, em seguida é realizado o espalhamento, homogeneização e umedecimento do material. Nessa fase a motoniveladora e trator arado de disco possuem a função de misturar o material a fim de deixá-lo uniforme por toda extensão. Posteriormente o carro-pipa percorre a camada, umedecendo todo o material para garantir a umidade ótima do solo. A partir de então, o rolo compactador inicia o processo de compactação efetiva, através da energia por ele dissipada na camada (DNIT, 2009).

A fim de saber se a compactação se encontra adequada, calcula-se o Grau de Compactação (GC) que é a razão entre o peso específico seco máximo encontrado em campo e o encontrado em laboratório, o dado é expresso em percentual e deve atender as especificações do projeto (Gomes e Júnior, 2019).

2.2 CONTROLE DE QUALIDADE

Segundo Maia (2016), a garantia do sucesso de uma obra está intrinsecamente ligada ao controle de qualidade, de tal maneira que todos os métodos e exigências utilizadas nesse processo apresentem o objetivo de assegurar que a obra atinja as especificações mínimas necessárias expostas em normas e projetos, assim consolidando as expectativas de vida útil da obra.

A execução de ensaios de controle de qualidade é de fundamental importância para que seja possível afirmar a eficiência dos recursos aplicados, como também do desempenho estrutural dimensionado (Ferreira, 2018). Segundo o autor supracitado, é comum o aparecimento de manifestações patológicas em obras de infraestrutura que não tiveram o controle tecnológico efetivo durante a execução.

2.3 MÉTODO DA ESTUFA

De acordo com Santos (2021), o método da estufa é o método tradicional mais utilizado para a determinação do teor de umidade presente em solos. Tal método é visto como padrão e com maior precisão. Dessa forma, esse método está presente na maioria das obras de compactação, garantindo a avaliação adequada da umidade do solo.

A determinação do teor de umidade utilizando o método da estufa permite que exista um conhecimento sólido sobre as características do solo, assim possibilitando a adoção de medidas necessárias para alcançar a densidade desejada, também como a estabilidade da obra.

Padronizada pela NBR 6457 “Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização” (ABNT, 2016), a norma descreve que para realização do ensaio, deve ser tomado uma porção da amostra de solo e colocado em uma cápsula metálica adequada, em seguida levar a cápsula para a estufa à uma temperatura entre 105°C e 110°C, aguardar um intervalo de tempo entre 16 e 24 horas. A norma ainda ressalta que intervalos maiores podem ser necessários para a completa secagem dependendo do tipo de material (ABNT, 2016).

Para cálculo de teor de umidade é necessário que sejam anotados os dados de peso da cápsula + solo úmido (M_1), peso da cápsula + solo seco (M_2) e o peso da cápsula (M_3). Após o conhecimento dos dados é possível realizar os cálculos e então determinar o teor de umidade do solo, com a Equação 3.

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_3} \times 100 (\%) \quad (3)$$

2.4 MÉTODO FRASCO DE AREIA

Com o objetivo de determinar de forma prática e eficiente a densidade do solo *in situ*, sem a necessidade de coletas de amostras e análises laboratoriais de longa duração, o ensaio do frasco de areia é amplamente utilizado, este método apresenta vantagem por ser uma técnica de baixo custo.

Em seu estudo, Maia (2016) relata que para a realização do ensaio em questão é necessário inicialmente que o frasco padronizado seja preenchido com areia (ρ_a) de massa específica conhecida. Já em campo, é executado um furo na camada do aterro compactado, todo o material retirado é pesado para obtenção da sua massa (M_u). Em seguida o orifício é preenchido utilizando a areia anteriormente relatada (M_a). Ao analisar a diferença de massa do frasco antes e depois do preenchimento do furo, juntamente com o conhecimento prévio da massa específica da areia e o teor de umidade (W) do solo extraído, consegue-se determinar a massa específica aparente do solo (ρ_d).

$$\rho_d = \rho_a \frac{M_u}{M_a} \times \frac{100}{100 + W} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (4)$$

A NBR 7185 (ABNT, 2016) é a norma que regulamenta tal ensaio, a mesma ressalta ainda que o método é aplicável em todas as granulometrias, desde que possa ser escavado com ferramentas manuais, ainda como, os vazios naturais não sejam grandes o bastante para que a areia os penetre, e como última condição, o solo deve ser compacto o suficiente para que ao executar o orifício as paredes devem permanecer firmes e sem deformações.

2.5 MÉTODO *SPEEDY*

Conforme mencionado por Silva (2013), este método tem como objetivo determinar a umidade presente no solo. Dentre os métodos disponíveis, o ensaio de pressão de gás utilizando o aparelho *speedy* tem a vantagem de determinar a umidade do solo em um pequeno intervalo de tempo, o que o torna conveniente para que seja executado *in situ*.

Normatizado por meio da NBR 16097 “Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio” (ABNT, 2012), Lucas (2019) explica que o ensaio é constituído por um recipiente metálico fechado com um manômetro que mede a pressão interna. Dentro do recipiente é colocado uma porção de carbureto de cálcio (CaC_2) e uma determinada amostra de solo.

O procedimento da execução do ensaio em questão é detalhado na norma NBR 16097 (ABNT, 2012), a qual fornece a descrição completa do ensaio, onde inicialmente pesa a amostra de solo e coloca dentro do aparelho *Speedy*, também introduz na câmara duas esferas de aço e uma ampola de carbureto de cálcio, fecha o aparelho, e agita-o até que a ampola quebre e o composto químico reaja com a água, então ler-se a pressão manométrica expressa no manômetro, e por último recorre a curva de calibração para obter o teor da amostra expresso em porcentagem.

2.6 MÉTODO GAMADENSÍMETRO

O ensaio do gamadensímetro é executado com o aparelho de mesmo nome, também é comumente conhecido como densímetro nuclear. É utilizado para determinar a densidade e umidade do solo de forma rápida e não destrutiva, ao contrário do método do frasco de areia. O aparelho utiliza-se de raios gama para realizar o ensaio e obter a densidade do solo, o receptor conta quantos raios retornam sem perda de energia, quanto mais alta a contagem, maior a densidade, já para obter o teor de umidade é feita o uso de neutrões. (Silva, 2013). Assim, para Ferreira (2018), o objetivo do gamadensímetro é a rapidez e precisão da obtenção dos dados de massa específica do solo, teor de umidade e por consequência o grau de compactação da camada. Tendo em vista que, o propósito da aquisição do densímetro nuclear nas obras é o aumento da produtividade.

