AVALIAÇÃO ESTATÍSTICA DO CONTROLE DE QUALIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS EM RELAÇÃO AO VOLUME DE VAZIOS

Douglas Martins Mocelin
Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
douglas.martins.m@hotmail.com
Larissa Montagner de Barros
Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
larissa_montagner@hotmail.com
Matheus Lemos Nogueira
Doutorando de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
matheus_ln@yahoo.com.br
Jorge Augusto Pereira Ceratti
Professor Universidade federal do Rio Grande do Sul
jorge.ceratti@ufrgs.br
Lélio Antônio Teixeira Brito
Professor Universidade federal do Rio Grande do Sul
lelio.brito@ufrgs.br

Resumo. *No processo de produção de uma mistura asfáltica o controle de qualidade é imprescindível para que o pavimento alcance os níveis de desempenho e durabilidade. Sendo a qualidade da produção de concretos asfálticos verificada através de algumas das características das misturas, analisando se o que foi projetado está sendo, de fato, executado na prática. Com este enfoque o presente trabalho vem através de um banco de dados, analisar estatisticamente a qualidade da produção do concreto asfáltico em relação à porcentagem de volume de vazios.*

Palavras-chave: *Misturas Asfálticas; Controle de Qualidade; Volume de Vazios.*

1. INTRODUÇÃO

Um dos fatores que mais afetam o desempenho das misturas asfálticas é a não conformidade da porcentagem do volume de vazios, pois este influencia diretamente na rigidez e nas tensões de tração desenvolvidas no pavimento (DEACON, 1965).

O controle estatístico da qualidade serve para evitar, e também para que seja possível identificar e apontar possíveis problemas na produção e corrigi-los.

2. OBJETIVOS DA PESQUISA

O objetivo principal deste estudo é verificar o nível de qualidade da produção de misturas asfálticas empregadas em uma importante rodovia do Rio Grande do Sul, em relação à porcentagem do volume de vazios.

Para isso, houve a formação de um banco de dados contendo as características, medidas pelos empreiteiros, de 12 projetos de misturas asfálticas diferentes. E a partir desses dados foi possível traçar parâmetros estatísticos que descrevem o nível de qualidade dos processos de produção e execução do revestimento.

3. RESULTADOS

A compactação da mistura asfáltica no momento da execução do revestimento na pista tem o objetivo de alcançar o teor ótimo de vazios de ar para que se tenha uma superfície de rolamento suave. É necessário um valor mínimo de Vv para permitir a

expansão térmica do revestimento, sem causar exsudação e instabilidade, mas ao mesmo tempo um elevado Vv aumenta a susceptibilidade à deformação permanente. Para misturas densas, logo após a compactação, os valores de volume de vazios devem estar em torno de 8%. O cálculo do volume de vazios se dá através da equação 1.

$$Vv = \frac{V_{teórico} - V_{aparente}}{V_{aparente}} \times 100 \qquad (1)$$

Segundo Harvey *et al*. (1995), uma variação de +1% no Vv, resulta em redução de 30% na vida de fadiga. Como exemplificado figura 1.

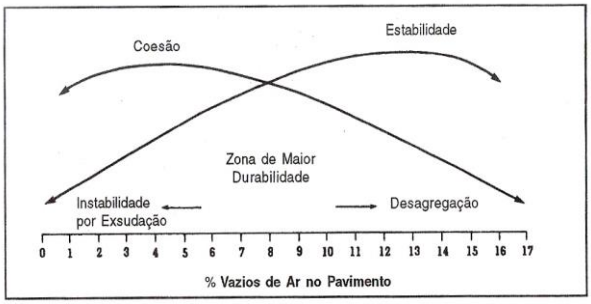

Figura 1 – Durabilidade versus vazios de ar no pavimento (IA, 1989)

As análises feitas foram realizadas com amostras de misturas asfálticas coletadas em campo, tendo sua compactação para obtenção do volume de vazios em laboratório, através do método Marshall. Como a compactação em campo pode ser diferente da compactação em laboratório, a avaliação será feita quanto à capacidade da mistura de atingir ou não o volume de vazios projetado.

