

19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



25º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 48ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

ESTUDO DE MELHORAMENTO DE TRAÇO PARA BASE DE PAVIMENTO FLEXÍVEL EM BRITA GRADUADA SIMPLES COM APLICAÇÃO EM CAMPO

DOI: (a ser preenchido após o envio do código DOI da publicação)

Miguel Contini¹; Gislaine Luvizão²; Fabiano Alexandre Nienov²; Gabriela Ceccon Carlesso Grando²

RESUMO

O modal mais utilizado no Brasil para transportes é o rodoviário, e com isso se faz necessário melhorar cada vez mais as condições dos pavimentos, bem como o controle da execução do pavimento como um todo, partindo das camadas inferiores. Este estudo buscou avaliar o processo de dosagem e execução de base estabilizada granulometricamente por empresa localizada no município de Ibicaré/SC, visando solucionar possíveis problemas relacionados aos processos citados. Inicialmente acompanhou-se o processo de execução do traço dosado pela empresa, sendo possível identificar incoerências como variação da britagem e perda de materiais finos durante o processo de homogeneização, transporte e espalhamento da mistura. Com isso, se tornou essencial a elaboração de um traço experimental buscando minimizar as perdas. Para aferir o desempenho em campo foi executada pista experimental em um trecho de 20 metros em obra de pavimentação no município de Capinzal/SC. Os resultados da nova mistura foram satisfatórios relacionados com a mistura da empresa e com os parâmetros normativos. O ensaio da viga de Benkelman se mostrou adequado aos limites de projeto, atendendo às prescrições adotadas, apresentando valor calculado de 61×10^{-2} mm de deflexão máxima e 188 metros de raio de curvatura. Por fim, conclui-se que o problema na perda de filler pode ser solucionado alterando o método de homogeneização de forma mecânica por pá carregadeira para centrais de dosagem, esta que a empresa já possui, mas será necessário um estudo para adequação do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Pavimentação; Estabilização granulométrica; Pista experimental.

ABSTRACT

The most used modal in Brazil for transport is road, and with that it is necessary to improve the conditions of the pavements, as well as the control of the execution of the pavement as a whole, starting from the lower layers. This study sought to evaluate the process of dosage and execution of granulometrically stabilized base by a company located in the municipality of Ibicaré/SC, aiming to solve possible problems related to the mentioned processes. Initially, the process of executing the trace dosed by the company was followed, making it possible to identify inconsistencies such as variation in crushing and loss of fine materials during the process of homogenization, transport and spreading of the mixture. Thus, it became essential to develop an experimental trait seeking to minimize losses. In order to measure the performance in the field, an experimental track was executed in a 20-meter stretch in a paving work in the municipality of Capinzal/SC. The results of the new mixture were satisfactory in relation to the company's mixture and the normative parameters. The Benkelman beam test proved adequate to the design limits, meeting the adopted prescriptions, presenting a calculated value of 61×10^{-2} mm of maximum deflection and 188 meters of radius of curvature. Finally, it is concluded that the problem of loss of filler can be solved by changing the mechanical homogenization method by wheel loader for dosing centers, which the company already has, but a study will be necessary to adapt the process.

KEY WORDS: Paving; Granulometric stabilization; Experimental track.

¹ Protema Empreendimentos, miguelcontini2014@gmail.com

² Universidade do Oeste de Santa Catarina, gislaine.luvizao@unoesc.edu.br; fabiano.nienov@unoesc.edu.br; gabriela.carlesso@unoesc.edu.br



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



INTRODUÇÃO

O modal mais utilizado no Brasil para tráfego e transportes é o rodoviário. A grande utilização deste meio aliado às condições climáticas geram a deterioração do pavimento, trazendo insegurança e desconforto aos usuários. Com base nestas condições, é de extrema importância se atentar à qualidade da execução das camadas e dos materiais utilizados, não somente da camada de rolamento em si, mas todas que envolvem um pavimento.

A brita graduada simples é um dos principais tipos de materiais empregados em base de pavimentos asfálticos no Brasil, sendo inserida no país na década de 1960. Ela é composta por material granulométrico bem graduado, com diâmetros máximo não excedendo 38mm e finos entre 3 a 9% passante na peneira N^o 200.

Este trabalho busca analisar traços da brita graduada simples executados por uma empresa localizada no município de Ibicaré/SC a fim de obter características físicas e determinar possíveis incoerências com o que descreve a norma ES 141 Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2022).

Complementa-se o estudo com a execução de um traço experimental de brita graduada simples, sendo realizada a caracterização dos materiais e a adequação do enquadramento granulométrico. Avaliou-se propriedades como teor de umidade ótima, densidade de campo, grau de compactação, Índice de Suporte Califórnia (ISC), deflexão total e por fim um estudo comparativo entre a mistura proposta e a mistura padrão da empresa.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Base pode ser a última camada inferior ao revestimento. Sua principal função é resistir e distribuir os esforços gerados pelas cargas oriundas do tráfego. Os materiais empregados são agregados, solos ou a mistura dos dois, devendo ser bem graduados para cumprir com a função da camada (DNIT, 2006).

