

# Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação

Manuela de Mesquita Lopes<sup>1</sup>, Verônica T. F. Castelo Branco<sup>2</sup> e Jorge Barbosa Soares<sup>3</sup>

**Resumo:** Na pavimentação, é comum tratar os dados obtidos em ensaios à luz de conceitos da estatística clássica, que consideram que um conjunto de dados possui distribuição Normal e utilizam os parâmetros média e desvio padrão na análise dos dados. O presente trabalho se propõe a verificar a aderência à distribuição Normal de dados oriundos de alguns ensaios de materiais para pavimentação: densidades aparente e real e absorção do agregado graúdo, densidade aparente e volume de vazios de corpos de prova de mistura asfáltica. Utilizaram-se os testes de *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* e *Shapiro-Wilk (S-W)*, por meio do pacote estatístico SPSS. Cada ensaio foi realizado pelo menos 30 vezes por um mesmo operador, utilizando os mesmos equipamentos. Observou-se convergência entre os testes *K-S* e *S-W* para cinco dos seis ensaios avaliados. Os mesmos ensaios também foram realizados por nove laboratórios, em amostras semelhantes; e foi utilizado apenas o teste *S-W*. Os resultados do teste *S-W* com relação ao conjunto de dados obtidos por um mesmo operador e por nove operadores foram semelhantes. Estas análises estatísticas contribuíram para a decisão com relação à escolha das ferramentas estatísticas utilizadas no Programa Interlaboratorial de Agregados e Misturas Asfálticas da Rede Asfalto N/E.

DOI:10.4237/transportes.v21i1.566.

*Palavras-chave:* normalidade; análise estatística; materiais para pavimentação.

**Abstract:** For pavement materials evaluation, it is common to treat laboratorial test data with classical statistical concepts, considering that a data set has a normal distribution, and therefore using the parameters average and standard deviation. The present work aims to verify if the normal distribution can be applied for the results of some tests, such as bulk specific gravity, apparent specific gravity and absorption for coarse aggregates, bulk specific gravity and air voids for hot mixture asphalt samples. The *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* and *Shapiro-Wilk (S-W)* tests were used with the SPSS. Each test was carried out at least 30 times by the same operator using the same equipment. There was convergence between the two normality tests for five of the six parameters. Then, the tests were also performed by nine different laboratories using similar samples; and only *S-W* test was used. These statistical analyses support the decision about the statistical tools used in the Interlaboratory Program of Aggregates and Asphalt Mixtures of the North-Northeast Asphalt Network.

*Keywords:* normality, statistical analyses; pavement materials.

## 1. INTRODUÇÃO

Um programa interlaboratorial consiste em uma série de medições de uma ou mais propriedades, realizadas independentemente, por um grupo de laboratórios, em amostras de um mesmo material, utilizando a mesma metodologia. Esse tipo de programa costuma ser organizado com o intuito de verificar a consistência das atividades de um laboratório, definindo-se, assim, um indicador de qualidade e de competência na realização dos ensaios (Lopes, 2010). Para o desenvolvimento de um programa interlaboratorial é necessário o cumprimento de diversas etapas, dentre as quais se destaca a análise estatística dos resultados obtidos pelos participantes. Existem algumas ferramentas estatísticas para a análise do desempenho de um laboratório em programas interlaboratoriais. No Brasil, podem-se encontrar programas que usam a elipse de confiança, baseada nos estudos de Youden, que também é adotada pelo *National Institute of*

*Standard and Technology (NIST)* dos Estados Unidos. Também são utilizados os testes estatísticos de *Dixon* e de *Cochran*, recomendados pela ISO 5725/86; a técnica do *z-score* robusto, que se baseia em fundamentos de estatística robusta; e a análise de variâncias (ANOVA).

A estatística clássica está condicionada à distribuição Normal dos dados e à ausência de valores dispersos (*outliers*). O uso desta na análise de um conjunto de dados não Normal leva à obtenção de medidas de dispersão elevadas e pouco confiáveis, gerando intervalos de aceitação amplos, que pouco ajudam os laboratórios na avaliação dos seus procedimentos (Biasoli *et al.*, 2007). Os resultados oriundos da estatística robusta, ao contrário da estatística clássica, são pouco influenciados por *outliers*, dispensando a utilização de procedimentos para a identificação e a remoção dos mesmos. Esta também é aplicável na análise de resultados de ensaios que não apresentam comportamento segundo uma distribuição Normal. Este fato é vantajoso nas análises de resultados de programas interlaboratoriais, onde é frequente a ocorrência de distribuições não Normais (Olivieri, 2004). Dessa maneira, a mediana de cada grupo de resultados é utilizada como estimativa do valor verdadeiro do ensaio em questão, sendo designada como referência para cada parâmetro analisado. A mediana é equivalente ao valor verdadeiro, tido como referência, da estatística clássica. Utiliza-se a Amplitude Interquartilica Normalizada (IQN) como medida de dispersão, equivalente ao desvio padrão (Lopes, 2010).

O presente trabalho realiza uma análise descritiva de al-

<sup>1</sup> **Manuela de Mesquita Lopes**, Laboratório de Tecnologia de Pavimentos, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (e-mail: manuelalopes@usp.br).

<sup>2</sup> **Verônica T. F. Castelo Branco**, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (e-mail: veronica@det.ufc.br).

<sup>3</sup> **Jorge Barbosa Soares**, Laboratório de Mecânica dos Pavimentos, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (e-mail: jsoares@det.ufc.br).

