

A IMPORTÂNCIA DO CONTROLE TECNOLÓGICO EM CAMPO DO CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ) NAS RODOVIAS DE MATO GROSSO

VICTOR JULIANI DE QUEIROZ¹
VINICIUS GONSALES DIAS²
ANDRÉIA ALVES BOTIN³

RESUMO: O presente trabalho refere-se à importância do controle tecnológico em campo do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) nas rodovias de Mato Grosso, considerada a mais comum e tradicional mistura asfáltica a quente empregada no país, seja pelos materiais utilizados em sua fabricação ou também pelo controle tecnológico exigidos em sua execução. O presente artigo tem como objetivo demonstrar o controle tecnológico da usinagem do concreto asfáltico e é composto de ensaios práticos e usuais do traço, utilizando métodos pertencentes à norma regulamentada pelas normas do (DNIT), na qual se determina as características volumétricas da mistura e propriedades como estabilidade e resistência à tração através da compressão diametral. O método de pesquisa foi o de cunho descritivo, básico, bibliográfico, por meio de um estudo de caso, realizado em campo do CBUQ na pavimentação de rodovias do estado do Mato Grosso no ano de 2023. Foi possível concluir que a usinagem atende ao projeto e a especificação de serviço DNIT 031/2006 – ES. Logo, a mistura pode seguir para execução do serviço de conservação e manutenção da MT- 220 com alto padrão de qualidade.

PALAVRAS-CHAVE: Acompanhamento; Controle de materiais; Análise das amostras.

THE IMPORTANCE OF TECHNOLOGICAL CONTROL IN THE FIELD OF HOT MIX ASPHALT (CBUQ) ON THE HIGHWAYS OF MATO GROSSO

ABSTRACT: This work refers to the importance of technological control in the field of hot machined bituminous concrete (CBUQ) on the highways of Mato Grosso, considered the most common and traditional hot asphalt mix used in the country, either due to the materials used in its manufacture or also due to the technological control required in its execution. This article aims to demonstrate the technological control of asphalt concrete machining and is composed of practical and usual tests of the mix using methods belonging to the standard regulated by the (DNIT) standards. Where the volumetric characteristics of the mixture and properties such as stability and tensile strength are determined through diametrical compression. The research method was descriptive, basic, bibl, through a case study, carried out in the CBUQ field in the paving of highways in the state of Mato Grosso in the year 2023. It was possible to conclude that the machining meets the project and the DNIT 031/2006 – ES service specification. Therefore, the mixture can be used to carry out

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe – UNIFASIFE. Endereço eletrônico: victorjuliane2000@gmail.com

² Professor Mestre; Ciências Ambientais, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe – UNIFASIFE. Endereço eletrônico: viniciusgonsalesdias@gmail.com

³ Professora Doutora, em Biotecnologia e Biodiversidade, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Fasipe – UNIFASIFE. Endereço eletrônico: andreia.botin@yahoo.com.br

conservation and maintenance services for the MT-220 with a high quality standard.

KEYWORDS: Monitoring; Material control; Sample analysis

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, as rodovias colaboram no desenvolvimento socioeconômico do país, pois são utilizadas para transportes de insumos, importação, exportação e, inclusive viagens a passeio. Por esse uso contínuo, a maioria dos serviços de pavimentação das rodovias brasileiras refere-se à conservação e manutenção da mesma, afinal, as patologias geradas podem prejudicar a superfície de rolamento, privando os usuários de segurança e bem-estar. (BALBO, 2007).

A malha rodoviária do estado do Mato Grosso, por possuir estradas que atravessam o Brasil e ser classificada como uma rota para a economia, requer alguns cuidados com a restauração dos pavimentos, pois não basta apenas a restauração da rodovia, mas é necessário maior atenção quanto à qualidade do asfalto desde o processo de usinagem, verificando se as especificações tanto do material como o da mistura estão sendo atendidas, de forma a garantir um serviço bem executado (DNIT, 2003).

Uma pavimentação de qualidade é um serviço de suma importância à infraestrutura rodoviária de um estado, em especial ao do Mato Grosso pelo seu tráfego intenso. Para melhor entendimento, os pavimentos são classificados como estruturas que devem ser capazes de suportar esforços e ações climáticas e que são formados por camadas de agregados. Segundo Bernucci et al. (2008), a definição de pavimento são estruturas de múltiplas camadas, sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática.

Todas as estruturas de um pavimento têm sua importância na infraestrutura de uma rodovia, mas o revestimento asfáltico, ou também classificado como capa, possui maior relevância, pois proporciona o conforto e segurança da via por meio do acabamento realizado. No estado do Mato Grosso, as rodovias apresentam pavimentos flexíveis, os quais comportam um revestimento betuminoso, cujos materiais utilizados são o asfalto, formando a camada de revestimento, um material granular que compõe a base e outro material granular (podendo ser o próprio solo) que forma a sub-base (MOTTA; 2011).

Diante desse contexto, foi necessário realizar um estudo o qual visa demonstrar um estudo tecnológico em campo para o uso do CBUQ, pelo método Marshall, que obedece a parâmetros e diretrizes, e verificar se dessa forma é possível colaborar em reduzir erros e falhas mediante a pavimentação das rodovias do estado do MT. A problemática que surge é compreender se é possível obter benefícios de um estudo tecnológico em campo do CBUQ, com o método Marshall.