No Brasil, a norma regulamentadora desse método é a ME 405 “Controle de compactação em aterros com o equipamento gamadensímetro – método de ensaio” (DNIT, 2017). A norma explica que o aparelho contém fonte radioativa, desse modo, deve ser operado por profissionais capacitados. A norma ainda relata que existem dois métodos de transmissão dos raios para a camada, o método de transmissão indireta, onde o aparelho é colocado sobre a camada, e é realizado o ensaio sem nenhuma perfuração, e o método de transmissão direta a qual necessita de uma perfuração vertical para a introdução da sonda ou haste de emissão, que vai emitir os raios para o solo (DNIT, 2017).

Para obtenção do grau de compactação da camada é necessário que seja inserido antes da iniciação do ensaio os dados obtidos em laboratório, como peso específico máximo e umidade ótima.

Silva (2013), ainda destaca alguns pontos que podem afetar a execução do ensaio, são eles:

- composição química do solo;
- partículas grandes;
- presença de demais fontes radioativas;
- fontes de neutrões presentes no local.

3. MÉTODO DA PESQUISA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF) vem sendo idealizado a contar do século XIX, estudado desde então por todos os governos passados, até que no ano de 2007 foi autorizada a execução da obra. De acordo com Castro (2011), o Ministério da Integração justifica a realização da obra em dois principais motivos, sendo o primeiro que a região Nordeste possui uma pequena quantidade de disponibilidade da água de todo o país, chegando essa a 3%, em contrapartida, acomodando quase 30% da população brasileira, e o segundo motivo diz respeito a irregularidade na distribuição de recursos hídricos. Por essas razões, o intuito do Projeto da Transposição é realizar a ligação entre a bacia hidrográfica do rio São Francisco e as bacias do Nordeste Setentrional. O projeto prevê a captação de 1,4% da vazão de 1.850 m³/s das águas do conhecido Velho Chico, para distribuição em todo o percurso da Transposição.

O Projeto da Transposição consiste em dois canais, o Eixo Leste que beneficiará parte da região Agreste de Pernambuco e da Paraíba, e o Eixo Norte que levará água para os estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte, no qual foi realizado o presente estudo, mais precisamente no Ramal do Apodi, projetado para ser o ramal que levará as águas do Reservatório do Caiçara, na Paraíba, até o Reservatório Angicos, no Rio Grande do Norte, com uma extensão de 115 quilômetros aproximadamente (MDR, 2022). A Figura 2 expõe o mapa do Projeto da Transposição.

Figura 2: Mapa da transposição – eixo norte e leste

Extensão do canal

Mapa da transposição do Rio São Francisco (PE, PB, RN e CE)



Fonte: Globo (2021).

A pesquisa em questão é apresentada na forma de estudo de caso e revisão bibliográfica, com base na comparação realizada, os resultados indicam que os métodos apresentam divergências de valores, porém, não comprometem a construção, sendo eficientes mesmo com suas particularidades.

3.2 DADOS COLETADOS

Como em toda obra de construção civil, é necessário realizar o controle tecnológico para que a segurança seja atendida, e de certa forma, a qualidade e a vida útil da obra também. Com isso, um dos processos executados é o controle de compactação dos aterros, sendo feito por meio da análise do grau de compactação (GC), onde são consideradas as densidades do solo (ρ) e a análise do teor de umidade presente no solo. Para que se torne de conhecimento o grau de compactação, é necessário que sejam realizados ensaios laboratoriais de densidade (ρ) in situ, entre eles estão, o ensaio do Frasco de Areia/Speedy e o ensaio do Gamadensímetro, ambos foram escolhidos para fazer parte do controle tecnológico por motivos distintos, o primeiro é convencional e de fácil execução, seguindo a NBR 7185 (ABNT, 2016), já o segundo é menos conhecido, mas, sua principal vantagem é a rapidez, tendo seu tempo médio de execução de 1 minuto, sendo esse também um ensaio não destrutivo, descrito na norma ME 405 (DNIT, 2017).

Foram conduzidos 80 ensaios in situ no Canal 6, compreendendo o trecho entre o quilômetro 24+280 e o quilômetro 28+730, sendo utilizadas as estacas 1214 e 1436+10. Dessas análises, 40 ensaios foram realizados por meio do método frasco de areia, enquanto os outros 40 foram executados por meio do método do gamadensímetro. Portanto, pode-se afirmar que ao todo foram perfurados 40 furos no solo, considerando que cada furo correspondeu à realização de um ensaio com cada método. Além disso, é relevante mencionar que, para cada trecho a ser ensaiado, foram efetuados 4 furos no solo na mesma camada e com o mesmo estaqueamento. Os locais para serem ensaiados foram escolhidos de acordo com o andamento da obra, tendo em vista que se apresentou a necessidade de comparar os métodos citados anteriormente para conhecer as diferenças entre eles.

O método gamadensímetro como um método inovador e eficiente, foi adotado na obra com o intuito de aumentar a agilidade nos resultados, aumentando a produção de aterros compactados, tendo em vista que o método tradicional do frasco de areia demanda um tempo significativo para ser realizado. Com a implementação do método do densímetro nuclear poderá ser possível diminuir a utilização do ensaio do frasco de areia e conseqüentemente, diminuir a espera por resultados de ensaios.

A Figura 3 mostra a planilha recebida com as informações cruciais para o entendimento e posterior análise de dados.

Figura 3: Tabela de ensaio

Frasco de Areia/Speedy x Densímetro Nuclear x Estufa																		
Furo	Data	Trecho						Frasco de Areia e Speedy			Densímetro Nuclear			Diferença Frasco/Speedy x Densímetro		Estufa	Diferença Speedy - Estufa / Densímetro - Estufa	
		Canal	Km inicial	Km final	Camada nº	Km do furo	Posição do furo	Prof. do furo (cm)	Último metro? (S/N)	Densidade aparente do solo úmido (kg/m ³)	Densidade aparente do solo seco (kg/m ³)	Umidade (%)	Densidade aparente do solo úmido (kg/m ³)	Densidade aparente do solo seco (kg/m ³)	Umidade (%)		Densidade aparente do solo seco (kg/m ³)	Umidade (%)

Fonte: Construtora (2022).