Manuscrito recebido em 12/3/2013 e aprovado para publicação em 6/6/2013. Este artigo é parte de TRANSPORTES v. 21, n. 1, 2013. ISSN: 2237-1346 (online). DOI:10.4237/transportes.v21i1.566.

guns dados de caracterização de agregados e de misturas asfálticas para uso em pavimentação. É apresentada uma verificação da distribuição Normal, à luz dos testes de *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* e de *Shapiro-Wilk (S-K)*, para os ensaios de densidade aparente, densidade real e absorção dos agregados graúdos, densidade real dos agregados miúdos, densidade aparente e Volume de vazios (Vv) de Corpos de Prova (CPs) de mistura asfáltica. Na primeira parte do trabalho, cada ensaio foi realizado pelo menos 30 vezes por um mesmo operador, utilizando os mesmos equipamentos. Na segunda parte, os mesmos ensaios foram realizados por diferentes operadores em diferentes laboratórios.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A distribuição Normal é uma das mais importantes distribuições de probabilidades da estatística, conhecida também como Distribuição de Gauss ou Gaussiana. Esta foi desenvolvida pelo matemático francês Abraham de Moivre em 1733 (Triola, 2008). É representada por um gráfico simétrico, em forma de sino (Figura 1), e que pode ser descrito pela função densidade de probabilidade (Equação 1). Esta equação é especificada por dois parâmetros: a média populacional,  $\mu \in R$ , e o desvio padrão populacional,  $\sigma > 0$ , ou o equivalente a variância populacional,  $\sigma^2$ . Quando a distribuição dos dados é Normal, a média se encontra no centro da distribuição e esta possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva.

$$f(x) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}}, x \in R \quad (1)$$

Para a distribuição Normal, a proporção de valores sob a curva é a seguinte: 68,26% dos valores estão dentro de um desvio padrão positivo e negativo de sua média ( $\pm 1\sigma$ ); 95,44% dos valores estão dentro de dois desvios padrão positivos e negativos ( $\pm 2\sigma$ ) de sua média e 99,72% dos valores estão dentro de três desvios padrão positivos e negativos ( $\pm 3\sigma$ ) de sua média. Os valores que estão afastados três desvios padrão acima ou abaixo da média são considerados *outliers*.

Uma grande quantidade de métodos estatísticos supõe que seus dados provêm de uma distribuição Normal, permitindo que seja utilizada a maioria das técnicas de inferência estatística, por exemplo: a estimação e os testes de hipóteses. Existem disponíveis alguns testes para avaliar se a distribuição de um conjunto de dados adere à distribuição

Normal: *Anderson-Darling*, *Cramer-Von Mises*, *D'Agostino-Pearson*, *Jarque-Bera*, *Kolmogorov-Smirnov*, e *Shapiro-Wilk*, além de recursos gráficos, como histograma e normal plot (Leotti, 2005; Öztuna *et al.*, 2006). Diversos trabalhos já foram publicados comparando a eficiência destes testes. Leotti *et al.* (2005) compararam os testes *Kolmogorov-Smirnov*, *Cramer-vonMises*, *Anderson-Darling* e *Shapiro-Wilk* concluindo que há equivalência entre esses quatro testes para dados Normais, mas que o teste de *Kolmogorov-Smirnov* é menos sensível à verificação da Normalidade, sendo considerado menos eficiente se comparado aos demais. Estes autores consideraram que o teste de *Shapiro-Wilk* é, aparentemente, o melhor teste de aderência à Normalidade. Este fato também é confirmado pelos autores Cirillo e Ferreira (2003) e Öztuna *et al.* (2006). Shapiro e Wilk (1965) desenvolveram o teste de *Shapiro-Wilk* mostrando que esse teste é eficiente para diferentes distribuições e tamanhos de amostras quando comparado aos resultados de outros testes, como o de *Kolmogorov-Smirnov*, por exemplo.

Para a verificação da Normalidade por meio dos testes de *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* e de *Shapiro-Wilk (S-W)*, existem diversas ferramentas e programas estatísticos, dentre os quais o *Statistical Package for Social Sciences (SPSS)* versão 17.0 (SPSS, 2008). O SPSS é usado para a análise de dados e permite manipular, transformar, criar tabelas e gráficos que resumam as informações obtidas. As suas potencialidades vão além da análise descritiva de um conjunto de dados. É possível realizar com este *software* procedimentos mais avançados como inferência estatística, testes de hipóteses e estatísticas multivariadas para dados qualitativos e quantitativos.

Os testes *K-S* e *S-W* fornecem o parâmetro valor de prova (*valor-p*, *p-value* ou *significância*), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula ( $H_0$ ), sendo  $H_0$  correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é Normal ou não é rejeitar  $H_0$ : (i) se  $\text{valor-p} \leq \alpha$ , rejeita-se  $H_0$ , ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; (ii) se  $\text{valor-p} > \alpha$ , não se rejeita  $H_0$ , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão.

