



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**NATÁ RODRIGUES MARTINS**

**CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DE  
REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS EM UMA RODOVIA CEARENSE**

**CRATEÚS**

**2022**

NATÃ RODRIGUES MARTINS

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DE  
REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS EM UMA RODOVIA CEARENSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Orientador: Prof. M.Sc. Jorge Luis Santos  
Ferreira.

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M344c Martins, Natã Rodrigues.  
Considerações sobre o controle tecnológico da execução de revestimentos asfálticos em uma rodovia cearense / Natã Rodrigues Martins. – 2022.  
55 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Civil, Crateús, 2022.  
Orientação: Prof. Me. Jorge Luis Santos Ferreira.

1. Controle de qualidade. 2. Revestimento asfáltico. 3. Variabilidade. I. Título.

CDD 620

---

NATÃ RODRIGUES MARTINS

CONSIDERAÇÕES SOBRE O CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DE  
REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS EM UMA RODOVIA CEARENSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Engenharia Civil da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de bacharel em Engenharia  
Civil.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. M.Sc. Jorge Luis Santos Ferreira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. D.Sc. Jorge Luiz Oliveira Lucas Júnior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. M.Sc. Lucas Cavalcante de Almeida  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus.

Aos meus pais, irmãos e amigos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por me conceder a paz, saúde, tranquilidade, felicidade e discernimento necessários para enfrentar todas as dificuldades encontradas no decorrer da graduação.

À minha mãe, Nádia, pelo amor, carinho e por acreditar e apoiar todos os meus sonhos, muitas vezes abdicando do próprio bem-estar e felicidade para ver o filho concretizar seus sonhos. Sem dúvidas a maior incentivadora e companheira neste período tão complexo de graduação, preocupando-se com que eu pudesse cursar a Engenharia Civil plenamente. Ao meu pai, Messias, pelo suor e esforço investidos em mim, no preparo acadêmico para chegar aonde cheguei e por tornar possível que eu seguisse meus objetivos.

Ao meu orientador, Jorge Luis, por todo o conhecimento partilhado ao longo da graduação, em especial na orientação do projeto de graduação e estágio supervisionado, e por me abrir as portas para a área de Transportes, na qual pretendo seguir minha carreira. Destaco também, a compreensão e humanidade do professor em compreender as limitações inerentes a escrita deste trabalho, e a estar sempre solícito para o esclarecimento de questões desenvolvidas no trabalho.

À instituição Universidade Federal do Ceará, essencial no meu processo de formação pessoal e profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos de curso. Ressalto todo o suporte disponibilizado, representado pela Coordenação e todo o corpo docente do curso e das demais engenharias do campus de Crateús, a excelência em infraestrutura e programas de estímulo à formação dos discentes.

Agradeço a todos os colegas e amigos que fiz durante estes anos de curso, especialmente Antônio Duarte, Antônio Kevin, Antônio Victor, Di Levy Araújo, Fabiano Gomes, Isaías Emanuel, José David, Luan Silva, Lucas Silva, Rafaelly Beserra e Rodrigo Machado. Grato pelo apoio em todos os momentos da graduação.

Agradeço também ao Sr Francisco Braz, encarregado de obra que me acompanha desde o início de 2022 nos trechos ao qual tive a oportunidade de trabalhar, por ser um grande professor, amigo e incentivador, além de ser um grande ser humano.

Por fim, agradeço aos meus melhores amigos Eric Matheus, Felipe Sales e Wenderson Gabriel que fazem parte da minha família e são responsáveis por eu estar me graduando.

“O Senhor, pois, é aquele que vai adiante de ti;  
ele será contigo, não te deixará, nem te  
desampará; não temas, nem te espantes.”

Deuteronômio 31:8.

## RESUMO

Compreender como os constituintes das misturas asfálticas se apresentam, através da coleta de dados e seu tratamento estatístico, é de suma importância para promover, cada vez mais, o aprimoramento das técnicas e práticas adotadas nas vias brasileiras revestidas com concreto betuminoso usinado à quente CBUQ. É necessário verificar se os parâmetros de dosagem das misturas asfálticas estão de acordo com os parâmetros de projeto, com uma certa tolerância prevista em norma. Desse modo, o objetivo geral desta pesquisa foi analisar a composição do revestimento asfáltico em uma obra rodoviária real no estado do Ceará, a partir de considerações estatísticas sobre o controle tecnológico da execução. Para tanto, foi criado um banco de dados contendo as propriedades medidas durante o processo de produção e aplicação de CBUQ na implantação da rodovia. Os parâmetros analisados foram teor de ligante, percentual passante na peneira nº 200, volume de vazios, vazios do agregado mineral e a relação betume/vazios. Considerou-se a variabilidade das amostras, a hipótese de que as amostras seguiram a distribuição gaussiana e as conformidades para cada grupo de observações para as camadas de *binder* e capa. Concluiu-se que a hipótese de normalidade não foi observada para a maioria dos grupos de parâmetros de qualidade analisados no presente trabalho, assim como os dados apresentaram quantidade expressiva de inconformidades. O volume de vazios se apresentou como o parâmetro com maior variabilidade, a relação betume/vazios mais propensa a inconformidades executivas, e o teor de ligante como o parâmetro com a maior qualidade no que tange ao controle estatístico realizado.

**Palavras-chave:** Controle de qualidade. Revestimento asfáltico. Variabilidade.



## ABSTRACT

Understanding how the constituents of asphalt mixtures present themselves, through data collection and statistical treatment, is of paramount importance to promote, increasingly, the improvement of techniques and practices adopted on Brazilian roads coated with asphalt layer. It is necessary to verify whether the dosage parameters of asphalt mixtures are in accordance with the design parameters, with a certain tolerance provided for in the standard. Thus, the main objective of this research was to analyze the composition of the asphalt layer in a real road construction in the state of Ceará, from statistical considerations on the technological control of execution. To this end, a database was created containing the properties measured during the process of production and application of HMA in the implementation of the highway. The parameters analyzed were binder content, percentage passing the sieve no. 200, air voids, voids of the mineral aggregate, and the bitumen/voids ratio. The variability of the samples, the assumption that the samples followed the Gaussian distribution, and the conformities for each group of observations for the binder and overlay layers were considered. It was concluded that the normality hypothesis was not observed for most groups of quality parameters analyzed in this work, and the data also presented a significant number of nonconformities. The volume of voids was the parameter with the highest variability, the bitumen/voids ratio was the most prone to non-conformities, and the binder content was the parameter with the highest quality regarding the statistical control performed.

**Keywords:** Quality control. Asphalt pavement. Variability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema das camadas de pavimento asfáltico. ....	21
Figura 2 - Modelo de distribuição normal. ....	26
Figura 3 - Histogramas do parâmetro % CAP (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	36
Figura 4 - Histogramas do parâmetro #200 (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	36
Figura 5 - Histogramas do parâmetro V <sub>v</sub> (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	37
Figura 6 - Histogramas do parâmetro VAM (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	38
Figura 7 - Histogramas do parâmetro RBV (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	39
Figura 8 - Cartas de controle do parâmetro % CAP (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	41
Figura 9 - Cartas de controle do parâmetro #200 (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	43
Figura 10 - Cartas de controle do parâmetro V <sub>v</sub> (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	44
Figura 11 - Cartas de controle do parâmetro VAM (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	46
Figura 12 - Cartas de controle do parâmetro RBV (camadas de <i>binder</i> e capa). ....	47

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vertentes da qualidade de acordo com Garvin. ....	19
Quadro 2 - Testes de normalidade. ....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos com relação a granulometria e teor de ligante asfáltico.....	23
Tabela 2 - Intervalo para os parâmetros de qualidade adjacentes da composição de massas asfálticas. ....	24
Tabela 3 - Percentuais de projeto para <i>binder</i> e capa. ....	25
Tabela 4 - Determinação do VAM mínimo em função do Tamanho Nominal Máximo do agregado.....	25
Tabela 5 - Intervalo de aceitação dos parâmetros de qualidade das camadas <i>binder</i> e capa pela norma DNIT 031/2006 – ES.....	28
Tabela 6 - Parâmetros de qualidade e seus respectivos métodos de ensaio à luz da norma DNIT 031/2006 – ES. ....	29
Tabela 7 - Descrição dos dados geométricos da estrada.....	29
Tabela 8 - Banco de dados da camada de <i>binder</i> .....	30
Tabela 9 - Banco de dados da camada da capa.....	30
Tabela 10 - Estatísticas descritivas da camada de <i>binder</i> .....	33
Tabela 11 - Estatísticas descritivas da camada de capa. ....	33
Tabela 12 - Resultados dos Testes de AD, RJ e KS para as camadas de revestimento asfáltico. ....	35
Tabela 13 - Porcentagem de amostras em conformidade com a norma DNIT 031/2006 - ES.	39
Tabela 14 - Porcentagem de amostras em desacordo com a norma DNIT 031/2006 - ES.....	40
Tabela 15 - Observações baseadas nas condições normativas para <i>binder</i> . ....	40
Tabela 16 - Observações baseadas nas condições normativas para capa. ....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Anderson-Darling
ASTM	American Society for Testing and Materials
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado à Quente
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CV	Coefficiente de Variação
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
HMA	Hot Mix Asphalt
ICM	Índice de Condição de Manutenção
KS	Kolgomorov-Smirnov
LI	Limite Inferior
LS	Limite Superior
RJ	Ryan-Joiner
TNM	Tamanho Nominal Máximo

## LISTA DE SÍMBOLOS

% CAP	Teor de ligante
#200	Percentual passante na peneira nº200
$n$	Número do corpo de prova
RBV	Relação Betume/Vazios
VAM	Vazios do Agregado Mineral
Vv	Volume de Vazios

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Considerações iniciais .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3 Estrutura do trabalho .....</b>	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Conceitos de qualidade.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Controle de qualidade em obras rodoviárias .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3 Parâmetros de qualidade .....</b>	<b>21</b>
<b>2.3.1 Teor de ligante.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.2 Granulometria .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.3Volumetria das misturas asfálticas.....</b>	<b>24</b>
<b>2.4 Distribuição normal.....</b>	<b>25</b>
<b>2.5 Conformidade executiva .....</b>	<b>27</b>
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.1 Descrição do banco de dados e parâmetros de projeto .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Etapas metodológicas .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.1 Organização do banco de dados.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.2 Caracterização estatística e análise da variabilidade.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.3 Investigação de normalidade.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2.4 Conformidade executiva.....</b>	<b>32</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Caracterização estatística e análise da variabilidade.....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Investigação da normalidade dos dados .....</b>	<b>34</b>
<b>4.3 Conformidade executiva .....</b>	<b>39</b>

<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
<b>5.1 Sugestões para trabalhos futuros .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DA CAMADA DE <i>BINDER</i> .....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE B – BANCO DE DADOS DA CAMADA DA CAPA.....</b>	<b>54</b>



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações iniciais

A análise da composição do revestimento asfáltico busca promover um estudo elaborado acerca do comportamento dos revestimentos asfálticos, através da coleta de informações que podem ser verificadas baseando-se em registros obtidos por meio das medições, ensaios e observações (DNIT, 2004).

Segundo dados do Fórum Econômico Mundial, a qualidade da malha rodoviária brasileira possui nota 3 em uma escala de 1 (pior) a 7 (melhor), o que faz com que o país figure na posição 116 entre os 141 países analisados. (CNT, 2021). Isso evidencia como a qualidade dos revestimentos asfálticos é explorada no Brasil, e isto pode representar comportamentos inesperados nas obras, levando até a uma possível redução da vida útil do pavimento e das condições de tráfego.

No Estado do Ceará, o cenário representa bem a média nacional de qualidade dos revestimentos asfálticos. De acordo com DNIT (2022), metade da malha rodoviária federal no estado possui índice de condição de manutenção ICM – indicador de qualidade que considera buracos, remendos, trincamentos, sinalização vertical e horizontal, drenagem e roçada – como sendo regular (20%), ruim (12%) ou péssimo (18%). Deste modo, torna-se evidente a necessidade de realizar uma análise estatística detalhada de como se apresentam os parâmetros de qualidade das misturas asfálticas e como estes impactam na execução dos revestimentos asfálticos de modo a compreender como a não adequação dos procedimentos normativos afeta no produto final – o asfalto. Cabe salientar que os parâmetros de qualidade podem ser entendidos como os indicadores medidos baseados na verificação da conformidade da produção com as especificações de projeto.

O controle de qualidade sob os revestimentos asfálticos é delineado atualmente pelas normas DNIT-PRO 011/2004 que trata da gestão de qualidade em obras rodoviárias e DNER-PRO 277/97, referente à metodologia para controle estatístico de obras e serviços, ambas interessadas em controlar os processos executivos de obras rodoviárias além das normativas como a NBR ISO 9000 interessada no campo de controle dos processos e organização, a fim de se obter um controle de qualidade satisfatório.