Sendo assim, o processo de revestimento asfáltico, que é a parte de acabamento da pavimentação, o qual se faz o uso do concreto betuminoso usinado a quente, necessita de uma análise em sua composição para que não ocorra a ruptura prematura do pavimento, gerando patologias como trincas, panelas, afundamentos plásticos, entre outras (SPECHT, 2004).

Portanto, este trabalho teve como objetivo demonstrar a importância de um estudo tecnológico do CBUQ, por meio do método Marshall para evitar os processos de deterioração, com o surgimento de patologias ocasionadas pela carência de estudos em campo das rodovias do estado do MT.

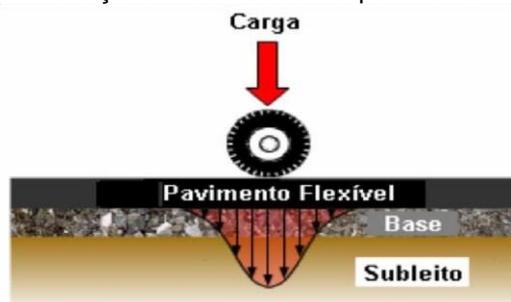
2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. As rodovias do Mato Grosso

No Brasil, em comparação a outros meios de mobilidade, o transporte rodoviário possui uma grande demanda, especialmente após os anos 50 com o início da indústria automobilística e a necessidade de importar ou exportar suas produções e acessórios, necessitando desta forma, da construção de pavimentos (BALBO, 2007). Como dito anteriormente, a principal função do pavimento é permitir o tráfego seguro e satisfatório em todo seu ciclo útil de vida (DNIT, 2003). Sendo assim, a definição dos pavimentos das estradas do MT e suas principais patologias passam a ser de suma importância para o entendimento da pesquisa.

O pavimento flexível possui essa denominação por apresentar algo, que no meio rodoviário, é chamado de deflexão. Em suma, esse tipo de pavimento tem a capacidade de deformação elástica dividindo as tensões e esforços exercidos pela rodagem, de forma equivalente entre as mesmas, como pode-se observar na figura 1. De acordo com o DNIT (2006), “São aqueles em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas”.

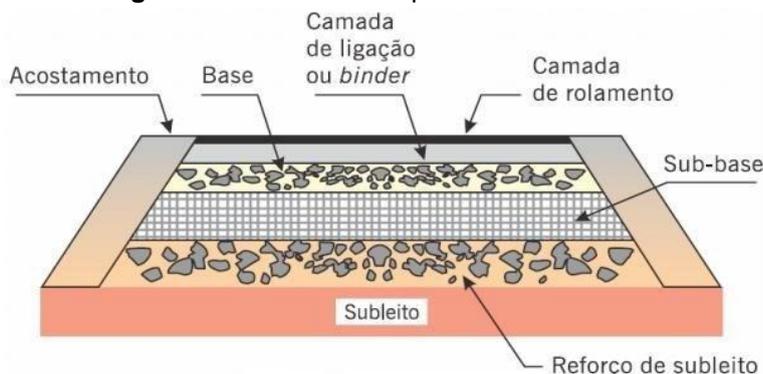
Figura 1: Esforço em camadas no pavimento flexível.



Fonte: Balbo (2007).

As camadas estruturais são devidamente sobrepostas acima da camada de subleito, que apresenta a menor resistência comparada a camadas mais nobres, como a camada de base e o revestimento (SENÇO, 1997). Na figura 2 é possível ver com mais clareza como seria essa composição do pavimento flexível.

Figura 2: Camadas do pavimento flexível



Fonte: Bernucci et al. (2008).

A função de cada camada é interligada com as outras para que haja a

funcionalidade da uniformidade no comportamento do pavimento. Como descrito anteriormente, o pavimento flexível possui em sua composição material asfáltico (aglutinantes), agregado graúdo (pedra ou seixo rolado) e agregado miúdo (areia ou pó-de-pedra) (DNIT, 2006).

Sendo assim, Silva (2008) diz que as patologias que podem ocorrer nesse tipo de pavimento são de deformações de corrugação e afundamento, desgaste do asfalto, deslizamento do betume, trincas e fissuras causadas por retração térmica. Em outras palavras, os danos neste tipo de pavimento, ocorrem, em sua maioria, no revestimento asfáltico não tendo problemas com a estrutura toda. Desse modo, é necessária a escolha correta do material que será utilizado neste revestimento a depender do local da rodovia.

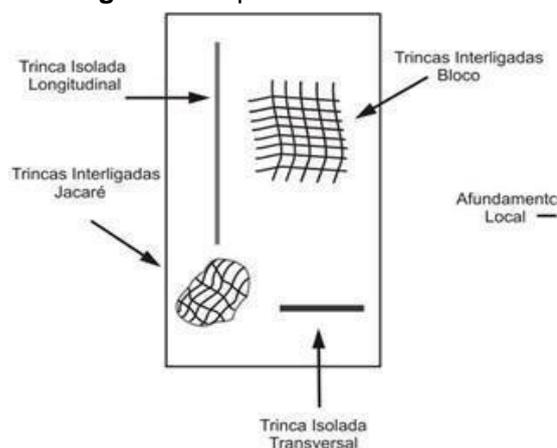
Hoje, no estado do Mato Grosso, por existir uma grande demanda no tráfego, principalmente de caminhões, diariamente, a manutenção e conservação da malha rodoviária é algo primordial para o desenvolvimento econômico e social, além de oferecer segurança à

população no geral. “Sem estradas adequadas não apenas continuaremos a ser uma região forado espectro das nações desenvolvidas, como também continuaremos a ser um País que não oferece acesso adequado de bens para sua população” (BALBO, 2007).