- Furo: numeração correspondente do furo;
- Data: data de realização de ensaio;
- Trecho:
 - Canal: canal no qual foi realizado o furo;
 - Km inicial/final: respectivos quilômetros onde o ensaio é válido;
 - Camada: respectiva camada de ensaio;
 - Km do furo: local preciso onde o furo se encontra;
 - Posição do furo: eixo do furo;
 - Profundidade do furo: profundidade que o furo possui;
- Frasco de Areia e *Speedy* e Densímetro Nuclear:
 - Densidade aparente do solo úmido: densidade encontrada com solo úmido;
 - Densidade aparente do solo seco: densidade do solo seco encontrada;
 - Umidade: teor de umidade
- Diferença (Frasco/*Speedy*):
 - Densidade aparente do solo seco: diferença entre a densidade encontrada com o frasco de areia e com o densímetro nuclear;

- Umidade: diferença encontrada entre a umidade com o *Speedy* e o densímetro nuclear;
- Estufa (umidade): Umidade encontrada com o método da estufa;
- Diferença (umidade):
 - *Speedy*/Estufa: Diferença encontrada entre o valor obtido no método do *Speedy* e o método da estufa;
 - Densímetro/Estufa: Diferença encontrada entre o valor obtido no método do gamadensímetro e o método da estufa;

Após toda a coleta de dados, a planilha foi dividida e segmentada para cada tipo de ensaio, de tal forma que os dados fossem destacados para cada análise, as novas planilhas serão apresentadas no material complementar, posteriormente foram gerados gráficos com a finalidade que seja identificado e compreendido como cada ensaio se comporta correlacionados, e ainda entre si, tais gráficos foram elaborados por meio dos softwares Excel e Jamovi, onde também foi realizado a análise da estatística descritiva.

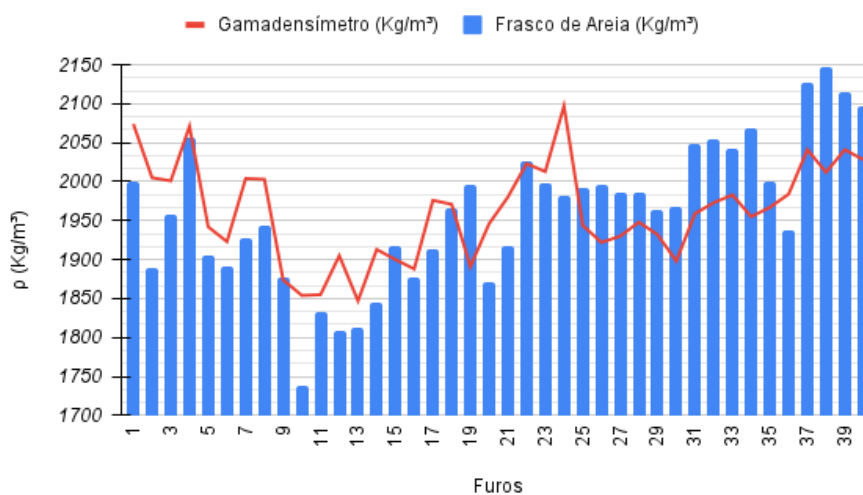
4. ANÁLISES E RESULTADOS

Em seguida à coleta das informações, foi realizada a separação e organização dos dados obtidos, de forma que seja de fácil a sua compreensão. Para a posterior análise, todas as planilhas com os dados encontram-se no material complementar.

4.1 DENSIDADE DO SOLO SECO

Com base na tabela de densidade do solo seco anexada no material complementar, é possível afirmar inicialmente, que os valores obtidos apresentam divergências. O Gráfico 1 expõe uma comparação sistemática entre as densidades de solo seco (ρ) encontradas nos dois métodos, nele observa-se que os valores das densidades apresentam dois padrões diferentes.

Gráfico 1 - Comparação da densidade do solo seco (ρ)



Fonte: Autoria Própria (2023)

Dos 40 furos realizados, 22 apresentaram maior densidade com o gamadensímetro. É importante destacar que os furos 1 ao 24 foram realizados nos dias 18 e 19 de agosto e apresentaram maior densidade com o gamadensímetro, enquanto os demais furos, apresentaram maior densidade com o método do frasco de areia, foram realizados nos dias 21, 22 e 25 de agosto. Este fenômeno pode ter sido causado em decorrência de uma má calibração ou ainda da presença de aparelhos radioativos no local do ensaio.

Na Tabela 1 é apresentada a análise descritiva da densidade com os valores médios, erro-padrão, mediana, desvio-padrão, variância e valores mínimos e máximos encontrados, especificados para cada método aplicado.

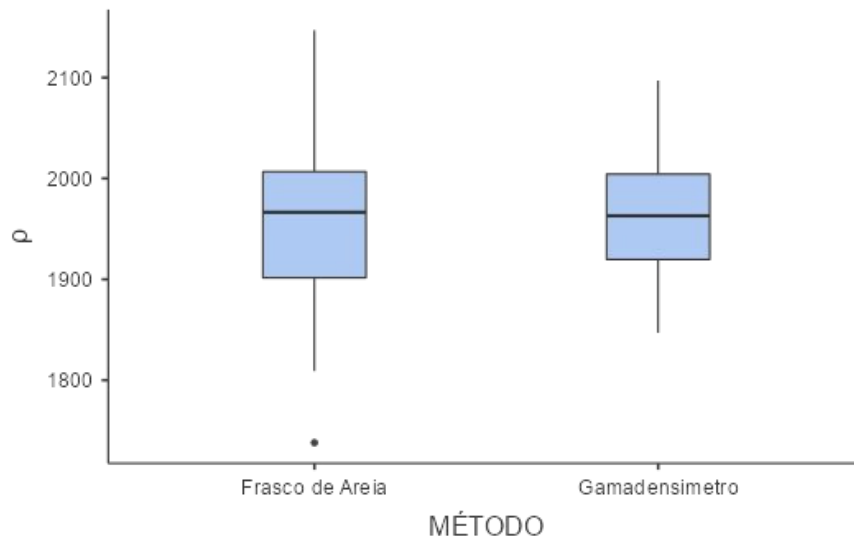
Tabela 1 – Análise descritiva da densidade