Ainda com estas previsões normativas, comumente é encontrado em campo, más condições de uso, operação e manutenção das vias como indicado pelas condições das estradas

brasileiras, citadas anteriormente. Isto evidencia a desconformidade encontrada nos revestimentos asfálticos – apesar de todo o aparato de especificações – e um possível impacto negativo no controle de qualidade das obras rodoviárias. Dessa forma, a presente pesquisa pode contribuir na ampliação da temática em questão, a fim de preencher lacunas existentes na literatura técnico-científico associada.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo geral desta pesquisa é analisar a composição do revestimento asfáltico em uma obra rodoviária real, a partir de considerações estatísticas sobre o controle tecnológico da execução. Para tanto, este objetivo está orientado pelos seguintes objetivos específicos:

- a) Caracterizar estatisticamente o nível de variabilidade dos parâmetros de composição de um revestimento asfáltico;
- b) Investigar a hipótese de normalidade tipicamente assumida para os parâmetros construtivos de revestimentos asfálticos;
- c) Caracterizar a conformidade executiva das camadas asfálticas do pavimento.

## **1.3 Estrutura do trabalho**

A pesquisa realizada é estruturada em cinco seções, a começar pela própria Introdução, cujo propósito é traçar uma breve contextualização sobre revestimentos asfálticos em Concreto Betuminoso Usinado à Quente – CBUQ – e seu controle tecnológico no Brasil e especificamente no Ceará. Também tem a finalidade de apresentar o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

Em seguida, a Revisão Bibliográfica – segunda seção – tem a função de respaldar a pesquisa teoricamente. Seguindo este ideário, são apresentados os conceitos de qualidade e controle de qualidade aplicado a obras rodoviárias, pondo à frente as técnicas e atividades operacionais usadas na execução de revestimentos asfálticos para atender aos requisitos de uma qualidade desejada.

Para os Materiais e métodos, – terceira seção – delinea-se as condições específicas da obra estudada quanto a extensão do trecho e valores de projeto, por exemplo, de onde se

extrai o banco de dados, além de apresentar o método adotado para a obtenção dos resultados desta pesquisa. Já para os Resultados e discussões, – quarta seção – destina-se à caracterização estatística e análise da variabilidade, investigação da normalidade e determinação da composição do revestimento asfáltico em CBUQ e suas implicações. E por fim, a quinta seção discorre sobre as principais Conclusões obtidas ao longo do estudo, e ainda sugere orientações para trabalhos futuros que visem contribuir com a literatura técnico-científica abordada.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Conceitos de qualidade

Diversos autores procuram definir o que é qualidade. Nesse sentido, alguns buscam levar em consideração as especificações e interesses do cliente, outros acreditam que a qualidade está mais atrelada às atitudes de planejamento da diretoria das empresas, assim como também tem quem pense em qualidade como a ausência de falhas.

Para Deming (1990), qualidade é tudo aquilo que melhora a percepção que o cliente tem sobre um produto ou serviço. O referido autor acredita que o consumidor é o principal influenciador e interessado na cadeia de produção e, por conta disso, o produto ou serviço deve atender às expectativas dele.

Já Ishikawa (1993) acredita que para além da satisfação do cliente, é necessário a busca contínua de melhoria da qualidade através da procura de desenvolver, projetar, produzir e comercializar produtos e serviços cada vez mais econômicos, úteis e satisfatórios para o consumidor.

Marshall Junior *et al.* (2010) definem qualidade como um conceito espontâneo e inerente a qualquer circunstância de uso de algo tangível, onde se consideram interações envolvidas na prestação de um serviço ou a *feedbacks* associados a produtos de natureza intelectual, artística, emocional e vivência.

É possível observar que as definições dos autores tentam convergir e isso é natural que aconteça. Garvin (2002) propõe uma sumarização sob o que os autores citados anteriormente refletem sobre o que é qualidade a partir de cinco vertentes, sendo elas a transcendente, onde qualidade é uma excelência inata. Baseada no produto, onde a classificação se traduz perante os atributos de determinado produto. Baseada no usuário, atrelada as preferências do consumidor. Baseada na produção, atentando-se à conformidade com as especificações e baseada no valor que se ampara no custo-benefício. O autor amplia os conceitos acerca de qualidade e engloba as principais ideias sobre qualidade que a literatura dos demais autores sugere. As abordagens e suas definições são expressas no Quadro 1.

Quadro 1 - Vertentes da qualidade de acordo com Garvin.

<i>Vertente</i>	<i>Definição</i>
Transcendente	

	Sem definição precisa, apesar de ser uma propriedade simples, só é possível reconhecê-la pela experiência - a excelência é inerente ao produto ou serviço
Baseada no produto	A qualidade pode ser mensurada de acordo com a quantidade de que determinado atributo do produto se apresenta - qualidades diferentes possuem quantidades diferentes para o mesmo tributo avaliado
Baseada no usuário	A qualidade é baseada na satisfação do cliente - produto ou serviço possui qualidade se agrada o cliente
Baseada na produção	O nível de qualidade é expresso em função da conformidade das informações ou dados que determinado produto ou serviço possui para com o projeto - qualidade significa conformidade com as exigências
Baseada no valor	O desempenho ou conformidade de um produto ou serviço a um preço acessível determina a qualidade - o custo-benefício determina o nível de qualidade

Fonte: Autor (2022), com base em Garvin (2002).

Nesse sentido, para obras rodoviárias, a definição que melhor se aplica é a qualidade baseada na produção, onde verifica-se o nível de qualidade baseado no grau de conformidade que os parâmetros constituintes das massas asfálticas apresentam.

## 2.2 Controle de qualidade em obras rodoviárias

De acordo com o DNIT (2004), o controle de qualidade é definido como as técnicas e atividades operacionais tomadas a fim de cumprir requisitos para alcançar uma qualidade desejada. Fortes e Merighi (2004) reforçam que o controle de qualidade está intrinsecamente ligado ao controle tecnológico, que se constitui do espaço amostral dos serviços que são executados, obtidos através de ensaios realizados nas diversas fases de execução de um serviço.

O papel do controle de qualidade é sistematizar um método de verificação do controle tecnológico, através do alinhamento de procedimentos que visem a melhoria contínua dos serviços, permitindo a rastreabilidade dos ensaios realizados, a fim de rechaçar possíveis anomalias oriundas pela queda de qualidade dos materiais ou processos executivos (FORTES E MERIGHI, 2004).

Somado a isso, DNIT (2006) estabelece que o controle de qualidade é estruturado por meio do controle administrativo e o controle qualitativo. Este último deve assegurar a conformidade às normas e especificações, de modo a verificar a qualidade dos serviços, dos materiais e suas respectivas utilizações, por meio dos ensaios e medições. O controle qualitativo

é realizado através de metodologias e ferramentas estatísticas.

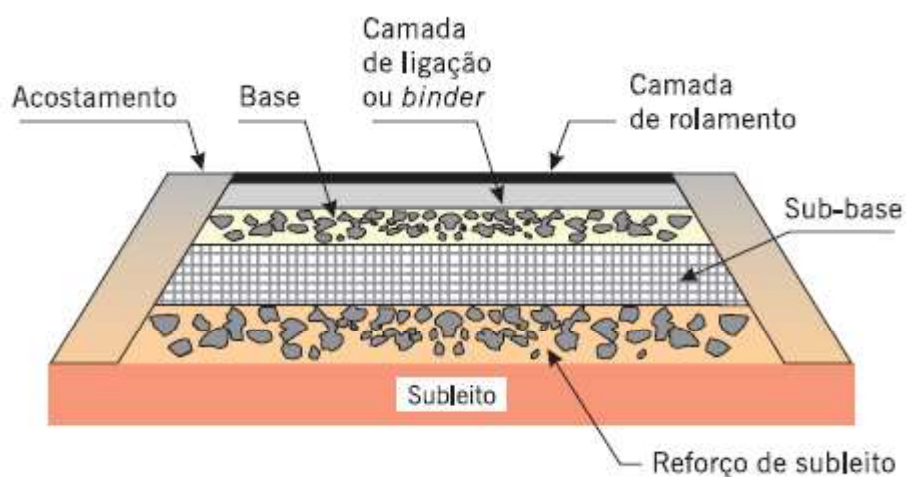
Portanto, avaliar a qualidade de uma obra rodoviária é demonstrar o grau de conformidade que os serviços se apresentam, onde este grau de conformidade pode ser obtido através do controle estatístico das etapas de concepção da obra.

### 2.3 Parâmetros de qualidade

Os parâmetros de qualidade constituintes do revestimento asfáltico em concreto betuminoso usinado à quente CBUQ são os parâmetros que podem ser medidos baseados na verificação da conformidade da produção com as especificações de projeto.

O revestimento em CBUQ pode ser executado em duas camadas, sendo a inferior denominada *binder* ou camada de ligação e a superior denominada capa ou camada de rolamento. A Figura 1 representa ambas as camadas citadas.

Figura 1 - Esquema das camadas de pavimento asfáltico.



Fonte: Pavimentação Asfáltica. Formação básica para Engenheiros (2008, p. 10).

DNIT (2004) define os materiais que compõem o CBUQ como sendo o agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento *filler* e ligante asfáltico.

Nesse sentido, são abordados na presente pesquisa, o teor de ligante asfáltico representado pelo % CAP, percentual passante na peneira de nº200 indicado como #200 e que representa o material de enchimento, além das características volumétricas da mistura representadas pelo Volume de Vazios  $V_v$ , Vazios do Agregado Mineral VAM e Relação

Betume/Vazios RBV.

Para a verificação da conformidade, no Brasil, a norma DNIT 031/2006 – ES estabelece a metodologia a ser empregada no controle da execução de revestimentos asfálticos em CBUQ das misturas asfálticas:

- a) Controle da quantidade de ligante na mistura, realizado através das extrações de asfalto, de amostras coletadas logo após a aplicação do asfalto no trecho;
- b) Controle da graduação da mistura de agregados, realizado através do ensaio de granulometria obtido através das extrações da alínea “a”
- c) Controle das características da mistura, realizado através do ensaio Marshall – método de dosagem para os parâmetros de qualidade.

### **2.3.1 Teor de ligante**

Bernucci *et al.* (2008) discorrem que o asfalto utilizado na pavimentação é um ligante betuminoso proveniente da destilação do petróleo e os autores citados atribuem o uso expressivo do asfalto na pavimentação de estradas em função de características primordiais. O asfalto proporciona forte união dos agregados, é impermeabilizante, durável e pouco reativo. O mesmo pode ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral.

Bernucci *et al.* (2008) ainda dizem que quando o asfalto se enquadra numa classificação específica, com propriedades físicas que pretendem garantir o bom desempenho do insumo na obra, ele recebe a nomenclatura de CAP – cimento asfáltico de petróleo. É necessário uma viscosidade específica de 0,2 Pa.s para garantir um recobrimento adequado dos agregados, a partir do aquecimento do ligante e agregados a temperaturas específicas.

Usualmente, os cimentos asfálticos de petróleo CAP são usados na composição dos revestimentos asfálticos. A norma DNIT 031/2006 – ES estabelece o emprego dos CAP-30/45, CAP-50/70 e CAP-85/100.

### **2.3.2 Granulometria**

A distribuição granulométrica dos agregados influi significativamente em propriedades importantes das misturas asfálticas, sendo elas a rigidez, estabilidade,

durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, resistência à fadiga e deformação permanente, dentre outras (BERNUCCI *et al.*, 2008). Em consonância com o *Hot-Mix Bituminous Paving Manual, da Federal Highway Administration* (1985), é possível que a granulometria seja o parâmetro com a menor inconformidade, entre os parâmetros de qualidade expostos. O propósito de controlar a granulometria das massas asfálticas reside no fato de se manter um valor adequado de Vazios do Agregado Mineral VAM, que precisa ser grande o suficiente para permitir que todas as partículas sejam envoltas de ligante e ainda sim, manter um Volume de Vazios Vv satisfatório para o revestimento asfáltico compactado.

A definição da faixa granulométrica entre as faixas dispostas na Tabela 1, para compor o projeto da mistura asfáltica é expresso em função da espessura que o revestimento asfáltico irá compor o corpo estradal. É necessário utilizar entre as faixas A, B e C, aquela que o diâmetro máximo do agregado for inferior a 2/3 da espessura do revestimento para misturas asfálticas do tipo CBUQ.

O material passante na peneira #200 é denominado como agregado de enchimento ou material de enchimento *filler*. Bernucci *et al.* (2008) afirmam que com o aumento da porcentagem de pó, reduz-se os vazios presentes na mistura asfáltica e aumenta-se a trabalhabilidade até certo limite. Ultrapassado este limite, a estabilidade do esqueleto mineral e trabalhabilidade são comprometidos, onde há uma diminuição dos contatos entre as partículas grossas, prejudicando na capacidade de compactação das misturas. No que tange as tolerâncias com relação à granulometria e percentuais de ligante asfáltico, a norma DNIT 031/2006 – ES determina o que segue na Tabela 1.

Tabela 1- Requisitos com relação a granulometria e teor de ligante asfáltico.

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
1/2"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%



Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: DNIT (2006).

