

ESTUDO COMPARATIVO DOS PARÂMETROS DE COMPACTAÇÃO DO CCR EM OBRA RODOVIÁRIA PELOS MÉTODOS FRASCO DE AREIA E DENSÍMETRO NUCLEAR

Stella de Carvalho Vieira¹
Priscila Alves da Silva Machado²
Érika Márcia Assis de Souza³
Liliane Cruz Gomes de Souza Santos⁴
Joice Martinha Rodrigues⁵
Hélio Augusto Goulart Diniz⁶

RESUMO

A construção de pavimentos utilizando a técnica de concreto compactado com rolo (CCR) tem evoluído durante os últimos anos. Um aspecto importante para a correta execução da estrutura refere-se ao grau de compactação com que o concreto é executado e, defeitos têm sido associados à menor compactação, com maior porosidade no concreto. Os resultados deste estudo foram gerados em uma pesquisa realizada. Foram analisadas 27 estacas obtidas da obra de duplicação da BR-381/MG Norte – Lote 7, no qual o intervalo possui extensão de 37,5 km, sendo do km 389,5 ao km 427. Por meio de ensaios de compactação em amostras de CCR em laboratório, ensaio de frasco de areia e o uso de densímetro nuclear in loco, foi verificada a correlação entre os resultados. Há viabilidade do uso do densímetro em substituição ao frasco de areia, tendo em vista a variação dos resultados entre ambos os métodos ser abaixo de 2,5%, bem como os valores do densímetro apresentarem mais próximos em relação ao valor da massa específica máxima. **Palavras-chave:** Pavimentação; controle tecnológico; grau de compactação; frasco de areia; densímetro nuclear.

COMPARATIVE STUDY OF RCC COMPACTION PARAMETERS IN ROAD WORK USING THE SAND REPLACEMENT METHOD AND NUCLEAR GAUGE

ABSTRACT

The construction of pavements using the roller compacted concrete (RCC) technique has evolved over the last few years. An important aspect for the correct execution of the structure refers to the degree of compaction with which the concrete is executed, and defects have been associated with lower compaction, with greater porosity in the concrete. The results of this study were generated in a survey carried out. 27 piles obtained from the duplication work of BR-381/MG North – Lot 7 were analyzed, in which the interval is 37.5 km long, from km 389.5 to km 427. Through compaction tests on samples of CCR in the laboratory, sand bottle test and the use of a nuclear densimeter on site, the correlation between the results was verified. It is feasible to use the densimeter to replace the bottle of sand, given that the variation in results between both methods is below 2.5%, as well as the densimeter values being closer to the value of the maximum specific mass.

Keywords: Paving; technological control; degree of compaction; sand bottle; nuclear densimeter.

Recebido em 15 de agosto de 2025. Aprovado em 24 de agosto de 2025

¹ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais. stella.carvalho.vieira@gmail.com

² Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais. priscilamachadojm@hotmail.com

³ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais. erikamarcia.souza@gmail.com

⁴ Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte, Belo Horizonte, Minas Gerais. lilianecruzbh@gmail.com

⁵ Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte, Belo Horizonte, Minas Gerais. joice.rodrigues@professores.estacio.br

⁶ Universidade do Estado de Minas Gerais, João Monlevade, Minas Gerais, Brasil e Centro Universitário Estácio de Belo Horizonte (Bolsista do Programa Pesquisa Produtividade), Minas Gerais. helioufmg@gmail.com

INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário é a opção predominante no Brasil, respondendo por mais de 60% do transporte de cargas. Esse modal é favorecido em distâncias curtas e médias, sendo a escolha principal para o transporte de mercadorias valiosas e perecíveis. A sua popularidade é impulsionada pela flexibilidade de horários, tornando-o também a escolha mais atrativa para o transporte de passageiros. Apesar de desempenhar um papel crucial no país, o setor rodoviário enfrenta desafios significativos, incluindo o aumento nos preços dos combustíveis e as condições precárias das estradas (Araújo, 2019).

O projeto de uma rodovia e sua respectiva pavimentação consiste no processo que envolve a sobreposição de uma ou mais camadas de materiais, visando aprimorar a durabilidade e facilitar o tráfego de veículos e pedestres em uma via (Solanki e Zaman, 2017).

Bernucci et al., (2022) explicam que pavimento rodoviário se classifica tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis.