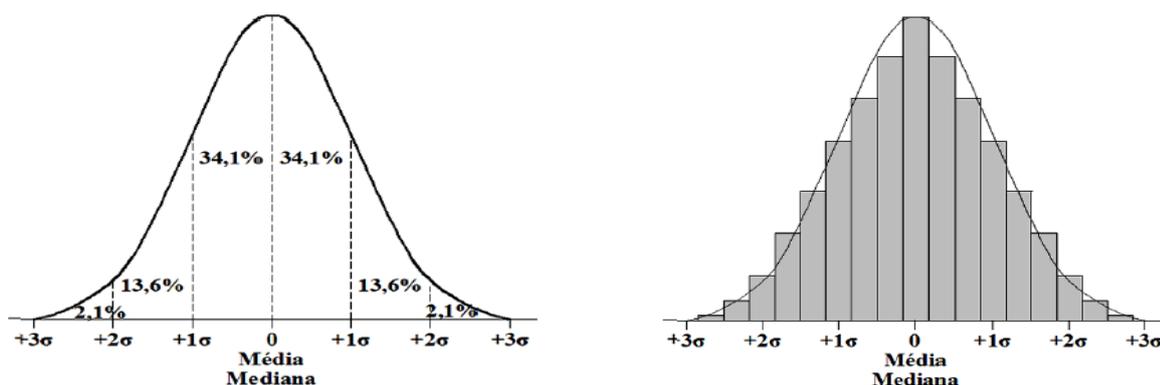


Figura 1. Modelo de distribuição Normal

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Agregados

Os agregados naturais, de origem granítica, utilizados neste trabalho são provenientes da Pedreira de Itaitinga (MFT), no Ceará. O agregado graúdo estudado foi a brita ¾" (Tamanho Máximo Nominal – TMN – de 19,0mm) e o agregado miúdo foi o pó de pedra. Coletaram-se ainda amostras de brita 3/8" para o uso na confecção das misturas asfálticas, conforme especificado adiante. Os materiais foram coletados seguindo o DNER-PRO 120/97 e, em seguida, foram homogeneizados e quarteados de acordo com o DNER-PRO 199/96.

#### 3.2. Ligante

O ligante utilizado foi o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) caracterizado por penetração como CAP 50/70 de acordo com a especificação brasileira (ANP, 2005). Este é proveniente do petróleo nacional, campo Fazenda Alegre, e atendeu a todas as especificações da Agência Nacional do Petróleo (ANP). O CAP foi fornecido pela Petrobras/Lubnor, localizada em Fortaleza, CE.

#### 3.3. Dosagem das misturas asfálticas

As amostras de misturas asfálticas foram preparadas individualmente e por um mesmo operador de modo a reduzir as incertezas associadas ao fator humano. Os agregados foram fracionados utilizando a seguinte série de peneiras: 19,1mm – 12,7mm – 9,5mm – 4,8mm – 2,0mm – 0,42mm – 0,18mm – 0,075mm. A separação dos agregados para a preparação das misturas se deu com controle peneira a peneira. Os agregados foram aquecidos à temperatura de 175°C e o ligante à temperatura de 165°C. Essas temperaturas foram determinadas a partir do gráfico de viscosidade versus temperatura do CAP (ASTM D 4402/06). Finalmente, as misturas asfálticas foram compactadas no Compactador Giratório Superpave (CGS) e, em seguida, pesadas para determinação da densidade aparente e do  $V_v$  (Figura 2).

#### 3.4. Densidade e absorção do agregado graúdo

O ensaio de densidade aparente do agregado graúdo foi efetuado em amostras de brita ¾" em conformidade com o especificado no DNER-ME 091/98. Neste ensaio, o agregado

é lavado sobre a peneira de abertura 4,75mm e depois seco em estufa. Para a determinação da densidade, os agregados são pesados em três condições: (i) seco em estufa, (ii) na condição de Superfície Saturada Seca (SSS) e (iii) submerso em água destilada, por meio da leitura na balança hidrostática (Figura 3). Para a determinação das densidades real e aparente e da absorção, são utilizadas as Equações 2, 3 e 4. Contudo, vale salientar que, a norma brasileira (DNER-ME 091/98) não prevê o cálculo da densidade real, mas esta pode ser calculada por meio da fórmula proposta pela norma ASTM C 127/07 (Equação 4).

$$D_{ap} = \frac{M_s}{M_h - L} \quad (2)$$

$$D_{real} = \frac{M_s}{M_s - L} \quad (3)$$

$$a = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad (4)$$

em que,

$D_{ap}$ : densidade aparente;

$D_{real}$ : densidade real;

$a$ : absorção, em percentagem;

$M_s$ : massa, ao ar, do agregado seco em estufa, em g;

$M_h$ : massa, ao ar, do agregado na condição SSS, em g;

$L$ : leitura na balança correspondente ao agregado submerso em água, em g.

A determinação da densidade real dos agregados influencia o cálculo da Densidade Máxima Teórica (DMT) de uma mistura asfáltica, efetuado a partir da ponderação das densidades reais dos materiais componentes da mistura (ABNT NBR 12891/93). Dessa maneira, falhas no procedimento de determinação da densidade real levam a valores de DMT equivocados e, por conseguinte, a determinação incorreta do teor de projeto de ligante. A densidade máxima da mistura também pode ser determinada por meio da aplicação de vácuo na mistura asfáltica não compactada, conforme os métodos ASTM D2041/00 e AASHTO T-209/01. O método com aplicação do vácuo (Rice) determina a chamada

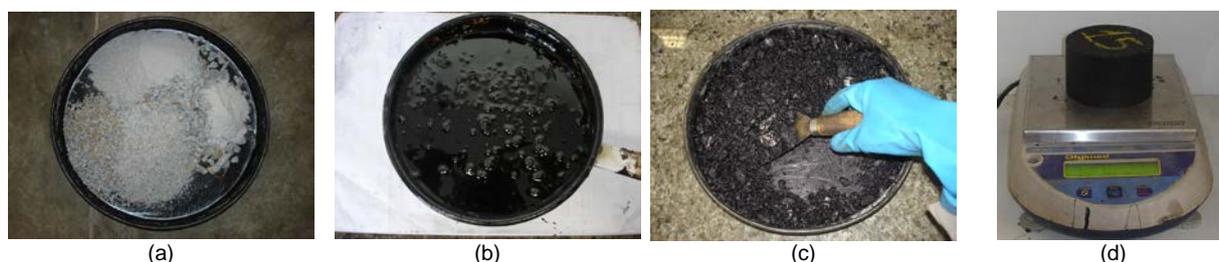


Figura 2. Preparação dos CPs (a) controle peneira a peneira dos agregados; (b) ligante aquecido a 165°C; (c) mistura pronta para ser compactada e (d) pesagem



Figura 3. Etapas do ensaio de densidade e absorção do agregado graúdo

Densidade Máxima Medida (DMM ou Gmm) e é mais vantajoso devido ao fato de ser desnecessária a determinação das densidades reais individuais dos constituintes, além de haver o desconto dos poros preenchidos com ligante e não com água (Castelo Branco, 2004).