No local da execução, a distribuição sobre o subleito é executado com o auxílio de uma motoniveladora e compactado com um rolo liso com vibração ou não, respeitando limites estabelecidos pela ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2022).

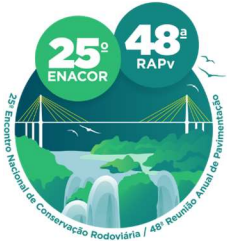
Para a execução de uma base, são necessários diversos métodos de seleção e caracterização dos materiais. A seleção é uma etapa de extrema importância a fim de averiguar as suas características naturais para ser empregada aos pavimentos, uma vez que suas características podem interferir na compactação da base (BERNUCCI et al., 2007).

Lima e Motta (2015), após pesquisa realizada por meio de ensaios para se avaliar a deformação permanente, ressaltam a importância da realização de ensaios mais específicos e não apenas ensaios típicos, bem como análise do esqueleto granulométrico do material e aplicação de ensaios de cargas repetidas, a fim de avaliar o comportamento do material e evitar deformações permanentes no pavimento.

Retore (2005) afirma que as deformações plásticas são cumulativas através das cargas impostas pelos veículos, apresentando-se através do afundamento de trilha de roda podendo levar o pavimento à ruptura. A trilha de roda, além de causar ruptura, pode ser um local preenchido por água sendo possível a ocorrência de aquaplanagem, causando assim acidentes e danos materiais.

Lima e Motta (2015) constatam ainda que o índice de vazios é um ótimo parâmetro para verificar se a proporção da mistura poderá resultar em deformações permanentes, mostrando a importância de um material granular que apresente menor quantidade de vazios.

O estudo de deflexão é de extrema importância para identificar o comportamento da camada desde o



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



subleito até a camada de rolamento após serem submetidas a cargas.

Em busca de conhecimento para o comportamento mecânico de modelos racionais de dimensionamento de pavimentação no Brasil, Fernandes e Trichês (2000) caracterizaram o comportamento da brita graduada “in situ” a partir da retroanálise das bacias de deflexão medidas com a viga Benkelman e de resultados analisados pelo programa ELSYN5®, acreditando que a partir dos intervalos encontrados, é possível estimar valores modulares.

Fernandes e Trichês (2000) concluem após a pesquisa que a retroanálise dos módulos elásticos partindo das deflexões encontradas é uma ferramenta muito útil e promissora para a avaliação do comportamento mecânico do pavimento, tanto para dimensionamento utilizando o ELSYN5® quanto para o controle tecnológico do processo executivo utilizando a viga Benkelman.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi executado com base nos traços e agregados de uma empresa que está localizada no município de Ibicaré-SC, a fim de identificar e solucionar possíveis erros durante a elaboração e execução do traço após um questionamento da própria empresa, ao relatar que o atual traço não estava atendendo as prescrições da norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) quanto ao enquadramento granulométrico e compactação adequada.

Realizou-se ensaios de granulometria de todos os agregados que compõem a mistura, sendo eles: brita 1, brita 2, pedrisco, pó de pedra, areia artificial e filer, seguindo como referência a NBR NM 248 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003). Com a aferição granulométrica dos agregados, foi possível realizar outros ensaios de suma importância. Visto que todos os agregados são originados da mesma jazida, apenas um tipo de material foi utilizado para cada ensaio, sendo os ensaios:

- a) Abrasão de “Los Angeles” – Método de Ensaio DNER-ME 035/98.
- b) Índice de forma com crivos – Método de Ensaio DNIT 424/2020-ME.
- c) Equivalente de areia – Método de Ensaio DNER-ME 054/97.

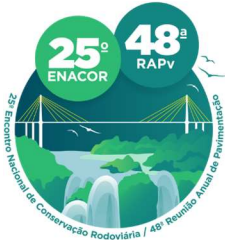
Mistura da Empresa

A mistura de brita graduada simples utilizada pela empresa que foi coletada para a caracterização e aferição dos agregados, era oriunda de uma obra de implantação de pavimentação asfáltica no interior de Treze Tílias/SC, mais precisamente na linha São Roque. A coleta foi feita anteriormente ao espalhamento na pista pela motoniveladora.

A mistura da empresa foi acompanhada pelos autores desde a sua homogeneização até a sua execução. Durante o processo foi realizada a coleta de amostras não trabalhadas, ou seja, antes do início da compactação, para a aferição de granulometria, umidade, densidade, ISC e expansão. Além disso, foram realizados ensaios *in situ* como deflexão máxima por viga Benkelman e frasco de areia.

O material que compõe a base é misturado através de conchas de uma carregadeira Caterpillar 924K no pátio do parque fabril, onde o operador recebe o traço a ser executado com a determinada quantidade de conchas de cada material e as homogeneiza. Geralmente a mistura é composta por 12 conchas, rendendo aproximadamente 40 toneladas de material. Este processo de mistura é permitido segundo a norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) quando não se tem um misturador específico disponível.