### 2.3.3 Volumetria das misturas asfálticas

O comportamento do  $V_v$ , VAM e RBV é função da conformação que se espera para as misturas asfálticas, e devem ser observadas as condições de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 - Intervalo para os parâmetros de qualidade adjacentes da composição de massas asfálticas.

<i>Características</i>	<i>Método de ensaio</i>	<i>Camada de Rolamento</i>	<i>Camada de Ligação (Binder)</i>
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043	3 - 5	4 - 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043	75 - 82	65 - 72
Estabilidade, mínima, (Kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diamteral estática a 25°C, mínima, Mpa	DNER-ME 138	0,65	0,65

Fonte: DNIT (2006).

Para adoção do VAM mínimo, identifica-se o tamanho nominal máximo TNM, que segundo DNIT (2019) expressa o tamanho de abertura imediatamente acima daquela que retém mais que 10% acumulado ou o tamanho da peneira acima da que passa menos que 90% dos grãos, ou seja, o valor de VAM será determinado a partir da peneira que permitir a passagem de

90% dos agregados ou valor imediatamente superior a isso para as camadas de *binder* e capa.

Tabela 3- Percentuais de projeto para *binder* e capa.

<i>Percentual passante de projeto</i>			
<i>Binder</i>		capa	
Peneira	% Passante	Peneira	% Passante
2"	100	1 1/2"	100
1 1/2"	97,5	1"	100
1"	94,5	3/4"	100
3/4"	88	1/2"	90
3/8"	52	3/8"	80
4	45	4	58
10	36	10	36
40	17	40	17
80	12	80	10
200	5	200	6

Fonte: Autor (2022).

Através da Tabela 3, se extrai que o tamanho nominal máximo para as camadas de *binder* e capa se obtêm o VAM de ambas através da Tabela 4.

Tabela 4 - Determinação do VAM mínimo em função do Tamanho Nominal Máximo do agregado.

<i>VAM - Vazios do Agregado Mineral</i>		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	Mm	
1 1/2"	38,1	13
1"	25,4	14
3/4"	19,1	15
1/2"	12,7	16
3/8"	9,5	18

Fonte: DNIT (2006).

## 2.4 Distribuição normal

A metodologia de controle estatístico de obras e serviços adotada pela DNER-PRO 277/97 estabelece a hipótese de que o plano de amostragem segue uma distribuição

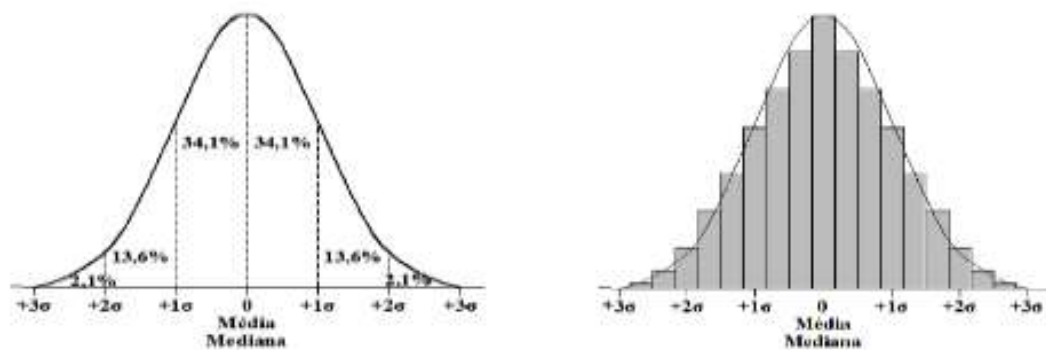
aproximadamente normal.

Em consonância com Neto (2003), a distribuição normal padrão é uma distribuição contínua, onde a variável pode representar qualquer valor dentro de um intervalo específico, e para uma variável normalmente distribuída, este intervalo pode assumir qualquer valor real. Uma variável contínua  $X$  tem distribuição normal como parâmetros  $\sigma$  e  $\mu$  e pode ser descrita pela função densidade de probabilidade. (Equação 2).

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

De acordo com Lopes (2013), a proporção de valores sob a curva para uma distribuição normal estabelece 68,26% dos valores 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 ( $\pm 3\sigma$ ) e os demais valores mais afastados que isso, são considerados como outliers, como demonstra a Figura 2.

Figura 2 - Modelo de distribuição normal.



Fonte: Lopes (2013).

A distribuição normal pode ser verificada através de testes de normalidade. Os testes de normalidade são utilizados para averiguar se uma determinada distribuição de dados pode ser modelada como sendo normal ou assimétrica. Seguem listados no Quadro 2 os testes de normalidade adotados, apontando para como cada teste demonstra aderência à normalidade.

Quadro 2 - Testes de normalidade.

Teste de normalidade	Definição	Conclusão
----------------------	-----------	-----------

Anderson-Darling AD	Compara-se a função de distribuição acumulada empírica dos dados da amostra com a distribuição esperada se os dados fossem normais	Rejeita-se a hipótese nula, se a diferença é suficientemente grande
Ryan-Joiner RJ	Avalia-se a normalidade por meio do cálculo da correlação entre os dados e as contagens normais de seus dados. Caso o coeficiente de correlação for próximo de 1, a população tende a ser normal	Rejeita-se a hipótese nula, se após a avaliação da força da correlação, o valor obtido apresentar valor inferior ao crítico adequado
Kolgomorov-Smirnov KS	Compara-se a função de distribuição acumulada empírica dos dados da amostra com a distribuição esperada se os dados fossem normais	Rejeita-se a hipótese nula, se a diferença é suficientemente grande o valor de p do teste for menor que o $\alpha$ escolhido

Fonte: Autor (2022).

## 2.5 Conformidade executiva

A norma DNIT 031/2006 – ES estabelece o método a ser utilizado para a execução da camada de pavimento flexível em CBUQ para estradas de rodagem. A norma dispõe das condições gerais a serem empregadas para realização de serviços com concreto asfáltico.

Um dos principais tópicos desta norma – 5.2 – se refere à composição das misturas asfálticas, onde são apresentadas as tolerâncias que cada parâmetro de qualidade deve respeitar.

A composição do concreto asfáltico é delimitada pelos limites impostos nas tabelas elencadas ao longo desta revisão bibliográfica, partindo de qual deverá ser a composição da mistura. Para teor de ligante, o valor é limitado pela adoção da faixa granulométrica adequada para o projeto em questão, considerando-se qual será a camada de revestimento asfáltico. Para a granulometria, as porcentagens de cada peneira são orientadas a partir das faixas A, B e C. Já para as misturas asfálticas, existem os métodos de ensaio citados na Tabela 2.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Descrição do banco de dados e parâmetros de projeto

Para a realização do presente trabalho, utilizou-se um banco de dados de controle qualitativo do concreto asfáltico. O subtrecho estudado possui uma extensão de 12,26 km e conta com o estaqueamento compreendido entre as estacas [0 km + 0 m] e [12 km + 260 m] correspondentes a implantação de uma rodovia no estado do Ceará com aplicação de CBUQ.

Os dados do controle qualitativo foram disponibilizados em planilhas no formato PDF (*Portable Document Format*) e continham as informações dos corpos de prova extraídos ao longo da extensão da obra. Nestas planilhas constavam a distribuição das amostras para uma série de parâmetros de qualidade do concreto asfáltico aplicada nas camadas de revestimento, além da data de coleta dos corpos de prova e a identificação da localização através de suas respectivas estacas. Somado a isso, o banco de dados continha as condições de contorno a serem seguidas pela empresa construtora responsável pela execução da aplicação do concreto asfáltico. Com base na Dosagem Marshall, para granulometria, exigia-se a utilização das faixas B e C do DNIT para as camadas de *binder* e *capa* respectivamente. Já para o percentual de cimento asfáltico de petróleo CAP, exigia-se 4,8% para a camada de *binder* e 5,8% para a camada da *capa*.

Cabe salientar que os parâmetros %CAP, % passante na peneira #200, V<sub>v</sub>, VAM e RBV devem ser analisados com base nas especificações de serviço contidas na norma DNIT 031/2006 - ES. A Tabela 5 descreve resumidamente os intervalos de aceitação – Limite Inferior LI e Limite Superior LS – especificados pela norma, após verificar as imposições das Tabela 2 e Tabela 4 respectivamente.

Tabela 5 - Intervalo de aceitação dos parâmetros de qualidade das camadas *binder* e *capa* pela norma DNIT 031/2006 – ES.

Característica de qualidade	Unidade	<i>binder</i>		<i>capa</i>	
		LI	LS	LI	LS
% CAP	%	4,50	5,10	5,50	6,10
#200	%	3,50	7,50	4,00	8,00
V <sub>v</sub>	%	3,00	5,00	4,00	6,00
VAM	%	14,00	-	16,00	-
RBV	%	65,00	72,00	75,00	82,00

Fonte: Autor (2022).

A determinação dos parâmetros estudados se deu em conformidade com o que a literatura técnico-científica sugere quando se trata de controle tecnológico de misturas asfálticas. Butts e Ksaibati (2003) delimitaram quais parâmetros possuem maior incidência no controle das características de qualidade em estados norte-americanos, onde em aproximadamente 80% dos casos, as especificações de serviço preconizavam a medição dos parâmetros de projeto referentes ao teor de ligante e granulometria, além dos parâmetros físicos de volume de vazios, vazios do agregado mineral e relação betume/vazios inerentes à constituição do concreto asfáltico. Os parâmetros estudados e os métodos empregados para obtenção dos mesmos são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros de qualidade e seus respectivos métodos de ensaio à luz da norma DNIT 031/2006 – ES.

<i>Parâmetro de qualidade</i>	<i>Método de ensaio</i>
% CAP	DNER-ME 083
#200	DNER-ME 083
V <sub>v</sub>	DNER-ME 043
VAM	DNER-ME 043
RBV	DNER-ME 043

Fonte: Autor (2022).

## 3.2 Etapas metodológicas

### 3.2.1 Organização do banco de dados

Para analisar as informações obtidas acerca dos dados, foram levantados os ensaios de controle qualitativo, a fim de conceber dois grupos de valores amostrais, um grupo representando a camada de *binder* e outro representando a capa. A seguir, na Tabela 7 são apresentadas as condições de contorno quanto à extensão e metodologia de estaqueamento, na configuração [X km + Y m].

Tabela 7 - Descrição dos dados geométricos da estrada.

<i>Camada</i>	<i>Estaca Inicial</i>	<i>Estaca final</i>	<i>Extensão (km)</i>
binder	[0 km + 30 m]	[12 km + 260 m]	12,23
capa	[0 km + 0 m]	[9 km + 660 m]	9,66

Fonte: Autor (2022).

É possível verificar que os dados da obra estudada diferiam quanto a extensão, para ambas as camadas de revestimento. Tanto o início, quanto o fim dos subtrechos estudados localizavam-se em estacas distintas. Em virtude das análises se aterem as informações exclusivamente por camada, as especificações para os parâmetros de qualidade não são comprometidas pela metodologia de coleta de dados diferir de uma camada para a outra quanto à extensão.

As Tabelas 8 e 9 apresentam uma parcela do banco de dados disponibilizado, que é destacado integralmente nos Apêndices A e B, das camadas de *binder* e *capa*, respectivamente, onde *n* representa o número do corpo de prova.

Tabela 8 - Banco de dados da camada de *binder*.

<i>n</i>	% <i>CAP</i> (%)	<i>200</i> (%)	% <i>V</i> (%)	% <i>VAM</i> (%)	<i>RBV</i> (%)
1	4,83	4,00	3,53	14,63	75,87
2	4,90	3,50	4,60	15,77	67,53
3	4,78	3,90	2,00	13,20	86,67
4	4,98	4,60	1,93	13,57	85,80
5	4,85	4,10	5,50	16,43	66,53
6	4,75	2,90	4,73	15,53	69,57
7	4,89	4,20	4,37	15,53	71,90
8	4,86	4,00	4,70	15,73	70,57
9	4,73	3,50	6,87	17,37	60,47
10	4,89	3,30	6,73	17,60	61,80
...	...	...	...	...	...
69	4,76	3,50	4,73	15,83	70,20
70	4,52	2,70	5,73	16,03	64,23
71	4,52	2,70	5,77	16,07	64,10

Fonte: Autor (2022).

Tabela 9 - Banco de dados da camada da *capa*.

<i>n</i>	% <i>CAP</i> (%)	<i>200</i> (%)	% <i>V</i> (%)	% <i>VAM</i> (%)	<i>RBV</i> (%)
1	5,96	5,00	7,53	20,67	63,53
2	5,80	4,70	1,97	15,60	87,33
3	5,83	4,40	2,93	16,40	82,13
4	5,87	3,80	2,60	16,23	84,00
5	5,80	4,30	2,67	16,13	83,50
6	5,89	4,10	2,37	16,03	85,27
7	5,87	4,20	2,30	15,93	85,63
8	5,83	4,20	2,63	16,13	83,67
9	5,80	3,80	2,60	16,07	83,83
10	6,24	3,60	6,77	20,57	67,20
...	...	...	...	...	...