### 3.5. Densidade e absorção do agregado miúdo

No Brasil, o ensaio de densidade real de agregado miúdo é feito em amostras passantes na peneira de abertura 4,75mm e retidas na peneira de abertura de 0,075mm. Dessa maneira, 500g de material nas referidas dimensões são secos em estufa, até massa constante, e inseridos em um picnômetro limpo e seco (capacidade de 500ml). Registra-se a massa do conjunto picnômetro mais amostra seca. Em seguida, adiciona-se água destilada ao conjunto picnômetro mais amostra e leva-se para aquecimento a fim de se eliminar as bolhas de ar contidas na amostra. A densidade aparente do agregado miúdo é, então, calculada a partir da Equação 5, retirada do procedimento DNER-ME 084/95.

$$D_{25} = \frac{b - a}{(d - a) - (c - b)} \quad (5)$$

em que,

- $D_{25}$ : densidade real do agregado miúdo, a 25°C;
- $a$ : picnômetro vazio e seco, em (g);
- $b$ : picnômetro mais amostra, em (g);
- $c$ : picnômetro mais amostra mais água, em (g); e
- $d$ : picnômetro cheio de água, em (g).

### 3.6. Densidade aparente e volume de vazios (Vv) dos CPs

A densidade aparente de uma mistura asfáltica compactada ( $G_{mb}$ ) é determinada seguindo o DNER-ME 117/94. O ensaio consiste em deixar o CP esfriar à temperatura ambiente (25±5°C) e registrar sua massa seca. Em seguida, mergulha-se o CP em água a 25±5°C durante 4±1 minuto e registra-se sua massa imersa. Calcula-se a densidade aparente de CPs com até 7% de vazios a partir da Equação 6 retirada do procedimento DNER-ME 117/94.

$$d = \frac{P_{ar}}{P_{ar} - P_i} \quad (6)$$

em que,

- $d$ : densidade aparente do CP;
- $P_{ar}$ : peso seco do CP ao ar; e
- $P_i$ : peso do CP imerso em água.

Volume de vazio ( $V_v$ ) é o volume de ar existente entre as partículas do agregado envolvidas por um filme de ligante asfáltico. O  $V_v$  é expresso em porcentagem do volume total do CP podendo ser calculado através da Equação 7, que pode ser encontrada em ABNT NBR 12891/93.

$$V_v = \left(1 - \frac{d}{DMT}\right) \times 100 \quad (7)$$

em que,

- $d$ : densidade aparente do CP;
- $DMT$ : Densidade Máxima Teórica.

## 4. RESULTADOS

Por meio do pacote estatístico SPSS foi efetuado os testes de Normalidade de *Kolmogorov-Smirnov (K-S)* e de *Shapiro-Wilk (S-W)* e criado um histograma de barras, a fim de separar as classes e a frequência de cada uma delas. Os testes de Normalidade foram realizados com grau de confiança de 95% (nível de significância ( $\alpha$ ) de 5%).

### 4.1. Densidade e absorção do agregado graúdo – DNER-ME 091/98

Para as densidades aparente e real e absorção do agregado graúdo (brita ¾”), foram realizados 30 ensaios utilizando-se os mesmos equipamentos e o mesmo operador. Ressalta-se que, a obtenção do resultado de absorção é feita a partir do mesmo ensaio que origina os valores de densidades aparente e real (DNER-ME 081/98). As variáveis analisadas em todos os ensaios são consideradas do tipo quantitativas (assumem valores numéricos) e contínuas (obtidas por meio de mensurações e não contagens). Os valores obtidos nos ensaios de densidade e absorção encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1.** Valores de densidade aparente, densidade real e absorção do agregado graúdo

Densidade Aparente					Densidade Real					Absorção				
2,585	2,597	2,602	2,605	2,609	2,651	2,652	2,646	2,651	2,653	0,50	0,63	0,68	0,72	0,84
2,593	2,598	2,602	2,606	2,609	2,651	2,652	2,647	2,651	2,655	0,52	0,65	0,69	0,75	0,84
2,594	2,599	2,603	2,606	2,613	2,652	2,652	2,649	2,653	2,662	0,55	0,65	0,69	0,75	0,85
2,595	2,600	2,603	2,607	2,614	2,652	2,653	2,649	2,653	2,663	0,60	0,65	0,69	0,76	0,86
2,595	2,600	2,604	2,608	2,626	2,652	2,643	2,649	2,653	2,666	0,62	0,66	0,71	0,77	0,95
2,597	2,602	2,605	2,608	2,630	2,652	2,646	2,651	2,653	2,676	0,63	0,68	0,72	0,77	0,99

**Tabela 2.** Medidas de tendência central e de dispersão para densidade e absorção do agregado graúdo

Tendência Central / Dispersão	Densidade Aparente	Densidade Real	Absorção
Média	2,604	2,653	0,71
Mediana	2,603	2,652	0,69
Desvio padrão	0,009	0,006	0,11
Valor Mínimo	2,585	2,643	0,50
Valor Máximo	2,630	2,676	0,99
Curtose	2,269	5,344	0,37
Coefficiente de Assimetria	0,975	1,991	0,50
Variância	0,000	0,000	0,01

Os valores obtidos para as medidas de tendência central e de dispersão encontram-se na Tabela 2, onde curtose significa o grau de achatamento de uma distribuição, em relação à distribuição Normal. O valor de curtose deve se aproximar de 3 para assumir que os dados seguem uma distribuição Normal. O coeficiente de assimetria é usado para indicar quanto e como a distribuição de frequências se afasta da simetria. Valores de assimetria iguais a zero indicam que a distribuição é simétrica; se for positivo, a distribuição é assimétrica à direita e se for negativo, é assimétrica à esquerda (Zanão Júnior *et al.*, 2007).