O material foi transportado da pedreira, onde foi misturado, até a obra com um caminhão basculante com capacidade de aproximadamente 18 toneladas. Ao chegar na obra, o caminhão bascula o material



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



em até 3 montes próximos um ao outro, a fim de facilitar o espalhamento com a motoniveladora. O material logo foi espalhado na pista com uma camada mais espessa que a exigida para a compactação, de aproximadamente 14 cm, isso se dá para facilitar a homogeneização em campo. Com o material espalhado, o caminhão pipa faz o início do umedecimento da mistura deixando-a próximo a umidade ótima enquanto a motoniveladora faz a homogeneização do material, a fim de manter uma umidade uniforme.

O início do nivelamento da base se dá quando o material se encontra com um bom nível de umidade, próximo da umidade ótima, aproximadamente 4% abaixo do teor da umidade ótima, pois o último lançamento de água é executado durante o processo de compactação, esta que foi executada com o rolo de chapa liso Dynapac CA30D. A espessura, como descrito pela norma ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) e o projeto executivo, atende os parâmetros, ficando com aproximadamente 12 cm.

Para a compactação da mistura executada, a empresa adotou inicialmente 12 passadas com o rolo, sendo permitida a execução de mais se o operador julgar necessário seguindo método empírico. De acordo com o operador do rolo compactador, a compactação da base se dá por pronta ao ficar visível pequenas rachaduras na superfície, demonstrando que a umidade está correta e que o material atingiu seu grau de compactação.

Para poder analisar se a base que estava em campo atenderias aos parâmetros estipulados em laboratório, uma amostra trabalhada foi devidamente coletada e submetida a ensaios (granulometria, umidade, compactação e ISC).

Nova Mistura

Com o resultado de granulometria da mistura da empresa obtido, possibilitou observar que a granulometria pode variar, isso ocorre por vários motivos, dentre eles: possíveis peneiras furadas, material de outra jazida, aumento na demanda de produção, dentre outras. Para ter uma aproximação da granulometria correta, solicitou-se os ensaios de granulometria executados pela empresa. Com os dados obtidos, realizou-se a média, utilizando o valor da mesma para dar continuidade a pesquisa.

Portanto, tendo conhecimento da granulometria correta a ser seguida, executou-se um novo traço, já considerando perda durante a mistura e o transporte. Após o espalhamento da mistura na pista experimental, coletou-se uma nova amostra, a fim de fazer novos ensaios de granulometria, umidade, densidade, ISC e expansão, além de ensaios in situ e deflexão máxima, para analisar se o resultado foi positivo ou negativo comparando com a mistura utilizada pela empresa.

Realizou-se o enquadramento granulométrico conforme a ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2022) adotou-se a Faixa C indicada pelo DNIT.

Para a execução da pista experimental, a empresa disponibilizou aproximadamente 40 toneladas de material para executar a nova mistura, e um trecho de 20 metros de extensão para a execução do traço. Esta pista fica localizada no município de Capinzal, mais especificamente na Estrada Municipal, acesso a comunidade de Linha Guarani, próximo a UNOESC Campus de Capinzal.

Por ser uma via de aproximadamente 600 metros de extensão, o local específico da nova mistura foi entre a estaca 8 e 9, em frente a uma mecânica automotiva.

A execução da pista experimental seguiu os mesmos padrões de execução da empresa sendo espalhada com uma motoniveladora Caterpillar 120K, mantendo uma espessura de aproximadamente 12 cm e para a compactação foi adotado 12 passadas com rolo Caterpillar CS54B.

Nas Figuras 1 e 2, é possível observar o local específico da pista experimental.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Figura 1. Pista experimental.



Figura 2. Ensaios *in situ* na pista experimental.

A empresa utiliza a própria concha da carregadeira para efetuar a medição da quantidade de cada tipo de material utilizado na mistura. Identificou-se que durante o processo de mistura ocorre a perda de material fino para o meio, uma vez que este processo é feito à céu aberto. Considerando a necessidade em quantificar esta perda, para posteriormente corrigir o traço, executou-se o processo de mistura de forma manual, com auxílio de uma pá. Obtendo-se a diferença de massa entre a amostra inicial e a final, em cada peneira, foi possível avaliar a perda de material fino.

Para a determinação da umidade ótima de compactação e da massa específica aparente seca máxima, realizou-se o ensaio de compactação Proctor, seguindo o especificado no Método de Ensaio 162 (DNIT, 1994). Utilizou-se a energia modificada para a compactação da base, sendo realizada em 5 camadas de 55 golpes cada camada. O ensaio de Índice de Suporte Califórnia foi realizado conforme o Método de Ensaio 172 (DNIT, 2016).

Ensaios In Situ

A fim de aferir o resultado dos ensaios de laboratórios, executou-se alguns ensaios após compactação da camada de base. Os ensaios foram: determinação da massa específica da base através do método do frasco de areia e determinação da umidade com emprego do “speedy”, métodos normalizados pelo Método de Ensaio 92 (DNIT, 1994).

Com o intuito de aferir a deflexão da estrutura do pavimento, realizou-se o ensaio de viga Benkelman, tanto no traço executado pela empresa, como no traço da pesquisa, a fim de comparar seus resultados ao final. O ensaio seguiu o Método de Ensaio 24 (DNIT, 1994).