Pode-se afirmar que o controle tecnológico representa uma ferramenta crucial para fornecer ao engenheiro subsídios necessários na garantia da qualidade dos serviços executados, possibilitando, quando necessário, tempo hábil para correções. Além disso, o controle tecnológico desempenha um papel significativo ao contribuir para assegurar uma execução mais eficiente e aumentar a durabilidade da estrutura do pavimento. Em outras palavras, sua aplicação pode retardar e reduzir a necessidade de intervenções de manutenção no pavimento (Montanari, 2018).

REVISÃO DA LITERATURA

A predominância do transporte rodoviário no Brasil teve início na década de 1950, quando houve uma expansão significativa das rodovias. Isso ocorreu devido principalmente aos baixos custos de construção e à flexibilidade das rotas oferecidas por esse modal. Atualmente, o Brasil possui a terceira maior malha rodoviária do mundo. Mais de 60% do transporte de cargas no país é realizado por meio de rodovias, embora apenas 12% delas sejam pavimentadas (Penteado e Mirandola, 2021).

É reconhecido que há uma relação direta entre a qualidade das rodovias e o desempenho econômico. Em outras palavras, quando as rodovias não atendem aos padrões mínimos de qualidade para a circulação, isso tem um impacto negativo na economia do país. Uma rodovia que se encontra em péssimas condições de pavimentação, de maneira notável, aumenta os custos associados às operações de transporte. Além disso, reduz a segurança, o conforto e a tranquilidade dos motoristas e passageiros, bem como a integridade das cargas transportadas, contribuindo para um aumento nos acidentes rodoviários (CNT, 2018).

De acordo com a mecânica dos pavimentos, o pavimento é definido como uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidade são colocadas em contato, desempenhando, cada uma delas, uma função específica na estrutura global. Devido à circulação de veículos, esse sistema está sujeito a repetidas e dinâmicas solicitações de cargas com diversas intensidades, magnitudes e frequências ao longo do tempo. Qualquer estrutura sujeita a essas cargas cíclicas apresenta respostas mecânicas específicas a esse tipo de carregamento (Santos, 2016).

De acordo com o Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, a classificação pode ser feita em três categorias: flexíveis, semirrígidos e rígidos (Brasil, 2006). As respectivas definições são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1: Tipos de Pavimentos (Bernucci et al., 2022)

Tipo de Pavimento	Definição
Flexível	Aquele em que todas as camadas sob efeito das cargas aplicadas sofrem deformações elásticas significativas, e se distribuem de forma proporcional entre as camadas. Geralmente são compostos de um revestimento asfáltico sobre camadas granulares que pode ser uma base de brita ou solo pedregulhoso.
Semirrígido	Configura aquele em que a base apresenta adição de cimento (solocimento) revestida por uma camada asfáltica.
Rígido	Representa aquele cujo revestimento é constituído por lajes de concreto de cimento Portland e que por apresentar uma elevada rigidez em comparação às camadas inferiores, absorve praticamente todas as tensões dos esforços aplicados.

Segundo Brito et. al. (2019) a principal diferença entre o pavimento rígido e o flexível é a forma como as cargas são distribuídas nas camadas subjacentes. O pavimento rígido possui como característica principal a tendência de aliviar as tensões no subleito, pois a carga aplicada é mais distribuída no topo, diferentemente do que ocorre nos pavimentos flexíveis. Nas Figura 1 e Figura 2 são apresentadas a distribuição de carga sobre os pavimentos.

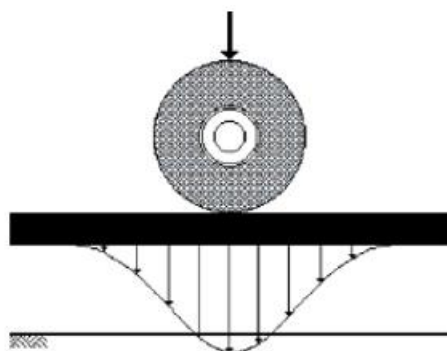


Figura 1: Distribuição da carga sobre o pavimento flexível (Cintra, 2012)

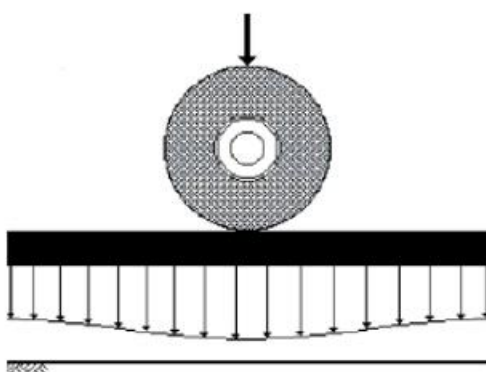


Figura 2: Distribuição da carga sobre o pavimento rígido (Cintra, 2012)

Bernucci et al. (2022) explicam que os pavimentos rígidos podem possuir também a nomenclatura de concreto de cimento Portland ou simplesmente concreto-cimento, devido a estrutura de base e revestimento ser formada por placas de concreto de cimento Portland (PCS) moldadas in loco. Sua formação é gerada através de uma mistura de agregados, cimento Portland e água, podendo ser armada com barras metálicas.