	Métodos	N	Média	Erro-padrão	Mediana	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo
ρ	Gamadensímetro	40	1962	9.85	1963	62.3	3879	1847	2097
	Frasco de Areia	40	1962	14.55	1967	92.0	8468	1738	2147

Fonte: Autora (2023)

Em princípio, nota-se que a média dos dois métodos aplicados é a mesma, 1962 kg/m³, por outro lado, o erro-padrão apresentado utilizando o método frasco de areia é maior, isso implica que a incerteza do resultado com esse método é superior à do método gamadensímetro. O mesmo modelo também ocorre na análise do desvio-padrão, que é uma medida de dispersão que quantifica a variabilidade em relação à média.

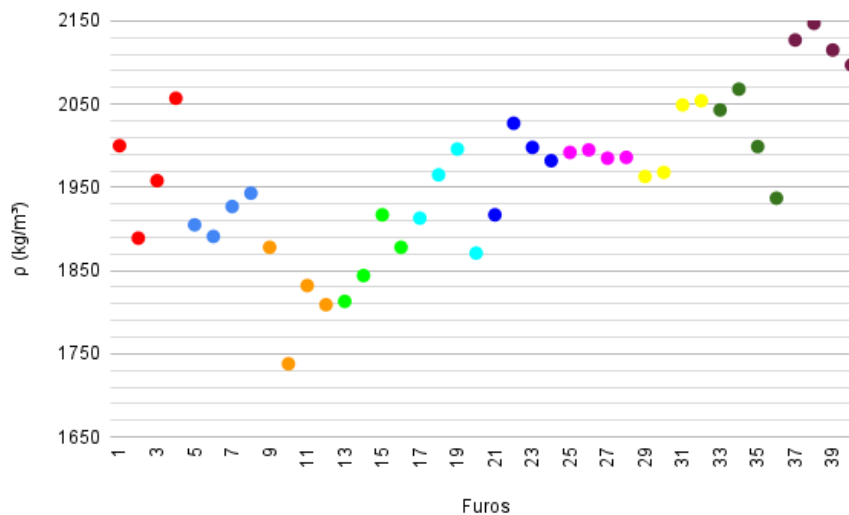
O Gráfico 2 apresenta visualmente a variabilidade observada nos diferentes métodos utilizados para a análise revelando a dispersão dos resultados obtidos por meio dos métodos aplicados. Onde percebe-se que o método frasco de areia apresenta uma dispersão maior dos resultados.

Gráfico 2 - Comparação de dispersão da densidade do solo seco (ρ)

Fonte: Autoria Própria (2023)

Para uma análise criteriosa dos dados obtidos por cada método separadamente, o Gráfico 1 foi dividido em dois: o Gráfico 3 e o Gráfico 4, que mostram a análise dos furos por camadas e suas dispersões. O Gráfico 3 apresenta em forma de dispersão as divergências obtidas por cada camada em seus respectivos ensaios utilizando o método do frasco de areia. Vale ressaltar que cada cor representa uma camada específica.

Gráfico 3 - Análise dos furos do método frasco de areia



Fonte: Autoria Própria (2023)

Evidencia-se que os resultados dos furos obtidos pelo método do frasco de areia apresentam dispersão nas medidas de densidade do solo, ocorrendo de forma diferenciada por camada, essa variação indica dispersão significativa nos valores encontrados, podendo ser observado então uma heterogeneidade do solo estudado. Esse mesmo padrão de dispersão pode ser observado no estudo de Ferreira (2018), onde existe uma variação de valores obtidos em relação a mesma camada.

Observando os furos padronizados no Gráfico 3, identificados pela cor vermelha e numerados de 1 a 4, localizados na primeira camada do trecho que compreende o quilometro 28+680 ao 28+720, é possível notar diferença de densidade aparente do solo seco entre esses furos. A análise dos dados revela uma variação de 168 kg/m^3 , demonstrando disparidade de valores entre a mesma camada.

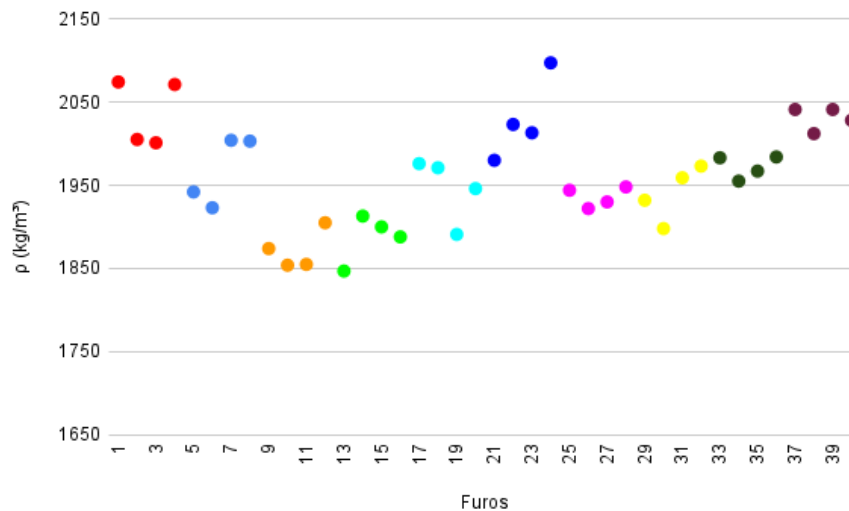
Analisando os valores obtidos por meio dos furos numerados de 9 a 12, localizados na décima camada, equivalente ao quilometro 24+280 ao 24+480, fica perceptível que assim como no caso anteriormente citado, também existe uma variação de valores, contudo, o furo 11 não possui uma grande variação em relação ao 12. Ademais, a diferença máxima encontrada é de 148 kg/m^3 .

