

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ALINE VIANA PEREIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DO ASFALTO  
CONVENCIONAL ELABORADO COM CAP 50/70 POR ASFALTO  
BORRACHA EM VIAS URBANAS DE CAMPO MOURÃO - PR.**

CAMPO MOURÃO - PR

2021

ALINE VIANA PEREIRA

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DO ASFALTO  
CONVENCIONAL ELABORADO COM CAP 50/70 POR ASFALTO  
BORRACHA EM VIAS URBANAS DE CAMPO MOURÃO - PR.**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso Superior em Engenharia Civil do Departamento Acadêmico de Construção Civil – DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, para obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientadora: Prof. Dra. Fabiana Goia Rosa de Oliveira

CAMPO MOURÃO - PR

2021



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### Trabalho de Conclusão de Curso

### ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DO ASFALTO CONVENCIONAL ELABORADO COM CAP 50/70 POR ASFALTO BORRACHA EM VIAS URBANAS DE CAMPO MOURÃO - PR.

por

**Aline Viana Pereira**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 19h00min do dia 03 de maio de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRA CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

**Profº. Me. Adalberto Luiz Rodrigues de  
Oliveira**  
( UTFPR )

**Profª. Me Eliana Fernandes dos Santos  
Liberatoni**  
( UTFPR )

**Prof.ª Drª. Fabiana Goia Rosa de Oliveira**  
(UTFPR)  
**Orientadora**

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

**Prof.ª Drª. Paula Cristina de Souza**

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus familiares e amigos, que me incentivaram nos momentos difíceis, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período em que me dediquei a este trabalho.

A professora Fabiana Goia, por ter sido minha orientadora e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade, com todos os conselhos, ajuda e paciência com a qual guiou o meu aprendizado.

A todos meus professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional ao longo do curso.

Aos meus colegas de turma, por compartilharem comigo tantos momentos de descobertas e aprendizado e por todo o companheirismo ao longo deste percurso, que me fizeram crescer não só no pessoal, mas também como profissional.

A todos da empresa Pedreira Itaipu, por todo o ensinamento no período de estágio e construção desta pesquisa, pelo fornecimento de dados e materiais e me permitir realizar todos os ensaios, que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

À instituição de ensino Universidade Tecnológica Federal do Paraná, essencial no meu processo de formação profissional, pela dedicação, e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

## RESUMO

O presente trabalho realiza um estudo de caso que compara os ensaios laboratoriais, usinagem, aplicação na pista, preço do CAP, teor do ligante e custo para a produção do CBUQ que foram realizados com o asfalto borracha em relação ao o asfalto convencional, avaliando a viabilidade técnica e econômica da substituição do asfalto produzido com o CAP 50/70 pela mistura asfáltica elaborada com borracha nas vias urbanas da cidade de Campo Mourão – PR. Esta pesquisa busca contribuir para uma melhor compreensão do uso da borracha, que advém de resíduos de pneus velhos, como insumo de pavimentação para a engenharia civil. Sendo de suma importância o investimento em uma mistura asfáltica mais resistente, com maior durabilidade e tecnológica para aumentar a vida útil nas vias urbanas e ainda realizar uma destinação correta ambientalmente para os pneus inservíveis. O asfalto borracha traz resultados de maior resistência ao desgaste, obtendo um melhor desempenho técnico em relação ao asfalto convencional. Apesar de ser mais caro que o convencional, atualmente no estado do Paraná de acordo com o decreto N° 7871 (2017) não se cobra o ICMS sobre o ligante, o que proporciona valores mais equiparados das misturas e deste modo a substituição se torna ainda mais viável.

**Palavras-chave:** Asfalto borracha; Asfalto convencional, CAP; Misturas asfálticas; Viabilidade.

## ABSTRACT

This paper presents a comparative case study of the laboratorial tests, machining, road application, CAP's price, asphalt binder content, CBUQ's production costs, made between the rubber-asphalt against the conventional asphalt, checking the technical and economic substitution's viability of the asphalt produced with the CAP 50/70 by the asphaltic mixture made with rubber, into the urban roadways Campo Mourão. This research aims to contribute for a better comprehension of the use of rubber (deriving from old tires) as a pavement input for civil engineering. So, it's very important the investment in a more resistant asphaltic mixture, with higher durability and with technology enough to increase the lifecycle of the urban tracks, and also give a correct destination of unserviceable tires. The rubber asphalt brings higher attrit resistance results, with better technical performance in comparison with the conventional asphalt. Despite the higher prices against the conventional, in the state of Paraná, according to the Decree n° 7871 (2017), the asphalt binder it's not taxed by the ICMS, which insures more accessible values of the mixtures, and in this case, it turns the substitution still more viable.

**Keywords:** Asphalt rubber; Conventional asphalt, CAP; Asphalt mixtures; Viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Destilação do Petróleo para a Obtenção do Asfalto.....	15
Figura 2 - Resposta mecânica do pavimento flexível. ....	22
Figura 3 - Rodovia pavimentada. ....	23
Figura 4: Constituição da mistura asfáltica.....	24
Figura 5: Estrutura do pavimento de concreto asfáltico convencional. ....	25
Figura 6 - Padrões granulométricos. ....	26
Figura 7: Esquema do reaproveitamento de pneus descartados. ....	31
Figura 8: Vibro acabadora de asfalto. ....	35
Figura 9: Coleta das amostras. ....	37
Figura 10: Aparelho extrator de betume – Rotarex. ....	38
Figura 11: Amostra seca extração betume.....	39
Figura 12: Peneiras granulométricas. ....	40
Figura 13: Coleta de amostra para o ensaio Rice Test. ....	41
Figura 14: Ensaio Rice Test.....	41
Figura 15: Dispositivo de agitação mecânica. ....	42
Figura 16: Soquete elétrico Marshall.....	43
Figura 17: Corpos de prova ensaio Marshall.....	44
Figura 18: Peso ao ar do CP.....	45
Figura 19: Processo de obtenção do peso superficialmente saturado seco do CP. ....	45
Figura 20: Suporte e balde para peso imerso do CP. ....	46
Figura 21: Processo de obtenção do peso imerso do CP. ....	46
Figura 22: Rompimento do corpo de prova do ensaio Marshall. ....	47
Figura 23: Aferição da altura.....	48
Figura 24: Aferição do diâmetro.....	48
Figura 25: Estabilidade da temperatura a 25° C.....	49
Figura 26: Ensaio de tração diametral. ....	49
Figura 27: Usinagem mistura asfáltica convencional.....	55
Figura 28: Usinagem asfalto borracha. ....	56
Figura 29: Imprimação na pista.....	57
Figura 30: Descarga do asfalto borracha para aplicação. ....	58
Figura 31: Aplicação de massa asfáltica com borracha. ....	58
Figura 32: Compactação da pista com o rolo chapa. ....	60
Figura 33: Compactação da pista com o rolo pneu. ....	60
Figura 34: Extração do corpo de prova com sonda rotativa. ....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de Transporte de Carga: Comparação Internacional.....	18
Tabela 2: Custo CBUQ.....	33
Tabela 3: Granulometria dos agregados do projeto Faixa "D" DER/PR.....	51
Tabela 4: Especificações do projeto asfalto borracha.....	51
Tabela 5: Especificações do projeto asfalto convencional.....	52
Tabela 6: Ensaio CAP ECOFLEX B / CAP 50/70.....	53
Tabela 7: Resultados dos ensaios Marshall e Tração Diametral com o asfalto borracha.....	61
Tabela 8: Resultados dos ensaios de granulometria, extração betume e Rice Test com o asfalto borracha.....	62
Tabela 9: Resultados dos ensaios Marshall e Tração Diametral com o asfalto .....	62
Tabela 10: Resultados dos ensaios de granulometria, extração betume e Rice Test com asfalto convencional.....	63
Tabela 11: Avaliação de testemunhos extraídos por sonda rotativa.....	64
Tabela 12: Ensaio tração diametral com CP extraídos da pista.....	65
Tabela 13: Comparativo dos resultados.....	65
Tabela 14: .....	66

## LISTA DE SIGLAS

AN	Asfalto de Petróleo
ABIDIP	Associação Brasileira dos Importadores e Distribuidores de Pneus
AP	Asfalto Natural
CA	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAP	Concreto Asfáltico
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CEMPRE	Compromisso Empresarial Para A Reciclagem
CNT	Confederação Nacional de Transporte
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
VBV	Relação de Betumes sobre Vazios
Vv	Volume de Vazios

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS .....	12
2.1	OBJETIVO GERAL .....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
3	JUSTIFICATIVA .....	13
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	14
4.1	HISTÓRIA DO ASFALTO.....	14
4.2	TRANSPORTE.....	16
4.3	PAVIMENTO .....	19
4.4	CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS .....	21
4.5	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS.....	22
4.6	MISTURAS BETUMINOSAS.....	23
4.7	ASFALTO CONVENCIONAL .....	24
4.8	ASFALTO BORRACHA .....	26
4.8.1	Impacto ambiental.....	29
4.8.2	Insenção do icms devido a produção do asfalto borracha .....	31
4.9	CUSTO ASFALTO BORRACHA X ASFALTO CONVENCIONAL.....	32
5	MATERIAIS E MÉTODOS .....	34
5.1	EXTRAÇÃO BETUME .....	37
5.2	ENSAIO DE GRANULOMETRIA .....	39
5.3	RICE TEST .....	40
5.4	ENSAIOS MARSHALL.....	42
5.5	TRAÇÃO DIAMETRAL.....	47
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
6.1	PROJETO FAIXA “D” DER/PR .....	50
6.2	CAP ECLOFLEX B X CAP 50/70 .....	53
6.3	APLICAÇÃO DA MASSA ASFALTICA NA PISTA .....	54
6.4	ENSAIOS FAIXA “D” ASFALTO BORRACHA .....	61
6.5	ENSAIOS FAIXA “D” ASFALTO CONVENCIONAL .....	62
6.6	SONDA ROTATIVA .....	63
6.7	ASFALTO BORRACHA X CONVENCIONAL.....	65
7	CONCLUSÃO.....	67
8	REFERÊNCIAS.....	69

## 1 INTRODUÇÃO

Para Balbo (2007), pavimentar uma rodovia é uma obra civil que procura a melhoria operacional para o tráfego, visto que com o pavimento é criada uma superfície mais regular e aderente, proporcionando assim maior conforto no deslocamento e maior segurança em condições de pistas úmidas e molhadas, sendo ainda uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, garantindo melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais.

De acordo com Di Giulio (2007), os materiais utilizados na pavimentação asfáltica vêm sofrendo modificações ao longo dos tempos buscando uma melhor adequação as atuais necessidades, como por exemplo, ter uma maior durabilidade, resistência e qualidade.

Segundo CNT (2007), em um país como o Brasil, no qual o transporte rodoviário é o que prevalece, sendo 62% de sua carga e 96% de seus passageiros trafegam por estradas, deste modo se faz de suma importância que haja melhorias nas condições do sistema, buscando alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento.

Devido ao pavimento, há também o alto desgaste e descarte de pneus, de ao menos 450 mil toneladas de pneus descartados por ano, pois quando se observa o percorrer em um trecho em uma rodovia, encontra-se restos de pneus descartados de modo inconsciente nos acostamentos, e ainda o mesmo leva em torno de 600 anos para se decompor na natureza.

Conforme Cempre (2015), no Brasil uma parte dos pneus inservíveis podem ser reaproveitados de diversas formas, após serem moída são separadas dos demais componentes do pneu. A borracha moída e separada é misturada ao CAP para a mistura e origem do asfalto borracha, que apresenta importantes vantagens quando comparado ao asfalto convencional.

Este trabalho busca realizar um comparativo entre o asfalto borracha com asfalto convencional, sendo este o mais utilizado no Brasil, comparará os ensaios dos dois asfaltos na região de Campo Mourão - PR. Procura explicar a preparação de ambos, demonstrar a produção do asfalto-borracha, analisar seus benefícios devido à reutilização de pneus descartados em relação ao impacto ambiental. Por fim, comparará a viabilidade dos dois tipos de pavimentos na região e analisar as vantagens que o asfalto borracha pode oferecer.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

- Realizar através de um estudo de caso um comparativo técnico e econômico entre as misturas asfálticas, analisando assim a viabilidade da substituição de misturas asfálticas produzidas com CAP 50/70 por misturas asfáltica elaboradas com borracha nos pavimentos urbanos na cidade de Campo Mourão – PR.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as especificações do projeto da Faixa “D” DER/PR do asfalto convencional e o do asfalto borracha, comparando seus resultados;
- Analisar os ensaios realizados pelo fabricante com o CAP 50/70 e com o CAP ECOFLEX B, fazendo uma análise comparativa com os resultados e especificações de cada CAP;
- Realizar os ensaios de extração do betume, determinação granulométrica, Rice Test, tração diametral e determinação da estabilidade e fluência para a mistura asfáltica convencional e comparar seus resultados com o projeto Faixa “D” DER/PR;
- Realizar os ensaios Marshall, extração betume, granulometria dos agregados, Rice Test e tração diametral para a mistura asfáltica modificada com borracha e comparar seus resultados com o projeto Faixa “D” DER/PR;
- Comparar a aplicação da massa asfáltica convencional na pista com a aplicação do asfalto borracha, acompanhando sua usinagem, aplicação e compactação na via urbana;
- Determinar a resistência à tração por compressão diametral e avaliar a espessura da camada se está de acordo com a de projeto, através dos CP's retirados da via urbana pela sonda rotativa;
- Comparar os resultados dos ensaios e aplicação na via urbana das misturas asfálticas, analisando a viabilidade da substituição do asfalto convencional pelo asfalto borracha nas ruas de Campo Mourão – PR.

### 3 JUSTIFICATIVA

Entende-se que a busca por melhorias quanto ao procedimento de pavimentação asfáltico no Brasil é necessária e urgente, novos meios, melhorias, progressos para a situação atual é esperado para cada vez mais buscarmos por estradas mais seguras e confortáveis no qual todos os dias milhares se movimentam.

Sendo assim, é imprescindível que apresentem uma infraestrutura adequada, com qualidade e segurança. Deste modo, novas técnicas de pavimentação, visam proporcionar avanços significativos na qualidade do pavimento.