88	5,41	4,10	4,30	16,63	74,13
89	6,43	3,70	4,07	18,73	78,40
90	6,15	5,10	4,13	18,13	77,23

Fonte: Autor (2022).

Observou-se também pelas Tabelas 8 e 9, que apesar da extensão para a camada de *binder* ter sido superior, houve um número  $n$  de observações de campo inferior a camada da capa, o que representa uma prática comum em obras rodoviárias, onde a fiscalização e posterior aceitação ou rejeição de um serviço pode ser balizada por estudos de espaços amostrais distintos, prática amparada pela DNER-PRO 277/97.

Em adição, as faixas granulométricas não foram trabalhadas integralmente neste estudo, onde optou-se por trabalhar apenas com o teor de finos representado pelo percentual passante na peneira #200 que representa o percentual passante de agregado miúdo presente na mistura asfáltica.

### ***3.2.2 Caracterização estatística e análise da variabilidade***

Para as camadas de revestimento asfáltico, foram discriminadas as estatísticas descritivas inerentes ao banco de dados disponibilizado. Para tanto, fez-se uso da média, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, valor mínimo, valor máximo e amplitude de cada parâmetro de qualidade em ambas as camadas. Em especial, o coeficiente de variação foi utilizado para analisar a variabilidade das amostras e traçar uma análise comparativa entre os parâmetros de qualidade estudados.

### ***3.2.3 Investigação de normalidade***

Como a previsão normativa DNIT 031/2006 – ES estabelece no tópico 7.5 de condições de conformidade e não conformidade que os dados dos parâmetros de qualidade das misturas asfálticas se apresentem como aproximadamente simétricos, foi necessária a verificação da normalidade das amostras para todos os parâmetros.

Assim, fez-se uso dos testes de normalidade de Anderson-Darling (AD), Ryan-Joiner (RJ) e Kolgomorov-Smirnov (KS) com nível de significância  $\alpha = 5\%$  com auxílio da versão de avaliação demo do *software* estatístico Minitab 19, para a checagem da simetria dos



dados, bem como foi representado graficamente o comportamento das observações através de histogramas e gráficos de probabilidade. Investigou-se se as observações seguem ou não uma distribuição normal através do nível descritivo ou probabilidade de significância (valor-p) de 5% (0,05). Isto é, caso o valor-p obtido no teste seja inferior a 0,05, pode-se afirmar com 95% de confiança que as amostras não são provenientes de uma população aproximadamente normal.

São levantadas duas hipóteses acerca dos valores para  $p$ . Caso  $p > \alpha$ , não se rejeita a Hipótese  $H_0$  de que os dados seguem uma distribuição aproximadamente normal. Em adição, se  $p \leq \alpha$ , considera-se a Hipótese Alternativa  $H_1$  e nesse caso, os dados não seguem uma distribuição normal.

#### ***3.2.4 Conformidade executiva***

Através dos limites de especificação da norma DNIT 031/2006 – ES, foi possível determinar a porcentagem de conformidades com relação aos cinco parâmetros de qualidade abordadas no presente estudo, assim como foram elaboradas cartas de controle para identificação visual da dispersão dos dados com relação aos limites já citados.

Somado a isso, verificou-se o impacto das deficiências relacionadas aos parâmetros de qualidade, apontando possíveis defeitos que podem surgir no revestimento asfáltico em consonância com literatura técnico-científica associada.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização estatística

Apresenta-se neste item, os resultados da caracterização estatística referente aos dados disponibilizados para análise. Para tanto, são apresentadas nas Tabelas 10 e 11 as medidas de tendência central identificadas pela média e mediana, como também demais indicadores de medidas de dispersão como desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 10 - Estatísticas descritivas da camada de *binder*.

<i>Medida</i>	<i>% CAP</i> (%)	<i>#200</i> (%)	<i>Vv</i> (%)	<i>VAM</i> (%)	<i>RBV</i> (%)
Média	4,82	4,08	4,68	15,75	70,79
DP	0,11	0,58	1,35	1,19	6,64
Variância	0,01	0,34	1,83	1,41	44,04
CV	2,27	14,26	28,92	7,53	9,37
Mínimo	4,45	2,70	1,93	13,20	52,90
Mediana	4,83	4,00	4,73	15,83	69,57
Máximo	5,27	5,50	8,77	18,63	86,67
Amplitude	0,82	2,80	6,84	5,43	33,77

Fonte: Autor (2022).

Tabela 11 - Estatísticas descritivas da camada de capa.

<i>Medida</i>	<i>% CAP</i> (%)	<i>#200</i> (%)	<i>Vv</i> (%)	<i>VAM</i> (%)	<i>RBV</i> (%)
Média	5,85	4,00	3,76	17,15	78,44
DP	0,20	0,58	1,22	1,14	5,66
Variância	0,04	0,33	1,49	1,31	32,05
CV	3,35	14,42	32,50	6,67	7,22
Mínimo	4,95	2,60	1,93	15,47	65,53
Mediana	5,83	3,90	3,88	17,02	78,03
Máximo	6,54	5,50	7,53	20,67	88,30
Amplitude	1,59	2,90	5,60	5,20	24,77

Fonte: Autor (2022).

Com os resultados da caracterização estatística em mãos, é possível traçar observações acerca dos dados amostrais. A camada de *binder* possui uma quantidade amostral de dados inferior à camada da capa, bem como uma menor variabilidade representada pelo coeficiente de variação quando comparada ambas as camadas. O coeficiente de variação é

interpretado como a variabilidade das observações em relação à média e quanto menor o valor do CV, mais homogêneo é o conjunto de dados. Isto implica dizer que os dados de *binder* possuem uma homogeneidade do conjunto de dados superior à capa e para a obra em específico, foi a camada mais controlada do ponto de vista da variabilidade das observações.

Para ambas as camadas, observa-se que o parâmetro de qualidade que apresenta a maior variabilidade entre seus dados através dos maiores CVs encontrados é a de Vv (28,92%) e (32,50%) para a camada de *binder* e capa respectivamente, sendo superior ao dobro da variabilidade do segundo parâmetro com maior variabilidade para ambos os casos.

Em contrapartida, observa-se que o teor de ligante % CAP é o indicador que possui menor variabilidade dos parâmetros, demonstrando que é o parâmetro de qualidade mais homogêneo abordado.

Aldigueri *et al.* (2001) demonstra em seu estudo, uma diferença de 0,6% no teor de projeto utilizando duas formas de compactação distintas – de acordo com a frequência de aplicação de golpes – à luz da dosagem Marshall, bem como uma diferença de até 1,43% para Vv. Motta (1998) tece críticas ao método Marshall, argumentando a respeito da pouca representatividade do método de compactação com relação ao campo e a grande influência na determinação do teor de projeto.

Dessa forma, é de se esperar que a literatura técnico-científica corrobore com o grau de variabilidade encontrado no presente trabalho – onde demonstra-se a menor variabilidade para % CAP em detrimento do Vv – e é possível determinar que este padrão se repete para demais obras rodoviárias, devido a características do ensaio em si, que favorecem alguns parâmetros de qualidade em função de outros, além da verificação de que os resultados independem do modo de como são executados os ensaios.

Por último, quando se trata da amplitude, destaca-se a relação betume/vazios como a característica que apresenta as maiores variações entre máximo e mínimo para as duas camadas e o teor de ligante % CAP como sendo o oposto, – observado o que foi exposto no parágrafo anterior – tendo a menor amplitude em ambas as camadas, representada pelas menores variações entre máximo e mínimo.

## **4.2 Investigação da hipótese de normalidade**

Os dados de cada parâmetro de qualidade para ambas as camadas foram avaliados de modo a determinar se seguem uma distribuição normal, uma vez que o método estatístico

para aceitação ou rejeição dos serviços de revestimento asfáltico utiliza a normalidade como hipótese básica (vide DNER-PRO 277/97). A Tabela 12 apresenta os p-valores para os três testes de normalidade definidos anteriormente para as camadas de *binder* e *capa*. A aceitação ou rejeição da hipótese nula  $H_0$  que vai balizar se os dados são provenientes de uma população aproximadamente normal. Desse modo, para o p-valor  $> \alpha$ , onde  $\alpha$  representa o nível de significância de 0,050 para o teste adotado, não se rejeita a hipótese  $H_0$  de que os dados são simétricos, enquanto para o p-valor  $\leq \alpha$ , a hipótese  $H_0$  deve ser rejeitada, indicando um conjunto de dados assimétricos.

Tabela 12 - Resultados dos Testes de AD, RJ e KS para as camadas de revestimento asfáltico.

<i>Parâmetro de qualidade</i>	<i>p-valor do teste AD</i>		<i>p-valor do teste RJ</i>		<i>p-valor do teste KS</i>	
	<i>binder</i>	<i>capa</i>	<i>binder</i>	<i>capa</i>	<i>binder</i>	<i>capa</i>
% CAP	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050	0,010	< 0,050
#200	0,532	0,277	> 0,050	> 0,050	> 0,050	0,076
Vv	0,079	0,001	0,088	< 0,050	> 0,050	0,001
VAM	0,179	0,001	> 0,050	< 0,050	> 0,050	0,007
RBV	0,010	0,004	0,044	0,036	0,037	0,008

Fonte: Autor (2022).<sup>1</sup>

Os indicadores encontrados através dos testes de normalidade evidenciam que para ambas as camadas, o p-valor medido de % CAP e RBV é inferior a 0,050. Assim, pode-se concluir com 95% de confiança que os dados são oriundos de uma distribuição não normal. Isso vale para o Vv e VAM da camada da *capa*.

Contraste disso, os demais parâmetros complementares estudados se apresentam com o p-valor superior a 0,050, com a conclusão clara de que estas populações em específico, são provenientes de distribuições aproximadamente normais e respeitam o cerne do método estatístico proposto em norma.

É possível ainda demonstrar graficamente a condição de normalidade das amostras por meio de histogramas para cada parâmetro de qualidade em específico. Os histogramas apresentados nas Figura 3,

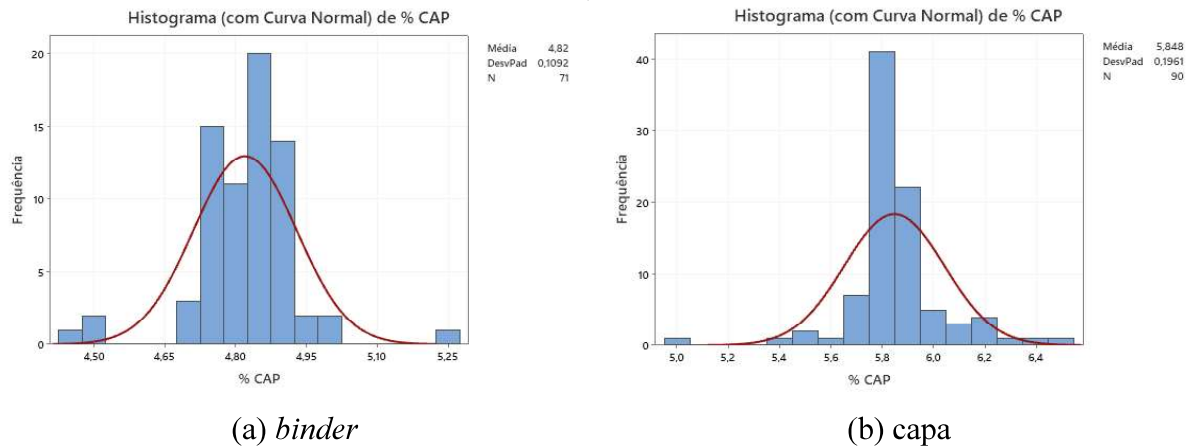
O comportamento apresentado nos histogramas da Figura 3 reforça que grande parte das amostras de % CAP para ambas as camadas permeiam sob o valor central, o que

<sup>1</sup> AD representa o teste de normalidade Anderson-Darling, RJ representa o teste de normalidade Ryan-Joiner e KS representa o teste de normalidade Kolgomorov-Smirnov.

justifica os coeficientes de variação serem pequenos, indicando para pouca variabilidade do parâmetro.

Figura 4, Figura 5, Figura 6 e Figura 7 seguem com ajuste da curva normal para melhor visualização do comportamento dos dados quanto a normalidade.