Já Balbo (2009) explica que essas placas de concreto são estruturadas acima do solo da fundação, ou até mesmo acima de uma sub-base, atuando como revestimento e de base, e possuindo ou não, propriedades de armações com aço.

Os tipos de pavimentos rígidos podem ser compostos por diferentes tipos de concreto, sendo eles: simples, simples possuindo barras de transferência, armado, protendido, com armadura contínua e descontínua sem distribuição estrutural (Brasil, 2006).

Segundo Vitorazzi (2023), os pavimentos rígidos são divididos em seis classes: pavimento de concreto simples, pavimento tipo whitetopping, pavimento estruturalmente armado, pavimento de concreto rolado, pavimento com peças pré-moldadas, pavimento sobre laje em tabuleiros de obras de arte especiais.

O concreto do pavimento é um concreto de consistência pouco fluída, compactado por meio de rolos compressores (concreto rolado), não armado, que desempenha simultaneamente as funções de base e de revestimento. A sua composição deve ser determinada por método racional, a fim de ser uma mistura fresca, de trabalhabilidade adequada, para ser compactada com rolo liso vibratório, resultando em produto endurecido com grau de compactação e resistência à compressão (Brasil, 2006).

A elevada resistência do pavimento rígido é devida à resistência à flexão do concreto de cimento Portland. Isto faz com que eles não sofram deformações acentuadas, mesmo quando submetidos a condições severas de tráfego pesado, intenso e lento, e a elevadas temperaturas (INIR, 2012).

Apesar do pavimento rígido não ser a principal forma de revestimento do Brasil, ao realizar análises técnicas, é possível observar que os pavimentos de concreto se destacam em certas circunstâncias, uma vez que são reconhecidos como um sistema de construção de elevada qualidade, com longa durabilidade, eficiência econômica e segurança (Freitas, 2018).

De acordo com Vitorazzi (2023), o pavimento rígido é indicado para implantação de vias que apresentam como características tráfego intenso, pesado e repetitivo, e para a utilização são necessárias condições específicas e parâmetros, que atendam à Norma DNIT 059/2004-ES, tendo a norma o intuito de fixar condições e métodos construtivos para execução de pavimento de concreto de cimento Portland compactado com rolo (CCR), aplicados em estradas de rodagem.

Fardin (2020) explica que o Concreto Compactado a Rolo (CCR) é um concreto de consistência seca, cujo abatimento (“Slump”) é menor ou igual a 6 mm fabricados com cimento Portland, agregado miúdo, brita e água, e, às vezes, aditivo (polifuncional ou retardador de pega). Além disso, cita que esse tipo de concreto tem sido utilizado em pavimentos (rígidos e flexíveis) e em barragens.

O CCR, a depender das propriedades mecânicas dos seus componentes e atendimento às normas vigentes de pavimentação, pode ser utilizado em diferentes camadas, como sub-base, base e revestimento, tanto em rodovias quanto em vias urbanas (Fardin, 2020).

Existem diversos métodos para o controle tecnológico do CCR in situ, ou seja, na própria frente de serviço, que são responsáveis por caracterizar esta camada do pavimento.

A compactação é uma das etapas mais importantes do sistema construtivo em CCR e deve ser realizada preferencialmente por meio de rolos lisos vibratórios, sendo utilizadas placas vibratórias na compactação de cantos e bordas (Vitorazzi, 2023). Parâmetros como: adição de água à mistura, início e término da compactação, espessura da camada compactada, consistência e o grau de compactação são de suma importância para a correta etapa de compactação (Brasil, 2006).

O grau de compactação (GC) é um indicador de eficiência da compactação e é determinado pela medição das características do material: peso específico aparente seco em laboratório e o peso

específico máximo in loco.

De acordo com Preussler (2007), esses critérios podem ser medidos através de métodos destrutíveis, os quais se baseiam na retirada de amostras diretamente da área compactada, ou não destrutíveis, que operam de forma indireta para a obtenção desses resultados.

