

AValiação DA DISTRIBUIÇÃO NORMAL PARA PROPRIEDADES DE AGREGADOS E MISTURAS ASFÁLTICAS À LUZ DOS TESTES DE KOLMOGOROV-SMIRNOV E DE SHAPIRO-WILK

Manuela de Mesquita Lopes

Verônica T.F. Castelo Branco

Jorge Barbosa Soares

Universidade Federal do Ceará

Laboratório de Mecânica dos Pavimentos

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, quais sejam: densidade aparente, densidade real e absorção do agregado gráudo, densidade aparente e volume de vazios de corpos de prova de mistura asfáltica. Foram utilizados os testes *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk*, por meio do pacote estatístico *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS). Cada ensaio foi realizado pelo menos 30 vezes por um mesmo operador, utilizando os mesmos equipamentos. Observou-se convergência entre os dois testes de normalidade para cinco dos seis ensaios avaliados. 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.

Palavra-Chave: Agregados, Misturas Asfálticas, Estatística, Distribuição Normal.

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 aggregate, bulk specific gravity and air voids for hot mixture asphalt (HMA) samples. The Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests were used with the Statistical Package for Social Sciences 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. 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.

Palavras-Chave: Aggregates, Asphalt Mixtures, Statistics, Normal Distribution.

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 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 é encontrada em vários programas a técnica do z-score robusto, que se baseia em fundamentos de estatística robusta; a análise de variâncias (ANOVA) e os testes estatísticos de *Dixon* e *Cochran*, recomendados pela ISO 5725/86.

A estatística robusta, ao contrário da estatística clássica, é pouco influenciada por valores dispersos (*outliers*), dispensando a utilização de procedimentos para a identificação e remoção dos mesmos. Esta também é aplicável na análise de resultados de ensaios que não apresentam comportamento segundo uma distribuição Normal, o que não é aceito pela estatística clássica. 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. Esta mediana é equivalente ao valor verdadeiro, tido como referência, da estatística clássica. Como medida de dispersão, equivalente ao desvio padrão da estatística clássica, utiliza-se a Amplitude Interquartilica Normalizada (IQN), que é melhor explicado em Lopes (2010).

O presente trabalho realiza uma análise descritiva de alguns 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* e de *Shapiro-Wilk*, para os ensaios de densidade aparente, densidade real e absorção do agregado graúdo, densidade real do agregado miúdo, densidade aparente e Volume de vazios (Vvs) de Corpos de Prova (CPs). Cada ensaio foi realizado pelo menos 30 vezes por um mesmo operador, utilizando os mesmos equipamentos.

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). A sua equação é especificada por dois parâmetros: a média populacional, $\mu \in \mathbb{R}$, e o desvio padrão populacional, $\sigma > 0$, ou equivalente a variância populacional, σ^2 . Quando a distribuição dos dados é Normal, a média se encontra no centro da distribuição e possui o mesmo valor da mediana e da moda, devido à simetria da curva.