Os furos que podem ser observados no Gráfico 3, identificados com a cor rosa e numerados de 25 a 28, englobam o trecho compreendido entre o quilometro 25+180 ao 25+280, referentes a sexta camada, esses furos evidenciam uma notável homogeneidade, tendo neles a dispersão mínima encontrada, tendo em vista que a diferença máxima obtida é de 10 kg/m^3 , revelando assim, uniformidade nos resultados.

Em relação aos numerados de 37 a 40, estão os furos que correspondem a segunda camada e quilometro 25+320 ao 25+440, nesse caso, expõe-se uma concentração menor que em relação aos furos 25 a 28, porém, a sua concentração é maior em relação aos furos 1 a 4 e 9 a 12. O valor de diferença máxima encontrada nesse caso foi de 50 kg/m^3 .

A fim de vislumbrar a dispersão ocorrida com o gamadensímetro foi gerado e analisado o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Análise dos furos do método gamadensímetro



Fonte: Autoria Própria (2023)

Assim como no estudo realizado por Ferreira (2018), o mesmo modelo de comportamento com o método gamadensímetro observa-se no presente estudo. Ao verificar os valores referentes aos furos obtidos por meio do método densímetro nuclear, é possível perceber menor dispersão e maior concentração por camada, nesse sentido, consegue-se afirmar uma homogeneidade do solo em questão.

Nos furos numerados de 1 a 4, obtive a diferença máxima entre os valores encontrados de 73 kg/m³ com o método gamadensímetro. Já nos furos identificados de 9 a 12, foi calculado a diferença no valor de 51 kg/m³. Para os furos numerados de 37 a 34, a variação máxima encontrada foi no valor de 29 kg/m³. Todos os valores anteriormente citados são menores que os encontrados no método frasco de areia.

No entanto, quando analisados os furos registrados de 25 a 28, foi encontrada a diferença máxima de 26 kg/m³, tal valor foge do padrão encontrado na maioria dos furos presentes neste estudo, os quais apontavam maior diferença com o método frasco de areia. Contudo, a dispersão encontrada é baixa quando comparada com as demais.

Quando confrontados diretamente os Gráficos 3 e 4 é possível notar algumas incidências, como, por exemplo nos furos identificados com a cor laranja, os furos 9, 11 e 12 permanecem dentro de uma faixa de densidade entre 1809 kg/m³ a 1905 kg/m³, porém, o furo 10 com o método frasco de areia obtém a densidade no valor de 1738 kg/m³. Esse resultado pode se dar devido à execução errada do ensaio frasco de areia, tendo em vista que o mesmo é um processo manual e suscetível a variáveis que podem invalidar o método.

4.2 TEOR DE UMIDADE

Os dados relatados na tabela de umidade anexada no material complementar informam os valores obtidos em campo através dos dois métodos discutidos no presente estudo, como ainda os valores de teor de umidade encontrados em laboratório utilizando o método da estufa, considerado como o ensaio padrão, pois, de acordo com Lucas (2019), é seguro e preciso, e tem como responsabilidade calibrar outros métodos e equipamentos em relação ao teor de umidade.

Os valores encontrados são semelhantes, tanto em relação aos furos por camadas, quanto em relação aos métodos utilizados. Após a análise estatística descritiva, obteve-se a Tabela 2.

Tabela 2 – Análise estatística descritiva da umidade

	Métodos	N	Média	Erro-padrão	Mediana	Desvio-padrão	Variância	Mínimo	Máximo
h	Speedy	40	9.93	0.236	9.80	1.48	2.22	7.20	14.0
	Estufa	40	9.69	0.232	9.55	1.47	2.15	6.80	14.0
	Gamadensímetro	40	10.6	0.298	10.00	1.88	3.54	6.70	14.8

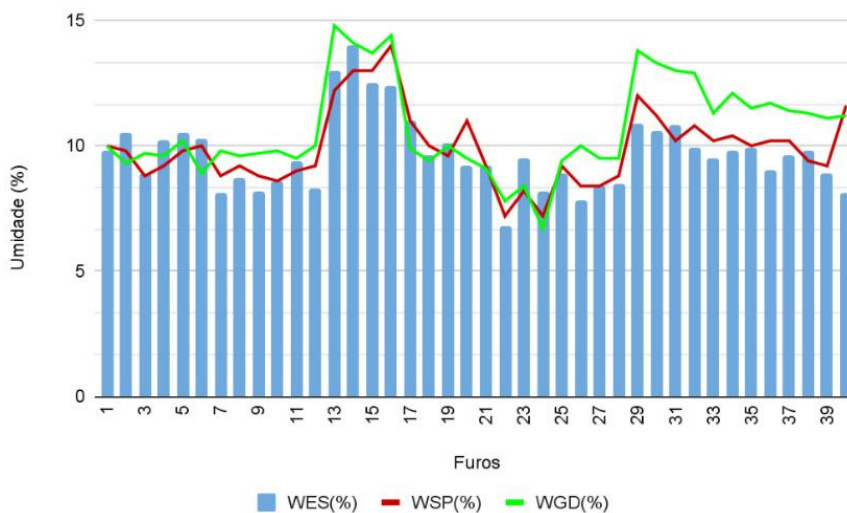
Fonte: Autoria Própria (2023)

Comprovando por meio da análise estatística descritiva que o método da estufa é o padrão, vemos que o mesmo possui a menor média encontrada, ainda como o menor desvio-padrão, e também o erro-padrão, e sua variância é inferior aos demais ensaios.

Já entre os métodos aplicados, o ensaio do *speedy* é o que mais se assemelha do método considerado padrão, a estufa, em todos os aspectos analisados, sendo eles média, erro-padrão, mediana, desvio-padrão e variância.

De modo a oferecer uma compreensão mais dinâmica, o Gráfico 5 ilustra os teores de umidade encontrados durante a execução dos três ensaios.