Os desvios padrões que quantificam as variabilidades das características de qualidade (S_{CQ}) são compostos por duas parcelas: a variabilidade do processo de produção ($S_{PROCESSO}$) e a variabilidade da precisão com que os empreiteiros centram suas produções nos parâmetros de projeto ($S_{PRECISÃO}$). A sua determinação é feita através da Equação 2.

$$S_{CQ} = \sqrt{S^2_{PROCESSO} + S^2_{PRECISÃO}} \qquad (2)$$

3.1. Determinação da variabilidade do processo ($S_{processo}$)

O primeiro passo para calcular a variabilidade do processo, foi calcular os desvios padrões ponderados de cada lote de cada projeto, de acordo com o tamanho da amostra.

Conforme a figura 3 pode ser visto a comparação dos desvios padrões de cada projeto com os desvios padrões ponderados, para evidenciar a diferença.

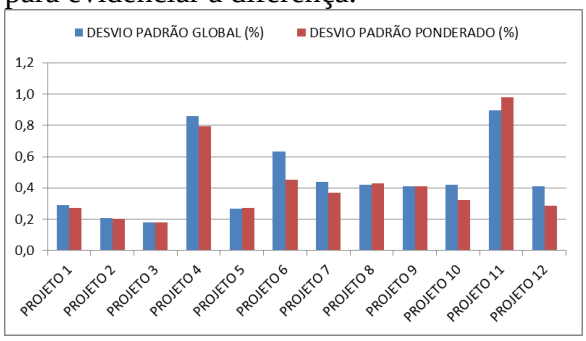

Figura 3 – Desvio padrão global e desvio padrão ponderado para os 12 projetos.

O cálculo foi feito utilizando a Equação 3.

$$S_{PROCESSO} = \sqrt{S^2_p} = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2+(n_2-1)s_2^2+\ldots+(n_k-1)s_k^2}{n_1+n_2+\ldots+n_k-k}} \qquad (3)$$

Tabela 1: Tamanho das amostras dos 12 projetos e os desvios padrões calculados

Projeto	ni	$(Ni-1)S^2_{PROCESSO\ i}$
1	148	10.9779
2	4	0.1219
3	3	0.0654
4	31	18.9178
5	6	0.3703
6	61	12.3076
7	400	53.9893
8	33	5.9217
9	4	0.5031
10	115	11.8304
11	7	5.7657
12	65	5.2835
Soma	877	126.0546

A partir dos dados da tabela 1, que apresenta os tamanho das amostras e os desvios padrões calculados, e aplicando a equação 3, temos:

$$S_{PROCESSO}=\sqrt{\frac{126,0545}{877-12}}=0,3817 \qquad (1)$$

Para os projetos em análise, quanto ao volume de vazios, a variabilidade do processo é representada por um desvio padrão de 0,3817, conforme foi calculado na equação (4).

3.2. Determinação da variabilidade da precisão

Além da variabilidade inerente a qualquer processo de produção, também é importante considerar a capacidade dos empreiteiros de centrarem suas produções nos parâmetros de projeto das misturas asfálticas. A avaliação da variabilidade da precisão, que mede tal capacidade, tem o propósito de verificar o quão variáveis são as médias dos processos de produção em relação aos valores ótimos dos projetos de dosagem das misturas (NOGUEIRA, 2011). A partir das médias das variabilidades de cada projeto, foram feitas ponderações para essas médias de acordo com o número de amostras de cada lote.

O cálculo é feito utilizando a equação 5:

$$\bar{X}_i=\frac{(\bar{x}_1 n_1)+\ldots(\bar{x}_k n_k)}{n_1+\ldots+n_k} \qquad (5)$$

Onde:

- $\bar{X}_i$ é a média ponderada dos valores médios das medidas da característica qualidade;
- $\bar{x}_i$ é o valor médio das medidas de determinada característica em cada lote;

A tabela 2 mostra as diferenças entre os valores medidos e os valores de projeto para volume de vazios ($\Delta x = \bar{X}_i - Vv_{projeto}$).

Tabela 2: Diferenças entre os valores medidos para volume de vazios e os parâmetros de projetados.

Projeto	ni	Δx
1	148	-0.081
2	4	2.363
3	3	-0.210
4	31	0.220
5	6	-0.405
6	61	0.385
7	400	0.381
8	33	0.641
9	4	0.333
10	115	0.321
11	7	0.043
12	65	0.285

A variabilidade da precisão é dada pelo desvio padrão das diferenças médias (Δx_i) dadas na tabela 2, e é igual a 0,6956.