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O resultado da abrasão de Los Angeles foi de 8,3% de perda de massa, estando assim inferior ao limite máximo permitido pela Especificação de Serviço 141 (DNIT, 2010) que é de 55%.

Através dos ensaios de crivos foi possível determinar que o índice de lamelaridade dos agregados é de 0,93 estando dentro do limite descrito pelo Método de Ensaio 424 (DNIT, 2020) que determina que o índice não pode ser superior a 3.

O resultado do equivalente de areia também foi satisfatório, obtendo um resultado de 68,5 %, também estando de acordo com a norma, a qual recomenda um resultado superior que 30%.

Ao final da granulometria do material que foi coletado no campo, comparou-se a granulometria de campo com a granulometria de projeto e a mesma está apresentada no Figura 3.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

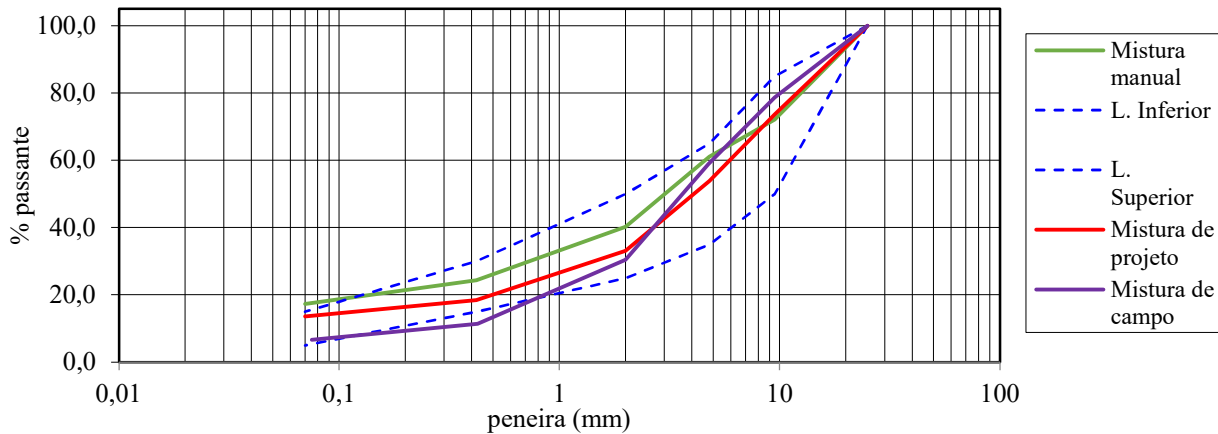


Figura 3 – Comparativo das granulometrias com diferentes métodos de mistura.

De acordo com os dados, são notórias a variação granulométrica e a perda de material fino na mistura obtida no campo comparado com o material previsto na mistura de projeto da empresa.

A variação da granulometria, pode ser explicada por diversos fatores, desde um possível problema na britagem como uma peneira furada, como também na variação da demanda da britagem, pois se a demanda aumenta e os motores trabalham com maior velocidade, a eficiência do peneiramento diminui, alterando o formato da curva granulométrica.

Com relação à perda de material fino, este problema pode ser relacionado ao método de mistura adotada pela empresa e ao processo de transporte, já que a mesma faz a mistura com uma pá carregadeira, fazendo com que os finos se dissipem no ar.

Para ter conhecimento do percentual fino perdido entre o processo de britagem até o espalhamento da mistura em campo, uma nova mistura foi executada, porém em menor escala, mas respeitando as dosagens que a empresa utilizou para a mistura que foi a campo. O material usado na mistura foi coletado na saída da correia do britador, ou seja, na parte superior dos montes do estoque, pois, por se tratar de montes com elevadas alturas conforme o material chega ao estoque, ocorre automaticamente um processo de separação de material, fazendo com que o material de maior granulometria se acomodasse na parte inferior e enquanto uma pequena porcentagem de material fino se perdesse no ar. No topo do monte em contrapartida possui um material totalmente homogêneo, ideal para a elaboração de uma curva granulométrica como sugere a norma.

A homogeneização da mistura foi executada manualmente com auxílio de uma pá, até que toda a mistura ficasse visivelmente homogênea e após isso o ensaio de granulometria.

Analisando o enquadramento granulométrico da mistura feita com materiais coletados na saída da esteira do britador com o material que chega ao campo identificou-se uma perda de aproximadamente 6% de material fino. É possível considerar que o maior responsável pela perda de material é o método de mistura, este que não é considerado pelos responsáveis durante a elaboração do traço, porém, na nova mistura que será executada na pista experimental, essa porcentagem de perda será considerada. Tendo em mãos a média da variação da granulometria e a perda de material fino, uma nova mistura foi elaborada conforme descrito na Tabela 01.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Tabela 01 – Percentual de material utilizado em cada mistura

Material	Mistura empresa (%)	Nova Mistura (%)
Brita 2	13	12
Brita 1	20	20
Pedrisco	19	23
Pó de pedra	37	34
Filer	11	11

A nova mistura é semelhante a que foi utilizada pela empresa, porém contém alguns ajustes devido aos dados obtidos nas granulometrias individuais de cada tipo de agregado com a média das amostras. Para repassar a nova mistura para o operador da carregadeira executar a homogeneização, foi necessário converter a porcentagem de material em quantidades conhecidas, ou seja, em números de conchas. Para isso foi mantido um total de 12 conchas cada tipo de agregado, sendo essa a quantidade de material liberado pela empresa para a execução da pista experimental.