Nas rodovias do Mato Grosso, as principais patologias encontradas pelo fluxo intenso de caminhões ou mesmo veículos de passeios são os trincamentos e panelas. É possível observar, como exemplo a BR163 – MT que apresenta trechos com esse tipo de problema. De acordo com Cunha et al. (2006), no trecho compreendido entre o quilômetro 145 e o quilômetro 595, especificamente em Nova Mutum, foram identificados problemas no revestimento, incluindo trincamentos, panelas e afundamentos plásticos, demandando a realização de remendos superficiais.

De acordo com as figuras 3, 4 e 5 é possível observar de forma clara para melhor entendimento os tipos de patologias existentes na malha rodoviária do estado do MT.

Figura 3 – Tipos de Trincas



Fonte: DNIT, 2003.

Figura 4 – Panela ou Buraco.



Fonte: DNIT, (2003)

Figura 5 – Afundamento Plástico.



Fonte: DNIT, (2003)

2.2. Revestimentos asfálticos

O revestimento asfáltico de uma rodovia é a camada superior a qual é responsável em distribuir as cargas aplicadas para as demais camadas do pavimento. Também é ela que suporta as intempéries do clima, como mudanças de temperatura e umidade. Segundo Bernucci et al. “os pavimentos são estruturas de múltiplas camadas, sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática” (BERNUCCI et al.2008).

Sendo assim, o revestimento asfáltico de um pavimento consiste na junção de uma mistura de agregados (areia, pedra, pedregulho) e um ligante específico segundo a demanda do local, clima, entre outros, de onde o pavimento será construído podendo este ser fabricado conforme a exigência do momento. “O material de revestimento pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais)” (BERNUCCI et al., 2008).

Logo a seguir, serão apresentadas características do revestimento asfáltico por mistura a quente classificado como CA (concreto asfáltico) ou CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente).

Os revestimentos asfálticos usinados a quente tem como característica principal o aquecimento a altas temperaturas tanto dos agregados que o compõe, quanto do ligante. Além disso, o processo de usinagem é feito, em geral, em temperaturas bastante elevadas, na ordem de 150°C a 180°C (MOTTA, 2011) e sua aplicação não deve acontecer em dias chuvosos ou/e com temperaturas abaixo de 10°C.

Um dos revestimentos asfálticos mais utilizados nos pavimentos flexíveis no Brasil e, também nas rodovias do estado do MT é o CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente). Segundo Senço (2007), o CBUQ, é o mais distinto dos revestimentos flexíveis, decorrente de uma mistura a quente de agregados e material betuminoso, é um dos tipos de revestimentos asfálticos mais utilizados nas vias urbanas e rodovias brasileiras.

Normalmente é composto por agregados junto com o CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo), agregado ligante oriundo da destilação do petróleo. Essa mistura é realizada a quente em uma usina de asfalto e transportada até o local da aplicação por transportes preparados e equipados, em que é lançado por uma vibro acabadora e, após seu lançamento, a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada (SENÇO, 2007).

Seu controle tecnológico, no que se trata de granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios, temperatura e equipamentos é bem rigoroso. Por existirem 3 (três) divisões de graduação de agregados (figura 4) em uma mistura a quente, o CBUQ torna-se o mais adequado aos pavimentos flexíveis do estado do Mato Grosso, afinal, o

tráfego contínuo exige um revestimento resistente. Bernucci et al. (2008) explica as divisões segundo as graduações, no quadro 1:

Quadro 1: Divisões das graduações de agregados.

Graduação densa	Curva granulométrica contínua e bem-graduada de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA);
Graduação aberta	Curva granulométrica uniforme com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, com o objetivo de tornar a mistura com elevado volume de vazios com ar e, portanto, drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica. Exemplo: mistura asfáltica drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA);
Graduação descontínua	Curva granulométrica com proporcionamento dos grãos de maiores dimensões em quantidade dominante em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Exemplo: matriz pétreo asfáltica (<i>stone matrix asphalt</i> – SMA); mistura sem agregados de certa graduação (<i>gap-graded</i>).

Fonte: Bernucci et al. (2008).

Uma das razões para que o CBUQ seja o mais utilizado entre os revestimentos asfálticos a quente é porque o mesmo apresenta uma graduação densa o que permite ser mais aderente ao pavimento, tendo assim, uma vida útil maior. O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) ainda pode possuir diversas frações de agregados que o compõe, mas sempre respeitando a premissa de não existir quase espaços vazios podendo, inclusive, ser classificado como bem graduada e/ou contínua como mostrado na figura 6.

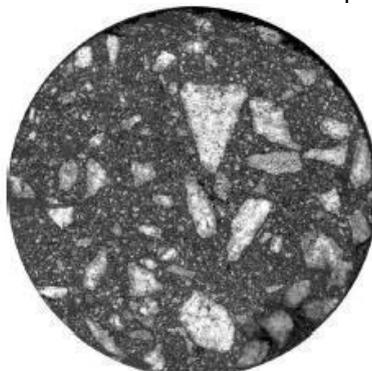
Figura 6: Exemplo de várias frações de agregados e filer que compõem um concreto asfáltico – mistura densa ou bem-graduada e contínua.



Fonte: Bernucci et al. (2008).