No tocante aos métodos destrutíveis, destaca-se o ensaio do “frasco de areia” regido pela norma DNER-ME 092/94. Já o densímetro nuclear configura um método não destrutivo e encontra-se regulamentado pela norma NBR NM 04 e 05.

O método do frasco de areia é um método de análise da massa específica aparente do solo in loco, que envolve a escavação de um furo cilíndrico no solo e o preenchimento deste furo com uma areia que segue uma norma específica (com densidade conhecida e pouco variável). A partir das informações sobre a massa do solo úmido retirado do furo, sua umidade e a massa da areia seca usada para preencher o furo, é possível calcular a densidade do solo que está sendo estudado (Angelim et al., 2020). A aparelhagem utilizada para o ensaio é mostrada na Figura 3.

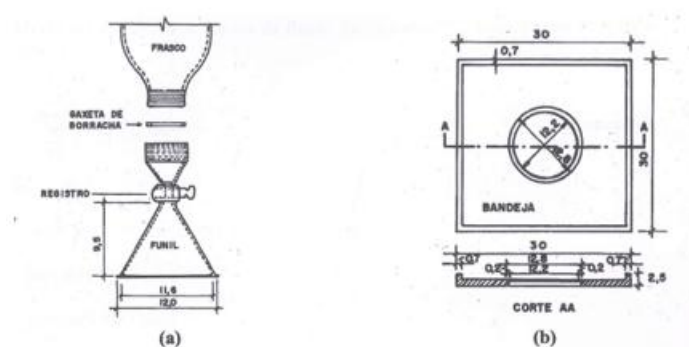


Figura 3: Aparelhagem para ensaio: (a) Conjunto funil frasco, (b) bandeja metálica com orifício (DNER, 1994)

O método nuclear também é um método empregado para análises in loco e é utilizado um dispositivo portátil que emite radiação gama de uma fonte radioativa. Essa radiação é direcionada para a superfície do solo ou transmitida por meio de uma haste inserida na camada que está sendo analisada (Freitas, 2018). Nas Figuras 4 e 5 são apresentados a aparelhagem e o método de leitura da análise pelo método nuclear.



Figura 4: Densímetro Nuclear (Website Troxler Labs, 2023)

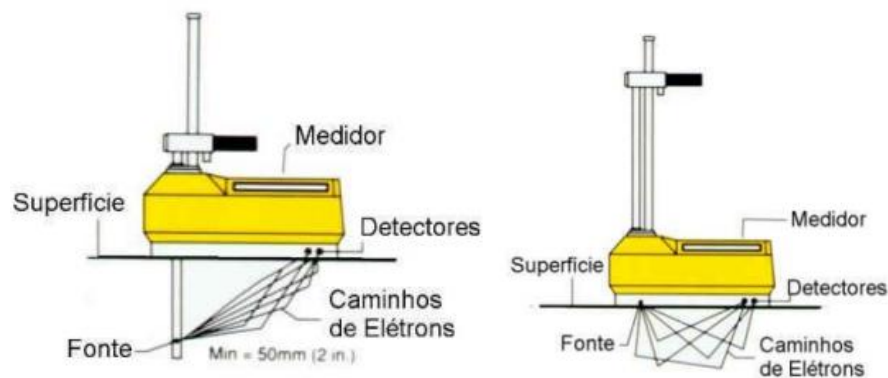


Figura 5: Métodos de leitura (a) Transmissão direta (b) Retroespalhamento (IRD/CNEN, 2012)

Freitas (2018) também explica que o equipamento recebe a radiação emitida de volta após ela interagir com o material, e que a quantidade de radiação recebida pelo equipamento é inversamente proporcional à densidade da camada que está sendo testada. Ou seja, quanto mais densa a camada, menos radiação é detectada, e vice-versa. Esse método é utilizado para medir a densidade do solo de forma rápida e não destrutiva.

METODOLOGIA

O estudo realizado é classificado como uma pesquisa aplicada quanto à sua natureza, pois, caracteriza-se pela utilização dos resultados obtidos na solução de problemas cotidianos (Lakatos; Marconi, 2017). Quanto a seus objetivos, a pesquisa classifica-se como explicativa, com o objetivo básico de identificar fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de um fenômeno (Gil, 1999 apud Oliveira, 2011). Em relação ao enfoque, o estudo trata-se de pesquisa qualitativa, valendo-se de uma abordagem que usa tanto os métodos quantitativos quanto qualitativos para a realização de uma análise aprofundada do estudo (Creswell, 2010).