Ao lançar os dados dos ensaios de densidade aparente, densidade real e absorção no programa SPSS, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 3 e o histograma da Figura 4. Um baixo valor de Significância (*Sig. ou valor-p* < 0,05) indica que a distribuição dos dados difere significativamente de uma distribuição Normal.

O ensaio de densidade aparente do agregado graúdo tem valor de curtose próximo a 3 (2,269), indicando achatamento aproximado ao da distribuição Normal; e assimetria de 0,975, indicando variação de simetria à direita. Apesar da assimetria dos dados, observa-se na Tabela 3 que para o teste *K-S* não se rejeita a hipótese de Normalidade  $H_0$  (*Sig. igual a* 0,078 > 0,05), mas para o teste *S-W* deve-se rejeitar  $H_0$  (*Sig. igual a* 0,042 < 0,05).

Para o ensaio de densidade real do agregado graúdo, a

curtose é maior do que 3 (5,344), indicando distribuição de dados mais afunilada do que a Normal, conforme pode ser observado na Figura 4(b). O valor de assimetria para este ensaio é 1,991, indicando assimetria forte dos dados à direita. Os valores de curtose e de assimetria são coerentes com os resultados dos testes *K-S* e *S-W*, que consideram a distribuição dos dados de densidade real como não Normal, com valores de *Sig.* iguais a 0,000 para os dois testes.

Para o ensaio de absorção do agregado graúdo, o valor de curtose é inferior a 3 indica que a distribuição dos dados é mais achatada do que a distribuição Normal, apesar de apresentar um coeficiente de assimetria próximo a zero. Os valores de *Sig.* para os testes *K-S* e *S-W* são 0,200 e 0,495, respectivamente. Então, para os dois testes, pode-se admitir que o conjunto de dados em questão tem distribuição Normal, pois a significância obtida é maior do que 0,05.

#### 4.2. Densidade real de agregado miúdo – DNER-ME 084/95

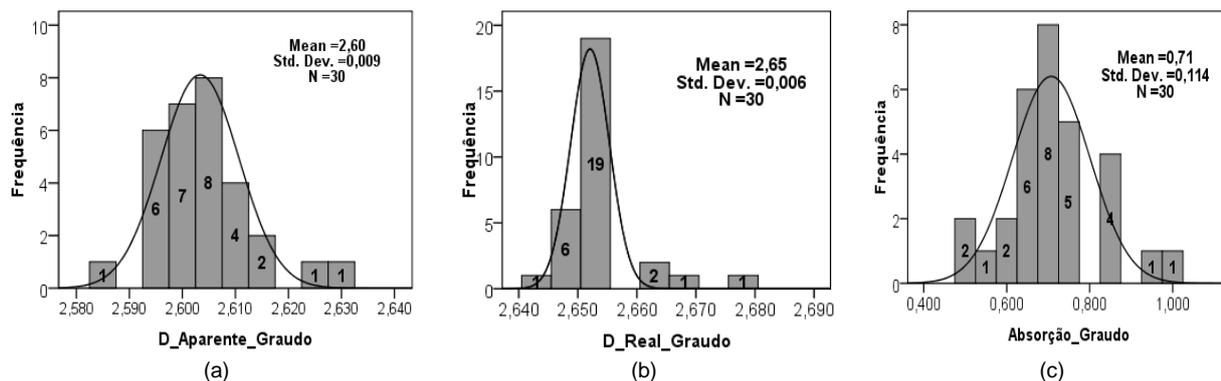
Para o ensaio de densidade real do agregado miúdo foram realizados 34 ensaios utilizando-se os mesmos equipamentos e o mesmo operador. Os resultados são apresentados na Tabela 4 e os valores das medidas de tendência central e de dispersão encontram-se na Tabela 5.

Ao lançar os dados no programa SPSS, foram obtidos os resultados dispostos na Tabela 6 e o histograma da Figura

**Tabela 3.** Teste de normalidade para o ensaios de densidades aparente e real e absorção do agregado graúdo

Parâmetro	Kolmogorov-Smirnov (K-S)				Shapiro-Wilk (S-W)			
	Statistic	df*	Sig.**	Conclusão	Statistic	df	Sig.	Conclusão
Densidade Aparente	0,151	30	0,078	Não se rejeita $H_0$	0,928	30	0,042	Rejeita-se $H_0$
Densidade Real	0,329	30	0,000	Rejeita-se $H_0$	0,778	30	0,000	Rejeita-se $H_0$
Absorção	0,111	30	0,200	Não se rejeita $H_0$	0,968	30	0,495	Não se rejeita $H_0$

\*df = quantidade de amostras, \*\*Sig. = Significância (ou valor-p)