Gráfico 5 - Teor de umidade do método da estufa, speedy e gamadensímetro

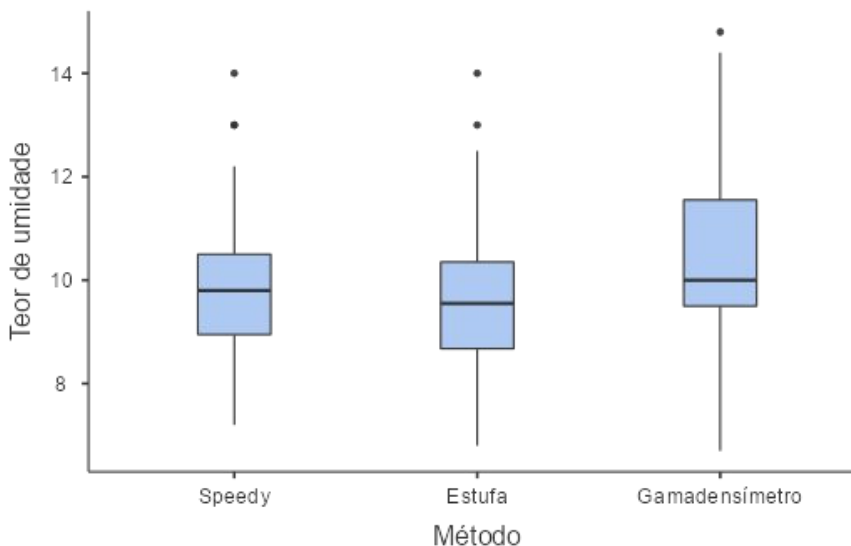


Fonte: Autoria Própria (2023)

Em ambos os métodos se verifica que apenas os ensaios relacionados aos furos 2, 4, 5, 6, 23 e 24 apresentam valores inferiores ao método da estufa, já os ensaios 3, 11, 17, 18, 19, 21, 31 e 38 apresentam pelo menos um dos métodos com valores abaixo do valor adotado como padrão. Ademais, os outros ensaios possuem valores iguais ou superiores aos valores obtidos com o método considerado padrão.

O Gráfico 6 ilustra de forma visual a variabilidade apresentada nos três métodos de ensaio utilizados na análise. É possível constatar que os métodos do *speedy* e da estufa apresentam o mesmo padrão de dispersão, já o gamadensímetro apresenta concentração mais elevada em determinada faixa de umidade mais alta que nos demais métodos, como também, apresenta valores superiores.

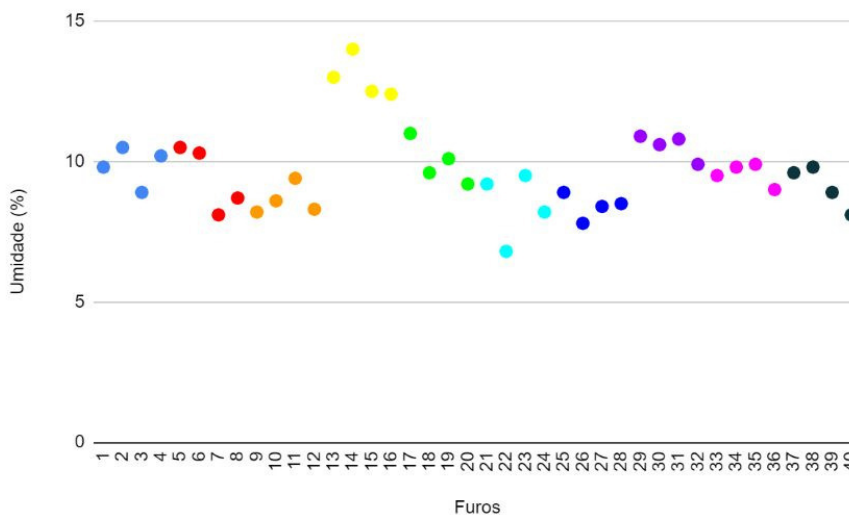
Gráfico 6 - Comparação de dispersão da umidade



Fonte: Autoria Própria (2023)

Ao analisar o Gráfico 5 é notório que a partir do furo 25, apareceu uma perceptível discrepância entre os métodos, sendo o método gamadensímetro superior em todos os ensaios posteriores. Para investigar sistemicamente, os Gráficos 7, 8 e 9 foram produzidos em forma de gráfico de dispersão para identificação de padrões individuais.

Gráfico 7 - Teor de umidade da estufa



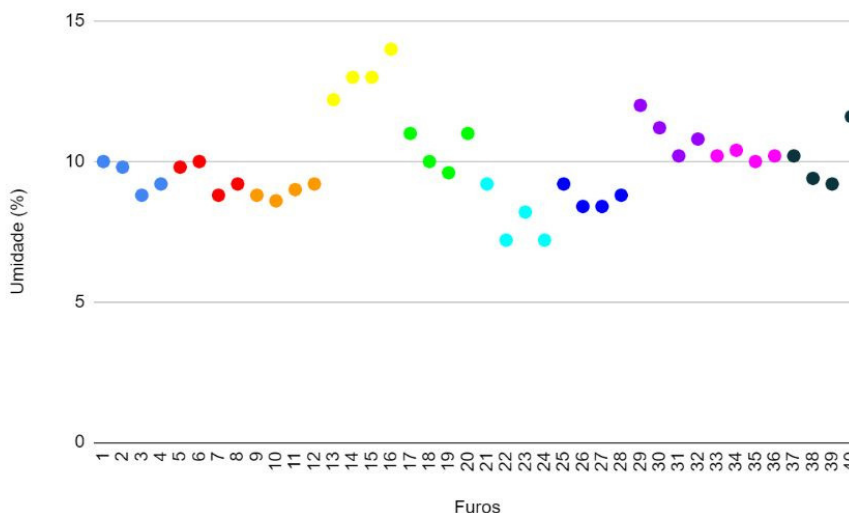
Fonte: Autoria Própria (2023)

Ao analisar os resultados obtidos e examinar o Gráfico 7, pode-se observar que as umidades obtidas através da estufa apresentam uma maior variação e dispersão quando comparadas com as duas outras abordagens aplicadas e submetidas a análises.