De acordo com Campos (2018), diz que a raspa da borracha dos pneus que são adicionadas ao CAP, faz com o que esse asfalto, denominado asfalto borracha, fique mais flexível e seja menos suscetível a rachaduras. Afirma ainda que sua melhor característica é o aumento da vida útil do asfalto, mas faz-se importante também pelo fato da retirada desse resíduo do meio ambiente, pois os mesmos seriam descartados, atendendo ainda uma proposta de sustentabilidade.

Assim um comparativo do asfalto convencional com o asfalto borracha busca mostrar os benefícios que o asfalto borracha pode trazer a pavimentação, mostrando suas melhorias, desta forma na região de Campo Mourão podem-se realizar estudos sobre a viabilidade do asfalto com CAP 50/70 ser substituído pelo asfalto borracha, nos novos loteamentos e avenidas da cidade.

Justifica-se assim a realização deste estudo, no intuito de possibilidade da abordagem mais ampla quanto à temática, tendo como base a aplicação de ambos os asfaltos nas regiões e embasamento teórico nos ensaios. E acreditar que a utilização do asfalto borracha acarretará em uma maior durabilidade do pavimento e ainda ajudando na preservação do meio ambiente.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 HISTÓRIA DO ASFALTO

De acordo com Gusmão (2009), a palavra asfalto vem do termo Acádio “Asphaltu” ou “Sphallo”, que tem o significado de esparramar.

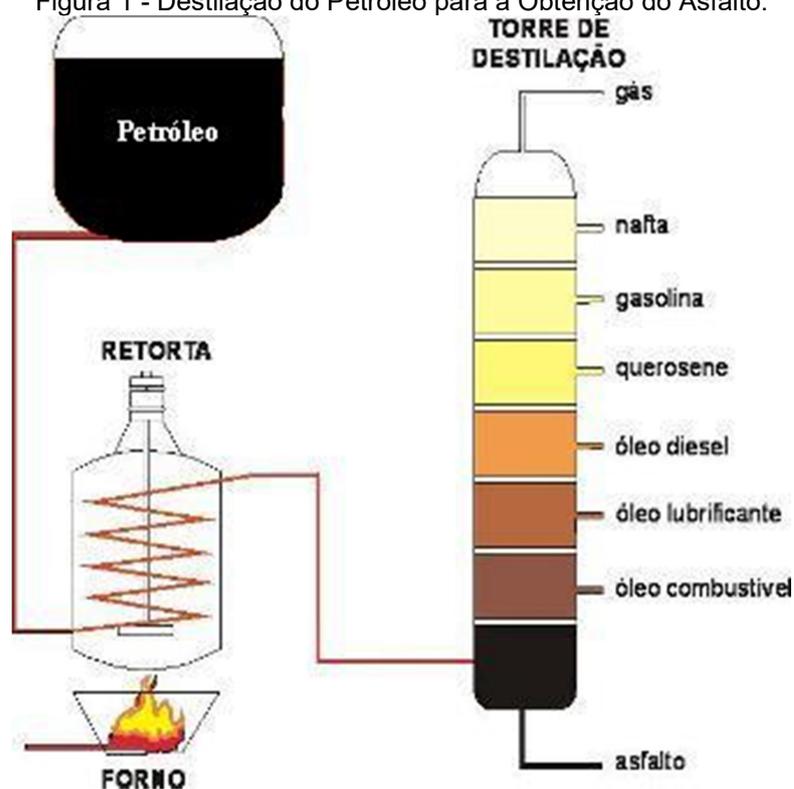
Segundo Castro (2010), acredita-se que a palavra asfalto advém de uma derivação do antigo Acádico “Asphaltic” que fora adotada pelos gregos na época de Homero definida como “tornar firme ou estável”. Afirma ainda que desde o início utilização do asfalto até hoje, o mesmo é aplicado como cimento para aglutinar, revestir e impermeabilizar objetos. Sendo estes desde reservatórios de água, trabalhos em alvenarias à indústria naval. Deste modo o asfalto é considerado um dos produtos mais versáteis da natureza.

Afirma DNIT (2006), que o asfalto é definido como uma mistura a quente, realizada em uma usina apropriada, levando em importância suas características específicas para ser produzido, composto por agregado graúdo, cimento asfáltico e, quando necessário, material de enchimento, sendo ele espalhada e compactado a quente.

Ainda segundo Castro (2010), os primeiros asfaltos vinham da natureza e eram encontrados em camadas geológicas, primeiramente como argamassas moles e prontamente utilizáveis, e posteriormente encontrava-se como veios negros duros e friáveis de formação rochosas. Estes passaram a ser conhecidos como asfaltos naturais e muito utilizados até o início do século 20.

Conforme Mellone et al. (2013), o asfalto vem de destilação do petróleo, sendo este uma de suas frações mais pesadas, com seu ponto de ebulição em torno de 600°C. Isto retrata que ele é obtido bem mais perto da base da torre de destilação. Também pode ser extraído da natureza, o chamado betume. De acordo com o esquematizado na figura 1.

Figura 1 - Destilação do Petróleo para a Obtenção do Asfalto.



Fonte: Campos, 2018.

De acordo com Pinto (2015) os habitantes do vale do Eufrates há 35.500 anos a.C. já utilizavam o asfalto, sendo utilizado em construções e para embalsamar as múmias. O asfalto ainda pode ser encontrado de duas formas naturais ou após refinamento do petróleo: asfalto natural (AN) e asfalto de petróleo (AP).

Diz Sampaio (2005), que se tem dois modos de se adquirir o asfalto, o asfalto natural (AN) que sofre uma destilação natural logo após seu surgimento na superfície da terra, essa destilação resume-se na retirada de gases e óleos leves por ação do sol e dos ventos, ficando apenas um resíduo muito firme, resistente e duro. Já o asfalto petróleo (AP) também advém da destilação, porém, o mesmo ocorre em torres de fracionamento com arraste a vapor e o petróleo tem tipos específicos para o processo. Em seguida do procedimento é adquirido um cimento asfáltico de petróleo (CAP), encontra-se este depositado no fundo das torres.

## 4.2 TRANSPORTE

Diz Bowersox (2001), que os cinco modais de transporte básico são os ferroviários, rodoviários, aquaviários, dutoviários e os aéreos. A relevância de cada modelo deve-se ser observada a distância coberta pelo sistema, o volume de tráfego, a receita e a natureza da que compõe o tráfego.

De acordo com Castro (2010), a opção de a modalidade rodoviária ser vista como o principal meio de transporte de carga deve-se a nível mundial desde a década de 50, tendo como base a expansão da indústria automobilística associada aos baixos preços dos combustíveis derivados do petróleo.

Para Rodrigues (2005), o transporte rodoviário é um dos mais eficientes e ainda com grande facilidade, pois sua única exigência é a presença de rodovias. Todavia, este modo apresenta um elevado consumo de combustível (tonelada de óleo diesel por km transportado).

Segundo Rodrigues (2005), o Brasil começou com o transporte rodoviário com a construção em 1926 da Rodovia Rio - São Paulo, no qual foi a única pavimentada até a década de 40. As rodovias existentes até meados da década de 50 eram totalmente precárias e sem segurança.

De acordo com Ramalho (2009), o modal rodoviário tem a maior procura no Brasil, com um alcance de praticamente todo o território nacional. Na década de 50 quando ocorreu a implantação da indústria automobilística e com a pavimentação das principais rodovias, a procura pelo transporte rodoviário se expandiu tanto que hoje é o que domina o país.

Conforme Castro (2010), pode-se observar uma compatibilidade do sistema de transportes com a necessidade de crescimento da economia brasileira até a fase de ascensão do ciclo baseada no crescimento dos setores de bens de consumo duráveis (1968/73). O desenvolvimento econômico do país na década de 70 esteve relacionado ao esforço de consolidação do parque industrial, por meio de investimentos que se concentraram nos setores de insumos básicos e de bens de capital.

De acordo com a CNT (2007), a matriz de transporte brasileiro, em sua maior parte, é voltada para o modal rodoviário, devido aos fatores culturais e baixo investimento nos outros tipos de modais.

Rodrigues (2005) afirma que, a distribuição de carga através do modo rodoviário tem grandes proporções no Brasil, durante o dia, congestionam-se as principais rodovias das grandes cidades, deste modo aumenta-se a poluição, resultando em um mau desempenho e ainda aumenta-se o desgaste das frotas. Ao contrário de países desenvolvidos, na qual se faz a distribuição de cargas durante a noite, melhorando assim sua produtividade e diminuindo o custo com a manutenção, e ainda diminui consideravelmente o fluxo durante o dia.

Conforme Ramalho (2009), o modelo rodoviário é o que tem maior representação no Brasil, atingindo praticamente todos os pontos do território nacional. Com a implantação da indústria automobilística na década de 50 e com a pavimentação das principais rodovias, o modo rodoviário se expandiu tanto que hoje é maior do país.

A Confederação Nacional do Transporte CNT (2006) afirma que, as estradas como estamos acostumados hoje surgiram no Brasil em meados do século XIX com a necessidade escoamento dos produtos e o crescimento do intercâmbio comercial entre regiões, nos quais necessitavam da abertura de rotas mais modernas. A primeira rodovia pavimentada no Brasil foi inaugurada em 1928, nomeada como Washington Luís, rodovia qual liga a cidade do Rio de Janeiro a Petrópolis. E no século XX, a instituição da indústria automobilística, foi condição determinante para a consolidação transporte rodoviário, sendo o mais utilizado no país.

Desta forma observando quanto às frotas rodoviárias brasileiras são solicitadas diariamente necessita-se de rodovias de qualidade, que zelem pela segurança de quem conduz, tendo assim inúmeros estudos e melhorias ao longo dos anos para adquirir uma pavimentação de qualidade no Brasil, uma das mais utilizadas é a em Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), no qual é utilizado como revestimento das rodovias.

Sampaio (2005) afirma que, o pavimento possui várias camadas, como o revestimento, base, sub-base, subleito e reforço de subleito, ele deve suportar o tráfego, contribuir com a segurança e economia no transporte das pessoas e mercadorias.

De acordo com pesquisas da CNT (2014), o país conta com um total de 203.599 km de estradas pavimentadas, nos quais se responsabilizam por 65% da movimentação de cargas e 90% da movimentação de passageiros, mas essa quilometragem representa apenas 12,0% da malha do território. Todavia, a

qualidade das rodovias nem sempre apresentam condições satisfatórias. Aproximadamente 62,1% da extensão avaliada apresentou alguma deficiência seja no pavimento, na sinalização ou na geometria da via.

Segundo Balbo (2007), pavimentar uma via de veículos tem-se como propósito a melhoria operacional para o tráfego, a passo que se cria uma superfície mais regular e aderente, proporcionando um maior conforto no deslocamento da via e maior segurança na pista quando a mesma estiver em condições úmidas e molhadas. Podendo-se citar ainda que uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos, acaba garantindo um melhor conforto ambiental em vias urbanas e rurais.

Conforme CNT (2007), devido a prioridade de desenvolvimento econômico no país e as características do território nacional, se torna essencial para o Brasil conservar e ampliar sua malha rodoviária, de forma que venha garantir a redução de acidentes e aumentar o nível de serviço do transporte, que obtenha como consequência uma redução de custos.

Do exposto por Castro (2010), o Brasil ainda apresenta uma distribuição modal no transporte de carga consideravelmente centrada na rodovia, que advém de um processo que estendeu-se por várias décadas, no qual sobrelevou o crescimento rápido e desproporcional do modal rodoviário, quando o mesmo se compara com as demais modalidades. Desta forma, o setor de transportes que se apresenta no Brasil de hoje, segundo as características, o que o diferencia dos países desenvolvidos e até mesmo de grande parte dos subdesenvolvidos, pode-se ser analisado de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Matriz de Transporte de Carga: Comparação Internacional.

MODALIDADE	PAÍSES DESENVOLVIDOS	PAÍSES SUBDESENVILVIDOS	BRASIL
Rodoviária	30,00%	42,30%	58,70%
Ferrovária	40,00%	38,50%	20,60%
Hidroviária	16,00%	10,90%	17,20%
Outras	14,00%	8,30%	3,40%

Fonte: Geipot, 1993.

Pode-se observar que os resultados mostrados na tabela vem de um contexto histórico do país que resulta hoje com a predominância do transporte rodoviário no país.

Evidenciam-se Bernucci et al. (2008), que o baixo investimento do governo em pavimentação que está abaixo do mínimo necessário. Avalia-se que são investidos de 1 a 2 bilhões de reais por ano na manutenção das rodovias federais, enquanto que seriam necessários ao menos R\$ 10 bilhões anuais para uma manutenção total, o transporte que possui importante papel para o desenvolvimento econômico e para a integração nacional, ligando zonas produtoras e consumidoras, deveria assim ter maiores investimentos.

De acordo com CNT (2007), devido as características do território nacional e da necessidade do desenvolvimento econômico, é essencial para o país conservar, melhorar e ampliar sua malha rodoviária, no qual garanta o aumento de serviço do transporte e reduza os índices de acidentes, e deste modo consiga uma redução dos custos considerável.

Conforme Zatarin et al. (2017), o Brasil ainda necessita de muitos investimentos em infraestrutura, devido o transporte rodoviário ser o responsável pela maior parte do escoamento da produção das indústrias brasileiras. Unidos a essas necessidades de investimento destaca-se também a questão ambiental, que durante o processo de construção ou reforma das malhas viárias, advém a exigência e preocupação de utilização dos recursos tecnológicos disponíveis.

#### 4.3 PAVIMENTO

Afirma Gusmão (2009), que o pavimento é uma estrutura com diversas camadas que tem como atribuição principal resistir aos esforços provenientes do tráfego e transmiti-los às camadas inferiores, ocasionando aos usuários melhorias nas condições de rolamento, com conforto, segurança e economia. Diz ainda que os asfaltos de petróleo são materiais coloidais, os quais são compostos de hidrocarbonetos com alto peso molecular, contendo em sua superfície resinas aromáticas, formando em sua superfície o Malteno.

Segundo Bernucci et al. (2008), o pavimento é a camada que se coloca sobre o terreno, seja ele natural ou terraplenado, que tem como objetivo aumentar sua resistência e amparar na circulação de pessoas e veículos. Podendo-se citar os pavimentos asfáltico e de concreto, o primeiro sendo uma estrutura que se forma através de camadas variáveis de solo, agregados e material ligante (asfalto), e tem como sua principal função o suporte para deslocamento de veículos.

De acordo com Lastran (1998), a qualidade dos pavimentos é influenciada de acordo com o tipo de revestimento e materiais utilizados. Deste modo a busca de novas alternativas para a construção civil é constante, devido a escassez cada vez maior de materiais naturais e ainda o aumento de custos dos materiais de construção.