3.3. Determinação da variabilidade da característica de qualidade

Voltando à formula (2) e usando os valores de variabilidade do processo e variabilidade da precisão, temos a variabilidade característica de qualidade para volume de vazios, vide equação 6:

$$S_{CQ}=\sqrt{0,3817^2+0,6956^2}=0,7934 \qquad (6)$$

Considerando que um nível de qualidade aceitável pode ser estabelecido para uma característica cujo 90% de suas medidas estejam em conformidade com os limites de tolerância, está-se considerando que esta característica possui uma população centrada no seu valor de projeto e possui um desvio padrão igual a sua variabilidade S_{CQ}. O valor de 90% é arbitrário, mas é comumente adotado para estabelecer os limites de controle ou de aceitação em especificações rodoviárias (Burati, 2005). Para uma distribuição normal, dizer que 90% de uma população está dentro dos limites significa que o afastamento em relação à

média é de zS_{CQ}, onde z é a variável normal padronizada e para 90% é igual a 1,645.

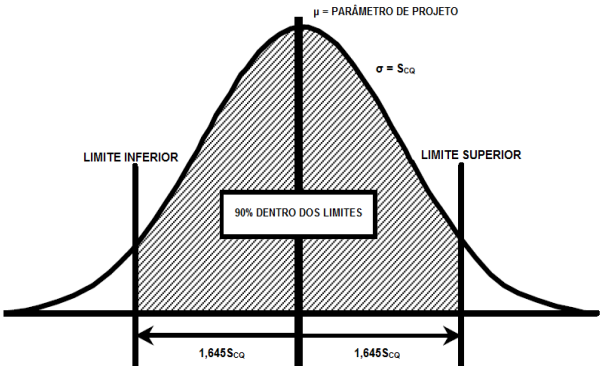

Figura 4: Figura 14: Característica de qualidade com 90% da população entre os limites especificados (Adaptado de Burati et al., 2003)

Multiplicando o valor encontrado para S_{cq} por 1,645 temos os limites de controle, no caso, ±1,305 (%).

A tabela 3 apresenta os limites de controle inferior e superior para o volume de vazios:

Tabela 3: limites inferior e superior de controle dos projetos analisados.

Projetos	Vv de Projeto (%)	Limites de Controle	
		Inferior (%)	Superior (%)
1	4.1	5.405	2.795
2	4	5.305	2.695
3	3.8	5.105	2.495
4	4	5.305	2.695
5	4.3	5.605	2.995
6	4	5.305	2.695
7	4	5.305	2.695
8	3.6	4.905	2.295
9	4	5.305	2.695
10	4.2	5.505	2.895
11	4.2	5.05	2.895
12	4	5.305	2.695

Considerando que para camadas de rolamento a porcentagem de volume de vazios exigida pelo DNIT é 4±1 (DNIT 031/2006–ES), podemos ver que as amostras de mistura asfáltica estão sendo produzidas com nível de qualidade abaixo do preconizado.

4. CONCLUSÕES

O nível de produção de misturas asfálticas analisadas a partir da determinação da variabilidade total do processo de produção e para a porcentagem de volume de vazios indica que a qualidade está abaixo dos valores considerados aceitáveis pelas normas rodoviárias.

A literatura nos mostra que o desempenho do revestimento asfáltico é muito sensível a variações, mesmo que pequenas, no volume de vazios, o que evidencia a importância da criação de um banco de dados com alimentação constante, das medidas de características das misturas.

5. REFERÊNCIAS

NOGUEIRA, M. L. **Avaliação do controle de qualidade de misturas asfálticas e análise do reflexo do nível de qualidade do desempenho dos revestimentos asfálticos.** Tese (Programa de pós-graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul – RS, 2011. 85p.

BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. S. P**avimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro. 2008

FORTES, R. M.; MERIGHI, J. V. Controle Tecnológico e Controle de Qualidade – Um Alerta sobre sua Importância. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENSINO DE ENGENHARIA, 2004, BRASÍLIA. **Anais...** Brasília: Anais do Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, 2004.