Em relação aos procedimentos técnicos, a pesquisa é experimental, pois adota o critério de manipulação de uma ou mais variáveis independentes, interferindo na realidade com intenção de testar o impacto de uma intervenção sobre um resultado (Creswell, 2010).

Amostras

Foram analisadas 27 estacas obtidas da obra de duplicação da BR-381/MG Norte – Lote 7, no qual o intervalo possui extensão de 37,5 km, sendo do km 389,5 ao km 427. O subtrecho compreende entre o Rio Una até o entroncamento com a MG-435 em Caeté/MG, como evidenciado na Figura 6. A diferença entre as estacas é de 20 m, portanto a fração analisada foi de cerca de 1.4 km.



Figura 6: Subtrecho Lote 7 (SREMG/DNIT)

Ensaio de Frasco de Areia

Para a realização dos ensaios de frasco de areia, foi executada uma cava in loco, na forma tronco-cônica ou cônica invertida com diâmetro de 30 cm, e na profundidade da camada, retirou-se o material de dentro da cava, e realizou-se a aferição da sua massa. Para a determinação do volume, preencheu-se com areia o furo e determinou-se o volume de areia utilizado, o que corresponde ao volume do furo. Através da quantidade de CCR pesada retirada da cava e o volume desta, determina-se a densidade do CCR após compactação.

Ensaio do Densímetro nuclear

Consistiu na execução de um furo no concreto recém compactado com o uso de uma haste sobre um gabarito, ficando o furo com o diâmetro de 25 mm e profundidade de 300 mm. Retirou-se então a haste e o gabarito, posicionando o densímetro nuclear e a haste do equipamento sobre o local. Em seguida, a haste foi introduzida em diferentes profundidades, e em cada uma delas acionou-se o equipamento para determinação da densidade e umidade, sendo a média dos valores adotada para a determinação do GC do CCR.

Teor de umidade

Para a determinação da umidade in situ foram utilizados o densímetro e o umidímetro Speedy. Em laboratório, a umidade ótima foi determinada pelo ensaio de compactação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores da massa específica seca obtidos in loco, tanto pelo densímetro nuclear como pelo frasco de areia.

Tabela 1: Resultados obtidos da aferição da massa específica utilizando o método do densímetro e o método do frasco de areia

ESTACA	Massa específica utilizando o densímetro (g/dm³)	Massa específica utilizando o frasco de areia (g/dm³)
353	2259	2283
356	2266	2257
360	2283	2287
363	2281	2290
366	2290	2254
369	2281	2282
371	2290	2308
374	2295	2286
376	2277	2297
378	2274	2274
380	2297	2279
384	2268	2277
388	2261	2281
391	2300	2296
394	2275	2291
398	2303	2294
400	2301	2309
403	2283	2287

406	2313	2313
409	2344	2284
410	2269	2282
412	2323	2293
415	2318	2279
417	2267	2299
419	2274	2284
421	2270	2296
423	2310	2280

Verifica-se que os valores de massa específica entre ambos os métodos são bastante próximos entre si.

Em laboratório, foi realizada a análise da massa específica seca por meio de ensaio de compactação, gerando valores próximos. Na Figura 7 é apresentada a relação entre os valores

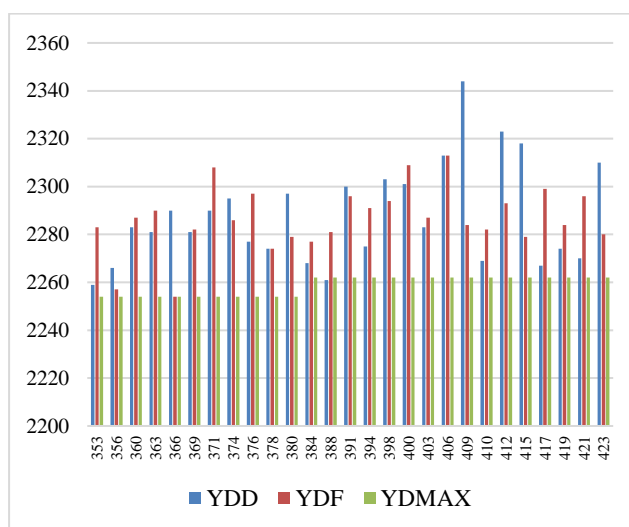


Figura 7: Comparativos de resultados entre massa específica utilizando o densímetro, o frasco de areia e em laboratório

As Figuras 8 e 9 vislumbram de forma segregada os valores das massas específicas obtidas pelo frasco de areia e densímetro em relação à massa específica máxima obtida em laboratório.