Diz Sampaio (2005), que no Brasil o revestimento de pavimentos utilizados são obtidos pela agregação de materiais, no qual pode-se ser por meio de concreto betuminoso a quente ou a frio. Vale ressaltar que o usinado a quente é o mais utilizado no Brasil, sendo formado com a mistura de agregados com tamanhos e materiais diversos, cimento asfáltico aquecidos em temperatura adequada. Já as misturas usinadas a frio são caracterizadas como mais econômicas, entretanto são indicadas somente para vias de baixo volume de tráfego, ou então, são utilizadas na camada intermediária, e em processo de recuperação e recapagem.

Conforme Bernucci et al (2008), as misturas usinadas a quente se diferenciam consideravelmente quando comparada aos outros tipos, isso devido ao seu fator granulométrico empregado e exigências quanto a mecânica. Sendo ela composta de aproximadamente 95% de pedra, areia ou cascalho, unido por cimento asfáltico (CAP), um produto de petróleo bruto. Seu aquecimento combinado junto com o agregado, sendo feito em uma usina de asfalto com todos os índices controlados, as quantidades e seu teor de CAP. O transporte da massa é feito por caminhões até o local de pavimentação e espalhado por vibroacabadora.

Afirma DNIT (2006), que esse tipo de usinagem demonstra-se com alto teor de resistência, todavia, é necessário que materiais sejam selecionados e dosados de forma adequada, como por exemplo, o teor de asfalto a qual a pesagem deve estar entre 4,5% a 6%, apresentando poucas variações, conforme pode-se observar com os dados e especificações das normas.

Evidencia Sampaio (2005), que a busca por novos processos de materiais de massa asfáltica demonstra-se promissora, devido a diferentes fatores. Primeiramente por ser o Brasil um país rodoviário, ou seja, que apresenta fluxo considerável de veículos rodoviários. Outro ponto é a obtenção de materiais que apresentam contribuição ambiental na economia de recursos, como por exemplo, a utilização de borracha de pneus velhos que além de aspetos ambientais, ainda apresenta viabilidade de custos, como a redução de manutenção em longo prazo. Deste modo, pode-se pontuar que o asfalto modificado por borracha de pneus

granulada contribui para um desenvolvimento sustentável, no qual define-se um destino eficiente para um problema das sociedades modernas, os pneus usados.

De acordo com Balbo (2007), a pavimentação deve assegurar uma pista confortável e segura, com estruturas e materiais capazes de sustentar esforços decorrentes da ação do tráfego, os quais ainda são combinados com as condições climáticas, a baixo custo, melhor dizendo, buscar sempre que possível o aproveitamento de materiais locais para as obras, garantir um bom desempenho em termos de custos operacionais e de manutenção ao longo dos anos de serviço desta infraestrutura social. Neste aspecto que se reside a verdadeira arte e ciência de engenharia de pavimentação, sendo com pura técnica (sem aplicação de conceitos científicos, mas como uma arte de se saber fazer).

#### 4.4 CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

Para Pinto et al (2015), o pavimento se divide em duas classificações sendo os rígidos e os flexíveis. Sendo o pavimento flexível o pavimento em que todas as camadas recebem uma deformação elástica sob o carregamento aplicado, e deste modo, a carga distribui-se em parcelas próximas entre as camadas. Os componentes dos pavimentos flexíveis são o material asfáltico, agregado graúdo e agregado miúdo. Já o pavimento rígido possui uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo praticamente todas as tensões que veem do carregamento aplicado. Os materiais que compõe o asfalto rígido são o Cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água tratada, aditivos químicos, fibras, selante de juntas, material de enchimento de juntas e aço.

Conforme Infraestruturas Rodoviárias (2018), é usual considerar três tipos de pavimentos, de acordo com os materiais utilizados na sua composição:

1. O pavimento flexível, em que sua camada superior é composta por misturas betuminosas, e suas outras camadas que estão entre a mistura betuminosa e o sub-leito do pavimento são compostas por materiais granulares;
2. O pavimento semi-rígido, em que sua camada superior é composta por misturas betuminosas, mas suas outras camadas que estão entre a mistura betuminosa e o sub-leito do pavimento são compostas por materiais

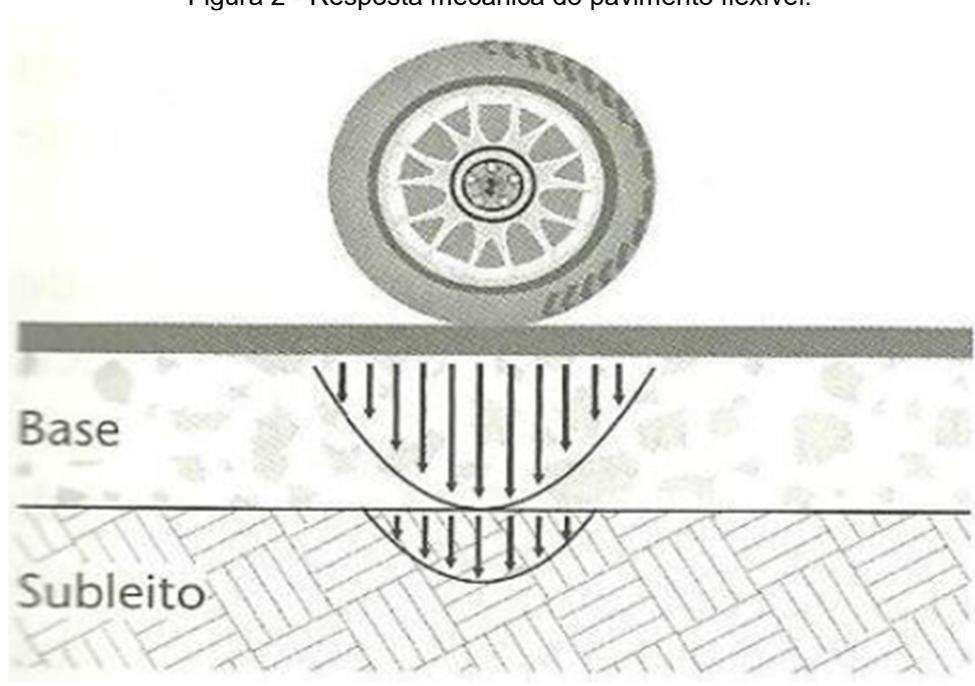
granulares tratados com ligantes hidráulicos, com influência na capacidade de carga do pavimento;

3. O pavimento rígido, em que a camada de desgaste é composta por um concreto de elevada resistência.

#### 4.5 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Segundo o DNIT (2006), os pavimentos flexíveis são constituídos por uma camada superficial asfáltica, conhecido como revestimento, que se apoiam sobre as camadas de base, sub-base e de reforço do subleito, formadas por materiais granulares, solos ou misturas de solos, sem adição de agentes cimentantes, e que quando o pavimento é sujeito a um carregamento sofre deformação elástica em todas as camadas, isto é, a carga se distribui em parcelas equivalentes e com pressões concentradas, conforme demonstrado na figura 2.

Figura 2 - Resposta mecânica do pavimento flexível.



Fonte: Balbo, 2007.

Conforme Bernucci et al (2010), relacionam-se aos materiais utilizados nos pavimentos flexíveis, os agregados representam de 90% a 95% do revestimento, são eles que suportam e transmitem as cargas aplicadas pelos veículos e devem resistir ao desgaste sofrido devido essas solicitações. E em relação o material

betuminoso, o asfalto, esse equivale de 5% a 10% do revestimento, tendo função de aglutinante e impermeabilizante.

Dos diversos tipos de pavimentos flexíveis, existem as misturas usinadas, a mistura de agregados com o ligante é feita em uma usina estacionária, e posteriormente transportada para o local de utilização. Como pode-se observar na figura 3 com a pavimentação flexível já aplicada no local, figura 3.

Figura 3 - Rodovia pavimentada.



Fonte: Sanches, 2012.

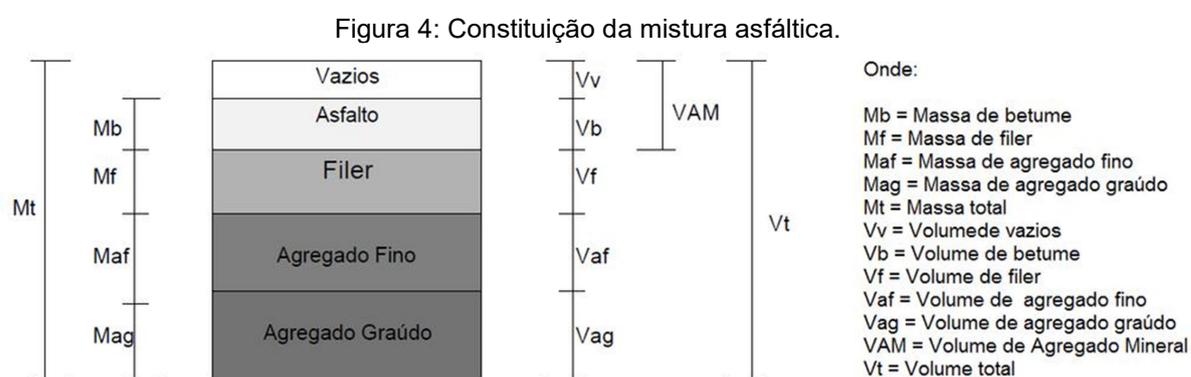
#### 4.6 MISTURAS BETUMINOSAS

De acordo com Bernucci et al (2010), as mistura asfálticas são realizadas na usina e transportadas por caminhões para a pista, na qual são lançadas por equipamento apropriado, denominado vibroacabadora. Logo após a aplicação a massa é compactada, com o chapa e rolo pneu, até atingir um grau de compressão que demonstre um resultado estável e resistente. As misturas a quente diferenciam-se de acordo com o padrão granulométrico empregado, o traço, e as exigências de características mecânicas, de acordo da finalidade de cada aplicação, deste modo cada traço se destinando a diferentes características e gerando diferentes faixas de asfalto.

Bernucci et al (2010), dizem que um dos tipos de asfalto mais procurado no Brasil é o concreto asfáltico (CA) também conhecido como o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Sendo um produto que advém da mistura de agregados de diferentes tamanhos e o cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas já estabelecidas, de acordo com a característica, a viscosidade-temperatura do ligante.

Para Zagonel (2013), o processo de misturas betuminosas é realizado inicialmente pela pré-dosagem, os silos, esses que são dosados individualmente pelo sistema de controle. Em seguida, deste processo os agregados são levados a

um secador a qual passam por processo de eliminação, iniciando também o processo de aquecimento, que visa a obtenção de temperatura de mistura do ligante que varia de 150° a 190° C, sendo esta temperatura determinada de acordo com o tipo de mistura e ligante. Posteriormente a esse processo os agregados então vão para o misturador externo, no qual ocorre separação de materiais (fino e pó) que ficam retidos nos filtros de mangas e obtendo deste modo outro processo de separação, mas desta vez de granulometria dos materiais por peneiras. Durante todo esse processo o sistema de dosagem então injeta o ligante no misturado sobre os agregados secos e quentes e assim se obtém o asfalto. Pode-se observar este processo de acordo com a figura 4.

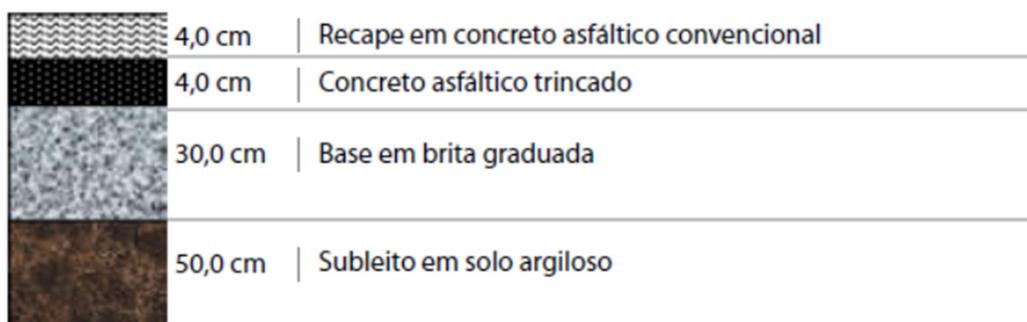


Fonte: Marques, 2007.

#### 4.7 ASFALTO CONVENCIONAL

Segundo Campos (2018), o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é uma mistura densa, constituída de agregado graúdo, agregado miúdo, filer e material betuminoso. Seu controle tecnológico, no qual analisam os resultados obtidos da granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios, temperatura e equipamentos é bem rígido. Na sua aplicação sobre a superfície e sua compactação necessária, resultará em uma pavimentação flexível com densidades e espessuras específicas em projetos. Os mesmos procedimentos podem ser analisados como na base, regularização do sub-leito ou reforço do pavimento. Pode-se observar na Figura 5 a demonstração da estrutura de um recapeamento feito com CBUQ.

Figura 5: Estrutura do pavimento de concreto asfáltico convencional.



Fonte: Greca asfalto, 2006.

Conforme Oliveira (2014), em um comparativo de concreto betuminoso usinado a quente com diferentes tipos de ligante, um estudo realizado na região metropolitana de Goiânia, destaca-se que as misturas têm seus tipos definidos de acordo com a finalidade da sua aplicação, variando sua granulometria e as características mecânicas exigidas. De acordo com os padrões granulométricos, três se destacam na mistura a quente:

- A graduação densa, na qual sua curva granulométrica é contínua e bem-graduada, viabilizando um esqueleto mineral com poucos vazios;
- A graduação aberta, na qual sua curva granulométrica é uniforme, isto é, os agregados possuem praticamente o mesmo tamanho, proporcionando à mistura um maior volume de vazios. Deste modo a mistura asfáltica se torna drenante, permitindo a percolação de água em seu interior;
- A graduação descontínua, na qual sua curva granulométrica mostra maior concentração dos agregados de maior dimensão, isto quando comparado aos de dimensão intermediária, ocasionando um esqueleto mineral com maior contato entre agregados graúdos.

Podem-se observar essas diferenças granulométricas na figura 6

Figura 6 - Padrões granulométricos.



Fonte: Campos, 2018.

Segundo Di Giulio (2007), o pavimento convencional devido à composição de suas camadas gera um alto custo, por esta razão tem-se a necessidade de buscar novas soluções no mercado que apresentem um melhor custo benefício, isto é, bom desempenho com baixo custo. Diz que nos últimos anos aumentaram-se os estudos sobre a incorporação de fragmentos como ligantes asfálticos.