É importante ressaltar que uma quantia de 5% de material fino foi adicionada à mistura, aproximadamente $\frac{1}{2}$ concha, esta que representara a perda de material até a chegada a obra.

Após a homogeneização, transporte e espalhamento do material na pista, coletou-se uma amostra não trabalhada para aferir a granulometria do material. Para a melhor compreensão dos resultados, os mesmos estão apresentados no Figura 4.

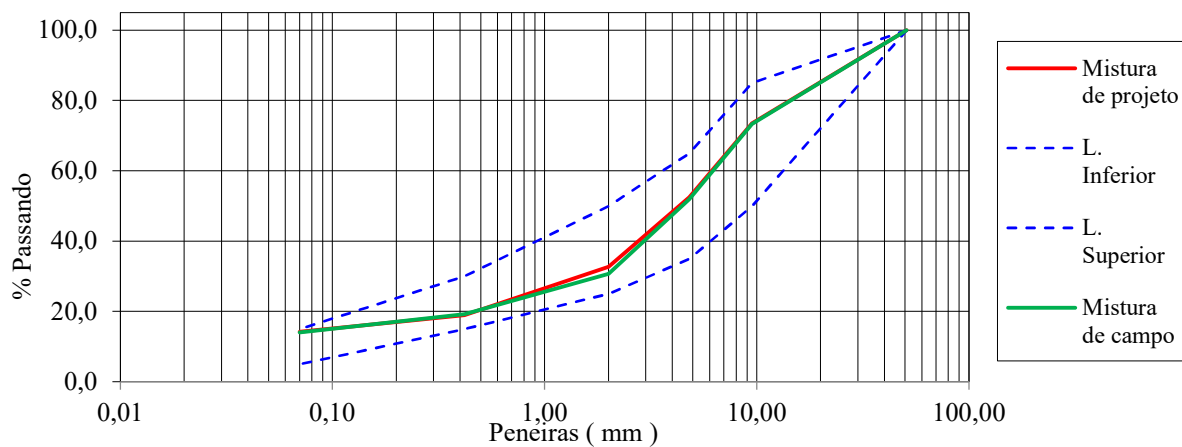


Figura 4 – Comparativo da granulometria campo x projeto da nova mistura

No Figura 4 fica evidente e notório que a perda de material foi muito próxima à prevista, mostrando que a maior variação ocorreu na peneira N°10 sendo de apenas 2% e que a adição de 5% de material fino foi fundamental para repor o material perdido e deixar a mistura de campo semelhante à de projeto.

Os valores de compactação e de umidade ótima dos dois traços estão representados no Figura 5.

Dessa forma, os valores das umidades ótimas da nova mistura e da mistura executada pela empresa são respectivamente 6,8 e 5,6% e a massa específica aparente seca máxima $2,381 \text{ g/cm}^3$ para a mistura experimental e $2,350 \text{ g/cm}^3$ para a mistura executada pela empresa.

A nova mistura apresentou teor de umidade ótimo maior que a mistura executada pela empresa, devido a maior quantidade de finos, estes que necessitam de quantidade maior de água para ficarem umedecidos.

Com o ensaio, também foi possível obter o valor de Índice de Suporte Califórnia de 44% e o valor de expansão de 0,5%.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br

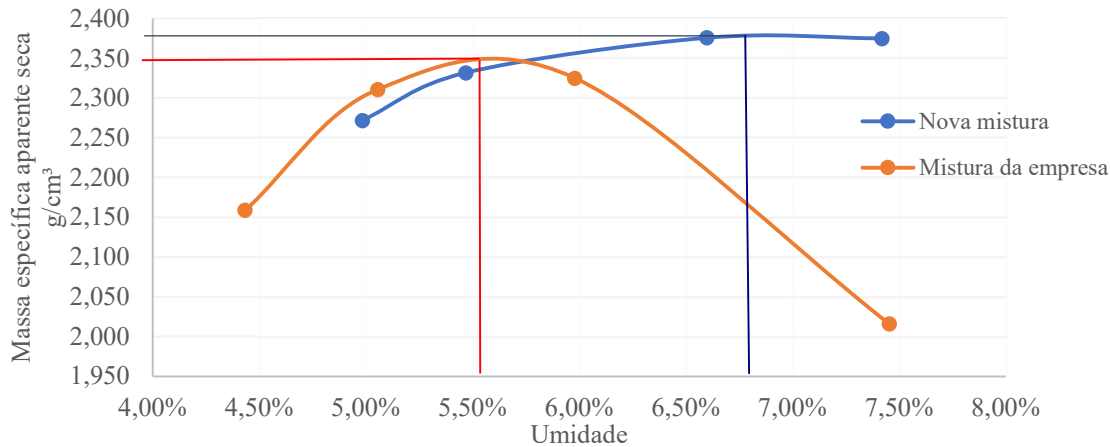


Figura 5 – Densidade e umidade ótima das amostras

Os resultados de ambas as amostras mostraram um resultado satisfatório se comparado a norma. E com massa específica aparente seca máxima com valores próximos.

