

ESTUDO DE VIABILIDADE MECÂNICA DA ADIÇÃO DE CINZA PROVENIENTE DA QUEIMA DE PINUS NO CONCRETO ASFÁLTICO FLEXÍVEL

Engrid Tarniowicz Barros¹
Miguel Angelo da Silva Mello²

RESUMO

Visando o conceito que o desenvolvimento sustentável precisa ser capaz de suprir as necessidades tanto da geração atual como das próximas gerações sem esgotar os recursos naturais (WWF BRASIL, 2017), este trabalho objetivou-se em reaproveitar o resíduo sólido gerado pela queima da madeira Pinus nas caldeiras industriais e aplicá-lo parcialmente como matéria prima, analisando sua viabilidade de utilização como filler no concreto asfáltico flexível e assim diminuir significativamente a extração dos recursos naturais e o descarte no meio ambiente. Com o intuito que sua contribuição seja na diminuição da poluição gerada pelas indústrias, considerando os despejos deste resíduo. Também contribuindo na melhora significativa da qualidade das rodovias observando-o tecnicamente e viabilizando sua utilização na pavimentação. Para isso, neste artigo será apresentado os métodos de ensaios utilizados segundo normas técnicas, observando as alterações das características dos corpos de prova através de cálculos e gráficos elaborados pelo software Excel.

Palavras-Chave: Resíduo sólido. Concreto asfáltico flexível. Meio ambiente.

ABSTRACT

Aiming at the concept that sustainable development needs to be able to meet the needs of both current and future generations without depleting natural resources

¹ Acadêmica do curso de Engenharia Civil da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe (UNIARP). Email: engridbarros077@gmail.com.

² Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Veiga de Almeida, Pós-Graduado em Programa de Pavimentação Comunitária, pela Universidade da Região de Joinville, Mestre em Engenharia Civil, pela Universidade Federal de Santa Catarina e docente do curso de Engenharia Civil da Universidade Alto Vale do Rio do Peixe. Email: miguelasmello@gmail.com.

(WWF BRASIL, 2017), this work aimed to reuse the solid residue generated by the burning of Pinus wood in the industrial boilers and partially apply it as raw material, analyzing its feasibility of use as a filler in the flexible asphalt concrete and thus significantly reduce the extraction of natural resources and disposal in the environment. With the intention that its contribution is in the reduction of the pollution generated by the industries, considering the waste disposal of this residue. Also contributing to the significant improvement of the quality of the highways by observing it technically and making feasible its use in the paving, for this in this article were used methods of tests by the technical norms, observing the changes in the characteristics of the test bodies through calculations and graphs elaborated by the software Excel.

Keywords: Solid residue. Flexible asphaltic concrete. Environment.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente o planeta terra vem sofrendo grandes impactos ambientais, e a geração de resíduos nos processos industriais tem se tornado cada vez mais uma problemática, pois o consumo de energia industrial vem aumentando na medida que as indústrias se tornam maiores e a demanda de produtos cresce, assim intervindo no meio ambiente com a extração de matéria prima e com descarte final desse resíduo gerado. Com o grande aumento das indústrias que utilizam caldeiras como fonte principal de energia, aumenta-se a extração da madeira Pinus que é utilizada como combustível para essas caldeiras, e como consequência deste processo há um aumento significativo de cinzas, que são dispostos em aterros para adubo ou ainda são depositados no meio ambiente de forma inadequada, causando alteração ou efeito ambiental. Sendo assim, a partir de um novo projeto buscando melhorias, percebeu-se a necessidade de pesquisar alternativas para a destinação final deste resíduo.

Tendo esse projeto como objetivo geral caracterizar e avaliar a adição parcial de cinza proveniente da queima da madeira Pinus das caldeiras industriais, na utilização como filler no concreto asfáltico flexível através de ensaios laboratoriais necessários.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Camadas do Pavimento

O pavimento é uma estrutura não penere, composta por camadas de materiais compactados. A estrutura do pavimento é produzida para receber e transmitir esforços nas camadas inferiores minimizando as pressões de modo que impeça deformações e ruptura na fundação. Todas as camadas do pavimento possuem uma função. Sendo assim, respeitando uma terminologia coerente, o pavimento possui as seguintes camadas: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e revestimento (BALDO, 2011).