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

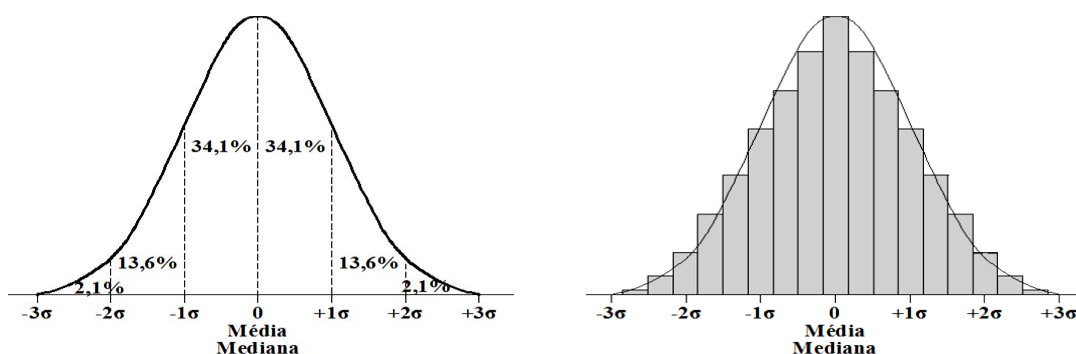


Figura 1: Modelo de distribuição Normal

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 os 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; Lucambio, 2008). 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 os quatro testes para dados Normais, mas que o teste de *Kolmogorov-Smirnov* é menos sensível à verificação da Normalidade, sendo considerado menos eficiente que os 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 Öztuna *et al.* (2006) e Cirillo e Ferreira (2003). Shapiro e Wilk (1965) desenvolveram o teste de *Shapiro-Wilk*, mostrando que esse teste é eficiente em situações de diferentes distribuições e tamanhos de amostras quando comparado com os resultados de testes como o de *Kolmogorov-Smirnovi*, por exemplo.

Para a verificação da Normalidade por meio dos métodos de *Shapiro-Wilk* e de *Kolmogorov-Smirnov*, existem diversas ferramentas e programas estatísticos, dentre os quais se pode utilizar 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, teste de hipóteses e estatísticas multivariadas para dados qualitativos e quantitativos.

Para a verificação da Normalidade, os testes em questão fornecem o parâmetro valor de prova (valor-p ou *p-value*), 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 se $\text{valor-}p \leq \alpha$:

- 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;
- 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.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Agregados

Os agregados naturais, de origem granítica, utilizados neste trabalho são provenientes da Pedreira de Itaitinga (MTS) - CE. O agregado graúdo estudado foi a brita $\frac{3}{4}$ '' (Tamanho Máximo Nominal – TMN – de 19,0mm) e o agregado miúdo foi o pó de pedra. Coletaram-se ainda amostras de brita $\frac{3}{8}$ '' 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 Fazenda Alegre e atendeu a todas as especificações da Agência Nacional do Petróleo (ANP). O CAP foi fornecido pela Petrobras/Lubnor, localizada em Fortaleza.

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 de malha quadrada: 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, 2006). Finalmente, as misturas asfálticas foram compactadas no Compactador Giratório Superpave (CGS) e, em seguida, pesadas para determinação da densidade aparente (G_{mb}) e do Vv. A Figura 2 ilustra a preparação dos CPs.



Figura 2: Preparação das amostras de mistura solta: (a) controle peneira a peneira dos agregados; (b) ligante aquecido a 165°C; (c) mistura pronta para ser compactada e (d) CP

3.4. Densidade e Absorção do Agregado Graúdo

O ensaio de densidade aparente do agregado graúdo foi efetuado em amostras de brita $\frac{3}{4}$ '' 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 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 (D_r), mas esta pode ser calculada por meio da fórmula proposta pela norma ASTM C 127-07 (Equação 4).

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

$$Absorção = a = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad (3)$$

$$Densidade\ Real = \frac{M_s}{M_s - L} \quad (4)$$

Onde: 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 um teor de projeto de ligante incorreto. 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 e AASHTO T-209. O método do vácuo é chamado de Densidade Máxima Medida (DMM ou G_{mm}) e é mais vantajoso devido ao fato de ser desnecessária a determinação das densidades reais individuais dos agregados, além de haver o desconto dos poros preenchidos com ligante e não com água (Castelo Branco, 2004).



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

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 0,075mm de abertura. 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.

$$\text{Densidade Aparente} = \frac{B - A}{B + S - C} \quad (5)$$

Onde: A = picnômetro vazio e seco, em g; B = picnômetro mais amostra, em g; C = picnômetro mais amostra mais água, em g; D = picnômetro cheio de água, em g.

3.6. Densidade aparente e Volume de vazios (V_v) dos CPs

A densidade aparente de uma mistura asfáltica compactada é determinada seguindo o DNER-ME 117/94. O ensaio consiste em deixar o CP esfriar à temperatura ambiente ($25 \pm 5^\circ\text{C}$) e registrar sua massa seca. Em seguida, mergulha-se o CP em água a $25 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 4 ± 1 minuto e registra-se sua massa imersa. Calcula-se a densidade aparente pela Equação 6.

$$\text{Densidade Aparente do CP} = \left(\frac{P_{ar}}{P_{ar} - P_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

Onde: P_{ar} = peso seco ao ar do CP; P_i = peso imerso do CP.