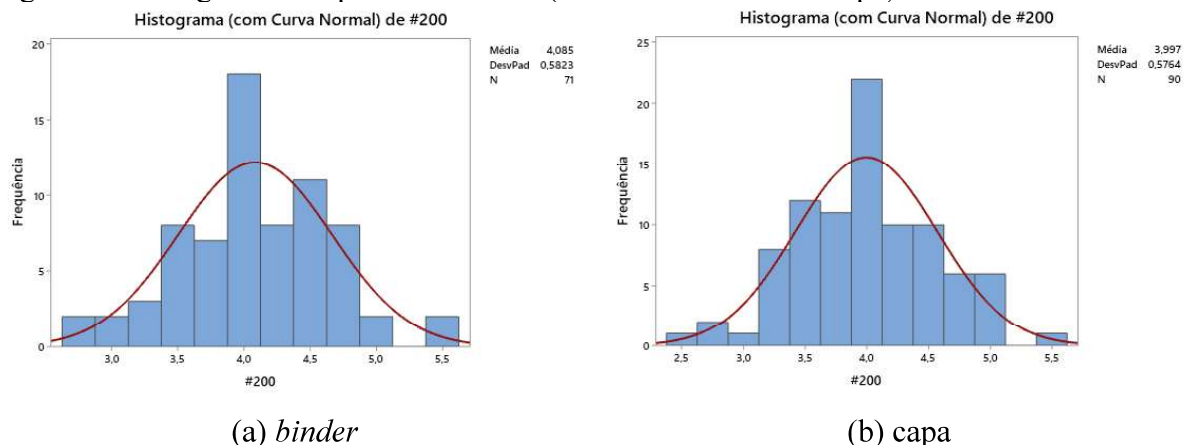
Figura 3 - Histogramas do parâmetro % CAP (camadas de *binder* e capa).



Fonte: Autor (2022).

O comportamento apresentado nos histogramas da Figura 3 reforça que grande parte das amostras de % CAP para ambas as camadas permeiam sob o valor central, o que justifica os coeficientes de variação serem pequenos, indicando para pouca variabilidade do parâmetro.

Figura 4 - Histogramas do parâmetro #200 (camadas de *binder* e capa).



Fonte: Autor (2022).

Já para os histogramas da Figura 4, observa-se uma ocorrência semelhante de valores tanto menores quanto maiores, ascendendo-se ao centro, entre as ocorrências do parâmetro em questão para ambas as camadas, o que reforça a variabilidade do parâmetro.

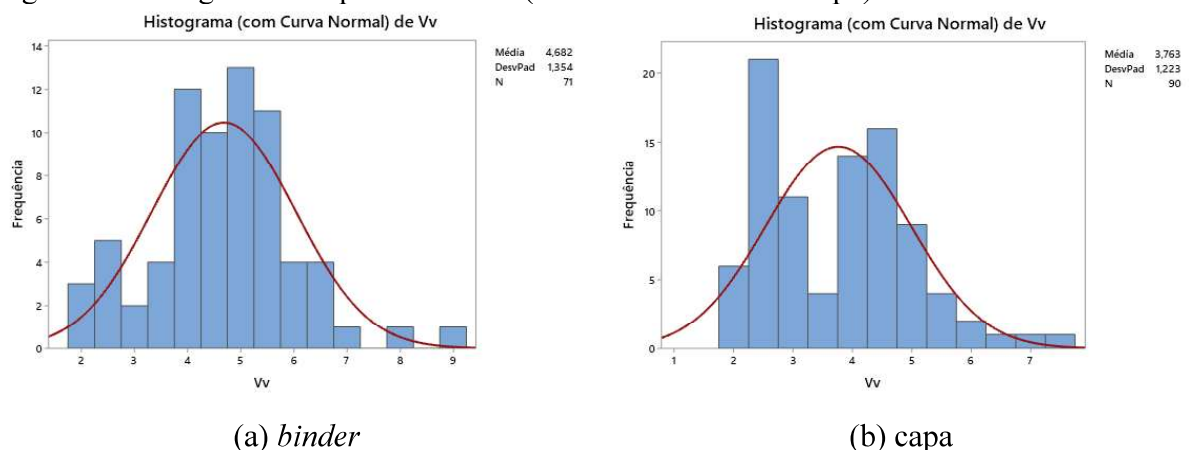
De acordo com Moch (2006), o teor de ligante e a granulometria, representados pelo % CAP e #200 neste trabalho, influenciam expressivamente no comportamento mecânico dos revestimentos asfálticos.

Para o % CAP, em ambas as camadas, os testes de normalidade supõem que este parâmetro está em desacordo com o controle estatístico preconizado na DNER PRO 277/97. Já para #200, ambas as camadas estão dentro dos critérios de normalidade, contudo, com uma variabilidade maior quando comparada ao % CAP à luz dos coeficientes de variação expostos nas Tabelas 10 e 11. Moch (2006) complementa que, mesmo que um parâmetro de qualidade esteja respeitando a faixa de trabalho exigida, apresentar variabilidade significativa de seus dados pode representar comportamentos inesperados nas obras, levando até a uma possível redução da vida útil do pavimento.

Dessa forma, mesmo um parâmetro de qualidade que não segue uma distribuição normal, pode ter um desempenho superior a outro que respeite a distribuição de probabilidade citada, porém com elevada variabilidade.

Os histogramas de Vv são apresentados nas Figuras 5a e 5b.

Figura 5 - Histogramas do parâmetro Vv (camadas de *binder* e capa).



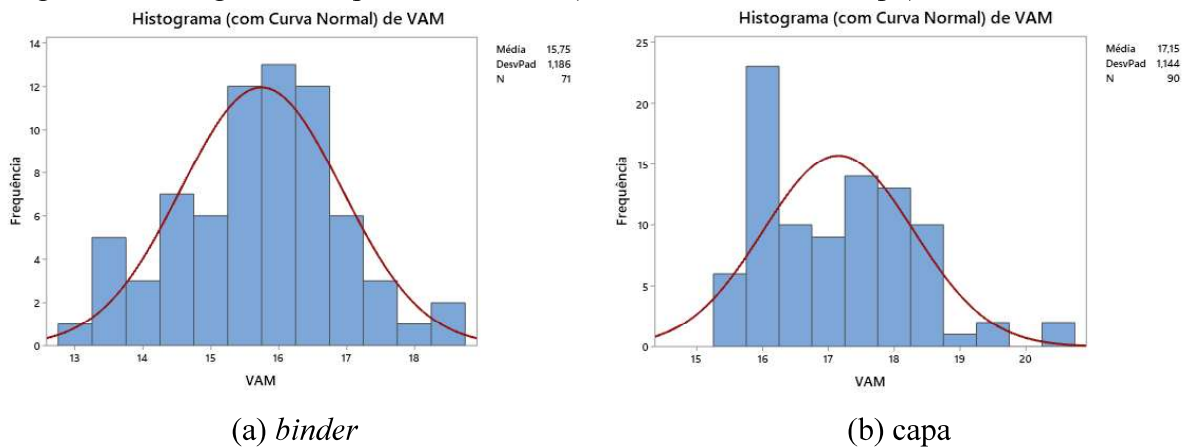
Fonte: Autor (2022).

Especificamente para o Vv, é possível verificar visualmente pela Figura 5a normalidade para a camada de *binder*. É possível extrair que os valores com maior incidência (picos) se encontram no centro da distribuição, ou seja, se aproximam do valor médio (4,68%)

das observações, e vão decrescendo até chegar nas bordas, assim como o método normativo sugere. Comportamento este que não é verificado para a camada da capa, onde o ajuste da curva normal apresenta disparidade com a distribuição dos dados. É possível observar que os picos se encontram afastados à esquerda do valor central (3,76%), indicando assimetria, como mostra a Figura 5b.

O mesmo comportamento para o parâmetro  $V_v$  foi observado para VAM quanto à normalidade. Ou seja, a Figura 6a aponta para dados simétricos e próximos do valor central (15,75%) e o pico de incidência dista à esquerda do valor médio, indicando observações não simétricas na Figura 6b.

Figura 6 - Histogramas do parâmetro VAM (camadas de *binder* e *capa*).

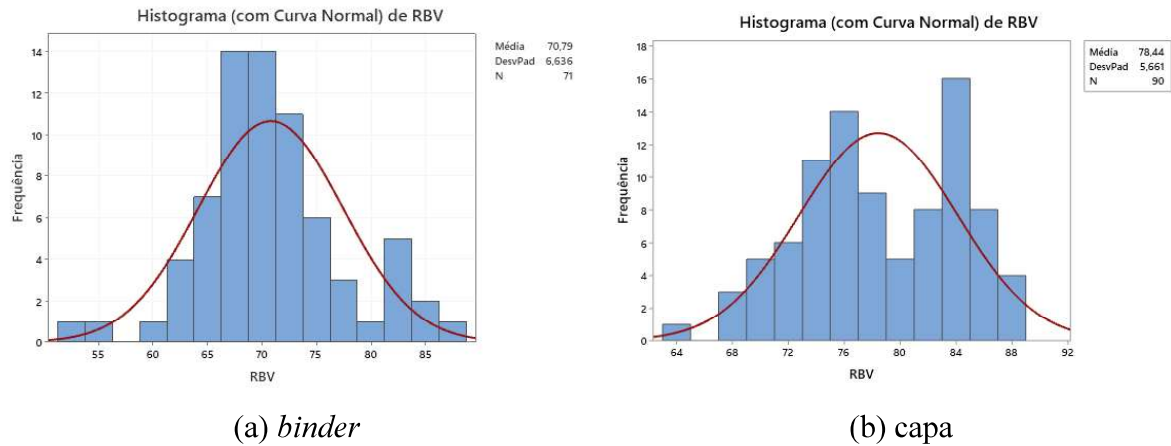


Fonte: Autor (2022).

Já para RBV, o comportamento de normalidade se assemelhou ao % CAP, onde para ambas as camadas, representadas na Figura 7, os dados se apresentaram como não normais.

De acordo com Hunter (2009), vários fatores podem alterar a qualidade final da mistura asfáltica, como a precisão da temperatura no processo de usinagem para garantir o recobrimento completo dos agregados pelo ligante, o transporte realizado por caminhões basculantes que garantam a manutenção da temperatura adequada, além de garantir um tempo entre a usinagem e a aplicação satisfatório, pois quando este critério é negligenciado, resulta em envelhecimento excessivo do material e por fim, a calibração do equipamento de compactação utilizado para garantir uniformidade na aplicação do CBUQ.

Figura 7 - Histogramas do parâmetro RBV (camadas de *binder* e *capa*).



Fonte: Autor (2022).

Aqui cabe salientar pela Figura 7, que a camada de capa apresentou distribuição multimodal dos dados, ou seja, teve mais de um pico de incidência nas observações. Dados multimodais representam que os dados foram coletados a partir de uma metodologia composta por mais de uma condição ou proposta. Deste modo, é possível identificar pelo parâmetro em questão, que ao longo da obra ocorreram práticas distintas relacionadas ao transporte e aplicação do CBUQ, a partir dos valores encontrados para a camada da capa.

### 4.3 Conformidade executiva

Determina-se os percentuais de amostras que apresentaram conformidade com base nos critérios de projeto e auxílio da norma DNIT 031/2006 - ES com relação a % CAP, #200, V<sub>v</sub>, VAM e RBV. As Tabelas 13 e 14 resumem as informações de conformidade e inconformidade para as camadas de revestimento asfáltico.

Tabela 13 - Porcentagem de amostras em conformidade com a norma DNIT 031/2006 - ES.

Parâmetro de qualidade	Conformidades			
	binder (n e %)		capa (n e %)	
% CAP	69	97,18	77	85,56
#200	63	88,73	43	47,78
V <sub>v</sub>	46	64,79	43	47,78
VAM	63	88,73	79	87,78
RBV	36	50,70	31	34,44



Fonte: Autor (2022).

Tabela 14 - Porcentagem de amostras em desacordo com a norma DNIT 031/2006 - ES.

Parâmetro de qualidade	Inconformidades			
	binder (n / %)		capa (n / %)	
% CAP	2	2,82	13	14,44
#200	8	11,27	47	52,22
Vv	25	35,21	47	52,22
VAM	8	11,27	11	12,22
RBV	35	49,30	59	65,56

Fonte: Autor (2022).

Através da evidência que uma grande parcela de inconformidades se fez presente dentre os parâmetros de qualidade analisados, é necessário visualizar se as observações apresentaram valores predominantemente inferiores ou superiores ao estipulado na norma DNIT 031/2006 – ES para compreender os possíveis defeitos que o trecho pôde apresentar baseado nas observações e o que a literatura explicita para estas observações. As Tabelas 15 e 16 evidenciam isso.

Tabela 15 - Observações baseadas nas condições normativas para *binder*.

Parâmetros de Qualidade	Binder					
	Amostras abaixo do VP (n / %)		Amostras coincidentes com VP (n / %)		Amostras acima do VP (n / %)	
% CAP	30	42,25	0	0,00	41	57,75
#200	69	97,18	2	2,82	0	0,00
	Amostras abaixo do LI (n / %)		Amostras entre LI e LS (n / %)		Amostras acima do LS (n / %)	
Vv	18	25,35	46	64,79	7	9,86
VAM	8	11,27	-	-	-	-
RBV	10	14,08	36	50,70	25	35,21

Fonte: Autor (2022).

Tabela 16 - Observações baseadas nas condições normativas para *capa*.