**Figura 4.** Histogramas para os ensaios: (a) densidade aparente, (b) densidade real e (c) absorção do agregado graúdo

**Tabela 4.** Valores de densidade real do agregado miúdo

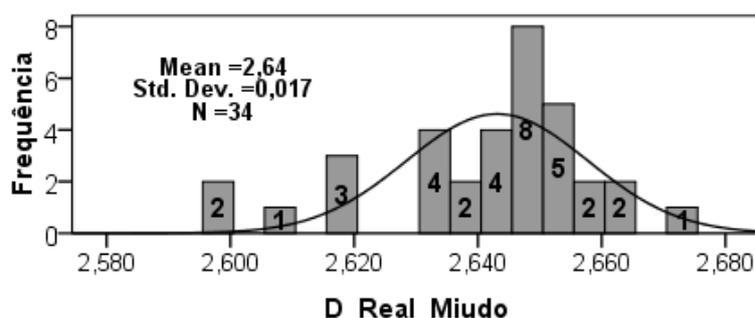
Densidade Real ( agregado miúdo)											
2,598	2,618	2,632	2,635	2,642	2,645	2,647	2,650	2,651	2,653	2,661	2,651
2,599	2,618	2,633	2,636	2,643	2,646	2,649	2,650	2,652	2,656	2,665	
2,610	2,620	2,635	2,638	2,643	2,647	2,650	2,650	2,653	2,658	2,672	

**Tabela 5.** Medidas de tendência central e de dispersão para a densidade real do agregado miúdo

Tendência Central / Dispersão	Valor	Tendência Central / Dispersão	Valor
Média	2,641	Valor Máximo	2,672
Mediana	2,647	Curtose	0,794
Desvio Padrão	0,017	Coeficiente de Assimetria	-0,984
Valor Mínimo	2,598	Variância	0,000

**Tabela 6.** Teste de normalidade para o ensaio de densidade real do agregado miúdo

Densidade Real (agregado miúdo)	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	Df	Sig.	Statistic	Df	Sig.
	0,162	34	0,024	0,914	34	0,011
<b>Conclusão</b>	<b>Rejeita-se H<sub>0</sub></b>			<b>Rejeita-se H<sub>0</sub></b>		



**Figura 5.** Histograma para o ensaio de densidade real do agregado miúdo gerado pelo SPSS

5. Observa-se que os valores de Significância dos testes de *K-S* e *S-W* são 0,024 e 0,011, respectivamente. Conclui-se que, para os dois testes, deve-se rejeitar a hipótese de Normalidade  $H_0$ , pois o *Sig.* obtido é menor do que 0,05. Observa-se na Tabela 5 que o valor de curtose é menor que 3 (0,794) e o coeficiente de assimetria é negativo (-0,984), enfatizando o afastamento da distribuição Normal dos dados.

#### 4.3. Densidade aparente e volume de vazios de corpos de prova – DNER-ME 117/94

O ensaio de densidade aparente e a determinação do Vv de CPs foram efetuados em 34 amostras semelhantes, preparadas pelo mesmo operador e utilizando os mesmos equipamentos. Os valores obtidos nos ensaios encontram-se na Tabela 7; e os valores das medidas de tendência central e dispersão encontram-se na Tabela 8, onde observa-se que os coeficientes de assimetria se aproximam de zero, indicando que a distribuição dos dados é simétrica.

Os resultados gerados pelo programa SPSS referentes ao conjunto de dados de densidade aparente e Vv dos CPs são

**Tabela 7.** Valores de D. Aparente e de Vv (%) dos CPs

Densidade Aparente									Vv (%)								
2,292	2,306	2,308	2,312	2,315	2,317	2,322	2,327	2,333	3,0	3,4	3,6	3,8	3,9	3,9	4,1	4,2	4,5
2,301	2,306	2,308	2,314	2,315	2,317	2,322	2,327	2,335	3,1	3,4	3,7	3,9	3,9	4,0	4,2	4,3	4,8
2,304	2,307	2,309	2,314	2,315	2,32	2,323	2,33		3,1	3,4	3,6	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	
2,305	2,307	2,311	2,315	2,317	2,322	2,325	2,333		3,2	3,5	3,6	3,8	3,9	4,1	4,2	4,3	

**Tabela 8.** Medidas de tendência central e de dispersão para densidade aparente e Vv (%) dos CPs

Tendência Central/Dispersão	Densidade Aparente	Vv (%)	Tendência Central/Dispersão	Densidade Aparente	Vv (%)
Média	2,316	3,84	Valor Máximo	2,340	4,8
Mediana	2,315	3,90	Curtose	-0,217	-0,229
Desvio padrão	0,010	0,422	Coefficiente de Assimetria	0,048	-0,158
Valor Mínimo	2,290	3,0	Variância	0,000	0,178

**Tabela 9.** Teste de normalidade para os valores de densidade aparente e de Vv (%) dos CPs

	Kolmogorov-Smirnov (K-S)			Shapiro-Wilk (S-W)		
	Statistic	Df	Sig. (valor-p)	Statistic	df	Sig. (valor-p)
Densidade Aparente - CPs	0,095	34	0,200	0,979	34	0,742
<b>Conclusão</b>	<b>Não se rejeita H<sub>0</sub></b>			<b>Não se rejeita H<sub>0</sub></b>		
Vv (%) - CPs	0,112	34	0,200	0,975	34	0,613
<b>Conclusão</b>	<b>Não se rejeita H<sub>0</sub></b>			<b>Não se rejeita H<sub>0</sub></b>		