O pavimento de um modo geral é construído sobre uma terraplanagem com um sistema de várias camadas e espessuras diversas, e é classificado como flexível ou rígido, dependendo do material de sua estrutura e do material utilizado no sistema de revestimento, última camada aplicada (DNER, 1996; SENÇO, 2007).

Para o artigo em questão estudaremos a última camada do pavimento onde será adicionado o residuo-cinza em sua composição granulométrica.

2.1.1.1 Revestimento

Para este trabalho a cinza será adicionada no revestimento qual é a camada mais nobre do pavimento destinada melhorar a superfície de rolamento construída com material de maior eficiência por receber diretamente a ação do tráfego. Pode ser chamada também de capa ou capa de rolamento (SENÇO, 2007).

A camada de revestimento deverá receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, degradação de componentes ou, ainda, perda de compactação; precisa, ser composto por materiais aglutinados evitando sua movimentação horizontal. (BALDO, 2011).

Baldo (2011), também cita que os revestimentos asfálticos podem ser divididos em mais de duas camadas por razões técnicas, construtivas e de custo.

Camada final, atua como impermeabilizante superior, deve proteger

mecanicamente e precisa ser de fácil rolamento. Camada lisa, porém, não pode ser escorregadia (BAUER, 2013).

Os pavimentos são flexíveis ou rígidos, dir-se-ia que o revestimento é rígido se for constituído por concreto de cimento Portland e o revestimento flexível sempre comportaria mistura asfáltica, da mesma forma a base é rígida se composta por cimento e flexível se composta por material granular (BALDO, 2011).

No caso em estudo o resíduo será aplicado nos revestimentos flexíveis que comporta as misturas asfálticas.

2.1.1.2 Revestimento flexível

O revestimento escolhido foi Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é o mais nobre dos revestimentos flexíveis e como o nome indica seu aglutinante é o betume, e sua mistura é feita em usinas seguindo rigorosamente as exigências de dosagem e controle (SENÇO, 2007).

Nestes pavimentos o asfalto material betuminoso serve para aglutinar a areia e a brita que tem como função resistir mecanicamente (BAUER, 2013).

É um material para construções de revestimento, capa de rolamento e camada de ligação, no qual a absorção dos esforços é concentrada próximo da região da carga aplicada e se divide entre as camadas inferiores. É obtido a partir da mistura dos agregados graúdos, material fino, material betuminoso e filer, fabricado a quente em usinas asfálticas e considerado o mais comum e tradicional do nosso país (BALDO, 2011).

2.1.1.3 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

Composto por hidrocarbonetos alifáticos, hidrocarbonetos aromáticos, enxofre, nitrogênio e oxigênio, é um material com quantidade significativa de betume, e por isso muitas vezes é designado como betume, utilizado como ligante ou aglutinante com viscosidade elevada e boa aderência (BALDO, 2011).

A Especificação Brasileira EB-78 do Instituto Brasileiro de Petróleo e da Associação Brasileira de Normas Técnicas, IBP/ABNT-EB-78, que tem o título Cimentos Asfálticos Preparados de Petróleo, assim define o cimento asfáltico de petróleo: Cimento asfáltico de petróleo é o asfalto obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para o uso direto na construção de pavimentos, tendo uma

penetração a 25°C entre 5 e 300 sob uma carga de 100g, aplicada durante 5 segundos (SENÇO, 2007, p. 324).

O CAP é considerado um semissólido quando está em temperatura ambiente e para que se torne material de envolvimento dos agregados precisa ser aquecido. O CAP tem características de flexibilidade, relativa durabilidade, aglutinação, impermeabilização e boa resistência a ações químicas, é um material termoplástico, porém depende muito da temperatura para que não se torne viscoso e frágil (PINTO; PINTO, 2015; BALDO, 2011).