Volume de vazio (Vv) é o volume de ar existente entre as partículas do agregado envolvidas por um filme de ligante asfáltico. O Vv é expresso em percentagem do volume total do CP podendo ser calculado pela Equação 7.

$$Volume\ de\ Vazios = (1 - (\frac{G_{mb}}{DMT})) \times 100 \quad (7)$$

4. RESULTADOS

Por meio do pacote estatístico SPSS, foram efetuados os teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov e de Shapiro-Wilk e criado um histograma de barras, a fim de separar as classes e a frequência de cada uma delas, de modo a facilitar o entendimento da população. Os testes de Normalidade foram realizados com grau de confiança de 95% (nível de significância (α) de 5%).

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

Para as densidades aparente e real da brita ¾”, foram realizados 30 ensaios utilizando-se os mesmos equipamentos e o mesmo operador. As variáveis analisadas em todos os ensaios deste trabalho 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 encontram-se na Tabela 1; os valores obtidos para as medidas de tendência central e dispersão encontram-se na Tabela 2, onde curtose significa o grau de achatamento de uma distribuição.

Tabela 1: Valores de densidade aparente e real da brita ¾”

Amostra	D. Aparente	D. Real	Amostra	D. Aparente	D. Real	Amostra	D. Aparente	D. Real
1	2,585	2,643	11	2,600	2,651	21	2,606	2,653
2	2,593	2,646	12	2,602	2,651	22	2,607	2,653
3	2,594	2,646	13	2,602	2,652	23	2,608	2,653
4	2,595	2,647	14	2,602	2,652	24	2,608	2,653
5	2,595	2,649	15	2,603	2,652	25	2,609	2,653
6	2,597	2,649	16	2,603	2,652	26	2,609	2,655
7	2,597	2,649	17	2,604	2,652	27	2,613	2,662
8	2,598	2,651	18	2,605	2,652	28	2,614	2,663
9	2,599	2,651	19	2,605	2,652	29	2,626	2,666
10	2,600	2,651	20	2,606	2,653	30	2,630	2,676

Tabela 2: Medidas de tendência central e de dispersão para as densidades real e aparente da brita ¾”

Tendência Central / Dispersão	Valor	
	D. Aparente (Brita ¾”)	D. Real (Brita ¾”)
Média	2,604	2,653
Mediana	2,603	2,652
Desvio padrão	0,009	0,006
Variância	-	-
Valor Mínimo	2,585	2,643
Valor Máximo	2,630	2,676
Curtose	2,269	5,344

Ao lançar os dados dos ensaios de densidade aparente e real no programa SPSS, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 3 e o histograma da Figura 4. Para o ensaio de densidade aparente, observa-se, na Tabela 3, que os resultados para o valor-p (Significância ou Sig.) de *Kolmogorov-Smirnov* e de *Shapiro-Wilk* são iguais a 0,078 e 0,042, respectivamente. Um baixo valor de significância (Sig. < 0,05) indica que a distribuição dos dados difere significativamente de uma distribuição Normal. Dessa maneira, conclui-se que para o método de *Kolmogorov-Smirnov* não se rejeita H_0 (0,078 > 0,05) e para o método de *Shapiro-Wilk* deve-se rejeitar a hipótese de Normalidade, pois o *valor-p* (Sig.) obtido é menor que 0,05. Para o ensaio de densidade real, observa-se, na Tabela 3, que os *valores-p* (Sig.) tanto de *Kolmogorov-Smirnov* como de *Shapiro-Wilk* são iguais a 0,000. Conclui-se que, para os dois testes, deve-se rejeitar a hipótese de normalidade (H_0) para o conjunto de dados em questão.