Ainda segundo o DNIT (2006), para que o ligante possa envolver os agregados, é necessário que ambos sejam aquecidos, chegando aos valores de viscosidade especificados em norma. Para tanto, as temperaturas variam entre 107°C e 177°C, em função do tipo de ligante usado. A figura 7 pode exemplificar como a graduação densa fica em corpo de prova ao seguir todas as especificações exigidas pelo DNIT (031/2006 – ES).

Figura 7: Mistura asfáltica densa do tipo CBUQ.



Fonte: Senço (2001).

2.3. Benefícios do estudo tecnológico em campo do CBUQ nas rodovias do Mato Grosso

O estudo tecnológico realizado em campo com o uso do concreto betuminoso usinado a quente tem a função de evitar as patologias geradas pela falta de análise técnica da mistura asfáltica no momento, o qual ocorre o revestimento do pavimento, principalmente nas rodovias do estado do MT, que apresentam um tráfego intenso e, também suportam intempéries climáticas (BALBO, 2007).

Ainda de acordo com a NBR 12654 (ABNT, 1992), o estudo tecnológico tem o objetivo de verificar se os materiais utilizados na preparação do concreto condizem com as exigências da norma.

Por essa razão, o estudo tecnológico em campo com o uso de métodos de dosagem da mistura asfáltica é imprescindível para que haja um cumprimento de parâmetros, pois visa estabelecer uma composição adequada, por meio de procedimentos e ensaios para determinar proporções exatas na formação do revestimento asfáltico (SILVA, 2008). Um desses métodos de dosagem é o Marshall, já citado no capítulo anterior, o qual se classifica como empírico que se utiliza ensaios mecânicos simples e econômicos, determinando a quantidade de betume a ser utilizada e, assim controlando variáveis como porosidade e estabilidade da mistura (SANTOS, 2016).

Inclusive, Bernucci et al. (2008) cita que um dos erros, os quais levam à redução da vida do projeto são os erros ou inadequações na seleção e na dosagem de materiais, o que mostra a importância deste processo. Por ser a parte que recobre o pavimento, o CBUQ é uma mistura asfáltica que por ser a mais usada nas estradas do estado do Mato Grosso, quando não dosada corretamente, pode gerar severos defeitos nas estruturas flexíveis como a flexão repetida (trincas) que reflete a fadiga do material e a compressão simples que é o acúmulo de deformações permanentes, como buracos e afundamentos plásticos (SPECHT, 2004).

Portanto, o bom desempenho, durabilidade e resistência do revestimento asfáltico da malha rodoviária depende de técnicas adequadas de produção, execução e controle de aplicabilidade das camadas do CBUQ no pavimento (BERNUCCI et al., 2008).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O método de pesquisa foi o de cunho descritivo, básico, bibliográfico e qualitativo. Com essa abordagem, pretendeu-se, por meio de um estudo de caso, a realização de um estudo tecnológico em campo do CBUQ na pavimentação de rodovias do estado do Mato

Grosso.

Para auxiliar esse processo, uma empresa que trabalha com obras de terraplenagem, infraestrutura urbana, rodoviária e ferroviária situada na cidade de Sinop – MT, concedeu a permissão para a realização da dosagem do CBUQ recebido em campo, pelo método Marshall, respaldado pelas normas dos órgãos reguladores (DNER e DNIT).

Assim sendo, o estudo contou com a coleta de 3 (três) amostra como corpo de prova, sendo realizadas na rodovia MT 220, no Km 60. Esse ponto foi escolhido por ser um local que envolve o processo de pavimentação com o uso do concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) e assim, foi possível analisar se os lotes entregues pela prestadora de serviço contemplam os parâmetros de desempenho em campo para evitar ou mesmo avaliar se estão adequadas as manutenções das patologias como afundamentos, trincas, entre outras, do revestimento asfáltico.

Os dados foram coletados de modo longitudinal, pois são 3 (três) amostras e a coleta de dados primária foi baseada nos resultados apresentados pelos testes realizados com os corpos de provas, classificando-os, ao final de todas as coletas, em satisfatórios ou não pela comparação para definição de um padrão. Esse padrão será sempre fundamentado pelas normas regidas pelo DNER – ME 043/95 que descreve com detalhes o procedimento a ser seguido e os parâmetros e características que devem ser levados em conta e o DNIT que especifica o tipo de rodovia e o padrão a ser seguido.

Foi realizado o controle do traço feito pela laboratório na obra de manutenção e conservação da MT-220 trecho de Sinop a Tabaporã, na qual o fornecimento de CBUQ é diretamente da usina localizada em Sinop, onde também está localizado o laboratório em que foi realizado os ensaios. A usina tem capacidade de 80 t/hora de CBUQ e o controle é feito no primeiro horário sempre que houver usinagem. O traço aprovado no projeto tem a seguinte composição percentual em peso: Teor de Betume ideal da mistura é de 4,3%. Dados dos materiais utilizados na tabela 6.2:

Tabela 1: Composição em percentual da mistura do projeto

AGREGADO	PERCENTUAL UTILIZADO
Brita	20%
Pedrisco	35%
Pó	36%
Areia	8%
Filler	1%

Fonte: Própria (2023)

3.1 Controle do teor de betume

Teor de betume é a quantidade de material solúvel em dissulfeto de carbono, expressa em porcentagem, calculada sobre o peso da amostra isenta de água. Neste caso, utilizamos o CAP 50/70. Após coletar cerca de 10 kg de CBUQ para ser utilizado em todos os procedimentos, foram lavados 656,22g do material, conforme demonstram as figuras 8 e 9, no equipamento Rotarex, com gasolina por quatro vezes.