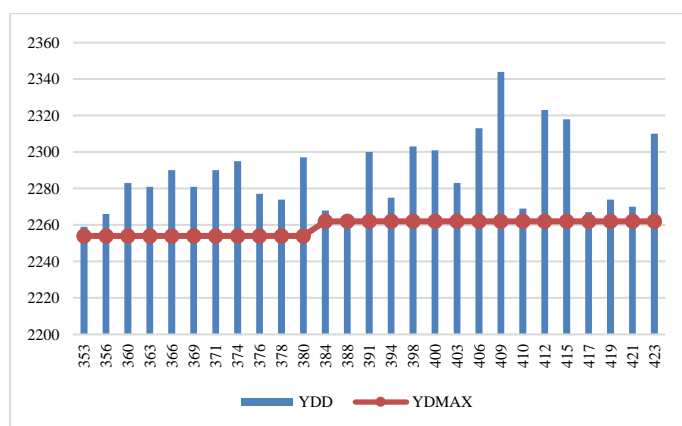


Figura 8: Comparativo entre as massas específicas: densímetro e em laboratório

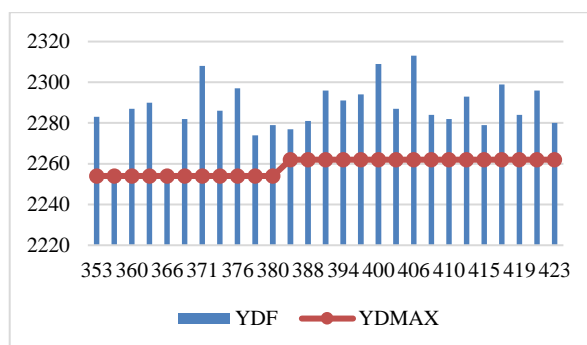


Figura 9: Comparativo entre as massas específicas: frasco de areia e em laboratório

De uma forma geral, os valores encontrados são aproximados. Portanto, os resultados apresentados e discutidos para os valores da massa específica seca obtidas tanto pelo densímetro como pelo frasco de areia convergem com os valores da massa específica máxima obtida em laboratório, levando a valores de compactação iguais ou maiores que 100%, o que atende à norma preconizada pela DNIT 056/2013-ES (Figura 10).

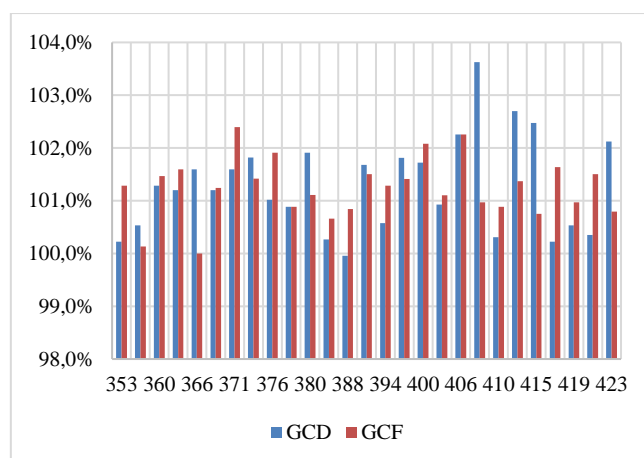


Figura 10: Valores de grau de compactação obtidos pelo densímetro e o frasco de areia

A Tabela 2 apresenta correlações entre os resultados entre métodos e deles com a massa específica máxima obtida em laboratório. Sendo:

$$X = \frac{\gamma dFA - \gamma dDN}{\gamma dFA} \times 100(\%)$$

$$Y = \frac{\gamma dMAX - \gamma dDN}{\gamma dMAX} \times 100(\%)$$

$$Z = \frac{\gamma dMAX - \gamma dFA}{\gamma dMAX} \times 100(\%)$$

Foi realizado o cálculo absoluto para cada ponto X, permitindo avaliar a variação entre os valores para a massa específica obtida pelo frasco de areia e pelo densímetro, cujos valores encontram-se entre 0% e 2,63%.

O cálculo de cada ponto Y permite avaliar a variação entre os valores para a massa específica máxima obtida pelo densímetro e pela massa específica máxima obtida em laboratório, cujos valores encontram-se entre 0 e 3,63%.