#### 4.8 ASFALTO BORRACHA

De acordo CNT (2007), no quesito de pavimentação, o Brasil é um país rodoviarista, que transporta mais de 50% de sua carga e praticamente 100% de seus passageiros por estradas, por este motivo, é evidente a urgência de melhoria do sistema viário, não só no transporte, mas que abranja todos os setores da economia e da sociedade em geral.

A Greca Asfalto (2011) afirma que, os resíduos sólidos são resultantes das atividades humanas e da natureza e os mesmos podem ser utilizados, gerando proteção ao meio ambiente, a comunidade e economia de recursos naturais. A finalidade que se dá aos resíduos sólidos tem grande relevância quando o assunto é o acumulo de pneus inutilizados. Por isso averiguou-se a possibilidade de melhorias nas condições dos revestimentos asfálticos com a adição da borracha ao ligante. No Brasil, aproximadamente a 14 anos já é possível trafegar por trechos de rodovias com asfalto-borracha. Em 2001, depois de inúmeras pesquisas houve a primeira utilização do CBUQ com asfalto borracha no Brasil, no dia 17 de agosto, no km 319 da BR 116, rodovia concedida da Univias. O trecho em questão fica em Guaíba e

Camaquã, no Rio Grande do Sul. Deste modo, se vê uma oportunidade de gerenciar melhor o passivo ambiental, o pneu inservível começa a fazer parte da matéria prima e se torna um grande aliado no modelo ambientalmente correto e na estratégia econômica.

Conforme afirma a Conferência das Nações Unidas (2017), os pavimentos são desenvolvidos buscando novos meios para que não ocorram defeitos a curto prazo, não causar desconforto, não aumentar custos ou ainda que possa vir reduzir a segurança. Por isto, observou-se a possibilidade de melhoria aprimorando a utilização da borracha, de modo que venha a atender suas diferentes necessidades e ainda ser um produto com qualidade, escolhendo assim pela adição de ligante de borracha nos revestimentos asfálticos.

Para Morilha et al. (2007), nos dias atuais as misturas asfálticas com borracha são produzidas com resíduos de borracha e os obtêm através de dois processos, o seco e úmido. As misturas podem conter aditivos ou modificadores como os diluentes e óleo.

- No processo seco, como o próprio nome diz, a borracha é adicionada através da usina mediante adição da borracha junto ao agregado. Mesmo que esse tipo de ligação pode vir a prejudicar a junção do ligante com o agregado, tal mistura pode trazer melhorias, na condição que a mistura forme um material homogêneo, os grânulos da borracha representam de 0,5 a 3,0% da massa do agregado.
- No processo úmido, a borracha é primeiramente misturada ao ligante, e deste modo gera uma mistura permanente. Diante essas condições de mistura observa-se uma transferência com melhores resultados das características elásticas, mecânicas e combate o envelhecimento do ligante. O pó de pneu representa cerca de 15% da massa do ligante ou menos que 1,5% da massa da mistura.

De acordo com Specht (2004), o desmonte dos pneus pode ser feito de diferentes maneiras, como o cisalhamento mecânico da borracha à temperatura ambiente, que seria corte em pequenos fragmentos, o congelamento do material e logo após o cisalhamento, o processo de extrusão com o uso de aditivos, sendo este um processo seco. Outra forma de se obter borracha granulada seria com o

reaproveitamento da raspa que pode ser adquirida da preparação dos pneumáticos para recauchutagem, esse advindo de um processo úmido. E ainda um terceiro processo, denominado misto, no qual a mistura é feita de forma parecida ao da via seca, entretanto com o uso do ligante modificado com borracha.

Segundo Neves (2004), a modificação dos ligantes asfálticos que utiliza-se em pavimentação com adição de borracha de pneus pode-se ser considerada uma alternativa atraente, na qual seria possível o melhoramento das propriedades dos materiais betuminosos. Pois no seu resultado final o revestimento com borracha adquire características técnicas superiores às verificadas em misturas asfálticas convencionais.

Diz Wickboldt (2005), que a borracha constituinte do pneu possui excelentes propriedades físico-químicas para ser incorporada ao ligante convencional, proporcionando-se assim uma série de melhorias que refletem diretamente na durabilidade do pavimento. Pois com a incorporação de agentes antioxidantes e inibidores da ação de raios ultravioletas diminuem o envelhecimento do Cimento Asfáltico de Petróleo, aumenta a resistência à ação química de óleos e combustíveis, diminui a suscetibilidade térmica, aumenta a resistência a tração admissível (melhorando o comportamento à fadiga), aumenta a deformação elástica instantânea e ocorre a diminuição da deformação permanente (ângulo de defasagem).

Para Rodrigues (2005), o ligante modificado por borracha granulada de pneus, expõe as seguintes características:

- As misturas com CAP borracha são mais resistentes às variações de temperatura, desta forma o seu desempenho tanto a altas como a baixas temperaturas se sobressai quando comparado com misturas com CAP convencional;
- Aumenta sua flexibilidade, por causa da maior concentração de elastômeros na borracha de pneus;
- Melhora a adesividade aos agregados;
- Aumenta a vida útil do pavimento;
- Possui maior resistência ao envelhecimento, devido a presença de antioxidantes e carbono na borracha de pneus que auxiliam na redução do envelhecimento por oxidação;

- Adquirir maior resistência à propagação de trincas e a formação de trilhas de roda;
- Proporciona a redução de espessura do pavimento;
- Melhora a aderência do pneu-pavimento;
- Reduz o ruído provocado pelo tráfego entre 65 e 85%.

De acordo com Oda (2000), quando compara-se com ligante convencional percebe-se que a quantidade de CAP borracha necessária para uma determinada mistura seria maior, o que justifica o problema de exsudação, mas em relação ao tempo o mesmo proporciona uma maior durabilidade à mistura asfáltica. Percebe-se ainda que quando se necessita de misturas asfálticas para revestimentos asfálticos de alto desempenho, os ligantes asfálticos convencionais não apresentam um desempenho adequado, de modo que os pneus inservíveis começam a fazer parte da matéria-prima e se tornam grandes aliados no modelo ambientalmente correto e na estratégia econômica.

#### 4.8.1 Impacto ambiental

Segundo Nohara (2005), quando utiliza-se como matéria prima o material que de outra forma seria considerado rejeito, representa o principal incentivo às tentativas de incorporação dos resíduos de borracha provenientes de pneus. Elaborar-se o asfalto borracha com o preparo da mistura asfáltica aproveitando resíduos sólidos, provenientes do descarte de pneus, aprimorando-se características como a resistência, a permeabilidade e a aderência das pistas de rolamento.

Para Nohara (2005), ao incorporar a borracha ao asfalto melhora-se suas propriedades, durabilidade e desempenho do pavimento, proporciona assim o aumento da flexibilidade. Deste modo torna a mistura mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações e trincas, proporcionando assim uma maior segurança do usuário da via quando comparado com o uso do asfalto convencional. E ainda contribui com o ambiente, destacando-se vantagens ecológicas, ambientais e sociais, devido a destinação adequada aos pneus inservíveis.

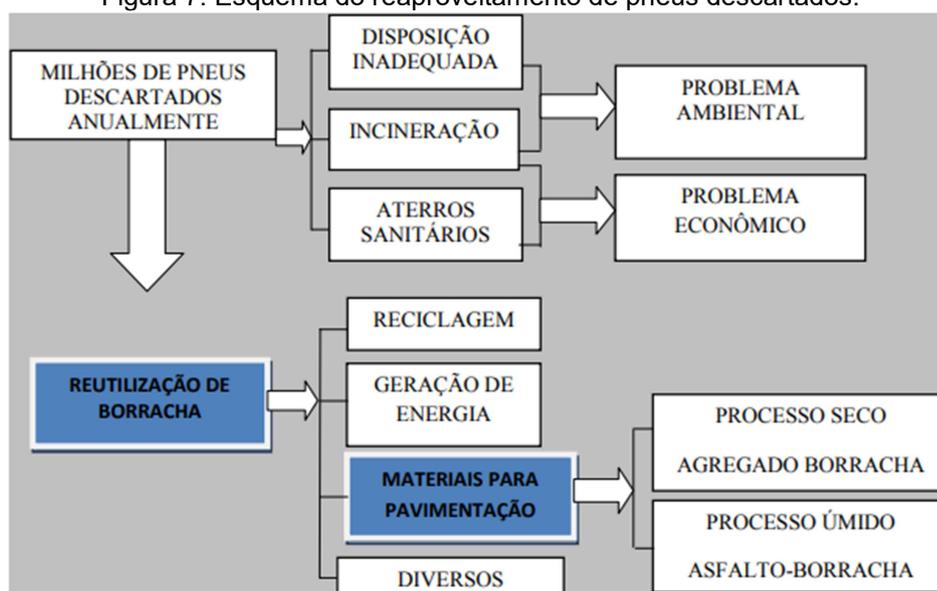
De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem (2005), o Brasil produz cerca de 45 milhões de pneus por ano, sendo apenas 10% reciclado, no que resulta-se no descarte irregular dos pneus inservíveis, que deste modo acabam parando em lixões, rios e estradas, acumulam água, e ainda contribui com a proliferação de mosquitos transmissores de doenças. São considerados resíduos inertes, que representariam menor grau de periculosidade ambiental, os materiais que compõe o pneu são de difícil decomposição, não são biodegradáveis e a decomposição total dos pneus leva cerca de 600 anos. Destaca-se ainda que das 386 mil toneladas de pneus inservíveis 39% destinaram-se a fornos de cimento no Brasil no período de 1999 a 2004, obtendo-se média anual de 25 mil toneladas.

Conforme Greca Afasfalto (2011), adiciona-se as raspas da borracha dos pneus aos componentes do asfalto, faz-se com que ele fique mais flexível e seja menos suscetível a rachaduras e resulta-se no aumento da vida útil do asfalto. Entretanto este processo se torna mais caro que o tradicional, mas faz-se importante devido a retirada de resíduos do meio ambiente, atende-se assim uma proposta de sustentabilidade, pois no Brasil mais de 30 milhões de pneus são descartados por ano.

Segundo Zatarin (2017), para reaproveitar pneus inutilizados no processo de pavimentação deve-se realizar trituração e moagem, nesse processo separa-se o aço do náilon, e deixa como útil somente a borracha em forma de pó. Deste modo utiliza-se de equipamentos para reduzir a borracha vulcanizada a pequenos pedaços, ou mesmo a pó moinhos de cilindros.

ODA (2000) demonstra-se através da Figura 7, um fluxograma de reaproveitamento de pneus descartados, quais suas consequências diante do meio ambiente e os possíveis modos de reutilização.

Figura 7: Esquema do reaproveitamento de pneus descartados.



Fonte: ODA, 2000.

#### 4.8.2 Insenção do icms devido a produção do asfalto borracha

A Associação Brasileira dos Importadores e Distribuidores de Pneus (ABIDIP) discute sobre a ausência de diferenciação tributária e fiscal entre um produto que já estava jogado fora e se transforma apto para nova utilização após seu ciclo final de vida. Afirma que o governo deveria entender que a tributação sobre um pneu já ocorreu durante o ciclo de sua vida útil, quando foi matéria-prima, industrializado, transportado e comercializado. Questiona como tributa-se um produto que virou lixo e um problema sanitário.

Custódio (2016) afirma que, um pneu de veículo de passeio nacional já sofre tributação de 38,67% em seu ciclo de vida útil, o mesmo importado sofre 55,27%. Um pneu de caminhão nacional paga 32,97% e um importado 49,57%. Durante o período de vida útil do pneu entende-se que já se esgotou seu potencial gerador de tributação, mas ocorre uma transformação do pneu velho, inservível que prejudica o meio ambiente, ele entra em um novo ciclo de tributação, que fica mais caro que a própria matéria prima.

De acordo com Custódio (2016), após tritar o pneu velho e transformá-lo em pó de borracha para uso em asfalto ecológico, a Strasse paga 18% de ICMS e 12% de PIS e Cofins. Agregando-se todos os impostos resultam em uma carga tributária de 27% que se embute no preço final do insumo.

Em 2017 o governo do estado do Paraná estabeleceu o Decreto Nº 7871 de 29 de setembro de 2017, que diz sobre a alteração no Regulamento do Imposto sobre Operações Relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação do Estado do Paraná - RICMS/PR. O Governador do Estado do Paraná, no uso das atribuições que lhe confere o inciso V do " caput " do art. 87 da Constituição Estadual e tendo em vista o disposto na Lei nº 11.580, de 14 de novembro de 1996, no parágrafo único do art. 9º da Lei Complementar nº 107, de 11 de janeiro de 2005 e no art. 212 do Código Tributário Nacional - CTN, e tendo em vista o contido no protocolado nº 14.778.757-0, decreta a isenção do imposto ICMS e imunidade IPI, conforme o item 23 anexo V e artigo 155.

Deste modo a partir de 2017 no estado do Paraná não se atribua mais o ICMS na fabricação do CAP borracha. Deixando seu preço mais equiparável ao CAP convencional.

#### 4.9 CUSTO ASFALTO BORRACHA X ASFALTO CONVENCIONAL

Segundo Zatarin et al (2017), o emprego de revestimento com asfalto borracha possibilita uma redução de aproximadamente 14% no valor total da obra. Pois reduz a espessura de 20% a 25%, também permite uma redução considerável no custo da obra quando analisada a longo prazo, considerando suas manutenções.

Segundo a pesquisa Zaratin et al (2017), um orçamento de custo de uma obra de restauração de 30 km de extensão, em que o projeto especifica a aplicação de uma camada de concreto asfáltico de petróleo com ligante CAP-50/70 de 5 cm de espessura. E em contrapartida um revestimento com asfalto borracha, com redução de espessura de 30%, ou seja, com 3,5 cm de espessura. Com estas informações se fez o cálculo de quantas toneladas seriam necessárias para aplicação em 30 km, considerando para o asfalto convencional que a largura da pista com 7 m, sua espessura de 5 cm e a densidade do asfalto utilizado de 2,5 t/m<sup>3</sup>, já no asfalto borracha a espessura seria de 35 cm pois devido a redução permitida de espessura, na tabela 2 se obtém as quantidades de massa asfáltica e seus respectivos de cada asfalto analisado.

Tabela 2: Custo CBUQ.