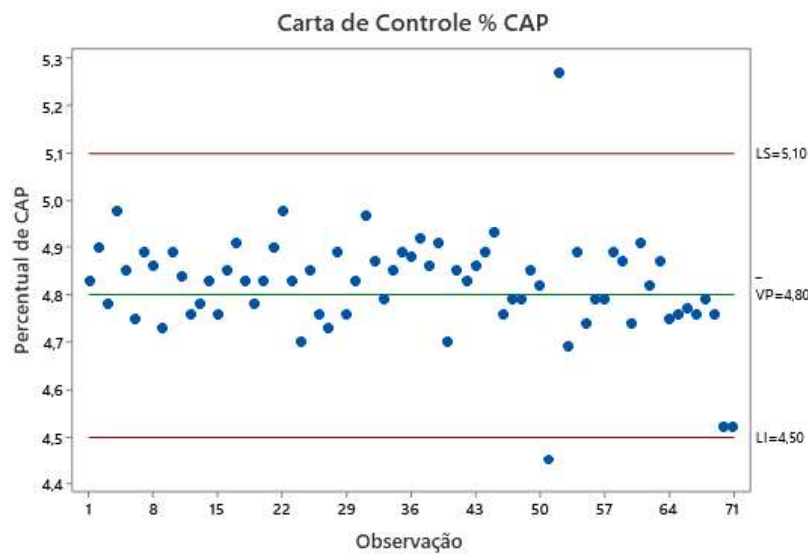
Capa
------

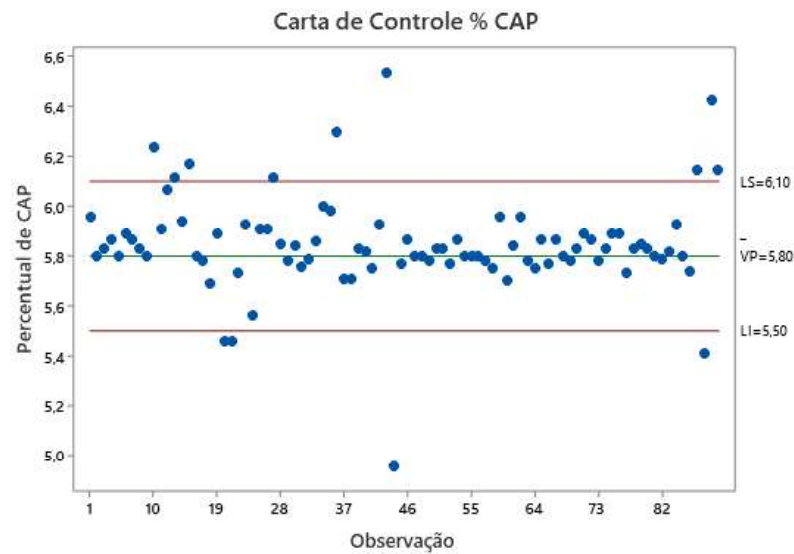
Parâmetros de Qualidade	Amostras abaixo do VP ( <i>n</i> / %)		Amostras coincidentes com VP ( <i>n</i> / %)		Amostras acima do VP ( <i>n</i> / %)	
	% CAP	28	31,11	12	13,33	50
#200	90	100,00	0	0,00	0	0,00
	Amostras abaixo do LI ( <i>n</i> / %)		Amostras entre LI e LS ( <i>n</i> / %)		Amostras acima do LS ( <i>n</i> / %)	
Vv	46	51,11	40	44,44	4	4,44
VAM	11	12,22	-	-	-	-
RBV	26	28,89	31	34,44	33	36,67

Fonte: Autor (2022).

Em adição, é possível representar graficamente a quantidade de valores dentro dos limites impostos normativamente, como também as inconformidades, para os parâmetros de qualidade já citados. Dessa forma, foram montadas cartas de controle amparadas pelos Apêndices A e B de modo a satisfazer os requisitos de projeto para ligante asfáltico % CAP e teor de finos #200, além das tolerâncias exigidas para Vv, VAM e RBV já mencionadas na Tabela 2. As Figuras 8a e 8b evidenciam visualmente a dispersão dos dados em torno do valor de projeto para *binder* e capa respectivamente.

Figura 8 - Cartas de controle do parâmetro % CAP (camadas de *binder* e capa).





(b) capa

Fonte: Autor (2022).

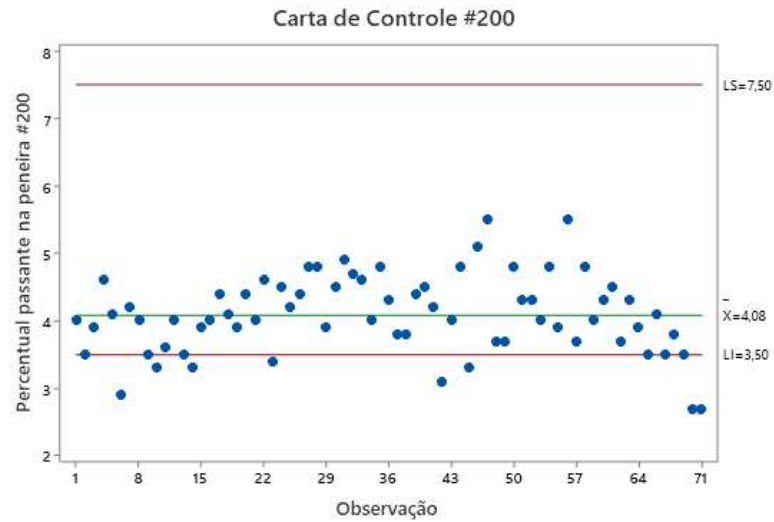
Considerando o parâmetro de qualidade % CAP, é possível verificar pela Tabela 14 que apenas duas observações (2,82%) apresentaram-se em desacordo com a especificação de projeto (4,8%) considerando a tolerância de  $\pm 0,3\%$  preconizada em norma, para a camada de *binder*. A mesma tabela estabelece que para a camada da capa, 13 observações (14,44%) estavam fora do especificado em projeto (5,8%) para a mesma tolerância.

Através da Tabela 15, é possível realizar algumas observações pertinentes quanto a possíveis defeitos no pavimento. O % CAP para a camada de *binder* apresentou 57,75% de seus valores acima do valor de projeto. Ele se observou para % CAP para a camada de capa, onde a Tabela 16 trouxe que 55,56% dos valores estavam acima do especificado em projeto. Isto implica dizer que há excesso de ligante para as observações em ambas as camadas, em alguns subtrechos, como também, há deficiência de ligante em outros.

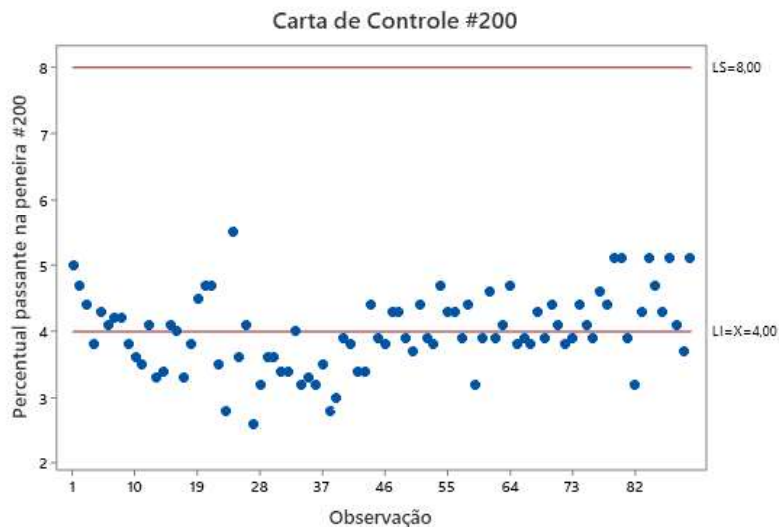
O excesso de ligante pode gerar problemas de deformação permanente por fluência e/ou exsudação, com fechamento da macroestrutura superficial. Do mesmo modo, a deficiência do ligante pode ocasionar um enfraquecimento das massas asfálticas e de sua resistência à formação de trincas (BERNUCCI *et al.*, 2008). Dessa forma, é possível levantar a hipótese para o trecho em questão, que o excesso de ligante betuminoso poderia causar exsudação na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento, como também seria possível o aparecimento de trincas isoladas e interligadas devido a deficiência de ligante.

O controle laboratorial da obra em específico, estabeleceu para o parâmetro de qualidade #200 uma curva granulométrica a ser respeitada. Utiliza-se o valor médio obtido através das tolerâncias da curva granulométrica específica – denominada curva granulométrica de projeto no presente estudo – do controle qualitativo de concreto asfáltico para a obra estudada. Este valor é constante e estipulado como sendo 5,5% para binder e 6% para capa. Em adição, optou-se por representar a carta de controle com as tolerâncias em vermelho de  $\pm 2\%$  em torno dos valores citados anteriormente, além do valor médio em verde para a amostragem de ambas as camadas. As Figuras 9a e 9b demonstram o que foi citado.

Figura 9 - Cartas de controle do parâmetro #200 (camadas de binder e capa).



(a) binder



(b) capa

Fonte: Autor (2022).

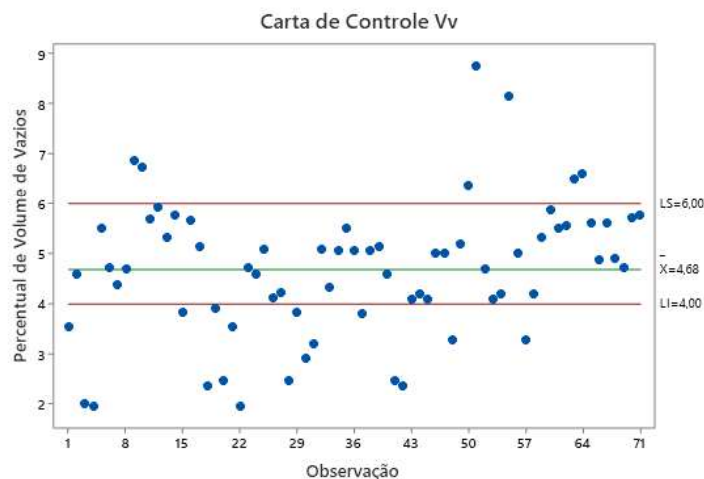
Para #200, a Tabela 14 estabelece que apenas oito observações (11,27%) apresentaram-se em desconformidade com os limites previstos na norma DNIT 031/2006 – ES para a camada de *binder*. Já para a capa, a mesma tabela mostrou um salto expressivo, onde 47 observações (52,22%) encontraram-se fora da tolerância, o que representou mais da metade das observações para a camada estudada.

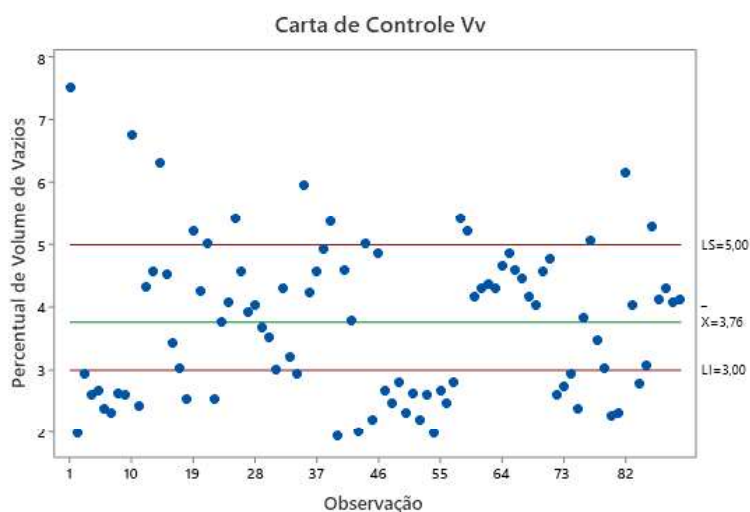
A Tabela 15 apresentou para a camada de *binder* que 69 observações (97,18%) possuíam valor inferior ao da curva granulométrica de projeto. E a Tabela 16 apresentou para a capa que as 90 observações (100%), possuíam também valor inferior ao da curva granulométrica de projeto, evidenciando que os valores estão com orientação abaixo da granulometria esperada para ambas as camadas.

Nogueira (2011) afirma que a quantidade de pó de pedra pode influenciar significativamente no comportamento das massas asfálticas. O excesso de pó de pedra resulta em uma mistura muito rígida, e sua deficiência acarreta uma mistura com baixa coesão entre os materiais constituintes. Deste modo, para uma mistura asfáltica com deficiência de #200, onde a coesão entre os materiais é prejudicada, é possível levantar a hipótese de desgaste do pavimento, uma vez que, este defeito é ocasionado pelo arrancamento progressivo do agregado do pavimento (DNIT, 2003).

Os demais parâmetros de qualidade denominados como volumetria das misturas asfálticas no presente trabalho, não possuíam valor de projeto, e optou-se por discriminar o valor médio encontrado e os limites inferiores LI e superiores LS nas cartas de controle para verificar a dispersão dos dados. Inicialmente são apresentadas as Figuras 10a e 10b de volume de vazios  $V_v$ .

Figura 10 - Cartas de controle do parâmetro  $V_v$  (camadas de *binder* e capa).



(a) *Binder*(b) *capa*

Fonte: Autor (2022).