Tabela 3: Teste de normalidade para o ensaio de densidade aparente da brita $\frac{3}{4}$ ''

	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
	Statistic	df**	Sig.*	Statistic	df	Sig.
Densidade Aparente	0,151	30	0,078	0,928	30	0,042
Conclusão	Não se rejeita H_0			Rejeita-se H_0		
Densidade Real	0,329	30	0,000	0,778	30	0,000
Conclusão	Rejeita-se H_0			Rejeita-se H_0		

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

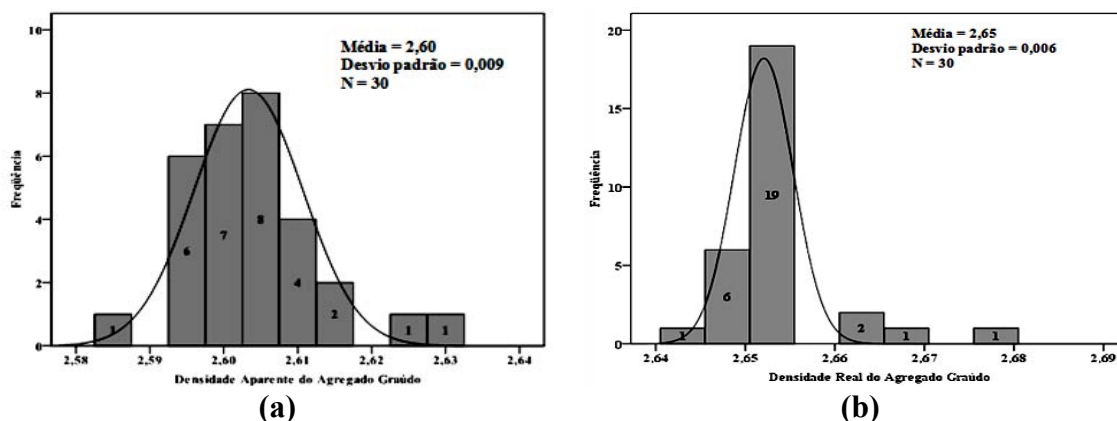


Figura 4: Histogramas gerados pelo SPSS para os ensaios (a) de densidade aparente e (b) de densidade real da brita $\frac{3}{4}$ ''

4.2. Absorção do agregado graúdo – DNER-ME 091-1998

Para o ensaio de absorção da brita $\frac{3}{4}$ '' também foram feitas 30 determinações 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 real e aparente (DNER-ME 081/1998: “Determinação da Absorção e da Densidade de Agregado Graúdo”). Os valores obtidos nos ensaios encontram-se na Tabela 4 e os valores obtidos para as medidas de tendência central e dispersão encontram-se na Tabela 5.

Ao lançar os dados no programa SPSS, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 6 e o histograma da Figura 5. Observa-se, na Tabela 6, que os *valores-p* (“Sig.”) de *Kolmogorov-Smirnov* e de *Shapiro-Wilk* são 0,200 e 0,495, respectivamente. Conclui-se que,

para os dois métodos, pode-se admitir que o conjunto de dados em questão tem distribuição Normal, pois o *valor-p* obtido é maior do que 0,05.

Tabela 4: Valores obtidos no ensaio de absorção da brita $\frac{3}{4}$ ''

Amostra	Absorção (%)	Amostra	Absorção (%)	Amostra	Absorção (%)
1	0,50	11	0,66	21	0,75
2	0,52	12	0,68	22	0,76
3	0,55	13	0,68	23	0,77
4	0,60	14	0,69	24	0,77
5	0,62	15	0,69	25	0,84
6	0,63	16	0,69	26	0,84
7	0,63	17	0,71	27	0,85
8	0,65	18	0,72	28	0,86
9	0,65	19	0,72	29	0,95
10	0,65	20	0,75	30	0,99

Tabela 5: Medidas de tendência central e de dispersão para a absorção da brita $\frac{3}{4}$ ''

Tendência Central / Dispersão	Valor	Tendência Central / Dispersão	Valor
Média	0,712	Valor Mínimo	0,500
Mediana	0,690	Valor Máximo	0,990
Desvio padrão	0,114	Curtose	0,372
Variância	0,013	-	-

Tabela 6: Teste de Normalidade para o ensaio de absorção da brita $\frac{3}{4}$ ''

Absorção	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	0,111	30	0,200	0,968	30	0,495
Conclusão	Não se rejeita H_0			Não se rejeita H_0		