Figura 8: Pesagem do material a ser lavado



Fonte: Própria (2023)

Figura 9: Lavagem da mistura



Fonte: Própria (2023)

Após a lavagem completa, e com o material seco, foi pesado novamente e obtido 628,19g. A partir dos dados da massa seca e a massa total da mistura, é obtido o valor em percentual do teor de betume.

Figura 10: Secagem do material com o betume extraído



Fonte: Própria (2023)

Figura 11: Pesagem do material seco



Fonte: Própria (2023)

3.2 Ensaio de granulometria

O ensaio adotado foi baseado na norma DNER-ME 083/98, no qual o objetivo é determinar a composição granulométrica do agregado através do cálculo da porcentagem do material passante nas peneiras. O método consiste no peneiramento mecânico ou manual, no qual cada uma das peneiras de malhas quadradas possuem um diâmetro diferente sendo em ordem decrescente, as massas retidas em cada peneira são pesadas e aplicadas nos cálculos para obtenção dos resultados. Como mostra na figura 12.

Figura 12: Peneiramento



Fonte: Própria (2023)

Com o material betuminoso extraído, foi realizado o ensaio de granulometria dos agregados e comparada com a faixa “C” da norma DNIT 031/2006 – ES.

3.3 Ensaio Marshall

Neste método se determina a estabilidade e a fluência de misturas usinadas a quente, utilizando o aparelho Marshall: Estabilidade Marshall, segundo DNER 043/98, é a Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, expressa em N (kgf). Fluência Marshall: É a deformação total apresentada pelo corpo-de-prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetros (centésimos de polegada). Segundo a norma DNIT 031/2006 – ES para Controlada usinagem de CBUQ não é necessário medir a fluência.

3.4 Corpos-de-prova

Foram moldados três corpos-de-prova de 1,2kg com a mistura aquecida à 160° C, utilizando o soquete Marshall é feita a compactação com 75 golpes em cada face do corpo-de-prova.

Figura 13: Aquecimento da mistura



Fonte: Própria (2023)

Figura 14: Moldagem do corpo-de-prova



Fonte: Própria (2023)

Figura 15: Extrator



Fonte: Própria (2023)

Figura 16: Corpos-de-prova



Fonte: Própria (2023)

Após os corpos-de-prova serem compactados e extraídos foram colocados em uma superfície plana e deixados em repouso por 12 horas. Posteriormente, foi feita a pesagem dos três corpos-de-prova, ao ar livre e submersos, em que foram encontrados os seguintes valores da Tabela 2:

Tabela 2: Pesos dos corpos-de-prova.

CORPO DE PROVA	PESO EM GRAMAS	
	No Ar (g)	Na Água (g)
Nº	-	-
1	1.203,87	714,59
2	1.204,34	713,00
3	1.202,89	713,57

Fonte: Própria (2023)

3.5 Determinação da estabilidade e resistência á tração por compressão diametral

Estabilidade: dois corpos-de-prova foram submersos em banho-maria a 60° durante um período de 40 minutos. E em seguida foram colocadas no molde e posicionados na prensa elétrica.

Figura 17: Banho-maria**Fonte:** Própria (2023)**Figura 18:** Prensa elétrica**Fonte:** Própria (2023)

A prensa é operada de tal modo em que seu êmbolo se eleve a uma velocidade constante de 5 cm por minuto, até o rompimento do corpo-de-prova, observando a máxima indicação no defletômetro. A leitura deste máximo foi anotada e convertida em (kgf). Com o valor obtido é calculado a estabilidade Marshall, no qual a força aplicada é multiplicada por um fator de correção que varia com o volume do corpo-de-prova.

Ensaio de resistência à tração por compressão diametral; Determina-se a resistência à tração de misturas betuminosas através do ensaio da compressão diametral. (DNIT 138/94 – ME) O corpo-de-prova remanescente foi deixado em temperatura ambiente 25°C, foi medido a altura e diâmetro utilizando o paquímetro, em seguida foi colocado na posição horizontal sobre o prato inferior da prensa.

Foi aplicada uma carga progressiva com uma velocidade de deformação de 0,8 mm/s, até que o rompimento por separação das duas metades do corpo-de-prova. Anotamos o valor máximo da carga de ruptura. Com o valor obtido é calculada a resistência à tração do corpo-de-prova rompido a compressão diametral.

As cilíndricas são onde o carregamento é aplicado em planos paralelos, diametralmente opostos. Essa configuração de carga gera um plano de tensões de tração, razoavelmente uniforme no plano perpendicular ao da aplicação da carga.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos ensaios demonstrados nos materiais e métodos acima, foram realizados os cálculos de cada procedimento. Através dos resultados obtidos, foram elaborados tabelas e gráficos. Tabela 3 representa O teor de betume, essencialmente a quantidade de material solúvel em dissulfeto de carbono, é expresso em porcentagem e calculado em relação ao peso da amostra livre de água. Esse cálculo requer o rigoroso controle da temperatura da mistura.