Para obtenção do grau de compactação foi utilizado o método do frasco de areia, que por meio da escavação de uma pequena cava e com areia padrão, foi possível determinar a densidade do material compactado. O ensaio seguiu as orientações do Método de Ensaio 92 (DNER, 1994).

Para a mistura da empresa foi realizado 4 pontos de ensaio, um a cada 100 metros, intercalados entre bordo esquerdo, eixo e bordo direito da pista. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 02.

Tabela 02. Análise de dados *in situ* da mistura da empresa

	ESTACA 22	ESTACA 27	ESTACA 32	ESTACA 37
Dens. Aparente úmida (gm/cm ³)	2,603	2,443	2,504	2,636
Umidade (%)	6	5,6	5	5,5
Dens. Aparente seca (gm/cm ³)	2,456	2,313	2,427	2,498
Dens. Média laboratório (gm/cm ³)	2,325	2,325	2,325	2,325
Grau de compactação (%)	105,6	99,94	104,3	106,4

Para a obtenção do valor final do ensaio foi realizado a média dos valores encontrados, resultando em uma umidade de 5,5% e densidade seca de 2,451 g/cm³. Com o valor da densidade de campo e com a densidade de laboratório, o grau de compactação resultante para a mistura é de 104,31% estando em conformidade com o que especifica a norma do ES 141 (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE, 2010) onde cita que não são aceitos valores de grau de compactação inferiores a 100%.

O mesmo ensaio se repetiu para a nova mistura, porém como a pista experimental possuía apenas 20 metros, teve apenas 3 pontos de coleta. Os dados coletados estão apresentados na Tabela 03.

Tabela 03. Análise de dados *in situ* da nova mistura

	ESTACA 8	ESTACA 8 + 10	ESTACA 9
Dens. Aparente úmida (gm/cm ³)	2,696	2,680	2,580
Umidade (%)	5,0	6,0	5,5
Dens. Aparente seca (gm/cm ³)	2,567	2,528	2,445
Dens. Média laboratório (gm/cm ³)	2,381	2,381	2,381
Grau de compactação (%)	107,8	106,17	102,9

As amostras resultaram em uma umidade média de 5,5% e uma densidade de 2,514 g/cm³. Com isso



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



o grau de compactação médio resultante é de 105,6%.

Analisando a umidade de campo da mistura experimental é possível concluir que o resultado do ensaio se demonstrou em acordo com o que prescreve as normativas, pois a variação da umidade de campo comparada com a de laboratório atendeu o limite permitido pela norma de até menos 2 pontos percentuais. Porém, como a pista experimental foi executada juntamente com uma pista com o traço da empresa, a quantidade de água adicionada foi correspondente ao que é adicionada frequentemente, justificando a mesma umidade entre as amostras.

Contudo, conhecendo a quantidade de água adicionada e que a mistura experimental possui uma porcentagem de finos maior que a mistura da empresa, é possível concluir que o comportamento da mistura experimental foi melhor que a da empresa, ou seja, se a umidade na execução da base experimental fosse a ótima, ou até mesmo se a intensidade ou quantidade de passadas de rolo compactador fossem maiores, o grau de compactação seria ainda maior, resultando em uma base mais densa, logo mais rígida.

O ensaio realizado para se obter os valores das deflexões da camada de base foi realizada seguindo as prescrições da norma ME 024 (DNER, 1994). O ensaio foi realizado no município de Capinzal/SC, local onde as misturas foram executadas praticamente no mesmo momento, o que é melhor para fazer a comparação, já que a execução seguiu o mesmo processo para os dois traços.

Para se ter um parâmetro de análise da deflexão, foi adotado um limite de 80×10^{-2} mm de deflexão com base em suas características, bem como a faixa de enquadramento e a espessura da camada. O correto a se fazer era respeitar a deflexão máxima de projeto, porém para este projeto não havia essa informação.

O ensaio foi executado nos dois bordos de cada estaca do pavimento. Os valores correspondentes às estacas 8 e 9 são referentes ao traço da nova mistura que a empresa disponibilizou para estudo e os demais pontos são do traço da mistura da empresa. O resultado do ensaio está demonstrado no Figura 06.

A deflexão máxima característica calculada para o lado esquerdo e o direito respectivamente são $101,4 \times 10^{-2}$ mm e $91,5 \times 10^{-2}$ mm. Como estes valores excedem o limite previsto de 80×10^{-2} mm, é necessário fazer uma avaliação de forma mais específica afim de compreender qual das camadas está com maior deflexão, para isso é utilizado a bacia de deflexão.