A maior variação encontrada é referente aos furos numerados de 5 a 8, a diferença se apresenta no valor de 2,4%. Toda via, os teores de umidade apresentam similaridades, dado que o teor de umidade do furo 5 é 10,5%, do furo 6 é 10,3%, dos furos 7 e 8 são 8,1% e 8,7%. Esse fato leva a entender que o possível motivo para o ocorrido seja a homogeneização da camada que pode não ter sido feita de forma correta.

Em uma outra perspectiva, o método da estufa é amplamente reconhecido como o ensaio mais confiável para a determinação da umidade do solo. Tal constatação é respaldada pelos indicadores estatísticos obtidos por meio do software Jamovi, os quais demonstram um baixo desvio padrão de 1,47 e uma variância significativamente reduzida de 2,15. Esses valores são os menores registrados na análise estatística descritiva, corroborando a precisão e consistência dos resultados obtidos pelo método da estufa.

Gráfico 8 - Teor de umidade do speedy

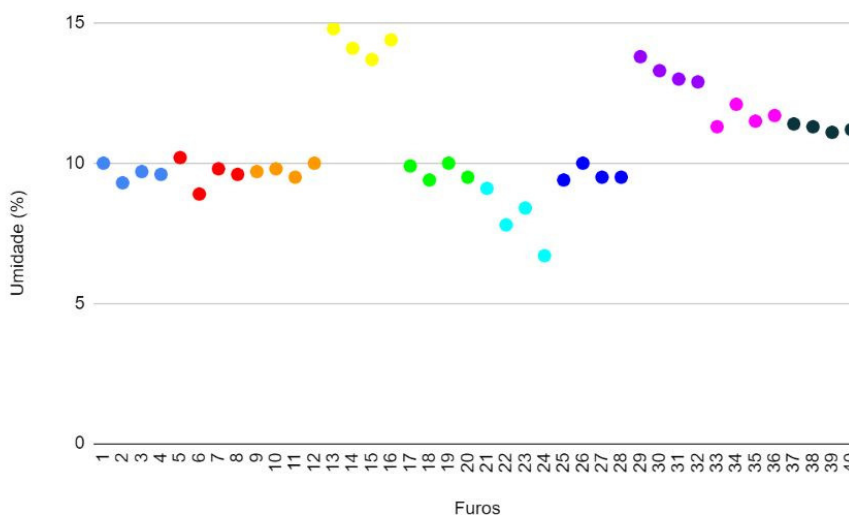


Fonte: Autoria Própria (2023)

As umidades adquiridas com o método do *speedy* são menos dispersas que as encontradas no método da estufa, o que evidencia uma maior confiabilidade em seus resultados. Sua maior variação é encontrada nos furos numerados de 37 a 40, com o valor de 2,4% de diferença.

Quando comparado ao teor de umidade de 11,6% do furo 40 com as dos demais furos, é possível afirmar que houve um erro de execução do ensaio por meio do operador, sabendo que os outros teores encontrados foram de respectivamente, 10,2%, 9,4% e 9,2%, no entanto, quando comparado com o teor de umidade obtido através do gamadensímetro de 11,2%, o seu valor está coerente, e nesse caso, é possível afirmar que o ensaio foi executado corretamente.

Gráfico 9 - Teor de umidade do gamadensímetro



Fonte: Autoria Própria (2023)

As umidades encontradas com o gamadensímetro, diferentemente dos métodos *Speedy* e estufa, apresentam uma concentração mais acentuada, evidenciando assim, uma maior precisão nos teores de umidades encontrados por camada.

No entanto, os valores obtidos com o gamadensímetro, apesar de concentrados, são sempre mais elevados, mesmo que apresentem o mesmo padrão que os demais ensaios. Por exemplo, os furos de 13 e 16, quando analisados nos gráficos, possuem padrões semelhantes, mas valores encontrados no método do densímetro nuclear são mais altos.

A maior diferença obtida encontra-se nos furos numerados de 21 a 24, com o valor de 2,4%, contudo, a mesma camada apresenta médias semelhantes através dos outros dois métodos aplicados, a variação encontrada no *Speedy* foi de 2%, no método da estufa foi de 2,7%. Com isso, é plausível

afirmar que a diferença de teor de umidade encontrado pode estar relacionada com a má homogeneização do solo no momento da execução do aterro compactado.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa dos métodos de medida da densidade do solo, especificamente o método do frasco de areia/*speedy* e gamadensímetro, aplicados no Ramal do Apodi, trecho do Projeto de Integração do Rio São Francisco.

Com base nos resultados e análises, foi possível constatar que o método gamadensímetro apresenta, tanto para a densidade, quanto para a umidade, valores mais elevados em comparação ao método frasco de areia/*Speedy*. Essa divergência pode ser atribuída às particularidades e os procedimentos de execução de cada método. Além disso, é importante considerar a sensibilidade dos equipamentos, como também a precisão do densímetro nuclear, que é o motivo da baixa dispersão encontrada. Esse fato corrobora e ressalta a eficiência e confiabilidade do método em questão.

Ao analisar a umidade obtida por meio do densímetro nuclear, é possível observar, por meio de gráficos e diferenças de variações, uma concentração mais acentuada nos resultados. Essa constatação contradiz as informações apresentadas pela estatística descritiva, que indica que o desvio-padrão e o erro-padrão são maiores em comparação com os outros métodos estudados. No entanto, é importante destacar que o cálculo dessas duas variáveis leva em consideração a média dos teores de umidade obtidos.

Em casos específicos de variações significativas em relação entre si e ao outro método, pode-se dar por meio da presença de outros equipamentos radioativos no local do ensaio, má calibração do gamadensímetro. Já em relação a divergências consideráveis que seguem o mesmo padrão que o método frasco de areia se dar por execução incorreta da compactação do solo.

No que se refere ao método do frasco de areia, ao analisá-lo por meio da estatística descritiva, verifica-se que apresenta um maior erro-padrão e desvio-padrão. Além disso, ao considerar a diferença de variações, nota-se que esse método exibe uma dispersão maior nos resultados, o que gera incertezas em relação aos ensaios de densidade. Esse fato está relacionado ao processo de execução do ensaio, uma vez que o frasco de areia é um método manual e, conseqüentemente, mais suscetível a erros e variações. É importante destacar que o processo de ensaio depende do conhecimento e habilidade do operador para uma boa execução.