Com relação ao Vv, a Tabela 14 estabeleceu que 25 observações (35,11%) apresentaram-se em desconformidade com a previsão normativa correspondente para a camada de *binder*. E para a *capa*, a mesma tabela mostrou que 47 amostras (52,22%) encontraram-se fora da tolerância.

Através da Tabela 15, foi possível verificar que as observações em desconformidade para Vv se apresentaram majoritariamente abaixo do mínimo exigido, com 18 amostras (25,35%) para a camada de *binder*. Já a Tabela 16 evidenciou que para a *capa*, 46 observações (51,11%) ficaram abaixo do limite inferior normativo.

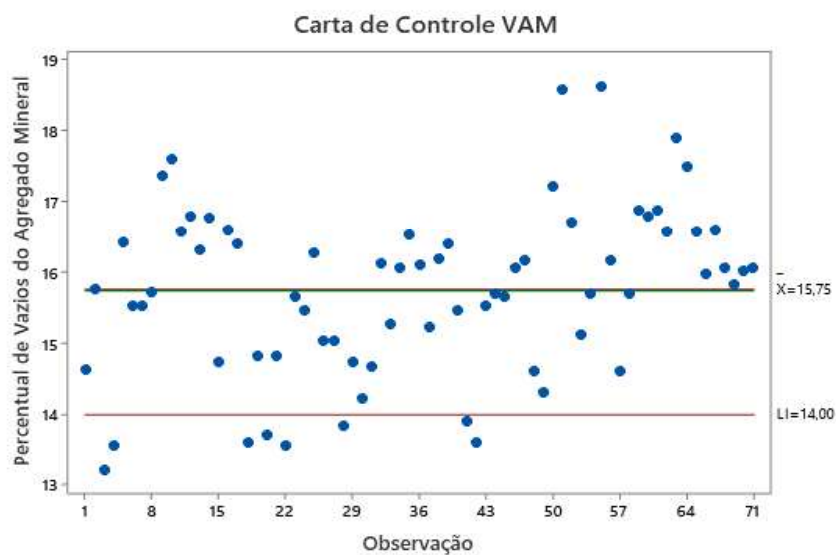
Segundo FHWA (1985), deficiência de vazios implica dizer que o revestimento está muito compactado, e após liberada a rodovia para tráfego, a adição de compactação ocasionada pelos veículos pode resultar em deformações como trilha de roda e escorregamento. Já uma compactação mal executada, pode indicar negligência na compactação ou compactações realizadas em baixas temperaturas. Para o trecho em questão, onde o Vv alcançado em ambas as camadas foi aquém do necessário, é possível dizer que existe a hipótese de aparecimento de escorregamento, fenômeno de deslocamento do CBUQ com indicação de fendas em forma de meia-lua (DNIT, 2003).

Especificamente para o parâmetro de qualidade VAM, a norma só impõe o limite inferior e a conformidade foi avaliada pelos valores acima deste indicador. É apresentado na Figura 11a o valor médio encontrado de 15,75% para a camada de *binder* com um valor mínimo

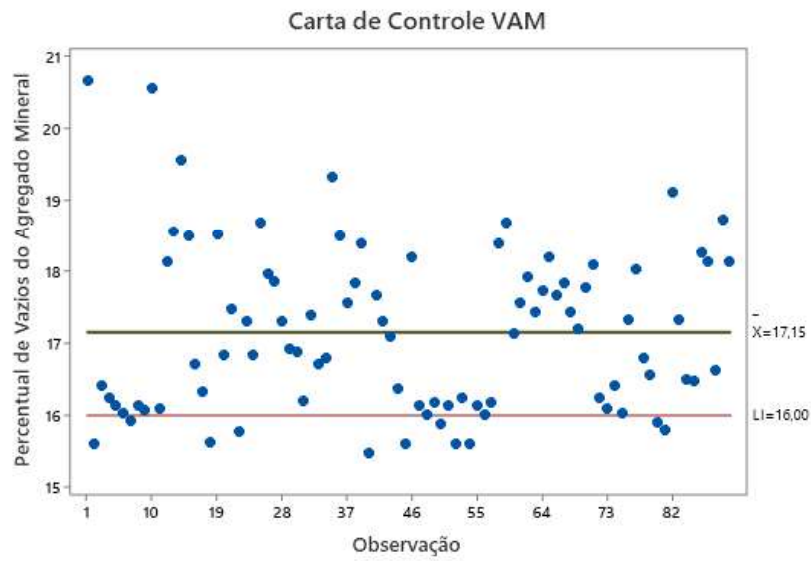
de 14% e 8 observações (11,27%) contidas abaixo deste limite inferior. É apresentado na Figura 11b o valor médio de 17,15% para a capa, como também seu valor mínimo de aceitação de 16% e presença de 11 observações (12,22%) abaixo do valor mínimo aceitável.

Conforme Kandhal (1985), valores altos de VAM permitem a incorporação de mais ligante asfáltico nas misturas, obtendo assim, maior durabilidade sem causar instabilidade. Já Ceratti, *et al.* (2011) estabelece que valores baixos de VAM reduzem a quantidade necessária de ligante asfáltico, podendo acarretar em misturas de baixa flexibilidade com tendência a trincamentos. Logo, apesar de que, para ambas as camadas, poucas amostras apresentaram-se abaixo do mínimo estabelecido em norma, é possível que haja o aparecimento de trincas isoladas. De acordo com DNIT (2003), as trincas podem ser isoladas ou interligadas, e se caracterizam por serem fendas existentes no revestimento asfáltico, com abertura superior a de uma fissura. As considerações realizadas para VAM podem ser melhor visualizadas através das Figuras 11a e 11b a seguir.

Figura 11 - Cartas de controle do parâmetro VAM (camadas de *binder* e capa).



(a) *binder*

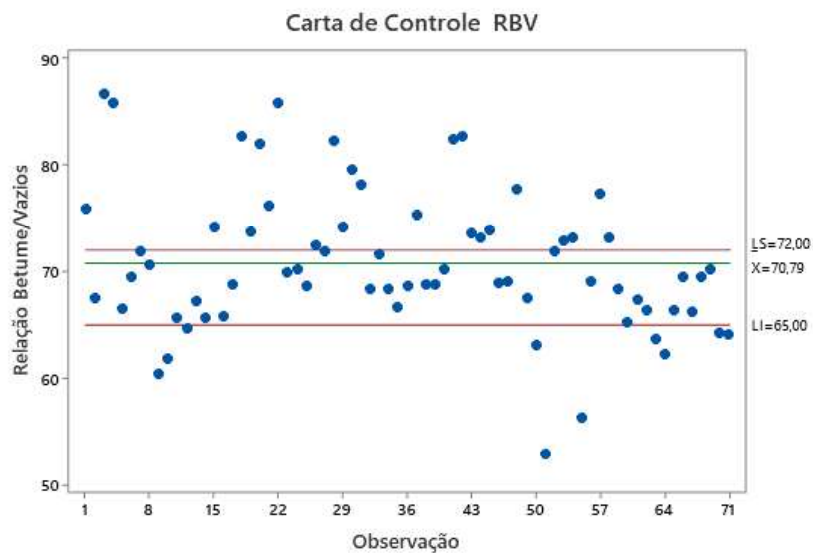


(b) capa

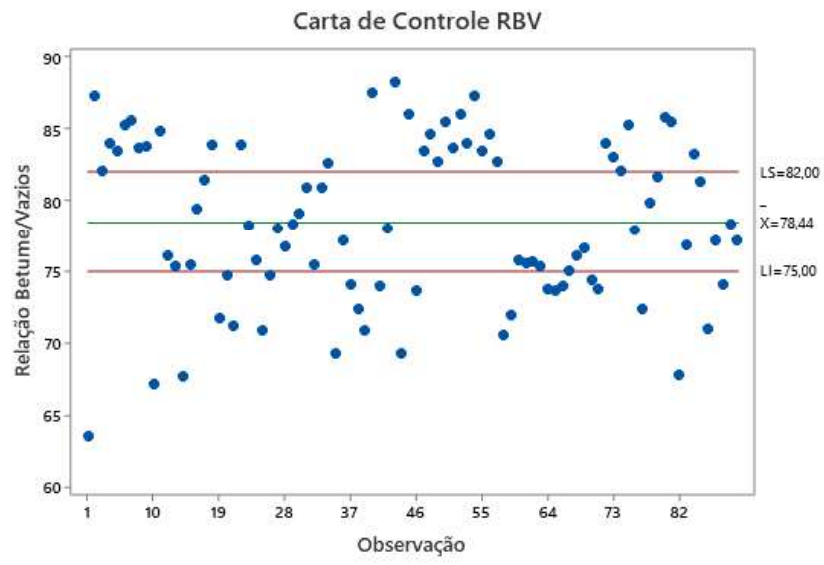
Fonte: Autor (2022).

Por fim, para RBV, a Figura 12a demonstrou um valor médio de 70,79% para a camada de binder, onde 35 observações (49,30%) não seguiam a prerrogativa normativa. Já a Figura 12b da capa evidenciou um valor médio de 78,44% , onde 59 observações (65,56%) estavam em conformidade com a norma.

Figura 12 - Cartas de controle do parâmetro RBV (camadas de *binder* e capa).

(a) *binder*





(b) capa

Fonte: Autor (2022).

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho, avaliou-se a composição da camada de *binder* e capa de um revestimento realizado em concreto betuminoso usinado à quente – CBUQ – a partir de ensaios do controle qualitativo de uma obra real no estado do Ceará. Fez-se uso da norma DNIT 031/2006 – ES para averiguar o grau de conformidade que as observações se apresentaram, além de verificar as premissas básicas de variabilidade e simetria dos dados inerentes ao processo de produção e execução das misturas asfálticas. Além disso, buscou-se apresentar os principais impactos na qualidade e desempenho do revestimento asfáltico de acordo com as deficiências discriminadas no escopo do trabalho.

Seguem elencadas a seguir as principais conclusões extraídas a partir da caracterização da composição do revestimento asfáltico executado em duas camadas – *binder* e capa – referente ao avaliado na presente pesquisa:

- a) Observou-se uma grande variabilidade para as camadas de *binder* e capa do revestimento asfáltico estudado, especialmente para o parâmetro  $V_v$ , que apresentou valores consideráveis de coeficiente de variação, em detrimento dos demais parâmetros em ambas as camadas. Da mesma forma, o parâmetro que apresentou menor variabilidade em ambas as camadas foi o % CAP;
- b) Destacou-se que a hipótese de normalidade proposta pela DNIT 031/2006 – ES foi pouco explorada para os parâmetros apresentados. Apenas 40% dos parâmetros de qualidade obedeceram a condição de simetria requerida pela norma;
- c) Verificou-se a deficiência do controle de qualidade da camada da capa em detrimento do *binder*, mediante o maior número de observações que apresentaram desconformidade com a previsão normativa legal para os parâmetros desenvolvidos ao longo do documento. Em ambas as camadas, o parâmetro mais difícil de controlar foi o RBV;
- d) Evidenciou-se, apesar das iniciativas em prol de melhorar o desempenho dos parâmetros das misturas asfálticas relacionados ao uso, operação e manutenção das vias, que o controle de qualidade em obras rodoviárias brasileiras ainda é um tema muito incipiente e deve ser explorado com mais afinco para se obter um controle irreverente dos parâmetros de qualidade.

## 5.1 Sugestões para trabalhos futuros

A caracterização da composição dos revestimentos asfálticos é um tema de extrema importância para a área da Engenharia de Transportes. Cabe indicar algumas sugestões no que tange ao tema estudado para futuros trabalhos:

- a) Apresentar um controle estatístico mais robusto acerca dos revestimentos asfálticos, explorando outras medidas de controle de qualidade;
- b) Determinar qual distribuição de probabilidade representa bem os parâmetros de qualidade, caso a hipótese de normalidade não seja comprovada;
- c) Avaliar o comportamento dos parâmetros de qualidade ao longo do tempo e compreender como as condições de contorno específicas para um determinado evento impactaram na qualidade final do serviço para aquele subtrecho em foco;
- d) Incluir o mesmo estudo sob outros tipos de revestimento asfáltico flexível, como tratamentos superficiais e microrrevestimento, por exemplo;
- e) Acompanhar em campo e laboratório, as fases de planejamento, execução e controle, dos processos de controle de qualidade da aplicação de revestimentos asfálticos.