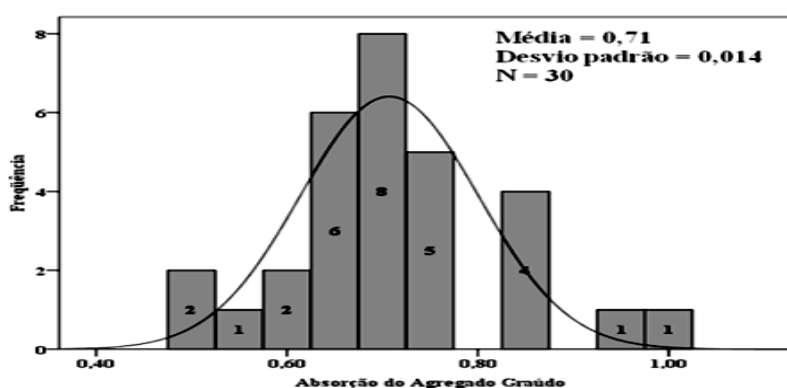


Figura 5: Histograma para o ensaio de absorção da brita $\frac{3}{4}$ '' gerado pelo SPSS

4.3. Densidade real de agregado miúdo – DNER-ME 084-1995

Para o ensaio de densidade real do pó de pedra foram realizados 34 ensaios utilizando-se os mesmos equipamentos e o mesmo operador. Os resultados são apresentados na Tabela 7 e os valores das medidas de tendência central e de dispersão encontram-se na Tabela 8.

Tabela 7: Valores de densidade real do pó de pedra

Amostra	D. Real	Amostra	D. Real	Amostra	D. Real
1	2,598	13	2,642	25	2,651
2	2,599	14	2,643	26	2,652
3	2,610	15	2,643	27	2,653
4	2,618	16	2,645	28	2,653
5	2,618	17	2,646	29	2,656
6	2,620	18	2,647	30	2,658
7	2,632	19	2,647	31	2,661
8	2,633	20	2,649	32	2,665
9	2,635	21	2,650	33	2,672
10	2,635	22	2,650	34	2,651
11	2,636	23	2,650		
12	2,638	24	2,650		

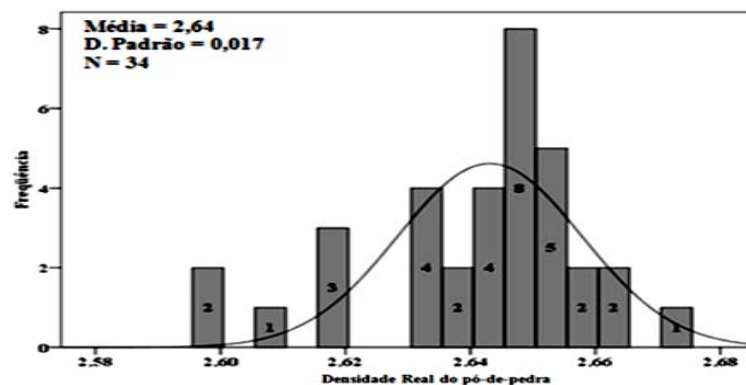
Tabela 8: Medidas de tendência central e de dispersão para a densidade real do pó de pedra

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

Ao lançar os dados no programa SPSS, foram obtidos os resultados da Tabela 9 e o histograma da Figura 6. Observa-se que os *valores-p* (“Sig.”) de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* são 0,024 e 0,011, respectivamente. Conclui-se que, para os dois métodos, deve-se rejeitar a hipótese de Normalidade (H_0), pois o *valor-p* obtido é menor do que 0,05.

Tabela 9: Valores de densidade real do pó de pedra

D. Real do Pó de Pedra	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
	0,162	34	0,024	0,914	34	0,011
Conclusão	Rejeita-se H_0			Rejeita-se H_0		

**Figura 6:** Histograma para o ensaio de densidade real do pó de pedra gerado pelo SPSS

4.4. Densidade Aparente e Volume de vazios (Vv) de CPs DNER-ME 117-1994

O ensaio de densidade aparente (G_{mb}) e a determinação do Vv dos 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 10; e os valores obtidos para as medidas de tendência central e dispersão encontram-se na Tabela 11.