Revestimento em CBUQ convencional:	Revestimento em CBUQ com Asfalto Borracha com redução de 30%:
30.000m x 7m x 0,05m x 2,5t/m <sup>3</sup> = 26.250 toneladas de massa asfáltica de CBUQ normal	30.000m x 7m x 0,035m x 2,5t/m <sup>3</sup> = 18.375 toneladas de massa asfáltica de CBUQ com Asfalto Borracha
R\$ 200,00 por tonelada	R\$ 230,00 por tonelada

Fonte: Zaratin et al, 2017.

Os pontos adotados para o preço da tonelada de cada asfalto foram:

- O preço médio do CAP-50/70 é de R\$1.150,00/tonelada;
- O preço médio do Asfalto Borracha é de R\$1.550,00/tonelada;
- Considera-se que os preços citados acima são sem frete;
- O teor de ligante da mistura asfáltica com CAP-50/70 é de 5,0% e o teor de ligante da mesma mistura com Asfalto Borracha é de 5,5%.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo Fachin (2006), o estudo comparativo se desenvolve pela investigação de indivíduos, classes, fenômenos ou fatos, com vistas a ressaltar as diferenças e similaridades entre eles. Permitindo a análise de dados concretos e a dedução de semelhanças e divergências de elementos constantes, abstratos e gerais, proporcionando um comparativo direto, com os benefícios de cada um.

Atualmente, a pavimentação das vias urbanas da cidade de Campo Mourão se faz com misturas asfálticas que utilizam o CAP 50/70 na sua composição, a metodologia deste estudo consiste na aplicação de misturas asfálticas em uma rua da cidade que utilizou-se na composição o CAP BORRACHA ECOFLEX B. Deste modo se fez um comparativo de ambas as misturas e buscou-se verificar as vantagens da substituição do CAP 50/70 pelo CAP BORRACHA ECOFLEX B nas misturas asfálticas, analisou-se assim a viabilidade da aplicação futura desta mistura nos loteamentos e avenidas da cidade.

O estudo de caso desenvolvido neste trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste na análise dos ensaios realizados das misturas asfálticas que se enquadram na Faixa D que tinham na sua composição o CAP 50/70 e o CAP BORRACHA ECOFLEX B. Deste modo ambas as misturas tiveram a mesma composição e seguiram o mesmo projeto, modificando apenas a matéria prima utilizada e o teor de CAP para cada composição, a temperatura da mistura de acordo com as especificações e cuidados que cada CAP exige.

A segunda etapa foi acompanhar o processo das duas misturas desde sua formação na usina de asfalto da empresa, na qual checkou-se a temperatura e a aparência de cada mistura ao cair no caminhão. E logo após acompanhou-se a aplicação das massas asfálticas, com os equipamentos necessários para sua melhor aderência e durabilidade. Por fim analisou-se economicamente a aplicação de ambas as misturas, de acordo com suas especificações.

A aplicação da massa asfáltica com o CAP BORRACHA ECOFLEX B aconteceu na Rua Santa Rita, com as coordenadas 23°59'42.8"S 52°21'07.9"W, no Jardim Silvana, na cidade de Campo Mourão – PR. A extensão da mistura asfáltica com borracha foi de aproximadamente 57m, pois para a realização deste estudo aplicou apenas um caminhão com a massa asfáltica com borracha com a pesagem de 23,48 toneladas. A mistura asfáltica foi aplicada através do equipamento vibro

acabadora de asfalto conforme demonstrado na figura 8, que chega a uma largura de 4 metros para aplicar o asfalto na rua e uma espessura de 4 cm que era o especificado no projeto para aquela região. Já na massa asfáltica convencional a empresa já aplicava a mesma no loteamento em questão e apenas para a realização deste trabalho adicionou uma carga de caminhão com a mistura asfáltica com borracha.

Figura 8: Vibro acabadora de asfalto.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os ensaios realizados neste estudo foram:

- 2 (dois) ensaio de extração do betume de acordo com a norma ME 053 (DNER, 1994) o qual determina a percentagem de betume em misturas asfálticas, sendo 1(um) ensaio para cada mistura asfáltica;
- 2 (dois) ensaios para a determinação granulométrica foi normatizado pela ME 083 (DNER, 1993), sendo 1(um) ensaio para cada mistura asfáltica;
- 2 (dois) Rice Test de acordo com a Norma ABNT NBR 15619/2016, para determinar as densidades aparentes das misturas, no qual foi feito 1 (um) ensaio para cada mistura;
- 6 (seis) CP's para Determinar a resistência à tração por compressão diametral - DNER - ME 138/94, sendo 4 (quatro) retirados da pista pela sonda rotativa, obtendo 2 (dois) para cada mistura asfáltica, e mais 2 (dois) corpos

de prova moldados no laboratório, sendo 1 (um) para o asfalto borracha e 1 (um) para o convencional;

- 4 (quatro) CP's para o método da determinação da estabilidade e de fluência de acordo com a norma ME 043 (DNER 1995), sendo 2 (dois) corpos de prova para cada mistura asfáltica.

Para a realização dos ensaios, confecção das misturas asfálticas e aplicação na pista foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Usina de Asfalto Inova 1500 Ciber;
- Aparelho Extrator de Betume Rotarex;
- Soquete Eletrico Marshall;
- Rice test;
- Peneiras Granulométricas;
- Prensa Hidráulica;
- Sonda Rotativa;
- Caminhão Basculante;
- Balança;
- Balde de 15 litros;
- Fogão Industrial;
- Colher de Pedreiro;
- Vibro Acabadora de Asfalto Ciber;
- Rolo Pneu;
- Rolo Chapa;
- Caminhão Espargidor;
- Emulsão PRIME;
- Emulsão RR1C;
- Óleo Mineral;
- Cap 50/70;
- Cap Borracha Ecoflex B;
- Brita 1/2";
- Areia;
- Brita 3/8";
- Pó de Pedra.

## 5.1 EXTRAÇÃO BETUME

O ensaio extração betume de acordo com a norma ME 053 (DNER, 1994), determina a percentagem de betume presente em misturas asfálticas, o mesmo realizou-se através do uso de um extrator centrífugo. Desta forma se fez a coleta de cada mistura de dentro do caminhão como demonstra-se na figura 9.

Figura 9: Coleta das amostras.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O ensaio de extração iniciou-se com a pesagem no prato do aparelho extrator, este tarado na balança, após a tara a amostra foi adicionada ao prato e assim obteve-se o peso inicial. O prato com o material foi fixado no rotarex em seu interior, como ilustrado na figura 10, nele adicionou-se o solvente (tetracloreto), cobriu com o papel filtro e fechou-se o aparelho. Após o tempo de 15 minutos o aparelho foi ligado e de forma gradativa o extrator alcançou-se a velocidade de operação de 3600 rotações por minuto (RPM), até que a solução de betume e solvente foi extraída. Então foi adicionado mais 150 ml de solvente e girou-se o aparelho novamente até que se extraísse o solvente com o betume, repetindo esta ação até que constatou-se que não havia mais a presença de ligante no solvente.

Figura 10: Aparelho extrator de betume – Rotarex.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Levou-se a amostra ao fogo industrial até estar completamente seca como demonstrado na figura 11, e a pesou-se novamente, de forma que a diferença com a pesagem inicial foi à quantidade de CAP que estava na amostra e assim adquiriu-se o teor de CAP para cada uma das misturas, utilizando a seguinte fórmula:

$$\text{Teor} = \frac{\text{peso do betume extraído}}{\text{peso da amostra inicial}} \times 100$$

Figura 11: Amostra seca extração betume.



Fonte: Autoria própria, 2021.

## 5.2 ENSAIO DE GRANULOMETRIA

O ensaio para a determinação granulométrica realizou-se de acordo com a norma ME 083 (DNER, 1993) de análise granulométrica para agregados. A qual prescreve a determinação de agregados graúdos e miúdos por peneiramento de cada uma das misturas asfálticas analisadas. As peneiras usadas foram de malha quadrada, definidas pela norma ME 035 (DNER, 1995), organizadas em tamanhos crescente da base para o topo.

Antes de se dar início ao ensaio primeiramente limpou-se todas as peneiras, então pesou-se a amostra a ser peneirada, essa pesagem advém da amostra seca sem betume do ensaio da extração, para conferência da mesma, verificando se está dentro dos parâmetros da faixa analisada, obtendo-se assim a massa total. Fez-se a montagem das peneiras, de acordo com a faixa de projeto estudado, como demonstrado na figura 12.

Figura 12: Peneiras granulométricas.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Aplicou-se a amostra já pesada na peneira de maior abertura, situada no topo, por movimentos laterais e circulares alternados as peneiras foram agitadas, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado. Os agregados passaram pelas peneiras apenas com a agitação, sem forçar a passagem de partículas através das malhas. Após a finalização da agitação das peneiras, o material retido em cada peneira foi pesado, anotou-se a pesagem na tabela de resultados para análise da amostra dentro da faixa desejada.

### 5.3 RICE TEST

Este ensaio determinou-se a densidade relativa máxima que a massa asfáltica pode obter, anteriormente denominada densidade máxima teórica de misturas asfálticas não compactadas, utilizando-se o método Rice. Primeiramente determinou-se a massa do recipiente, colocou-se água e pesou, depois separou-se as partículas das amostras que foram coletada diretamente dos caminhões, sendo uma amostra ainda quente para cada tipo de mistura asfáltica, resfriou-se as amostras até atingir a temperatura ambiente, conforme a figura 13. Em seguida colocou-se uma das amostras no recipiente seco e tarado, pesou-se o conjunto e registrou-se a massa da amostra. Acrescentou-se água destilada à temperatura de  $25 \pm 1$  °C conforme demonstrada na figura 14, suficiente para que o nível final fique pelo menos 5,0 cm acima da amostra.

Figura 13: Coleta de amostra para o ensaio Rice Test.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 14: Ensaio Rice Test.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Logo após colocou-se o tampão no recipiente e fixou o frasco com a amostra e a água sobre o dispositivo de agitação mecânica, como mostrou-se na figura 15. Iniciou a agitação e imediatamente começou a remover o ar da amostra pela aplicação gradual da pressão de vácuo até que a pressão residual no manômetro

registre uma leitura de  $3,7 \pm 0,3$  kPa cerca de  $27,5 \pm 2,5$  mm Hg, o vácuo deve ser obtido em 2 minutos. Após atingir o vácuo desejado para a realização do ensaio a agitação continuou por 15 minutos, em seguida fez-se a ultima pesagem e com esses dados o ensaio está concluído, adicionando-o nas tabelas de resultados posteriormente.

Figura 15: Dispositivo de agitação mecânica.



Fonte: Autoria própria, 2021.

#### 5.4 ENSAIOS MARSHALL

Através da conferência do ensaio Marshall foi possível se obter o peso ao ar, peso superficialmente saturado seco (sss), o peso imerso, a estabilidade e a fluência dos corpos de prova, isso para cada mistura asfáltica, para obtenção de um comparativo dos resultados. As amostras foram coletadas diretamente do caminhão, sendo 2 (duas) amostras para cada massa asfáltica.

O molde para a compactação e a base do soquete devem estar limpos e aquecidos para realização do ensaio, o molde foi adicionado no suporte de compactação e colocou-se a folha de papel filtro, foi adicionado a mistura no molde e aplicou 75 golpes, após virou o recipiente e aplicaram-se mais 75 golpes, com o soquete elétrico Marshall conforme a figura 16. Após sua moldagem retirou-se o anel inferior e colocou-se em uma superfície lisa para descanso em temperatura

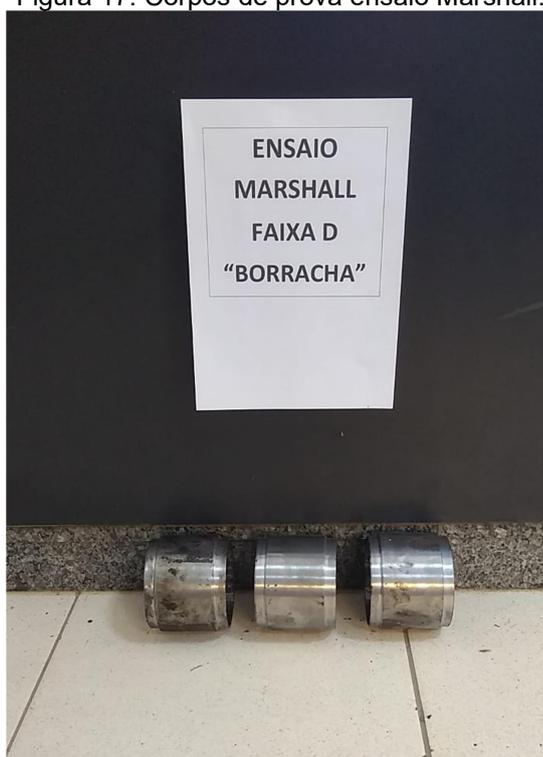
ambiente por no mínimo 12 horas, conforme a figura 17 com as amostras da mistura asfáltica com o CAP ECOFLEX B.

Figura 16: Soquete elétrico Marshall.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 17: Corpos de prova ensaio Marshall.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para obter o peso ao ar coloca-se o corpo de prova na balança e anota-se sua massa, como ilustra-se a figura 18. Já na obtenção do peso do corpo de prova superficialmente saturado seco, primeiramente adicionou o CP no balde com água em seguida secou-se superficialmente com o pano, como ilustrado na figura 19, e em seguida colocou-se na balança e anotou-se sua massa. Por fim, para o peso imerso adicionou-se o suporte com balde com água em cima da balança e tarou-se seu peso, como demonstrado na figura 20, em seguida com o auxílio de uma linha prendeu-se o CP no suporte e deixa-o submerso em água, como visto na figura 21, deste modo anotou-se a massa expressa na balança.

Figura 18: Peso ao ar do CP.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 19: Processo de obtenção do peso superficialmente saturado seco do CP.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 20: Suporte e balde para peso imerso do CP.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 21: Processo de obtenção do peso imerso do CP.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a determinação da estabilidade e fluência dois corpos de prova foram imersos em banho-maria na temperatura de 60°C por um período de 40 minutos. Logo após colocou-se um dos CP's no molde de compressão, adicionou-o na prensa hidráulica e ajustou-se o medidor de fluência, conforme demonstrado na figura 22.