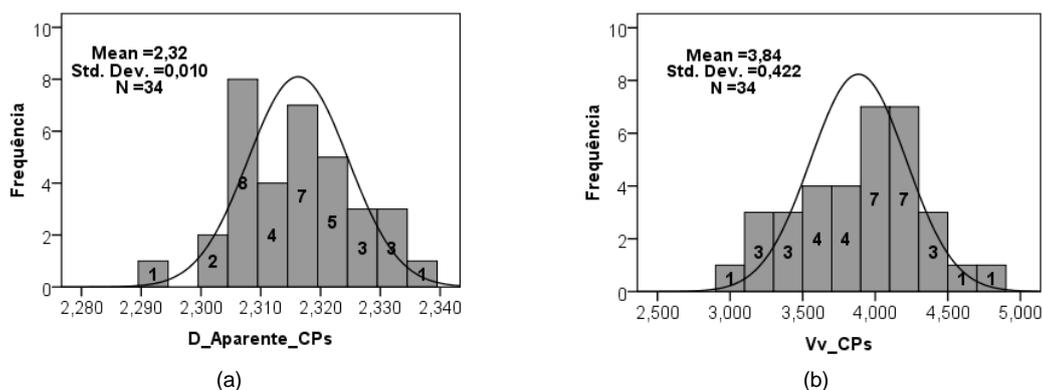


Figura 6. Histogramas gerados pelo SPSS para os dados: (a) D. Aparente e (b) Vv (%) dos CPs

Tabela 10. Resumo dos resultados obtidos pelos testes K-S e S-W

Teste	Densidade Real (agreg. graúdo)	Densidade Aparente (agreg. graúdo)	Absorção (agreg. graúdo)	Densidade Real (agreg. miúdo)	Densidade Aparente (CPs)	Vv (CPs)
Kolmogorov-Smirnov	Normal	Não Normal	Normal	Não Normal	Normal	Normal
Shapiro-Wilk	Não Normal	Não Normal	Normal	Não Normal	Normal	Normal

Tabela 11. Análise descritiva dos resultados obtidos por diferentes operadores

Parâmetro	N° de amostras	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	Variância
Densidade Aparente (agregado graúdo)	20	2,564	2,661	2,613	0,02312	0,001
Densidade Real (agregado graúdo)	20	2,628	2,669	2,654	0,01221	0,000
Absorção (%) (agregado graúdo)	20	0,12	1,30	0,673	0,31847	0,101
Densidade Real (agregado miúdo)	22	2,430	2,790	2,625	0,07872	0,006
Densidade Aparente (CPs)	21	2,23	2,36	2,28	0,02798	0,001

Tabela 12. Teste de Shapiro-Wilk para ensaios realizados por diferentes operadores

Parâmetro	Shapiro-Wilk (S-W)			
	Statistic	Df (n° de amostras)	Sig. (valor-p)	Conclusão
Densidade Aparente (agregado graúdo)	0,897	20	0,036	Sig. < 0,05 → Rejeita-se H <sub>0</sub>
Densidade Real (agregado graúdo)	0,894	20	0,032	Sig. < 0,05 → Rejeita-se H <sub>0</sub>
Absorção (agregado graúdo)	0,922	20	0,108	Sig. > 0,05 → Não rejeita-se H <sub>0</sub>
Densidade Real (agregado miúdo)	0,821	22	0,001	Sig. < 0,05 → Rejeita-se H <sub>0</sub>
Densidade Aparente (CPs)	0,944	21	0,256	Sig. > 0,05 → Não rejeita-se H <sub>0</sub>

realizou quatro ensaios; e para o agregado miúdo, dois dos laboratórios participantes realizaram quatro ensaios. Além desses ensaios, foram fabricados CPs de misturas asfálticas para a determinação da densidade aparente, sendo que somente sete laboratórios participaram desta parte do processo, realizando três ensaios cada. Então, ao final, obtiveram-se 20 resultados para o agregado graúdo, 22 para o agregado miúdo e 21 para os CPs. A Tabela 11 apresenta as medidas de tendência central e de dispersão para os resultados obtidos pelos diversos operadores.

Para a verificação da Normalidade desses dados, foi utilizado apenas o teste de S-W (Tabela 12), que é recomendado para amostragens reduzidas (menores do que 30), ao contrário do teste K-S que deve ser utilizado para amostragens maiores do que 30.

Os dados apresentados na Tabela 12 foram obtidos por meio do programa SPSS. Para os resultados dos ensaios de densidade aparente e de densidade real do agregado graúdo, deve-se rejeitar a hipótese de Normalidade (H<sub>0</sub>). Para os resultados do ensaio de absorção, o teste de S-W considerou que não se deve rejeitar H<sub>0</sub>. Para os resultados do ensaio de densidade real do agregado miúdo, rejeita-se H<sub>0</sub>. Para a determinação da densidade aparente dos CPs, o teste não rejeita H<sub>0</sub>.

Quando esses mesmos ensaios foram realizados por um

mesmo operador, os resultados da aplicação do teste de S-W foram semelhantes aqueles apresentados na Tabela 12. O leitor é direcionado a verificar as Tabelas 3, 6 e 9 a título de comparação com os resultados apresentados na Tabela 12.