Tabela 10: Valores de G_{mb} e de Vv dos CPs

Amostra	G_{mb}	Vv	Amostra	G_{mb}	Vv	Amostra	G_{mb}	Vv
1	2,292	3,0	13	2,312	3,8	25	2,322	4,1
2	2,301	3,1	14	2,314	3,9	26	2,322	4,2
3	2,304	3,1	15	2,314	3,8	27	2,323	4,2
4	2,305	3,2	16	2,315	3,8	28	2,325	4,2
5	2,306	3,4	17	2,315	3,9	29	2,327	4,2
6	2,306	3,4	18	2,315	3,9	30	2,327	4,3
7	2,307	3,4	19	2,315	3,9	31	2,330	4,3
8	2,307	3,5	20	2,317	3,9	32	2,333	4,3
9	2,308	3,6	21	2,317	3,9	33	2,333	4,5
10	2,308	3,7	22	2,317	4,0	34	2,335	4,8
11	2,309	3,6	23	2,320	4,1			
12	2,311	3,6	24	2,322	4,1			

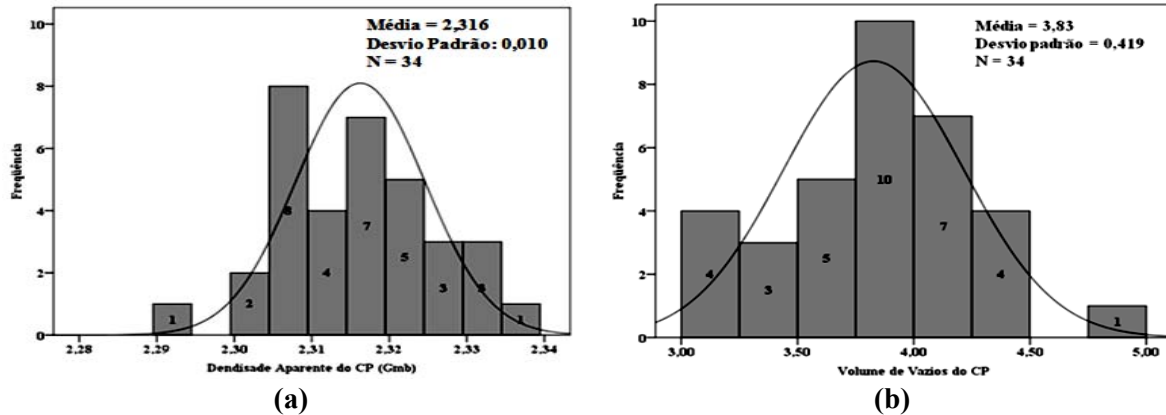
Tabela 11: Medidas de tendência central e de dispersão para G_{mb} e Vv dos CPs

Tendência Central / Dispersão	Valor	
	G_{mb}	Vv
Média	2,316	3,832
Mediana	2,315	3,865
Desvio padrão	0,010	0,419
Variância	-	0,175
Valor Mínimo	2,290	3,030
Valor Máximo	2,340	4,820
Curtose	-0,217	-0,246

Ao lançar os dados no programa SPSS, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 12 e o histograma da Figura 7. Para o ensaio de densidade aparente do CP, observa-se, na Tabela 12, que os *valores-p* (Sig.) de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* são 0,200 e 0,742, respectivamente. Conclui-se que, para os dois métodos, pode-se admitir que o conjunto de dados em questão possui distribuição Normal, pois o *valor-p* obtido é maior do que 0,05. Para a determinação do Vv, a Tabela 12 mostra que os *valores-p* (Sig.) de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilk* são 0,200 e 0,735, respectivamente. Estes dois valores também são maiores do que 0,05. Então, para os dois testes, não se rejeita H_0 , sendo a distribuição Normal uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão.

Tabela 12: Teste de normalidade para os valores de G_{mb} e de Vv dos CPs

	<i>Kolmogorov-Smirnov</i>			<i>Shapiro-Wilk</i>		
	Statistic	df**	Sig.*	Statistic	df	Sig.
G_{mb} dos CPs	0,095	34	0,200	0,979	34	0,742
Conclusão	Não se rejeita H_0			Não se rejeita H_0		
Vv dos CPs	0,088	34	0,200	0,979	34	0,735
Conclusão	Não se rejeita H_0			Não se rejeita H_0		

**Figura 7:** Histogramas gerados pelo SPSS para os dados de (a) G_{mb} e (b) Vv dos CPs

A Tabela 13 apresenta um resumo dos resultados obtidos no presente estudo. A partir desta Tabela é possível fazer uma comparação entre os dois testes de Normalidade. Observa-se que os testes foram compatíveis entre si para cinco dos seis ensaios analisados, havendo divergência somente para o ensaio de densidade real do agregado graúdo.