Figura 22: Rompimento do corpo de prova do ensaio Marshall.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a leitura da prensa hidráulica corretamente, ajustou-se o êmbolo para uma elevação de 5 cm por minuto, até que ocorreu-se o rompimento do corpo de prova, observado pelo defletômetro na indicação máxima. Fez-se a leitura da estabilidade e fluência e adicionou-se na tabela de resultados, os dados obtidos da estabilidade foram convertidos para N (kgf). Comparando-os com o projeto de sua faixa e averiguou-se os resultados, analisou-se se estão dentro das especificações.

## 5.5 TRAÇÃO DIAMETRAL

Do mesmo modo que se moldou-se os CP's para a estabilidade e fluência moldou-se o corpo de prova para a tração diametral, com 75 golpes, sendo realizado um rompimento para cada mistura asfáltica. E ainda se obteve outros 4 (quatro) corpos de provas que foram retirados diretamente da pista por meio da sonda rotativa, para análise de seus parâmetros e resistência após aplicação.

Primeiramente mediu-se a altura (H) do corpo-de-prova com o paquímetro, em quatro posições opostas (adotando como altura a média aritmética das quatro

leituras), em seguida mediu seu diâmetro (D) com o paquímetro, conforme as figuras 23 e 24.

Figura 23: Aferição da altura.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 24: Aferição do diâmetro.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Então os corpos de prova foram adicionados em um balde de 15 litros para manter uma temperatura constante de 25°C conforme a figura 25 por um período de 2 horas. Em seguida foram adicionados na posição horizontal na prensa como demonstrado na figura 26, e fez-se uma leve compressão para garantir a posição do CP na prensa. Então aplicou-se a carga progressivamente com a velocidade de deformação com cerca de 0,8 mm/s até que atingiu-se sua ruptura, que pode ou não chegar a dividir o corpo de prova, com o valor da carga de ruptura (P) anotou-se os

valores obtidos das rupturas para cada mistura asfáltica e adicionou-se na tabela de resultados.

Figura 25: Estabilidade da temperatura a 25° C.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 26: Ensaio de tração diametral.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Os mesmos procedimentos de ruptura foram realizados para todos os corpos de prova, sejam os moldados no laboratório ou retirados da pista.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no acompanhamento periódico da realização de cada ensaio obteve-se os resultados apresentados nas tabelas. Verificando-se assim os resultados adquiridos das massas asfáltica elaborada na empresa com as composições e parâmetros dos projetos da Faixa “D” DER/PR para cada mistura.

Após a verificação dos resultados com as especificações de cada projeto, realizou-se uma análise comparativa entre a mistura elaborada com asfalto modificado por borracha e a mistura asfáltica elaborada com o CAP convencional, Analisando-se assim o desempenho de cada massa asfáltica na sua produção e aplicação na pista.

Por fim, analisou-se a viabilidade técnica e econômica da substituição da mistura asfáltica convencional pela mistura asfáltica modificada por borracha que se tem na composição o CAP ECOFLEX B.

### 6.1 PROJETO FAIXA “D” DER/PR

Para realização da usinagem da massa asfáltica necessitou-se de um projeto da Faixa “D” DER/PR, baseado na norma DER/PR ES-P 21/17, que determina os parâmetros e traço do CBUQ feito na usina. Usou-se o mesmo projeto mudando apenas o teor e especificações de cada CAP estudado, mas a composição dos agregados permaneceu a mesma para ambos os projetos, no quadro 1 e tabelas 2 e 3 mostra-se o projeto, granulometria e especificações da Faixa “D” DER/PR para a composição com CAP ECOFLEX B. Ressaltando-se que a tabela 2 da granulometria dos agregados do projeto foi utilizada para ambas as misturas, pois usou-se os mesmos agregados e quantidades que resultaram na mesma granulometria para as duas misturas, já no quadro 2 e tabela 4 demonstram-se o projeto e especificações da Faixa “D” DER/PR para a composição com CAP 50/70.

Quadro 1: Projeto Faixa "D" DER/PR asfalto borracha.

Dosagem de concreto betuminoso com borracha	
Usinagem	Pedreira Itaipu
Utilização	Camada de rolamento
Rodovia	Diversas
Faixa	"D" DER
Ligante asfáltico	
Origem	CAP
Tipo	Ecoflex B
Areia	
Origem	Rio Paraná
Tipo	Média
Local	Porto Figueira
Agregado Mineral	
Origem	Pedreira Itaipu
Tipo	Basalto

Fonte: Empresa, 2021.

Tabela 3: Granulometria dos agregados do projeto Faixa "D" DER/PR.

Peneiras		1/2"	Areia	3/8"	Pó w	cal	Mistura	Especificação	
Pol	mm	19%	5%	11%	65%	0%	100%	L. Inf.	L. Sup.
1"	25,40	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
3/4"	19,10	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
1/2"	12,70	80,90	100,00	100,00	100,00	100,00	<b>96,37</b>	80,00	100,00
3/8"	9,50	26,00	100,00	91,60	100,00	100,00	<b>85,02</b>	70,00	90,00
Nº4	4,80	1,40	99,80	4,50	85,60	100,00	<b>61,39</b>	50,00	70,00
Nº10	2,00	0,50	98,40	0,60	47,30	100,00	<b>35,83</b>	33,00	48,00
Nº40	0,42	0,30	62,20	0,50	22,50	99,20	<b>17,85</b>	15,00	25,00
Nº80	0,18	0,30	6,60	0,50	16,80	97,50	<b>11,36</b>	8,00	17,00
Nº200	0,08	0,30	0,20	0,50	12,70	78,20	<b>8,38</b>	4,00	10,00

Fonte: Empresa, 2021.

Tabela 4: Especificações do projeto asfalto borracha.

Ensaio Marshall	DNER-ME 043	Especificações	
		Mínimo	Máximo
Teor %	<b>5,8%</b>	5,0%	5,6%
d ( g/cm <sup>3</sup> )	2,562	-	-
Vv %	4,0	3,00	5,00
RBV %	77,400	70,000	82,000
Estabilidade (KGF)	1710,0	850	-
Fluência (1/100")	3,000	2,000	4,000
VAM %	18,9	16,00	-
Tração (Kg/cm <sup>2</sup> )	1,800	0,650	-
Relação finos betume %	1,4	0,8	1,6

Fonte: Empresa, 2021.

Quadro 2: Projeto Faixa "D" DER/PR asfalto convencional.

Dosagem de concreto betuminoso convencional	
Usinagem	Pedreira Itaipu
Utilização	Camada de rolamento
Rodovia	Diversas
Faixa	"D" DER
Ligante asfáltico	
Origem	CAP
Tipo	50/70
Areia	
Origem	Rio Paraná
Tipo	Média
Local	Porto Figueira
Agregado Mineral	
Origem	Pedreira Itaipu
Tipo	Basalto

Fonte: Empresa, 2021.

Tabela 5: Especificações do projeto asfalto convencional.

Ensaio Marshall	DNER-ME 043	Especificações	
		Mínimo	Máximo
Teor %	5,3%	5,0%	5,6%
d ( g/cm <sup>3</sup> )	2,566	-	-
Vv %	4,1	3,00	5,00
RBV %	76,544	70,000	82,000
Estabilidade (KGF)	1180,0	850	-
Fluência (1/100")	3,399	2,000	4,000
VAM %	17,4	16,00	-
Tração (Kg/cm <sup>2</sup> )	0,969	0,650	-
Relação finos betume %	1,5	0,8	1,6

Fonte: Empresa, 2021.

Conforme o esperado constatou-se que o teor para o asfalto borracha fora maior que o teor com CAP convencional, isso devido sua maior temperatura de usinagem e viscosidade, pois para a mistura asfáltica com borracha a usina elevou-se em torno de 170 a 175°C enquanto para a mistura asfáltica convencional a temperatura estava em torno de 155 a 160 °C.

Percebe-se que o comportamento da mistura elaborada com borracha dentro do projeto da Faixa "D" DER/PR já apresenta melhores resultados como sua menor densidade e o volume de vazios % que estava praticamente no meio do intervalo, apresentando melhor desempenho, obteve-se assim um melhor resultado que o convencional pois estava mais no meio do intervalo, o RBV (Relação de Betume sobre vazios) do CBUQ com borracha se sobressai comparado ao convencional pois ele também estava mais próximo ao intervalo destacado, e ainda suporta uma maior tração com um rompimento de 1,8 N enquanto na mistura convencional sua resistência foi de 1N, e não sendo uma resistência elevada pois poderia causar

problemas ao pavimento por estar muito rígida. O conjunto dos resultados apresentados no asfalto borracha reflete no melhor desempenho da mistura. Nos ensaios realizados neste trabalho, com os resultados obtidos compararam-se uns com os outros e com as especificações de cada projeto.

## 6.2 CAP ECLOFLEX B X CAP 50/70

O CAP ECOFLEX B foi entregue na empresa dia 03 de fevereiro de 2021, sendo está carga que utilizou-se para mistura asfáltica elaborada com borracha deste trabalho. Toda carreta de CAP quando entregue na empresa vem acompanhada com uma certificação de aprovação da carga, deste modo se faz a averiguação dos dados dos ensaios realizados pela fabricante para a aprovação do material. Os laboratoristas conferem a certificação no momento da entrega e refaz alguns ensaios para a aprovação da carreta e recebimento no tanque da usina.

Ainda ressalta-se o fator de correção que existe para o CAP ECOFLEX B, que no certificado destaca-se a determinação do teor de CAP na mistura betuminosa com o rotarex, esse resultado obtido deve ser multiplicado por um fator de 1,07. Valor que corresponde à presença de partes insolúveis de pó de pneu nos filtros do equipamento.

Já o CAP 50/70 recebido na empresa advém de outro fabricante, foi entregue no dia 03 de fevereiro de 2021 e também consta com a certificação e dados de ensaios, novamente conferidos pelos laboratoristas para a aprovação da carreta e descarregamento no tanque. Os ensaios realizados para ambos os CAP's foram demonstrados conforme a tabela 5, na qual possui os resultados obtidos para cada CAP e também suas especificações para aprovação.

Tabela 6: Ensaios CAP ECOFLEX B / CAP 50/70.

ENSAIOS	UN	ESPECIFICAÇÕES ECOFLEX B	CAP ECOFLEX B	CAP 50/70	ESPECIFICAÇÕES 50/70
Ponto de Amolecimento	°C	> 55	58	49	> 46
Penetração	0,1 mm	30 - 70	49	59	50 - 70
Viscosidade Brokfield	cp	800 - 2000	1620	337	> 274
Recuperação Elastica	%	> 50	70	-	-
Densidade Relativa	g/cm <sup>3</sup>	1,01 - 1,20	1,07	1,01	1,01 - 1,20

Fonte: Fabricante, 2021.

Os valores elevados de viscosidade e ponto de amolecimento do CAP ECOFLEX B quando comparado ao CAP 50/70, demonstra-se que sua durabilidade na pista seja maior. Ainda destaca-se a recuperação elástica, na qual atingiu-se um bom resultado no CAP ECOFLEX B, enquanto no CAP 50/70 não realizou-se o ensaio. Seus resultados demonstram que o asfalto borracha sofra danos menores com o tráfego e com as intempéries, proporcionando maior vida útil ao pavimento.

Baseado na Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), essa diferença pode chegar a 40%, o que reduz a necessidade de reparos na pista, ajudando ainda a manter a via com maior fluidez do tráfego por um maior período.

### 6.3 APLICAÇÃO DA MASSA ASFALTICA NA PISTA

Primeiramente a usina produz a mistura asfáltica, iniciando-se com o asfalto convencional sendo o primeiro aplicado no local, o operador da usina inseriu-se os dados do traço da Faixa “D” DER/PR com o CAP 50/70 na sua composição a uma temperatura de 160°C. Depois da usinagem realizada a massa foi despejada gradativamente no caminhão até completar sua carga, conforme a figura 27. Em seguida, mudou-se o traço da mistura para a composição da massa com borracha, nesta troca de composição advém um caminhão que recebe essa usinagem no momento de troca até a nova mistura com o CAP ECLOFLEX B se estabilizar, então essa carga com o material usinado de troca foi descartado.

Figura 27: Usinagem mistura asfáltica convencional.



Fonte: Autoria própria, 2021.

O operador elevou-se a temperatura gradativamente na troca de composições até que alcançou-se a temperatura de 175°C, o laboratorista fez um acompanhamento visual da massa que estava no caminhão descarte até ter se obtido uma boa aparência. Então trocou-se o caminhão e começou a descarregar a mistura com CAP ECOFLEX B no caminhão que foi para a aplicação, ilustrado na figura 28.

Figura 28: Usinagem asfalto borracha.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Após o processo de usinagem os caminhões foram “enlonados” para não perder calor e foram até o local de aplicação, com 13,2 km de distância do local da usinagem até a obra.

Antes da aplicação da massa asfáltica no local fez-se uma preparação da base, na qual realizou-se os processos de Terraplenagem e Base da pista. Para a impermeabilização da base se faz a imprimação da mesma, com emulsão PRIME aplicado com o caminhão espargidor, como ilustrado na figura 29. Então para a aderência do asfalto na base imprimada foi necessário realizar a pintura de ligação, aplicada também com caminhão o espargidor com a emulsão RR1C como material ligante.

Figura 29: Imprimação na pista



Fonte: Autoria própria, 2021.

Na chegada do local o caminhão se posicionou para descarregar na vibro acabadora de asfalto que fez-se a aplicação no local, como demonstrado na figura 30. Aplicou-se a mistura na pista e os funcionários foram ajudando a espalhar o material, como ilustra-se na figura 31, o encarregado de pavimentação faz a conferência da espessura.

Figura 30: Descarga do asfalto borracha para aplicação.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 31: Aplicação de massa asfáltica com borracha.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Para a compactação da massa aplicada utilizou-se o rolo pneu e o rolo chapa, passando-se sempre óleo mineral para o equipamento não grudar no pavimento. O encarregado descreveu-se a quantidade de vezes que cada equipamento deve passar na mistura aplicada e a denominou-a de “passada”.

Para a espessura de 4 cm passa-se uma vez o rolo chapa na massa aplicada, em seguida passa-se cerca de oito vezes o rolo pneu na mesma área, e logo após passa-se novamente o rolo chapa por mais duas vezes no mesmo local, procedimento realizado com o intuito de garantir o grau de compactação correto na pista.

Cada “passada” de equipamento corresponde à ida e a volta do mesmo, portanto isso significa que o rolo pneu foi e voltou oito vezes na área de aplicação.