Tabela 3: Teor de betume e controle da temperatura

Extração de Betume	
Massa total	656,22
Massa seca	628,19
Agregado	628,19
Betume	28,03
Agregado+Betume	656,22
% Betume	4,27
% Betume Projeto	4,30
Temperatura	Ligante 153/158 0C
Controle	Agregado 168 0C
	Mistura 142 0C
	147 0C

Fonte: Própria (2023)

O teor de betume obtido foi de 4,27% sendo que o teor ideal do projeto é de 4,3%. A tolerância máxima é de $\pm 0,3\%$, sendo assim, a mistura está dentro dos parâmetros permitidos. Segundo a norma DNIT 031/2006 – ES, a temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C nem exceder a 177°C e os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante asfáltico, sem ultrapassar 177°C. A granulometria encontrada de acordo com a composição percentual do traço previamente determinado foi comparada com os intervalos determinados através da faixa “C” da norma DNIT 031/2006 – ES. Conforme a tabela 4:

Tabela 4: Granulometria de acordo com a faixa “C”

Peneira	Diâmetro(mm)	Min.	Máx.	Mistura	Mistura Projeto	Faixa de Trab.mín.	Faixa de Trab.máx.
2"	50,8						
1 ½	38,1						
1 Pol	25,4						
¾"	19,1	100,0	100,0	100,0	100	100,0	100,0
½"	12,7	80,0	100,0	84,5	90,1	83,1	97,1
⅜"	9,50	70,0	90,0	78,6	79,8	72,8	86,8
N.004	4,80	44,0	72,0	58,3	58,5	53,5	63,5
N.010	2,00	22,0	50,0	35,4	37,5	32,5	42,5

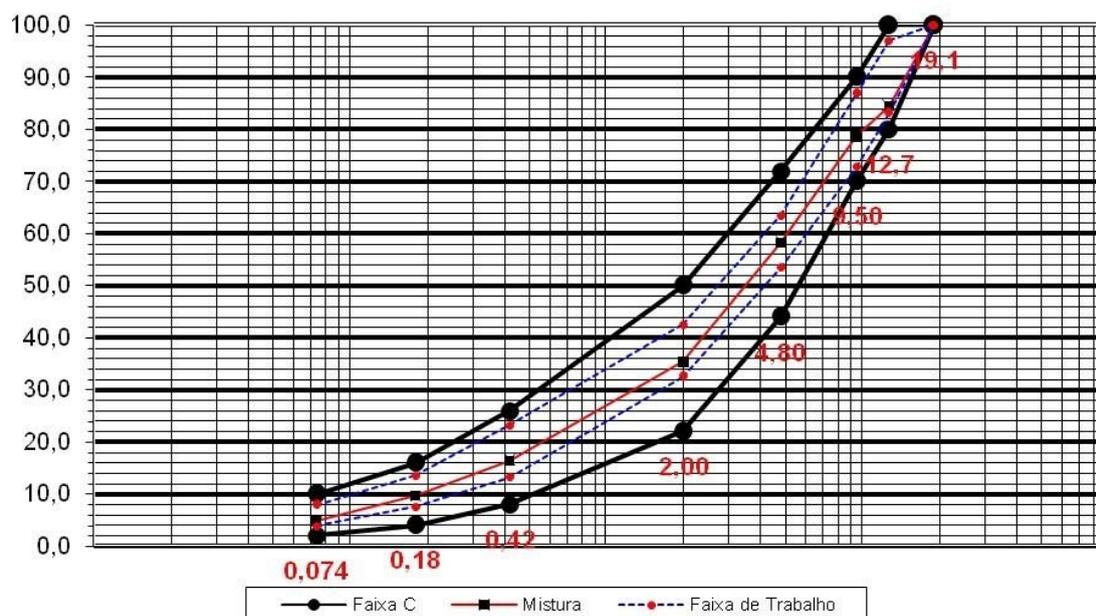
N.040	0,42	8,0	26,0	16,9	18,2	13,2	23,2
N.080	0,18	4,0	16,0	9,6	10,5	7,5	13,5
N.200	0,074	2,0	10,0	4,8	5,9	3,9	7,9

Fonte: Própria (2023)

A tabela 4 demonstra a curva granulométrica encontrada no gráfico 1, no qual é visualizado os limites da faixa “C”, da faixa de trabalho e a curva da mistura que se encontra nos intervalos permitidos pela norma do DNIT 031/2006 – ES.

Gráfico1: Granulometria faixa C – DNIT 031/2006 ES

GRANULOMETRIA FAIXA "C" - DNIT 031/2006 ES



Fonte: própria (2023)

O gráfico de granulometria representa uma distribuição equilibrada de partículas de diferentes tamanhos, incluindo argila, areia e possivelmente silte. Essa classificação implica propriedades físicas e hidráulicas intermediárias, e a representação gráfica mostra uma curva que não favorece uma faixa específica (argila, areia ou silte). A classificação granulométrica é crucial na engenharia civil, influenciando propriedades como permeabilidade e capacidade de suporte do solo. É importante observar que os critérios específicos podem variar conforme as normas ou padrões locais.

Para o cálculo da granulometria encontra-se a porcentagem de material passante, em que é subtraída de 100% a porcentagem acumulada em cada peneira, como demonstrado na tabela 5.

Tabela 5: Cálculo da granulometria .

Granulometria da Extração				628,19 g
Peneiras	Peso Retido	% Retido	% Acumulado	% Passante
2"	0,0	0,0	0,0	100,0
1 ½	0,0	0,0	0,0	100,0
1"	0,0	0,0	0,0	100,0
¾	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2	97,26	15,5	15,5	84,5
3/8	37,04	5,9	21,4	78,6
4	127,71	20,3	41,7	58,3
10	143,98	22,9	64,6	35,4
40	119,31	19,0	83,6	16,9
80	42,49	6,8	90,4	9,6
200	30,21	4,8	95,2	4,8
Fundo	30,19	4,8	100,0	0,0

Fonte: Própria (2023)

A Tabela 6 mostra os resultados das propriedades volumétricas, estabilidade e compressão diametral obtidos através do ensaio Marshall.