Tabela 13: Resumo dos resultados obtidos pelos testes

Teste	D. Real Graúdo	D. Aparente Graúdo	Absorção Graúdo	D. Real Miúdo	D. Aparente CP	Vv CPs
<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	Normal	Não Normal	Normal	Não Normal	Normal	Normal
<i>Shapiro-Wilk</i>	Não Normal	Não Normal	Normal	Não Normal	Normal	Normal

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram efetuados os testes de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov* e de *Shapiro-Wilk* em seis conjuntos de dados, referentes aos ensaios de densidade real dos agregados graúdo e miúdo, densidade aparente do agregado graúdo, absorção do agregado graúdo, densidade aparente e determinação do Vv de CPs. Foi considerado um grau de confiança de 95%. Observou-se convergência entre os dois testes de normalidade para cinco dos seis 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) Vv dos CPs. A distribuição dos dados de densidade real do agregado graúdo foi considerada não Normal pelo método 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). Então, 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 adequada para o tratamento estatístico dos dados (estatística clássica ou robusta). Estas análises estatísticas contribuíram para a decisão 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 PRHANP/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/NE; à refinaria Lubnor, pelo fornecimento do CAP 50/70 e (iv) à pedreira de Itaitinga (MFT) - CE, pelo fornecimento dos agregados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANP (2005) Resolução ANP Nº 19, de 11.7.2005 DOU 12.7.2005. Regulamento Técnico Nº 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.
- Castelo Branco, V. T. F. (2004) Caracterização de Misturas Asfálticas Com o Usode Escória de Aciaria como Agregado. Tese de Mestrado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, RJ.
- Cirillo, M. A. E Ferreira, D. F. (2003) Extensão do Teste para Normalidade Univariado Baseado no Coeficiente de Correlação Quantil-Quantil para o Caso Multivariado. Rev. Mat. Estat., São Paulo, v. 21, n.3, 67-84.
- 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, Birck A. R. e Riboldi J. (2005) Comparação dos Testes de Aderência à Normalidade Kolmogorovsmirnov, Anderson-Darling, Cramer–Von Mises e Shapiro-Wilk por Simulação. 11º Simpósio de Estatística Aplicada à Experimentação Agronômica e a 50ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria (RBRAS). julho de 2005. Londrina, PR, Brasil.
- Lopes, M. M (2010) Programa Interlaboratorial de Agregados e Misturas Asfálticas da Rede Asfalto N/NE. Dissertação– Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará.
- Lucambio, F. (2008) Diferentes testes para verificar normalidade de uma amostra aleatória. Departamento de Estatística. Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR, 81531–990, Brasil. Disponível em: <http://people.ufpr.br/~lucambio/CE225/2S2009/Normal_test.pdf>. Acessado em 21/09/2011.
- Olivieri, J. C. (2004) Programa Interlaboratorial: Proposta de Modelo para Interpretação de Resultados de Análises Químicas. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica. Comissão de Pós-Graduação em Qualidade
- Öztuna, D.; Elhan, A. H. e Tüccar, E. (2006) Investigation of Four Different Normality Tests in Terms of Type 1 Error Rate and Power under Different Distributions. Journal of Medicine Cincinnati. Volume: 36, Issue: 3, Pages: 171-176.
- Shapiro, S.S. e Wilk.M.B. (1965) An Analysis of Variance Test for Normality (Complete Samples). Biometrika, London, v.52, p.591-609.
- 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.

Manuela de Mesquita Lopes (manuelalopes@usp.br)

Verônica T.F. Castelo Branco (veronica@det.ufc.br)

Jorge Barbosa Soares (jsoares@det.ufc.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará
Campus do Pici, s/n Bloco 703 CEP 60455-760 – Fortaleza, CE, Brasil