E o cálculo de cada ponto Z permite avaliar a variação entre os valores para a massa específica obtida pelo frasco de areia e pela massa específica máxima obtida em laboratório, cujos

valores encontram-se entre 0 e 2,40%.

Portanto, é compreensível a utilização do densímetro em substituição ao frasco de areia, tendo em vista a variação dos resultados entre ambos os métodos ser abaixo de 2,5%, bem como os valores do densímetro apresentarem mais próximos em relação ao valor da massa específica máxima.

A Figura 11 mostra em forma de dispersão os valores das massas específicas em comparação à massa específica máxima obtida em laboratório.

Tabela 2: Correlação de resultados da massa específica (Autores, 2023)

ESTACA	X (%)	Y (%)	Z (%)
353	1,05	0,22	1,29
356	0,40	0,53	0,13
360	0,17	1,29	1,46
363	0,39	1,20	1,60
366	1,60	1,60	0,00
369	0,04	1,20	1,24
371	0,78	1,60	2,40
374	0,39	1,82	1,42
376	0,87	1,02	1,91
378	0,00	0,89	0,89
380	0,79	1,91	1,11
384	0,40	0,27	0,66
388	0,88	0,04	0,84
391	0,17	1,68	1,50
394	0,70	0,57	1,28
398	0,39	1,81	1,41
400	0,35	1,72	2,08
403	0,17	0,93	1,11
406	0,00	2,25	2,25
409	2,63	3,63	0,97
410	0,57	0,31	0,88
412	1,31	2,70	1,37
415	1,71	2,48	0,75
417	1,39	0,22	1,64
419	0,44	0,53	0,97
421	1,13	0,35	1,50
423	1,32	2,12	0,80

Sobre as estacas que apresentaram maior divergência de resultados entre os dois métodos, pode-se levantar uma hipótese: erro de medida. Seriam necessários mais dados para o mesmo ponto, a fim de se obter uma avaliação com respaldo estatístico. Contudo, considerando que o parâmetro mais relevante para o cálculo do grau de compactação é a densidade, e que esta apresentou uma divergência máxima igual a 3,63% entre os métodos, assim a pequena divergência

no grau de compactação não inviabiliza qualidade e a análise com a utilização do densímetro.

A Figura 12 compara os resultados oriundos para o teor de umidade do densímetro como o Speedy em relação à umidade ótima. A diferença percentual entre os dois métodos é inferior a 5%, divergindo em apenas 7 (sete) pontos amostrais.

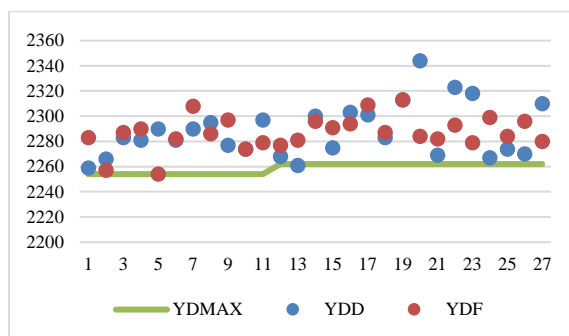


Figura 11: Dispersão de valores de massas específicas medidas em situ e em laboratório

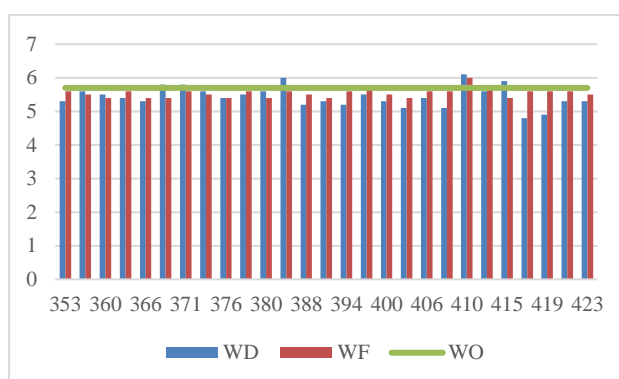


Figura 12: Aferição da umidade nas amostras (Autores, 2023)

Verifica-se que os valores da umidade obtidos em campo, tanto pelo Speedy como pelo densímetro, são bastante aproximados entre si e manifestam uma tendência ligeiramente superior/inferior aos valores da umidade ótima obtida em laboratório. As diferenças absolutas se mantêm sistematicamente abaixo de 1%, o que corrobora a utilização do densímetro também para a determinação do parâmetro umidade. De fato, observa-se que os valores obtidos tanto pelo densímetro assim como pelo Speedy atendem ao parâmetro de umidade da norma DNIT 056/2013-ES, em que o desvio máximo da umidade em relação a umidade ótima deve ser de um ponto percentual.