Tabela 6: Resultados do ensaio Marshall

ENSAIO MARSHALL C.B.U.Q. FX. "C"																		
CORPO DE PROVA	%	PESO EM GRAMAS		VOLUME	DENSIDADE		V.V		V.C.B	V. A . M.	R.B.V	ESTABILIDADE				Compres. Diametral		
		No Ar	Na Água		cm3	Aparente	Máxima	Porcentagem				Vazios Cheios	Vazios	Relação	Leitura	Calculada	Fator de	Corrigida
		(g)	(g)		Kg/cm³	Teórica	de Vazios %	c/ Betume %		Agreg.	Betume	Mineral (%)	Vazios(%)	Prensa		Correção		
a	b	c	d	e	f	G	h	i	k	l	m	n	o	p	q	r	s	
Nº	% C em relação ao P.mistura	-	-	c - d	c/e	-				i+k	(k/l)x100	-	n x X	-	oxp	-	-	
1	4,27	1203,87	714,59	489,3	2,460	2,544	3,28	10,90	14,18	76,89	641	1140	1,09	1242	600	1,03		
2	4,27	1204,34	713,00	491,3	2,451	2,544	3,64	10,86	14,50	74,88	610	1085	1,08	1174	500	0,86		
3	4,27	1202,89	713,57	489,3	2,458	2,544	3,36	10,89	14,25	76,41	570	1013	1,09	1104	590	1,02		
Média	4,27	-	-	-	2,457	2,544	3,43			76,06	-	-		1173	-	0,97		

Fonte: Própria (2023)

- a. A densidade aparente (d_a) é a densidade do material como um todo. Esse parâmetro determinado com o emprego da balança hidrostática;
- b. A densidade máxima teórica da mistura (DMT) corresponde à densidade da mistura asfáltica sem vazios. Ou seja, a DMT é numericamente igual a razão entre a massa do agregado mais ligante asfáltico e a soma dos volumes dos agregados, vazios impermeáveis, vazios permeáveis não preenchido com asfalto e total de asfalto (Roberts et AL., 1996).
- c. O Volume de Vazios (VV) é a propriedade volumétrica mais importante do concreto asfáltico; sempre são necessários vazios de ar dentro da mistura compactada para
- d. permitir a expansão térmica dos ligantes e suportar a leve compactação causada pelo tráfego. Volumes de vazios muito baixos (<3%) comprometem o desempenho das misturas quanto ao ATR (Afundamento em Trilha de Rodas) e muito altas (<8%) comprometem a durabilidade.
- e. A percentagem de volume de vazios da mistura compactada (% Vv) é a relação entre o volume de vazios e o volume total da mistura. Representa a concentração de volume de ar dentro da amostra compactada, influenciando a rigidez e a coesão.
- f. O VAM (Vazios do agregado mineral) representa o volume de espaço vazio inter granular entre as partículas de agregado de uma mistura compactada que inclui os vazios e o teor efetivo de asfalto. Valores muito reduzidos de VAM levam a teores muito baixos de ligante o que pode comprometer o desempenho, à fadiga e a durabilidade das misturas. Valores excessivamente altos de VAM podem levar a redução da resistência ao cisalhamento.
- g. O RBV (Relação betume/vazios) é a percentagem de vazios intergranulares preenchidos pelo material betuminoso e serve para garantir uma quantidade razoável de ligante preenchendo os vazios do agregado mineral; valores muito baixos comprometem a durabilidade da mistura e muito altos a estabilidade.
- h. Os vazios cheios com betume (VCB) diz respeito tanto ao asfalto que forma uma película que envolve o agregado quanto aquele absorvido pelo mesmo, então quanto maior a %Vcb melhor, ocasionando uma mistura com poucos vazios entre os agregados e o ligante.
- i. A estabilidade Marshall fornece uma indicação da capacidade da mistura de resistir à deformação sob o efeito da aplicação de carga. A resistência oferecida pelo corpo-de-prova à ruptura durante o ensaio representa a resistência ao cisalhamento da mistura, em que o atrito é desenvolvido no arcabouço sólido formado pelos agregados e a coesão é fornecida pelo ligante asfáltico.
- j. O ensaio de tração indireta por compressão diametral foi desenvolvido por Lobo Carneiro em 1953, com a finalidade de determinar a resistência à tração de corpos-de-prova de concreto cimento Portland por silicitações estáticas. A extensão do uso para misturas asfálticas se deve possivelmente ao fato de os revestimentos asfálticos, quando sujeitos às solicitações de tráfego, desenvolverem tensões de tração por flexão em suas fibras inferiores.