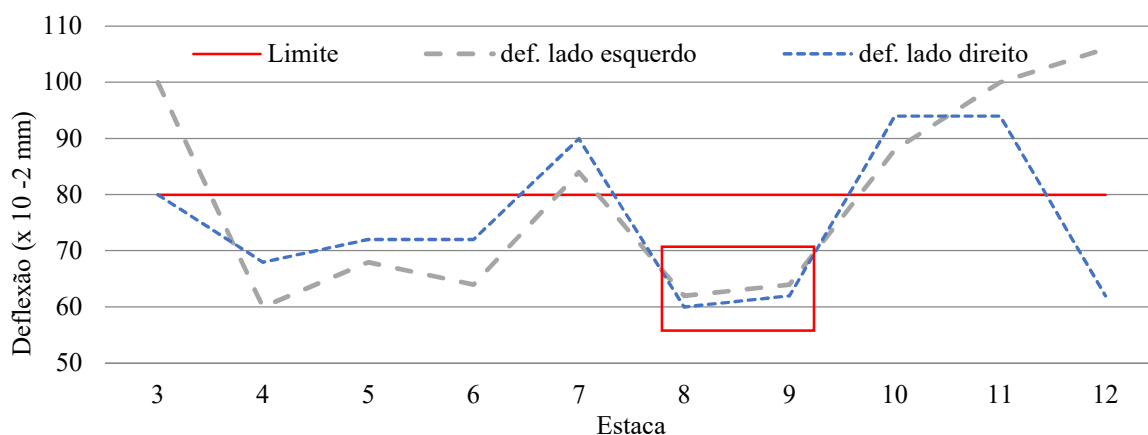
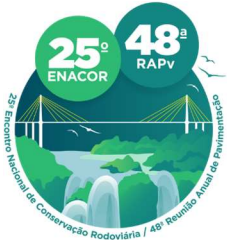


Figura 06 – Deflexão máxima

Porém analisando somente a pista experimental que se encontra entre as estacas 8 e 9 é possível identificar dois pontos com uma deflexão permanente, sem variações e com valores significante, ou



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



melhor, dentro do limite esperado para a mistura.

É importante ressaltar que a pista experimental não está em seu teor de umidade ótima, devido a umidade de campo estar abaixo da prevista em laboratório, ou seja, os dados podem ser ainda melhores se for devidamente executada seguindo os parâmetros de laboratório.

Através da bacia de deflexão é possível determinar a deflexão de cada camada inferior à camada de análise.

A bacia de deflexão é analisada de forma gráfica e elaborada com dados obtidos através da deflexão de várias distâncias partindo de um ponto de análise. Estas distâncias são 12,5 cm, 25 cm, 50 cm e 100 cm. Com a bacia de deflexão pronta, é possível obter o seu raio de curvatura, valor importante que pode indicar possível presença de deformação permanente.

Para a análise da camada de base, é necessário analisar a deflexão entre a distância 0 até 25 cm respeitando o limite adotado para este projeto que é 80×10^{-2} mm.

Os dados da bacia de deflexão dos 4 pontos da pista experimental e do ponto da pista com mistura da empresa está demonstrado no Figura 07.

A primeira análise a ser feita, é semelhante a análise feita no item anterior, a qual fica evidente que a deflexão nova mistura está abaixo do limite adotado para a pista, enquanto a mistura da empresa ultrapassa este valor.

E a segunda análise é com base no raio de curvatura. É recomendado que o raio de curvatura seja acima de 100 m, mas não proíbe a ocorrência abaixo disso, porém quando este valor está acima de 100 m significa que a deflexão recuperada está dentro dos parâmetros possuindo uma menor deformação plástica.

Com base nisso, ambas as misturas tiveram valores acima de 100m. A nova mistura se mostrou melhor e com menor possibilidade de apresentar deformação plástica apresentando um raio de curvatura médio de 188m. Já o raio de curvatura médio da mistura da empresa foi de 112m, ou seja, acima do recomendado, mas sendo necessário um cuidado maior, pois apensar de estar acima do recomendado, a deflexão máxima ultrapassou o limite de 80×10^{-2} mm, o que torna necessário uma possível melhora na camada de base pois a mesma poderá apresentar deformações.