## REFERÊNCIAS

- ALDIGUERI, D.R.; SILVEIRA, M.A.; SOARES, J.B. **Estudo comparativo entre compactação manual e automática de misturas asfálticas.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 33., 2001, Florianópolis. Anais... Rio de Janeiro: ABPv, 2001. v. 1, p. 804-813.
- BERNUCCI, L. L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. S. **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro. 2008.
- BUTTS, N. E.; KSAIBATI, K. **Asphalt pavement quality control/quality assurance programs in the United States.** In: TRB 82th Annual Meeting, 2003, Washington DC Proc... Washington DC: TRB, 2003 (CD-ROM).
- CERATTI, Jorge Augusto Pereira; DE REIS, Rafael Marçal Martins. **Manual de dosagem de concreto asfáltico.** Oficina de Textos, 2011.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Conjuntura do transporte: Investimentos da União e das Concessionárias em infraestrutura de transporte.** Brasília. CNT, 2021.
- DEMING, W. E. **Qualidade: a revolução da administração.** [S. l.: s. n.], 1990.
- DNER-PRO 277/97. NORMA DNER-PRO 277/97 – **Metodologia para controle estatístico de obras e serviços.** Rio de Janeiro: DNER, 1997.
- DNIT 005/2003 – TER. NORMA DNIT 005 – TER **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia.** Rio de Janeiro: DNIT, 2003.
- DNIT 011/2004 – PRO. NORMA DNIT 011/2004 – PRO **Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento.** Rio de Janeiro: DNIT, 2004.
- DNIT 031/2006 – ES. NORMA DNIT 031/2006 – ES **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro: DNIT, 2006.
- DNIT 412/2019 – ME. NORMA DNIT 412/2019 – ME **Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio.** Rio de Janeiro: DNIT, 2019.
- DNIT (Ceará). Instituição. **Mapa de Condição de Manutenção Rodoviária: ICM Ceará.** Ceará: DNIT, 2022. 1 mapa. Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/mapa-de-gerenciamiento/mapas-de-condicao-da-manutencao-icm-maio-2022/074-1-mapa\\_ce\\_icm.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/rodovias/mapa-de-gerenciamiento/mapas-de-condicao-da-manutencao-icm-maio-2022/074-1-mapa_ce_icm.pdf). Acesso em: 2 set. 2022.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **FWHA-ED-88-028 HOT-MIX BITUMINOUS PAVING MANUAL.** U. S. Department of Transportation, 1985.
- GARVIN, D. A. **Gerenciando a qualidade a visão estratégica e competitiva.** 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

ISHIKAWA, K. **Controle de qualidade total a maneira japonesa**. Rio de Janeiro: Campus, 1993.

HUNTER, A. E.; MCGREAVY, L.; AIREY, G. D. (2009) **Effect of compaction mode on the mechanical performance and variability of asphalt mixtures**. Journal of Transportation Engineering, v. 135, No.11, p. 839-851.

KANDHAL, Prithvi S.; KOEHLER, William S. **Marshall mix design method: current practices**. In: Association of Asphalt Paving Technologists Proc. 1985.

LOPES, Manuela de Mesquita; CASTELO BRANCO, Verônica Teixeira Franco; SOARES, Jorge Barbosa. **Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação**. Transportes, São Paulo-SP, v. 21, n. 1 p. 59–66, 2013.

NBR Iso 9000. ISO 9000:2015 **Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

NETO, B. B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R E. **Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. 2ª ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

MARSHALL JUNIOR, Isnard *et al.* **Gestão da qualidade**. 10. ed. Rio de Janeiro: Editora Fgv, 2010. 35 p.

MOCH, Tiago. **Avaliação da variabilidade do teor de ligante e da granulometria de misturas asfálticas empregadas no pavimento de uma rodovia**. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18., 2006, Porto Alegre. Engenharias. Porto Alegre: Ufrgs, 2006. p. 314-314.

MOTTA, L.M.G. **Contribuição para a estimativa do módulo resiliente de misturas asfálticas**. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 14., 1998, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: IBP, 1998.

NOGUEIRA, Matheus Lemos. **Avaliação do controle de qualidade de misturas asfálticas e análise do reflexo do nível de qualidade no desempenho dos revestimentos asfálticos**. 2011. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Geotecnia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

NASCIMENTO, Luis Alberto Herrmann. **Nova abordagem da dosagem de misturas asfálticas densas com uso do compactador giratório e foco na deformação permanente**. 2008. 227 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

WHITE, T.D. **Marshall procedures for design and quality control of asphalt mixtures**. Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists Technical Sessions, San Antonio, v. 54, 1985.

**APÊNDICE A – BANCO DE DADOS DA CAMADA DE BINDER**

<i>n</i>	% CAP	200	Vv	VAM	RBV	<i>n</i>	% CAP	200	Vv	VAM	RBV
1	4,83	4,00	3,53	14,63	75,87	37	4,92	3,80	3,80	15,23	75,27
2	4,90	3,50	4,60	15,77	67,53	38	4,86	3,80	5,07	16,20	68,80
3	4,78	3,90	2,00	13,20	86,67	39	4,91	4,40	5,13	16,40	68,77
4	4,98	4,60	1,93	13,57	85,80	40	4,70	4,50	4,60	15,47	70,27
5	4,85	4,10	5,50	16,43	66,53	41	4,85	4,20	2,47	13,90	82,40
6	4,75	2,90	4,73	15,53	69,57	42	4,83	3,10	2,37	13,60	82,67
7	4,89	4,20	4,37	15,53	71,90	43	4,86	4,00	4,10	15,53	73,67
8	4,86	4,00	4,70	15,73	70,57	44	4,89	4,80	4,20	15,70	73,20
9	4,73	3,50	6,87	17,37	60,47	45	4,93	3,30	4,10	15,67	73,97
10	4,89	3,30	6,73	17,60	61,80	46	4,76	5,10	5,00	16,07	68,93
11	4,84	3,60	5,70	16,57	65,63	47	4,79	5,50	5,00	16,17	69,03
12	4,76	4,00	5,93	16,80	64,70	48	4,79	3,70	3,27	14,60	77,70
13	4,78	3,50	5,33	16,33	67,30	49	4,85	3,70	5,20	14,30	67,50
14	4,83	3,30	5,77	16,77	65,63	50	4,82	4,80	6,37	17,23	63,13
15	4,76	3,90	3,83	14,73	74,13	51	4,45	4,30	8,77	18,60	52,90
16	4,85	4,00	5,67	16,60	65,83	52	5,27	4,30	4,70	16,70	71,90
17	4,91	4,40	5,13	16,40	68,77	53	4,69	4,00	4,10	15,13	72,97
18	4,83	4,10	2,37	13,60	82,67	54	4,89	4,80	4,20	15,70	73,20
19	4,78	3,90	3,90	14,83	73,73	55	4,74	3,90	8,17	18,63	56,23
20	4,83	4,40	2,47	13,70	82,03	56	4,79	5,50	5,00	16,17	69,03
21	4,90	4,00	3,53	14,83	76,17	57	4,79	3,70	3,27	14,60	77,37
22	4,98	4,60	1,93	13,57	85,80	58	4,89	4,80	4,20	15,70	73,20
23	4,83	3,40	4,73	15,67	69,90	59	4,87	4,00	5,33	16,87	68,43
24	4,70	4,50	4,60	15,47	70,27	60	4,74	4,30	5,87	16,80	65,30
25	4,85	4,20	5,10	16,27	68,67	61	4,91	4,50	5,50	16,87	67,40
26	4,76	4,40	4,13	15,03	72,47	62	4,82	3,70	5,57	16,57	66,43
27	4,73	4,80	4,23	15,03	71,90	63	4,87	4,30	6,50	17,90	63,70
28	4,89	4,80	2,47	13,83	82,23	64	4,75	3,90	6,60	17,50	62,23
29	4,76	3,90	3,83	14,73	74,13	65	4,76	3,50	5,60	16,57	66,33
30	4,83	4,50	2,90	14,23	79,63	66	4,77	4,10	4,87	15,97	69,57
31	4,97	4,90	3,20	14,67	78,23	67	4,76	3,50	5,60	16,60	66,27
32	4,87	4,70	5,10	16,13	68,37	68	4,79	3,80	4,90	16,07	69,53
33	4,79	4,60	4,33	15,27	71,67	69	4,76	3,50	4,73	15,83	70,20
34	4,85	4,00	5,07	16,07	68,43	70	4,52	2,70	5,73	16,03	64,23
35	4,89	4,80	5,50	16,53	66,73	71	4,52	2,70	5,77	16,07	64,10
36	4,88	4,30	5,07	16,10	68,67						

**APÊNDICE B – BANCO DE DADOS DA CAMADA DA CAPA**

<i>n</i>	% CAP	200	Vv	VAM	RVB	<i>n</i>	% CAP	200	Vv	VAM	RVB
1	5,96	5,00	7,53	20,67	63,53	46	5,87	3,80	4,87	18,20	73,63
2	5,80	4,70	1,97	15,60	87,33	47	5,80	4,30	2,67	16,13	83,50
3	5,83	4,40	2,93	16,40	82,13	48	5,80	4,30	2,47	16,00	84,63
4	5,87	3,80	2,60	16,23	84,00	49	5,78	3,90	2,80	16,17	82,73
5	5,80	4,30	2,67	16,13	83,50	50	5,83	3,70	2,30	15,87	85,53
6	5,89	4,10	2,37	16,03	85,27	51	5,83	4,40	2,63	16,13	83,67
7	5,87	4,20	2,30	15,93	85,63	52	5,77	3,90	2,20	15,60	85,97
8	5,83	4,20	2,63	16,13	83,67	53	5,87	3,80	2,60	16,23	84,00
9	5,80	3,80	2,60	16,07	83,83	54	5,80	4,70	1,97	15,60	87,33
10	6,24	3,60	6,77	20,57	67,20	55	5,80	4,30	2,67	16,13	83,50
11	5,91	3,50	2,43	16,10	84,90	56	5,80	4,30	2,47	16,00	84,63
12	6,07	4,10	4,33	18,13	76,10	57	5,78	3,90	2,80	16,17	82,73
13	6,12	3,30	4,57	18,57	75,40	58	5,75	4,40	5,43	18,40	70,53
14	5,94	3,40	6,33	19,57	67,67	59	5,96	3,20	5,23	18,70	72,00
15	6,17	4,10	4,53	18,50	75,53	60	5,70	3,90	4,17	17,13	75,77
16	5,80	4,00	3,43	16,70	79,47	61	5,84	4,60	4,30	17,57	75,57
17	5,78	3,30	3,03	16,33	81,43	62	5,96	3,90	4,37	17,93	75,67
18	5,69	3,80	2,53	15,63	83,90	63	5,78	4,10	4,30	17,43	75,40
19	5,89	4,50	5,23	18,53	71,77	64	5,75	4,70	4,67	17,73	73,77
20	5,46	4,70	4,27	16,83	74,73	65	5,87	3,80	4,87	18,20	73,63
21	5,46	4,70	5,03	17,47	71,20	66	5,77	3,90	4,60	17,67	74,00
22	5,73	3,50	2,53	15,77	83,93	67	5,87	3,80	4,47	17,83	75,00
23	5,93	2,80	3,77	17,30	78,23	68	5,80	4,30	4,17	17,43	76,10
24	5,56	5,50	4,07	16,83	75,83	69	5,78	3,90	4,03	17,20	76,60
25	5,91	3,60	5,43	18,70	70,90	70	5,83	4,40	4,57	17,77	74,37
26	5,91	4,10	4,57	17,97	74,70	71	5,89	4,10	4,77	18,10	73,73
27	6,12	2,60	3,93	17,87	78,03	72	5,87	3,80	2,60	16,23	84,00
28	5,85	3,20	4,03	17,30	76,73	73	5,78	3,90	2,73	16,10	83,07
29	5,78	3,60	3,67	16,93	78,40	74	5,83	4,40	2,93	16,40	82,13
30	5,84	3,60	3,53	16,87	79,10	75	5,89	4,10	2,37	16,03	85,27
31	5,76	3,40	3,00	16,20	80,90	76	5,89	3,90	3,83	17,33	77,90
32	5,79	3,40	4,30	17,40	75,47	77	5,73	4,60	5,07	18,03	72,37
33	5,86	4,00	3,20	16,70	80,90	78	5,83	4,40	3,47	16,80	79,80
34	6,00	3,20	2,93	16,80	82,57	79	5,85	5,10	3,03	16,57	81,67
35	5,98	3,30	5,97	19,33	69,27	80	5,83	5,10	2,27	15,90	85,83
36	6,30	3,20	4,23	18,50	77,17	81	5,80	3,90	2,30	15,80	85,50
37	5,71	3,50	4,57	17,57	74,13	82	5,79	3,20	6,17	19,13	67,80
38	5,71	2,80	4,93	17,83	72,37	83	5,82	4,30	4,03	17,33	76,87
39	5,83	3,00	5,37	18,40	70,93	84	5,93	5,10	2,77	16,50	83,23
40	5,82	3,90	1,93	15,47	87,53	85	5,80	4,70	3,07	16,47	81,37
41	5,75	3,80	4,60	17,67	74,03	86	5,74	4,30	5,30	18,27	71,03
42	5,93	3,40	3,80	17,30	78,03	87	6,15	5,10	4,13	18,13	77,23
43	6,54	3,40	2,00	17,10	88,30	88	5,41	4,10	4,30	16,63	74,13
44	4,95	4,40	5,03	16,37	69,33	89	6,43	3,70	4,07	18,73	78,40
45	5,77	3,90	2,20	15,60	85,97	90	6,15	5,10	4,13	18,13	77,23