CONCLUSÃO

A análise comparativa de dados de umidade e massa específica, utilizando os métodos frasco de areia/Speedy e densímetro nuclear para calcular o grau de compactação do CCR na sub-base de pavimento rígido, revelou resultados que se aproximam dos parâmetros definidos em laboratório. Ambos os métodos atendem às diretrizes da norma DNIT 056/2013-ES, que exige que o grau de compactação seja igual ou superior a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima do laboratório, com desvio máximo da umidade em relação à umidade ótima de até um ponto percentual.

Um ponto de destaque foi observado nos resultados do densímetro nuclear, os quais se aproximaram mais dos parâmetros laboratoriais do que os obtidos pelo frasco de areia/Speedy. Isso sugere que a substituição do densímetro nuclear pelo frasco de areia é viável.

Com uma maior divulgação e compreensão dos benefícios dos ensaios não destrutivos na execução de obras de infraestrutura rodoviária, podemos esperar uma melhoria na eficiência e qualidade, devido à realização de um maior número desses ensaios.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA CNT TRANSPORTE ATUAL. Conheça os 13 principais defeitos do pavimento das rodovias. CNT, 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/conheca-principais-defeitos-pavimento>. Acesso em: 25 ago. 2025.

ARAÚJO, A. S. et al. Modais de transporte no Brasil. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 5, n. 2, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 04**: Concreto compactado com rolo – Determinação da densidade in situ com uso de densímetro nuclear. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 05**: Concreto compactado com rolo – Determinação da umidade in situ com uso de densímetro nuclear. Rio de Janeiro, 2000.

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

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2022.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Pavimentação**. 3. ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. (Publicação IPR-719).

BRITO, L. R.; ALMEIRA, A. F.; OLIVEIRA, F. H. L. Análise da correlação entre resistência à compressão axial e à tração na flexão em pavimentos rígidos. **Revista de Tecnologia**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 1–18, 2019.

CINTRA, P. G. **Aplicação de resíduos de construção e demolição em estruturas de pavimento**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2012.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa**: métodos qualitativo, quantitativo e misto. Tradução de Magda Lopes. 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 092/94**: Determinação da massa específica aparente in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 056/2013-ES**: Pavimento rígido – Sub-base de concreto de cimento Portland compactado com rolo – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2013.

FARDIN, H. E. **Análise de modelos para previsão de propriedades mecânicas do concreto compacto com rolo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

FREITAS, R. B.; CARVALHO, M. C. Pavimento de Concreto e seus Benefícios em Rodovias: Uma Revisão Bibliográfica. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 3, n. 1, p. 21-33, 2018.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

INSTITUTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA RODOVIÁRIA (INIR). **Construção e Reabilitação de Pavimentos**: Reciclagem de Pavimentos. [S. l.]: INIR, 2012.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. D. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MONTANARI, G. B.; MELLO, R. M.; CABRAL, F. G. Avaliação da vida útil do pavimento por meio do controle tecnológico. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA - CONIC-SEMESP, 18., 2018, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Semesp, 2018.

OLIVEIRA, F. H. L. Análise da correlação entre resistência à compressão axial e à tração na flexão em pavimentos rígidos. **Revista de Tecnologia**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 1–18, 2019.

PENTEADO, G. C. M.; MIRANDOLA, F. Modais de Transporte e sua importância no avanço da logística. *In*: FATECLOG - CONGRESSO DE LOGÍSTICA DAS FACULDADES DE TECNOLOGIA DO CENTRO PAULA SOUZA, 12., 2021, [S. l.]. **Anais [...]**. [S. l.: s. n.], 2021.

PREUSSLER, L. A. **Contribuição ao estudo da deformabilidade de camadas de pavimento**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTOS, T. A. **Avaliação da resistência e da deformabilidade de quatro solos empregados em subleitos rodoviários no estado do Rio Grande do Sul**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

SOLANKI, P.; ZAMAN, M. Design of semi-rigid type of flexible pavements. **International Journal of Pavement Research and Technology**, v. 10, p. 99-111, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/309723111_Design_of_semirigid_type_of_flexible_pavements. Acesso em: 25 ago. 2025.

VITORAZZI, C. F. **Análise técnico e econômica entre pavimentos flexíveis e rígidos e sua aplicação na infraestrutura urbana em baias de ônibus**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Nova Venécia, 2023.