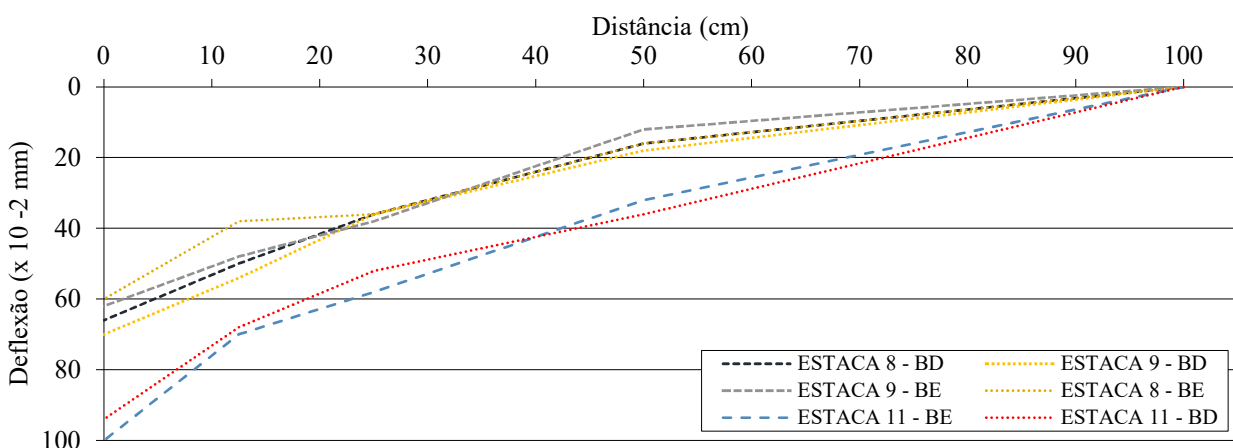
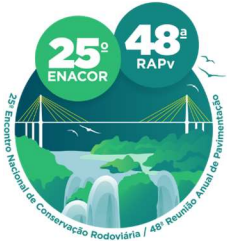


Figura 07 – Bacia de deflexão

Com o resultado da deflexão máxima é possível compreender o que foi descrito por Lima e Motta (2015), onde citam a importância de um material granular para se obter uma base com boa compactação e que resista aos esforços aplicados sobre ela, sem apresentar deformação permanente e fadiga.



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



Logo, é possível assimilar o que foi dito por Bernucci et al. (2007), onde enfatiza uma atenção elevada no dimensionamento da estrutura, pois as mesmas precisam resistir à numerosas solicitações de carga sem que ocorra danos estruturais, o que não foi visto no projeto de pavimentação executado pela empresa, a qual não continha dados importantes, bem como a deflexão máxima permitida. Ainda analisando as duas misturas, o estudo da deflexão foi fundamental para concluir que a nova mistura se mostrou mais eficiente que a mistura da empresa, bem como citou Pinto (2015), onde afirmou que quanto maior o raio de curvatura, tende-se a ter maior elasticidade.

CONCLUSÃO

O resultado da pesquisa traz muitos dados valiosos e ressalta a importância de um ótimo controle tecnológico além de demonstrar a importância de se ter uma mistura homogênea e composta por materiais devidamente caracterizados e conhecidos.

Dessa forma, uma das principais conclusões obtidas é que o problema não se dá especificamente nos materiais que compõem a mistura, mas sim no método que a mistura é executada. Para entender melhor é possível observar que a maior diferença entre a nova mistura e a mistura da empresa é simplesmente a quantidade de material fino, visto que o material adicionado na mistura tem como objetivo repor o material perdido no processo. E além disso, essa pequena perda de material fino, causa uma grande diferença no comportamento final da base como foi possível perceber nos ensaios de deflexão.

A melhor solução seria alterar o método de mistura deste material sabendo que a empresa dispõe de uma central de usinagem, porém necessita de um estudo para adequação para a nova utilidade.

Esta pesquisa se resume em alterar a britagem, a fim de deixar os agregados com um índice maior de finos, para que não seja necessário ter um silo específico para filer e também é claro, para que não seja necessário corrigir o traço com a adição de filer com uma pá carregadeira já que com este método a perda seria praticamente zero.

Se adotado esta medida mitigadora, a qualidade da base se elevará, o que resultará em um pavimento que absorverá melhor os esforços sem apresentar deformações, aumentando assim sua vida útil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NORMA BRASILEIRA 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003- 06 p.

BERNUCCI, L, B et al. Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, 2007. 501 p. ISBN 8585227842.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Manual de pavimentação. 3ª edição – Rio de Janeiro – 2006. 277 pg. (IPR, Publ. 719).

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 24/94. Pavimento - Determinação das deflexões pela viga Benkelman., Rio de Janeiro. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 35/94. Agregados – determinação da abrasão “Los Angeles”. Rio de Janeiro. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 54. Equivalente de areia. Rio de Janeiro. 10 pg. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 92/94. Determinação da massa específica aparente “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ME 162/94. Ensaio de compactação utilizando amostras não trabalhadas. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT ES 141. Pavimentação – base



19 a 22 de Setembro de 2023
Foz do Iguaçu - PR

www.rapvenacor.com.br



estabilizada granulometricamente., Rio de Janeiro. 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT ME 172/16. Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Brasília, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT ME 424/20. pavimentação – agregado – determinação do índice de forma com crivos. Rio de Janeiro, 2020.

FERNANDES, Ivy Souza; TRICHÊS, Glicério. Contribuição à caracterização do comportamento mecânico da camada de brita graduada “in situ”. Florianópolis, 2000.

LIMA, Caroline Dias; MOTTA, Laura Maria. Influência na variação granulométrica de brita graduada simples na deformação permanente. XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, ano 2015, 13 nov. 2015.

PINTO, Salomão. Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. Rio de Janeiro LTC 2015 1 recurso online ISBN 978-85-216-2916-0.

RETORE, Taís. Comportamento mecânico de agregados de basaltos alterados para pavimentação, rejeitos de garimpos de Ametista. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.