O Cimento asfáltico de petróleo (CAP) não deve conter água nem espumar quando aquecido a 175°C sendo uma mistura homogênea. DNIT 095/2006, classifica o CAP em 30/45, 50/70, 85/100, 150/200. No estudo em questão o CAP utilizado será o CAP denominado convencional 50/70 fornecido pela GRECA ASFALTOS na usina Ouro Preto de Pomerode/SC. Na tabela a seguir segue informações de sua caracterização de fundamental importância para o correto uso na aplicação da mistura.

Tabela 14 – Caracterização do CAP

CARACTERIZAÇÃO	
VISCOSIDADE SAYBOLT FUROL A 135°C	153
VISCOSIDADE SAYBOLT FUROL A 150°C	87,5
VISCOSIDADE SAYBOLT FUROL A 177°C	32,6
PONTO DE AMOLECIMENTO, °C	50,3
DENSIDADE RELATIVA, 20°C	1,002
PENETRAÇÃO, mm	67,0
AQUECIMENTO A 177 °C,	NÃO ESPUMOU
PONTO DE FULGOR, °C	306,0

Fonte: GRECA ASFALTOS - Araucária - PR (2017)

2.1.2 Resíduo

De acordo com a NBR 10004 (ABNT 2004), são considerados resíduo sólido ou semissólido aqueles gerados pela comunidade, seja atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, entre outras. E esses resíduos podem ser convertidos em insumos para outra atividade.

Um dos resíduos sólidos que é gerado em grande quantidade num dos

processos da madeira é a cinza, que é obtido pela queima da biomassa nas caldeiras utilizadas como fonte de energia e calor nas indústrias.

Quando a madeira, a casca e o cavaco são queimados nas caldeiras para geração de energia seu carbono é oxidado. O que sobra de resíduo e contaminantes minerais são denominados cinza. Parte dessa cinza, por ser muito fina, é levada pelos gases de exaustão, parte das cinzas leves são capturadas pelos filtros e precipitadores e a parte das cinzas pesadas que contém algum material que não foi queimado, saem pela parte de baixo da caldeira. Em geral as cinzas das caldeiras constituem-se em uma mistura de elementos minerais oxidados, areia e carbono orgânico, e é considerada um material residual e muito variável em qualidade e sua consistência se dá através da eficiência das caldeiras (FOELKEL, 2011).

2.2 METODOLOGIA E MATERIAL

2.2.1 Ensaios Laboratoriais

2.2.1.1 Agregados

A brita utilizada nos estudos foram fornecidas em frações comerciais (brita 3/4, brita 0 e pó de pedra) pela usina Ouro Preto, do município de Pomerode/SC da mesma forma que o CAP convencional 50/70 o qual foi fornecido pela GRECA ASFASSTO, porém coleta na usina Ouro Preto. Já o resíduo-cinza, foi fornecido pela empresa ADAMI S/A do município de Caçador/SC. A seguir segue imagens dos componentes utilizados para fazer a mistura asfáltica apresentando o resultado da caracterização dos agregados.

Para composição granulométrica, todos os agregados coletados foram separados e peneirados no vibrador, as peneiras utilizadas foram 1"; 3/4"; 1/2"; 3/8"; n°4; n°10; n°40; n°80 e peneira de n°200. Em seguida lavados e secos em estufa em uma temperatura de aproximadamente 165°C.



Figura 4 - Frações da Mistura

Fonte: O próprio autor (2017)

Primeiramente foram utilizadas planilhas no software Excel para determinar a melhor distribuição granulométrica para a mistura, e após, começar a desenvolver os ensaios laboratoriais. Assim constatou-se que o resíduo utilizado e denominado como filer no estudo em questão ficou retido nas peneiras de malha 80 com 0,18 mm de abertura e na peneira de malha 200 com 0,075 mm de abertura. As planilhas de composição e o gráfico de curva granulométrica desenvolvidas no software citado estão ilustradas nas figuras abaixo.