4.1 Resultados obtidos

Os valores das propriedades volumétricas como volume de vazios, relação betume devazios, volume cheios com betume, volumes agregado mineral e as densidades teóricas e aparentes se enquadram nos limites estipulados pela DNIT 031/2006, propriedades que influenciam diretamente na trabalhabilidade do pavimento. Diante dos resultados encontrados no controle tecnológico do traço de CBUQ, pode-se concluir que a usinagem neste dia atendeo projeto e a especificação de serviço DNIT 031/2006 – ES. Logo, a mistura pode seguir para execução do serviço de conservação e manutenção da MT-220 com alto padrão de qualidade.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os pavimentos, de um modo geral, sejam para rodovias ou vias urbanas, devem apresentar características como resistência para suportar os esforços verticais provenientes do tráfego para o qual foram projetados e distribuindo-as ao terreno sobre o qual assentam. Devem ainda, resistir sem desgaste excessivo, aos esforços horizontais produzidos pelo tráfego, além de conservar suas qualidades sob a ação de intempéries. Com isso, garantindo uma melhor condição de rolamento, permitindo uma circulação fácil, cômoda e segura.

A análise do processo de controle de qualidade na produção do concreto betuminoso usinado a quente pode resultar em um produto final de melhor qualidade e durabilidade, podendo evitar patologias na pista de rolamento, pois uma massa asfáltica que sai com qualidade da usina pode reduzir a maioria dos problemas existentes nas rodovias da malha viária, com o benefício de não precisar de tantos investimentos na manutenção das mesmas.

Com os resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que: o teor de betume do revestimento asfáltico da obra analisada, se enquadra nos limites estipulados pela especificação de serviço DNIT 031/2006, visto que o teor de betume obtido foi de 4,27% sendo que o teor ideal do projeto é de 4,3%, com tolerância máxima é de $\pm 0,3\%$. A faixa granulométrica encontrada através do ensaio de granulometria por peneiramento atendeu a faixa granulométrica “C” da especificação de serviço DNIT 031/2006, a mistura se encontra dentro da faixa de trabalho.

Os resultados obtidos para resistência a tração por compressão diametral ficou acima da mínima estipulada pela especificação de serviço DNIT 031/2006, encontramos a média de 0,97 Mpa, no qual valor mínimo seria 0,65 Mpa. Desse modo, foi atendido o parâmetro exigido. O resultado obtido para estabilidade Marshall se encontra dentro dos parâmetros estipulados pela especificação DNIT 031/2006, foi obtido a média de 1173 Kgf, na qual a mínima é de 500 Kgf, o que nos indica que nosso pavimento é capaz resistir à deformação sob o efeito da aplicação de carga.

REFERÊNCIAS

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Avaliação de métodos de dosagem demisturas asfálticas e sua relação com as propriedades mecânicas**. 2014. Disponível em:
[https://portal.antt.gov.br/documents/359170/3667580/Avalia%C3%A7%C3%A3o+de+M%](https://portal.antt.gov.br/documents/359170/3667580/Avalia%C3%A7%C3%A3o+de+M%20)

C

3%A9todos+de+Dosagem+de+Misturas+Asf%C3%A1lticas+e+sua+Rela%C3%A7%C3%A3o+com+as+Propriedades+Mec%C3%A2nicas.pdf/ebf03624-d4b9-847b-3c68ed1430c0c2f4?t=1647432636257. Acesso em: 07 out. 2022.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008. 495p.

BRASIL. Departamento de Estradas de Rodagem. **ET-DE-P00/027**: Concreto asfáltico. São Paulo: Secretaria dos Transportes, 2005. 45 p.

CERATTI, J. A. P.; REIS, R. M. M. **Manual de Dosagem de Concreto Asfáltico**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CUNHA, José Maria; MOMM, Leto; MASELLA, Miguel Mario Bianco; MOLINERO, Giulliano Renato. **O Desafio da Pavimentação da BR163**. Florianópolis, 2006. Disponível em: <https://rodoviasverdes.paginas.ufsc.br/files/2010/05/BR163-Word.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. DER ET-DE-P00/023. **Microrrevestimento Asfáltico a Quente** – Asfalto Polímero – Pavimentação. São Paulo, 1996.

DNIT (2003). **Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro – RJ, 2003. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/terminologia-ter/dnit_005_2003_ter1.pdf. Acesso em: 12 set. 2022.

DNIT (2006). **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, Brasil, 2006. Disponível em: <https://marcosporto.eng.br/wpcontent/uploads/2018/02/Manual-de-Pavimentacao-719-DNIT-2006.pdf>. Acesso em: 12 set. 2022.

DNER. **Manual de conservação rodoviária – instruções técnicas de execução de serviços**. Diretoria de desenvolvimento tecnológico, 1974.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico -Especificação de serviço**. DNIT 031/2006-ES. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes. **Manual de pavimentação**. 3a edição - Rio de Janeiro, 2006.

FONSECA, Pedro Miguel Lopes. **Propriedades volumétricas de misturas asfálticas (com esem fibras)**. Tese de mestrado (Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <https://repositorio-berito.up.pt/bitstream/10216/62059/1/000149325.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.



MOTTA, Rosângela dos Santos. **Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético.** 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ROBERTS, F. L.; MOHAMMAD, L. N.; WANG, L. B. History of Hot Mix Asphalt Mixture Design in the United States. **Journal of Materials in Civil Engineering**, vol. 14, n°. 4, p. 279 - 293, 2002.

SANTOS, J. R. C. **Misturas asfálticas a quente:** uma análise a abordagem empírica e fundamental da norma de produto. Dissertação de mestrado (Engenharia Geológica e de Minas). Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2016.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimento.** 2ª ed. Ampl., São Paulo: Pini, 2007.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação.** . São Paulo: Pini. . Acesso em: 29 nov. 2023, 1997

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2008.

SPECHT, Luciano Pivoto. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004. 279 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5192/000422319.pdf?sequence>. Acesso em: 07out. 2022.