E afirma ainda que para cada centímetro que aumenta a espessura do pavimento aumenta-se a quantidade de vezes que deve-se passar o rolo pneu, conseqüentemente para uma camada de 5 cm seria necessário passar o rolo pneu cerca de dez vezes no local.

De acordo com a norma DNIT 031/2004 – ES utilizada no controle tecnológico ressalta que a compactação sempre deve ser feita do bordo para o eixo da pista, com o rolo pneu calibrado a 110 lbs. A calibração do equipamento sempre deve ser averiguada para que não ocorra marca de pneu na massa recém aplicada.

Caso a aplicação tenha sido realizada em local inclinado, na descida o rolo chapa não poderia ir com a vibração acionada, de modo que ocasionaria a segregação da massa aplicada. Portanto o rolo chapa desce sem vibrar e na subida aciona-se a vibração do equipamento. Já para compactação em locais planos não há necessidade desses cuidados com o equipamento. Neste estudo a aplicação da massa foi realizada em um local plano, nas figuras 32 e 33 demonstram-se a compactação sendo realizada na pista.

Figura 32: Compactação da pista com o rolo chapa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 33: Compactação da pista com o rolo pneu.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Por fim, analisou-se a diferença de aplicação para cada uma das misturas, o encarregado afirma que a massa elaborada com borracha ocasionou-se maiores dificuldades de aplicação, isso devido sua perda de calor ocorrer mais rapidamente. Portanto destacou-se que no momento de sua aplicação, a mistura asfáltica com borracha exige maior agilidade para espalhar a massa, necessitando-se assim de mais funcionários para rastelar e homogeneizar a aplicação.

#### 6.4 ENSAIOS FAIXA "D" ASFALTO BORRACHA

Realizou-se os ensaios conforme citados anteriormente neste trabalho para a mistura asfáltica elaborada com borracha, na tabela 6 demonstra-se os resultados adquiridos com o ensaio Marshall e a Tração Diametral com os corpos de provas confeccionados no laboratório, com as amostras retiradas do caminhão, a tabela 7 traz os resultados dos ensaios de granulometria, extração betume e Rice Test realizados com as amostras retiradas diretamente do caminhão.

Tabela 7: Resultados dos ensaios Marshall e Tração Diametral com o asfalto borracha.

CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE COM CAP ECOFLEX B									
Subtrecho:	Jardim Silvana			Trecho:	Rua Santa Rita		Método:	Centrifuga ME-053/943	
Estaca :	Jardim Silvana			Faixa:	'D" DER-PR		Data:	06/02/2021	
Serviço: CAPA									
CARACTERÍSTICAS MARSHAL DA MISTURA									
A	Corpo de prova	nº	1	2	3	Rice Test		Média	Especificação
B	Peso ao ar		1.248,4	1.242,8	1.252,0	Frasco+Agua	7.901,1		
C	Peso imerso		763,0	757,7	763,3	Amostra	1.581,2		
D	Peso sss		1.250,2	1.244,0	1.253,1	Frasco+AG+AM	8.890,2		
E	Volume	B - C	487,2	486,3	489,8	Volume	592,1	<b>487,8</b>	
F	Dens. Aparente	B / D	2,562	2,556	2,556	Teórica	2,663	<b>2,558</b>	
G	Dens. Teórica Rice		2,663	2,663	2,663			<b>2,663</b>	Min. - Max
H	Índice vazios	100 (F-E / F)	3,77	4,02	4,00			<b>3,9</b>	3 - 5
I	V.C.B.	E(%Lig./d.Lig)	14,4	14,4	14,4			<b>14,4</b>	
J	V.A.M.	G + H	18,2	18,4	18,4			<b>18,4</b>	> 14
K	R.B.V.	(I-G)/ I*100	79,3	78,2	78,3			<b>78,6</b>	70 - 82
L	Leitura		740	760					
M	Estab. lida	Tabela	1.487	1.527				<b>1.507</b>	
N	Fator correção	Tabela	1,10	1,11				<b>1,11</b>	
O	Estab.corrigida	L x M	1.635	1.695				<b>1.665</b>	> 850
P	Fluência	m.m	3,0	2,4				<b>2,7</b>	2 - 4
Q	Área	(cm <sup>2</sup> )			192,3	Altura	Diametro		
R	Leitura	Kgf/cm <sup>3</sup>			790	6,0	10,2		
S	Tração Diametral	25° C, Mpa			1,6			<b>1,6</b>	> 0,80

Fonte: Autoria própria, 2021.

Tabela 8: Resultados dos ensaios de granulometria, extração betume e Rice Test com o asfalto borracha.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								EXTRAÇÃO DE BETUME		ABSORÇÃO	
Peneiras	mm	Retido	Peso pass	%Passado	Projeto	Faixa de Trabalho	Tara	0,00	Tara	0,00	
2.1/2"	63,500			100,00	100,00	100,00	100,00	Amostra + Tara	827,00	Amostra + Tara	991,20
2"	50,800			100,00	100,00	100,00	100,00	Amostra	827,00	Amostra	991,20
3/4"	19,000			100,00	100,00	100,00	100,00	Am seca + Tara	782,90	Am seca + Tara	990,00
1/2"	12,500	25,49	25,49	96,74	96,37	89,40	100,00	Solúvel	44,10	Amostra seca	990,00
3/8"	9,500	71,90	71,90	87,56	85,02	78,00	90,00	% Ligante	5,33	Solúvel	1,20
4	4,750	218,80	218,80	59,61	61,39	56,40	66,40	Amostra seca	782,9	% AGUA	0,12
10	2,000	186,90	186,90	35,74	35,83	33,00	40,80	TEMPERATURAS ( °C )		TEOR CORRIGIDO	
40	0,425	127,80	127,80	19,42	17,85	15,00	22,87	Ligante	155	5,21	
80	0,180	65,20	65,20	11,09	11,36	8,40	14,40	Agregado	155	RELAÇÃO FINOS BETUME	
200	0,075	30,00	30,00	7,26	8,38	6,40	10,00	Mistura	155	1,32	0,8 < x < 1,6

Fonte: Autoria própria, 2021.

Com os dados obtidos foi possível analisar que a mistura asfáltica com CAP ECOLFEX B na sua composição, estava dentro das especificações do projeto Faixa "D" DER/PR. Portando obteve-se resultados satisfatórios dos CP's moldados em laboratório com a mistura feita na usina do local.

## 6.5 ENSAIOS FAIXA "D" ASFALTO CONVENCIONAL

As tabelas 8 e 9 trazem os resultados de todos os CP's moldados no laboratório com a mistura asfáltica convencional para a sua aplicação, comparando sempre com as especificações do projeto.

Tabela 9: Resultados dos ensaios Marshall e Tração Diametral com o asfalto convencional.

CONCRETO ASFÁLTICO USINADO A QUENTE COM CAP 50/70											
Subtrecho:	Jardim Silvana				Trecho :	Rua Santa Rita		Método:	Centrifuga ME-053/943		
Estaca :	Jardim Silvana				Faixa:	'D' DER-PR		Data:	06/02/2021		
Serviço: CAPA											
CARACTERÍSTICAS MARSHAL DA MISTURA											
A	Corpo de prova	un	1	2	3	Rice Test		Média	Especificação		
B	Peso ao ar		1.242,0	1.241,6	1.239,8	Frasco+Agua	7.901,1				
C	Peso imerso		756,8	757,2	756,9	Amostra	1.513,9				
D	Peso sss		1.243,1	1.243,1	1.241,4	Frasco+AG+AM	8.850,0				
E	Volume	B - C	486,3	485,9	484,5	Volume	565,0	485,6			
F	Dens. Aparente	B / D	2,554	2,555	2,559	Teórica	2,672	2,556			
G	Dens. Teórica Rice		2,672	2,672	2,672			2,672	Mín. - Max		
H	Índice vazios	100 (F-E / F)	4,41	4,36	4,22			4,3	3 - 5		
I	V.C.B.	E(%Lig./d.Lig)	13,3	13,3	13,3			13,3			
J	V.A.M.	G + H	17,7	17,6	17,5			17,6	> 14		
K	R.B.V.	(I-G) / I*100	75,1	75,3	75,9			75,4	70 - 82		
L	Leitura		480	510							
M	Estab. lida	Tabela	964	1.025				994			
N	Fator correção	Tabela	1,11	1,11				1,11			
O	Estab.corrigida	L x M	1.070	1.137				1.104	> 850		
P	Fluência	m.m	2,5	2,4				2,5	2 - 4		
Q	Área	(cm <sup>2</sup> )			193,6	Altura	Diametro				
R	Leitura	Kgf/cm <sup>3</sup>			550	6,1	10,1				
S	Tração Diametral	25° C, Mpa			1,1			1,1	> 0,80		

Fonte: Autoria própria, 2021.

Tabela 10: Resultados dos ensaios de granulometria, extração betume e Rice Test com asfalto convencional.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA								EXTRAÇÃO DE BETUME		ABSORÇÃO	
Peneiras	mm	Retido	Peso pass	%Passado	Projeto	Faixa de Trabalho		Tara	0,00	Tara	0,00
2.1/2"	63,500			782,90	100,00	100,00	100,00	Amostra + Tara	827,00	Amostra + Tara	991,20
2"	50,800			782,90	100,00	100,00	100,00	Amostra	827,00	Amostra	991,20
3/4"	19,000			782,90	100,00	100,00	100,00	Am seca + Tara	782,90	Am seca + Tara	990,00
1/2"	12,500	25,49	25,49	757,41	96,74	89,40	100,00	Solúvel	44,10	Amostra seca	990,00
3/8"	9,500	71,90	71,90	685,51	87,56	78,00	90,00	% Ligante	5,33	Solúvel	1,20
4	4,750	218,80	218,80	466,71	59,61	56,40	66,40	Amostra seca	782,9	% AGUA	0,12
10	2,000	186,90	186,90	279,81	35,74	33,00	40,80	TEMPERATURAS ( °C )			
40	0,425	127,80	127,80	152,01	19,42	15,00	22,87	Ligante	155	TEOR CORRIGIDO	
80	0,180	65,20	65,20	86,81	11,09	8,40	14,40	Agregado	155	5,21	
200	0,075	30,00	30,00	56,81	7,26	6,40	10,00	Mistura	155	RELAÇÃO FINOS BETUME	
										1,32	0,8 < x < 1,6

Fonte: Autoria própria, 2021.

Os resultados obtidos com a mistura asfáltica convencional foram positivos perante o projeto, estavam de acordo com as especificações do projeto Faixa "D" DER/PR. Deste modo os dados demonstram que massa produzida na empresa obteve bons resultados e pode-se ser aplicada na pista.

## 6.6 SONDA ROTATIVA

Fez-se a extração dos corpos de prova na pista para conferência da espessura e análise do grau de compactação, parâmetro esse que deve estar sempre acima de 97% conforme a norma ABNT-NBR-15573 para ser aceito, os corpos de prova foram retirados da pista através da sonda rotativa, como demonstrado na figura 34. Retirou-se 2 (dois) corpos de prova de cada mistura asfáltica para conferência e ainda realizou-se o ensaio de Tração Diametral na pista para análise de sua resistência. A tabela 10 demonstra-se os resultados dos ensaios.

Figura 34: Extração do corpo de prova com sonda rotativa.



Fonte: Autoria própria, 2021.

Tabela 11: Avaliação de testemunhos extraídos por sonda rotativa.

<b>Obra:</b>	Pavimentação Asfáltica no Jardim Silvana - Campo Mourão / PR.														
<b>Data da Coleta:</b>	15/02/2021														
<b>Data do Ensaio:</b>	16/02/2021														
<b>Material:</b>	C.B.U.Q. Camada de Rolamento														
RUA	Nº	Peso	Peso	Volume	Densidade	Densidade	Espessura	Espessura (cm)					G. C. %		
		ao Ar	Imerso					g/cm³	de Projeto	de Projeto	cm	1º		2º	3º
		g	g	cm³	g/cm³	g/cm³	cm								
RUA SANTA RITA	1	673,20	407,40	265,80	2,533	2,562	4,00	3,97	3,98	3,98	4,01	3,99	98,86		
RUA SANTA RITA	2	780,40	472,70	307,70	2,536	2,562	4,00	4,21	4,20	4,15	4,20	4,19	98,99		
RUA SANTA RITA	3	670,40	406,90	263,50	2,544	2,566	4,00	3,99	3,98	3,99	4,00	3,99	99,15		
RUA SANTA RITA	4	695,60	419,80	275,80	2,522	2,566	4,00	4,11	4,06	4,04	4,18	4,10	98,29		
<b>Média das Densidades Corpo de Prova:</b>					2,534	-	4,00	<b>MÉDIA ESP. e G.C.%</b>					4,07	98,82	
													<b>Desvio Padrão</b>	0,08	0,32
													<b>Controle Estatístico</b>	3,97	98,42
													<b>ACEITAÇÃO</b>	<b>APROVADO</b>	<b>APROVADO</b>

Fonte: Autoria própria, 2021.

Com os resultados obtidos observou-se que para ambas as misturas foram feitas uma boa compactação e a aplicação estava dentro das especificações, e ainda a espessura estava de acordo com o especificado para o local de 4 cm. Com o resultado da tração diametral observa-se que as misturas asfálticas mesmo após sua aplicação na pista estão dentro das especificações do projeto, conforme

demonstra-se na tabela 11. E ainda ressalta-se que a mistura asfáltica com ECOFLEX B obteve-se um resultado superior que o CAP 50/70, pois apresentou um valor de resistência igual a 2,2 MPa enquanto o convencional apresentou um valor de resistência de 1,6 MPa.

Tabela 12: Ensaio tração diametral com CP extraídos da pista.

	un	Asfalto Borracha		Asfalto Convencional	
Leitura	N	782	785	545	542
Espessura CP's	cm	3,99	4,19	3,99	4,1
Diametro CP's	cm	10,5	10,5	10,5	10,5
Áreas CP's	cm <sup>2</sup>	131,6	138,2	131,6	135,2
Tração Diametral	MPa	2,3	2,2	1,6	1,6

Fonte: Autoria própria, 2021.

## 6.7 ASFALTO BORRACHA X CONVENCIONAL

Comparando-se as tabelas 6, 7, 8 e 9 apresentadas anteriormente criou-se a tabela 12 com os resultados de ambas as misturas e junto com os limites dos projetos, obtendo-se assim uma melhor análise dos resultados.

Tabela 13: Comparativo dos resultados.