Nesse contexto, no programa interlaboratorial que gerou o presente estudo, decidiu-se utilizar ferramentas da estatística robusta para a análise dos resultados obtidos pelos laboratórios participantes. A estatística robusta, não paramétrica, considera que o conjunto de dados segue uma distribuição não Normal. Os resultados do ensaio de absorção, considerados seguindo uma distribuição Normal, também foram analisados por meio do uso da estatística robusta, como forma de simplificar as avaliações.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram utilizados os testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk em seis conjuntos de dados, referentes aos resultados dos ensaios de densidade real dos agregados graúdo e miúdo, densidade aparente do agregado graúdo, absorção do agregado graúdo, densidade aparente e determinação do volume de vazios de CPs. Foi considerado um grau de confiança de 95%. Observou-se convergência entre os dois testes de normalidade para cinco dos seis resultados de ensaios avaliados. Concluiu-se que,

para os dois métodos utilizados, deve-se rejeitar a hipótese de Normalidade para o conjunto de dados dos ensaios de: (i) densidade aparente do agregado graúdo e (ii) densidade real do agregado miúdo. Constata-se ainda que, para os dois métodos, não se deve rejeitar a hipótese de Normalidade para o conjunto de dados dos ensaios de: (i) absorção do agregado graúdo; (ii) densidade aparente dos CPs e (iii) Volume de vazios dos CPs. A distribuição dos dados de densidade real do agregado graúdo foi considerada não Normal pelo teste de *Shapiro-Wilk* e Normal pelo método de *Kolmogoroc-Smirnov*. É comum tratar os dados obtidos em ensaios à luz de conceitos da estatística clássica (Normalidade, média e desvio padrão). Desta forma, recomenda-se que testes de Normalidade sejam efetuados para os demais ensaios de caracterização de materiais para pavimentação, a fim de verificar se os mesmos aderem ou não à Normalidade. Tendo em mãos este conhecimento, existe a possibilidade de se escolher a maneira mais adequada para o tratamento estatístico dos dados (estatística clássica ou robusta). Estas análises estatísticas contribuíram para a decisão relativa a escolha das ferramentas estatísticas utilizadas no Programa Interlaboratorial de Agregados e Misturas Asfálticas da Rede Asfalto N/E. No referido programa foram utilizados conceitos de estatística robusta para o tratamento dos resultados de ensaios obtidos pelos participantes.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos ao PRH ANP/MCT, pelo apoio na forma de bolsa de mestrado à primeira autora; à FINEP, ao CNPq e à Petrobras pelo financiamento da REDE ASFALTO N/E; à refinaria Lubnor, pelo fornecimento do CAP 50/70 e (iv) à pedreira de Itaitinga (MFT) - CE, pelo fornecimento dos agregados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR 12891 (1993) *Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall*. Associação Brasileira de Normas Técnicas – Procedimento, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- ANP (2005) Resolução ANP N° 19, de 11.7.2005 DOU 12.7.2005. Regulamento Técnico N° 3/2005. Agência Nacional do Petróleo.
- ASTM D 4402 (2006) *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*. American Society for Testing and Materials, ASTM.
- Biasoli V.; R. Doellinger; K. Costa; I. Pereira e C. Albuquerque (2007) *Aplicação de Estatística Robusta em Ensaios de Proficiência*. 41° Congresso Brasileiro de Patologia Clínica/Medicina Laboratorial (CBPC/ML), Salvador, BA.
- Castelo Branco, V. T. F. (2004) *Caracterização de Misturas Asfálticas Com o Uso de Escória de Aciaria como Agregado*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE. Rio de Janeiro.
- Cirillo, M. A. e D. F. Ferreira (2003) Extensão do Teste para Normalidade Univariado Baseado no Coeficiente de Correlação Quantil-Quantil para o Caso Multivariado. *Rev. Mat. Estat. Revista de Matemática e Estatística*, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 67–84.
- De Carlo, L. T. (1997) On the Meaning and Use of Kurtosis. *Psychological Methods*, v. 2, n. 3, p. 292-307. Copyright 1997 by the American Psychological Association, Inc.1082-989X/97/\$3.00. DOI: [10.1037/1082-989X.2.3.292](https://doi.org/10.1037/1082-989X.2.3.292).
- DNER-ME 091 (1998) *Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-ME 084 (1995) *Agregado Miúdo – determinação da densidade real*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagens – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-PRO 120 (1997) *Coleta de Amostras de Agregados*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens – Procedimento, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- DNER-PRO 199 (1996) *Redução de Amostra de Campo de Agregados para Ensaio de Laboratório*. Departamento Nacional de Estradas e Rodagens – Procedimento, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Leotti, V. B.; A. R. Birck e J. Riboldi (2005) Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorov-smirnov, Anderson-Darling, Cramer-Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. 11° Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica e a 50ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS). *Anais*. Londrina, PR, Brasil.
- Lopes, M. M. (2010) *Programa interlaboratorial de agregados e misturas asfálticas da REDE ASFALTO N/NE*. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes. Universidade Federal do Ceará, UFC. Fortaleza.
- Olivieri, J. C. (2004) *Programa Interlaboratorial: Proposta de Modelo para Interpretação de Resultados de Análises Químicas*. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000322074>. (Acesso em 24/06/2013).
- Öztuna, D.; A. H. Elhan e E. Tüccar (2006) Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. *Journal of Medicine Cincinnati*. v. 36, n. 3, p. 171–176.
- Shapiro, S. S. e M. B. Wilk (1965) An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). *Biometrika Trust*, London, v. 52, p. 591–609. 3/4 (Dec., 1965). Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2333709>. (Acesso em 24/06/2013).
- SPSS (2008) *SPSS Statistics 17.0*. Command Syntax Reference. Chicago, IL: SPSS Inc.
- Triola, M. F. (2008) *Introdução à Estatística*. 10ª Ed, Rio de Janeiro: Editora LTC.
- Zanão Júnior, L.A.; R.M.Q. Lana e E.C. Guimarães (2007) Variabilidade espacial do pH, teores de matéria orgânica e micronutrientes em profundidades de amostragem num Latossolo Vermelho sob semeadura direta. *Cienc. Rural* [online], v. 37, n. 4, p. 1000–1007. ISSN 0103-8478. DOI: [10.1590/S0103-84782007000400013](https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000400013).