Os teores de umidades encontrados através do *Speedy* apresentam semelhanças com as umidades encontradas no método da estufa, e esse fenômeno possivelmente tem relação com o fato que dos dois procedimentos de ensaios deixa abertura para possíveis alterações de resultados, como, por exemplo, no método da estufa, o transporte do solo para o laboratório após ser recolhido em campo, já no *Speedy*, o solo fica exposto a qualquer variável presente no local. Destaca-se que o método da estufa, apesar de possuir variações em seus resultados, demonstrou-se o método padrão reconhecido na literatura especializada.

Para as camadas de umidades que apresentam o mesmo padrão de desvio elevado de umidade, conclui-se que a execução do aterro compactado em campo não foi satisfatória, podendo ter sido homogeneizada incorretamente após umedecimento da camada, essa situação pode ser observada nos furos numerados de 21 a 24.

Contudo, apesar das divergências encontradas entre os métodos aplicados, os teores de umidades encontrados em campo podem variar até 3% da umidade ótima achado em laboratório, e comparando com esse critério apenas o furo 40 ultrapassa esse parâmetro nos dois métodos aplicados.

Em conclusão, constata-se que os métodos possuem características individuais que influenciam diretamente nos resultados obtidos. Essas diferenças devem estar relacionadas às precisões dos equipamentos utilizados para execução dos ensaios, como também, a forma de aplicação e ainda os solos analisados. É necessário considerar e entender que a escolha do método apropriado deverá considerar o objetivo de cada projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7182**: Solo – Ensaio de compactação – Apresentação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 6457**: Amostras de solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização – Apresentação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7185**: Determinação da massa específica aparente, *in situ*, com emprego de frasco de areia – Apresentação. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 16097**: Solo – Determinação do teor de umidade – Métodos expeditos de ensaio – Apresentação. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Transposição São Francisco**. Brasília: MDR, (2022). Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/transposicao-sao-francisco>. Acesso em: 15 de mar. 2023

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 8 ed. Livros Técnicos e Científicos editora, Rio de Janeiro, 2016.

CASTRO, César Nunes. **Transposição do rio São Francisco: análise de oportunidade do projeto**. Rio de Janeiro: IPEA, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 108**: Terraplenagem – Aterros – Especificação de serviço – Apresentação. Rio de Janeiro, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 405**: Controle de compactação em aterros com o equipamento gamadensímetro – Métodos de ensaio – Apresentação. Rio de Janeiro, 2017.

FERREIRA, Renan Xavier. **Utilização do gamadensímetro no controle de compactação de obras rodoviárias**. Monografia. Universidade de Brasília. 2018.

GOMES, Marcelo Evangelista; Júnior, Francisco Alves da Silva. **Compactação do solo em campo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Rio Grande do Norte, 2019.

LUCAS, Francisco Romário de Oliveira. **Validação do método *speedy* para determinação da umidade de diferentes tipos de solos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semi-árido, Rio Grande do Norte, 2019.

MAIA, Camila Lima. **Análise comparativa de módulos de resiliência obtidos com o geogauge para o controle de qualidade de camadas granulares dos pavimentos**. 2016. Dissertação. Universidade Federal do Ceará. 2016.

SANTOS, Jonh. **Determinação da umidade do solo**. Santa Catarina, 2021. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/1036/Apostila_Umidade_dos_solos_15816259409124_1036.pdf. Acesso em: 15 mai. 2023.

SILVA, Ana Teresa Azevedo Ferreira da. **Controlo da compactação com recurso a gamadensímetro – Caso de estudo: ETAR de Castelo Branco.** 2013. Dissertação. Instituto Superior de Engenharia de Porto. 2013.


Maria Gabriele Lemos Barbosa

ANÁLISE COMPARATIVA DOS MÉTODOS DE MEDIDA DE DENSIDADE DO SOLO: UM ESTUDO DE CASO NA TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO


Trabalho de Conclusão de Curso, sob forma de artigo, submetido à Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, *Campus* Cajazeiras, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em 21 de junho de 2023.


BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 KATHARINE TAVEIRA DE BRITO MEDEIROS
Data: 17/07/2023 10:26:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Katharine Taveira de Brito Medeiros – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Orientador

Documento assinado digitalmente
 BRUNO DE MEDEIROS SOUZA
Data: 17/07/2023 18:03:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Bruno de Medeiros Souza – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 1

Documento assinado digitalmente
 CICERO JOELSON VIEIRA SILVA
Data: 17/07/2023 15:43:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

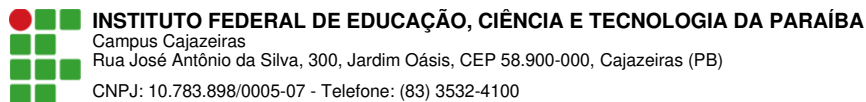
Cícero Joelson Vieira Silva – IFPB-*Campus* Cajazeiras
Examinador 2

MATERIAL COMPLEMENTAR

▪ TABELAS UTILIZADAS

As tabelas exibidas correspondem aos dados coletados por meio dos ensaios realizados. Essas informações englobam os resultados dos ensaios de densidade obtidos tanto pelo método do frasco de areia quanto pelo gamadensímetro, bem como os dados referentes ao teor de umidade, os quais foram obtidos por meio dos métodos da estufa, *speedy* e gamadensímetro.





Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC

Assunto: TCC
Assinado por: Maria Gabriele
Tipo do Documento: Anexo
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Maria Gabriele Lemos Barbosa, ALUNO (201922200041) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 17/07/2023 21:58:35.

Este documento foi armazenado no SUAP em 17/07/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 880477
Código de Autenticação: f7406b07b9



Documento Digitalizado Ostensivo (Público)

TCC

Assunto: TCC
Assinado por: Maria Gabriele
Tipo do Documento: Tese
Situação: Finalizado
Nível de Acesso: Ostensivo (Público)
Tipo do Conferência: Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Maria Gabriele Lemos Barbosa, ALUNO (201922200041) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - CAJAZEIRAS**, em 24/07/2023 10:09:03.

Este documento foi armazenado no SUAP em 24/07/2023. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 885162
Código de Autenticação: 0f89967ac4