ENSAIOS	UN	ASFALTO BORRACHA	ASFALTO CONVENCIONAL	PROJETO
Índice de Vazios	%	3,9	4,3	3,0 - 5,0
V.A.M.	%	18,4	17,6	> 14
R.B.V.	%	78,6	75,4	70 - 82
Estabilidade	%	1665	1104	> 850
Fluência	mm	2,7	2,5	2,0 - 4,0
Tração Diametral	N	1,6	1,1	> 0,80

Fonte: Autoria própria, 2021.

Observou-se que ambas as misturas estão dentro das especificações do projeto, porém os resultados da mistura asfáltica com CAP ECOFLEX B se sobressaem em relação ao convencional. Como o índice de vazios com menor percentagem na mistura asfáltica elaborada com borracha, demonstrando que a massa possui menos poros e se torna mais densa. E ainda o ensaio de Tração Diametral que resultou em uma resistência maior para a massa com borracha, assim como sua estabilidade e fluência. Deste modo analisou-se que, em longo prazo o asfalto borracha tende-se a ter menores riscos de se deteriorar na pista.

A massa com borracha necessitou-se de maior temperatura para a usinagem, obteve um maior consumo de CAP na sua produção e precisou-se de maiores

cuidados na sua aplicação. Entretanto com os resultados obtidos nesse estudo, o asfalto borracha proporciona uma pavimentação com maior qualidade na pista.

Em relação à viabilidade econômica desta substituição analisou-se o preço da tonelada de cada CAP e o custo da produção de cada CBUQ. A empresa pagou na tonelada de CAP os seguintes valores sem considerar o frete com o valor de R\$ 202,00 para o CAP 50/70 e de R\$180,00 para o CAP ECOFLEX B:

- Preço do CAP 50/70: R\$ 3820,00/tonelada;
- Preço CAP ECOFLEX B: R\$ 3726,00/tonelada.

Sendo que o CAP ECOFLEX B possui esse valor por não pagar o imposto referente ao ICMS de acordo com a lei tal desde 2017, que aumentaria seu valor em 18% e custaria R\$ 4.396,68/tonelada.

Para a composição do valor de cada mistura asfáltica aplicada deve-se considerar o valor da usinagem, aplicação e frete. Ressalta-se ainda que a quantidade utilizada de cada CAP para cada composição foi diferente, pois o ECOFLEX B possui um teor maior na sua composição devido sua alta viscosidade. Na tabela 14 demonstra-se a composição do custo de cada mistura.

Tabela 14: Custo do CBUQ por tonelada

		CAP 50/70 (com ICMS)		CAP ECOFLEX B (sem ICMS)		CAP ECOFLEX B (com ICMS)	
Teor do ligante	%	5,3		5,8		5,8	
Valor do CAP	ton	R\$	3.820,00	R\$	3.726,00	R\$	4.396,68
Frete do CAP	ton	R\$	202,00	R\$	180,00	R\$	180,00
Valor CAP no CBUQ	ton	R\$	213,17	R\$	226,55	R\$	265,45
Usinagem CBUQ	ton	R\$	110,00	R\$	110,00	R\$	110,00
Aplicação CBUQ	ton	R\$	95,00	R\$	95,00	R\$	95,00
<b>CBUQ</b>	<b>ton</b>	<b>R\$</b>	<b>418,17</b>	<b>R\$</b>	<b>431,55</b>	<b>R\$</b>	<b>470,45</b>

Fonte: Autoria Própria, 2021.

Observa-se que mesmo com o desconto de 18% de ICMS o asfalto borracha possui o valor mais elevado que o convencional, porém devido os resultados obtidos neste estudo seu desempenho técnico se sobressai ao convencional. Deste modo analisou-se que em longo prazo o investimento no asfalto borracha será mais viável, pois sua vida útil será maior e com menor desgaste na pista.

## 7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos na presente pesquisa, pode-se concluir que:

O Projeto Faixa “D” DER/PR para a mistura asfáltica com borracha quando comparado ao projeto para mistura asfáltica produzidas com CAP 50/70, apresenta melhores resultados nas suas especificações, como a densidade e volume de vazios com valores menores, o RBV com valor maior e a tração diametral que obteve um resultado de 1,8 N enquanto para o convencional sua resistência foi de 1N o que corresponde a uma superioridade de resistência de 80%.

Nos resultados obtidos com os fabricantes de cada CAP demonstra-se diferença de desempenho que cada mistura pode desenvolver na pista, como o ponto de amolecimento e viscosidade que são diferenças consideráveis entre as misturas, que o valor superior para o CAP ECOFLEX B demonstra uma maior durabilidade de sua aplicação na pista. No ensaio de recuperação elástica que obtém um bom resultado para o CAP borracha, no CAP 50/70 não foi ensaiado em suas especificações. Com os resultados obtidos de cada CAP demonstram que no passar do tempo o CAP ECOFLEX B proporcionará uma maior vida útil ao pavimento devido seus menores danos ao tráfego e intempéries.

O asfalto convencional produzido na empresa no dia do estudo em questão, adquiriu bons resultados nos ensaios laboratoriais, estando de acordo com as especificações de seu projeto Faixa “D” DER/PR e aprovado para a aplicação.

O asfalto borracha usinado na empresa para esta pesquisa também adquiriu-se resultados positivos em seus ensaios no laboratório, enquadrados com as especificações de seu projeto Faixa “D” DER/PR, obtendo resultados satisfatórios na sua usinagem e aprovado para a aplicação, apesar das dificuldades devido sua alta viscosidade, necessitando de uma maior quantidade CAP e uma temperatura superior ao convencional de 170°C para sua produção.

Na aplicação na pista o asfalto borracha apresenta maiores dificuldades, isso devido sua perda de calor ocorrer mais rapidamente do que o asfalto convencional. Deste modo a massa com borracha exige maior agilidade no processo, necessitando de mais funcionários no momento de sua aplicação para rastelar e homogeneizar o asfalto na pista de forma adequada. O processo de compactação foi o mesmo para as duas misturas.

Avaliando o grau de compactação e espessura de ambas as misturas obtiveram resultados satisfatórios, acima de 97%. Este resultado avalia como foi

realizada a compactação no local e independe da massa utilizada, deste modo resultou-se que o processo da compactação foi adequado. Já no resultado da resistência diametral dos CP's retirados na pista, a mistura asfáltica com borracha se sobressai em relação ao convencional, com uma resistência média de 2,25N enquanto asfalto produzido com CAP 50/70 obteve uma resistência média de 1,6N, com uma diferença de 40%.

Comparando o asfalto borracha em relação ao convencional observa-se que possui uma melhor viabilidade técnica isso ressaltado em todos os ensaios realizados neste estudo, pois o conjunto dos resultados obtidos para o asfalto borracha se sobressai em relação ao convencional. Analisou-se que em longo prazo no asfalto borracha ocorrerá menores deteriorizações na pista e maior durabilidade em relação ao convencional, necessitando de menores manutenções. O asfalto borracha requer maiores temperaturas, utiliza-se mais CAP na sua produção e apresenta maiores cuidados na sua aplicação devido a elevada temperatura, mas realizando sua usinagem e aplicação de maneira correta proporciona maior qualidade e segurança a quem utiliza a via urbana. E ainda destaca-se sua maior vida útil ao pavimento e contribuição ao meio ambiente devido à utilização de pneus que em sua maioria foram descartados incorretamente.

Em relação à viabilidade econômica analisa-se que o asfalto borracha mesmo com o desconto do ICMS no Paraná ainda possui um valor superior em relação ao convencional, porém com o desconto a diferença fica em 3,2% e analisando-se em longo prazo, com os resultados apresentados neste estudo o asfalto borracha fica mais vantajoso devido seu desempenho técnico, que acarretará na diminuição das despesas com manutenção e maior durabilidade.

Por fim, conclui-se que a substituição do asfalto borracha em relação ao asfalto convencional em vias urbanas de Campo Mourão – PR é viável e recomendado, principalmente no estado do Paraná com a diferença de preço menor que 4%. Deste modo sendo fundamental em um país com tamanha dependência do modal rodoviário aplicar novas tecnologias que realcem o desenvolvimento e ainda contribui com a preservação do meio ambiente. Aplicando-se desde suas vias urbanas com o apoio do município, sendo uma via mais sustentável, tecnológica, com maior durabilidade e mais barata em longo prazo.

## 8 REFERÊNCIAS

ABNT NBR 5847/2001 - **Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade absoluta.**

ABNT NBR 11341/2004 - **Produtos de petróleo - Determinação dos pontos de fulgor e de combustão em vaso aberto Cleveland**

ABNT NBR 15619/2016 – **Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas.**

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6560:2008 - **Materiais betuminosos – Determinação de ponto de amolecimento – Método do anel e bola.** Rio de Janeiro, 2008.

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para Engenheiro.** Rio de Janeiro: Petrobras, 2008.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **O processo de integração da cadeia de suprimentos.** São Paulo, Atlas. 2001.

CAMPOS, P. A. **Análise comparativa entre pavimentos de asfalto borracha e cimento betuminoso usinado a quente baseado em regiões de clima quente.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Faculdade Aldete Maria Alves. Iturama- MG

CASTRO B. A. C. – **Construção de estradas e vias urbanas.** Dissertação de mestrado, UFMG 2010.

CEMPRE – **COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM,** 2015

CNT – **Confederação Nacional dos Transportes. Pesquisa Rodoviária,** 2007.

CNT. **Confederação Nacional do Transporte. Atlas do Transporte,** 2006.

CNT. **Confederação Nacional do Transporte. Plano CNT de Transporte e Logística,** 2014.

CUSTODIO, JOSÉ. **Strasse já transformou 8 milhões de pneus velhos em 8.000 km de estradas no Brasil.** Versomídia, Agosto, 2016.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE E O DESENVOLVIMENTO - **UNICED/RIO - 92. Agenda 21.** In: SMA Agenda 21 Global. 2017.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto – Inovação Uniemp v.3 n.3 – Campinas,** 2007.

PARANÁ, **Decreto: 7871,** Inciso V, do “Caput” do Art.87, 29 de setembro de 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos, 2ª Edição.** Ministério dos Transportes – DNIT, 2006 Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Publicação IPR 720. Rio de Janeiro, Brasil. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/ipr\\_new/](http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/), acessado em 18 de maio de 2012.

DNER 138/94 – **Pavimentos flexíveis - Misturas betuminosas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Volume 1,** DNER-PRO 010/79. Rio de Janeiro, 1979.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - **Misturas betuminosas a quente – Ensaio Marshall - Método de ensaio**. DNER-ME 043/95, Rio de Janeiro: IPR, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - **Misturas betuminosas – Percentagem de Betume**. DNER-ME 053/94. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM – **Determinação de granulometria do agregado**. DNER-ME 083/93 Rio de Janeiro: IPR, 1993.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

GEIPOT. **Anuário estatístico dos transportes**. 1993/95.

GRECA ASFALTOS. **Fatos & Asfaltos, Informativo quadrimestral**, ano 8, nº 24 de Outubro, 2011.

GUSMÃO, MÁRCIO. **Restauração rodoviária usando asfalto modificado por polímero**. Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2009. (Dissertação de Mestrado). 16.SPECHT, L.P. Avaliação de misturas asfáltico.

INSTITUTO DE INFRA-ESTRUTURAS RODOVIÁRIAS. **Directivas para a Concepção de Pavimentos**. 2018

LASTRAN, C. **Concessão de Rodovias no Rio Grande do Sul**. Relatório Interno, UFRGS – RS. 1998

MARQUES, Geraldo L. de O. **Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de mistura asfáltica; efeito da compactação por impacto e giratória**. Rio de Janeiro, 2007.

MELLONE, G.; SANTOS, M. R. D.; SHIBAO, F. Y. **Pavimentação de rodovias com a utilização de resíduos de pneus inservíveis**. Revista Eletrônica Gestão e Serviços, v. 4, n. 1, p. 489-508, 2013.

MORILHA JÚNIOR, ARMANDO; GRECA, MARCOS ROGÉRIO. **Asfalto Borracha ECOFLEX. Trabalho apresentado na reunião Apresentação do Asfalto Borracha**. Cuiabá, 2007.

NORMA DNIT 031/2006 - ES DNIT **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço** [http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-deservicos-es/dnit031\\_2006\\_es.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/normas/especificacao-deservicos-es/dnit031_2006_es.pdf)

NBR 15529:2007 - **Asfalto borracha - Propriedades reológicas de materiais não newtonianos por viscosímetro rotacional**

NEVES FILHO, C. L. D. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas SMA produzidas com ligante asfalto-borracha**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP – São Carlos-SP, 2004.

NOHARA, J. J. et. al. GS-40 – **Resíduos de sólidos: Passivo ambiental e reciclagem de pneus**. THESIS, São Paulo, ano I, v. 3, p. 21-57. 2005.

OLIVEIRA, Otávio José de; CASTRO, Rosani de. **Estudo da destinação e da Reciclagem de pneus inservíveis no Brasil**. UNESP. 2014.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentos**. São Carlos. Tese de Doutorado em Engenharia – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, 251p. 2000.

PINTO, S.; PINTO, I. E. **Pavimentação asfáltica: conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos**. 1. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015.

RAMALHO, A. V. F. **Uma análise dos benefícios com a utilização do asfaltoborracha nas rodovias do Brasil.** São Paulo, SP, 2009

RODRIGUES, R. M. **Estudo do trincamento dos pavimentos.** Rio de Janeiro. Tese de Doutorado em Engenharia – COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 208p. 2005

SAMPAIO, E.A.N. **Análise da viabilidade técnica do uso de borracha de pneus inservíveis como modificadores de asfaltos produzidos por refinarias do Nordeste** – Unifacs, Salvador (2005)

SANCHES, F.G.; GRADINI, F.H.B.; JUNIOR, O. B. **Avaliação da viabilidade financeira de projetos com utilização do asfalto-borracha em relação ao asfalto convencional.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba – PR

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus.** 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

WICKBOLDT, V. S. **Ensaio Acelerados de Pavimentos para Avaliação de Desempenho de Recapeamentos Asfálticos** – Dissertação de Mestrado – PPGEC/UFRGS. 134p. 2005.

ZAGONEL, Ana Regina. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados no Brasil.** Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil. Curso de Engenharia Civil. 2013.

ZATARIN, A. P. M.; SILVA, A. L. F.; ANEMAM, L. S.; BARROS, M. R.; CHRISOSTOMO, W. **Viabilidade da pavimentação com asfalto borracha.** Florianópolis – SC. 2017.