Tabela 2 – Composição Granulométrica

ESTUDO DE COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA											
Peneiras	BRITA 3/4	7 %	BRITA 0	40 %	PÓ DE PEDRA	51 %	FILER	2 %	MISTURA 100%	FAIXA "C" DNIT	Faixa Trabalho
1"	100,0	7,0	100	0	0	0	0	0		De à	De à
3/4 "	100,0	7,0	100,0	40,0	100,0	51,0	100,0	2,0	100,0	100	100
1/2 "	41,3	2,9	97,7	39,1	100,0	51,0	100,0	2,0	95,0	80	88
3/8 "	10,0	0,7	56,5	22,6	100,0	51,0	100,0	2,0	76,3	70	70
										90	83,3

4	1,6	0,1	3,1	1,2	98,8	50,4	100,0	2,0	53,7	44	48,7
10	1,2	0,1	1,2	0,5	71,5	36,5	100,0	2,0	39,1	22	34,1
40	1,1	0,1	1,2	0,5	33,5	17,1	98,1	2,0	19,6	8	14,6
80	1,1	0,1	1,1	0,5	21,8	11,1	95,7	1,9	13,6	4	10,6
200	0,8	0,1	1,0	0,4	12,1	6,2	93,2	1,9	8,5	2	6,5
										10	10

Fonte: O próprio autor (2017)

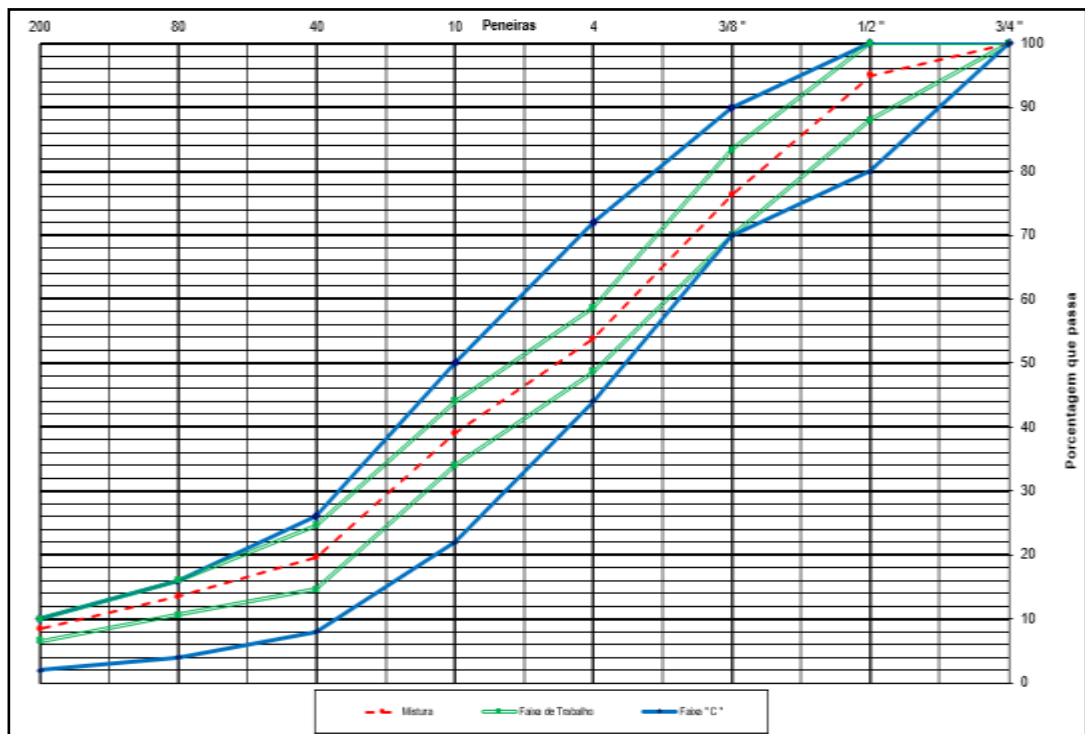


Figura 5 - Curva Granulométrica - Distribuição da Mistura

Fonte: O próprio autor (2017)

2.2.1.2 Determinação do teor ótimo

Foram moldados três corpos de prova para cinco teores diferentes, são eles: 5,0; 5,5; 6,0; 6,5 e 7,0. Após, foram realizados em conformidade com as normas, NBR 15619 (ABNT, 2016) e NBR 12891 (ABNT, 1993) o método de Marshall para determinação do teor ótimo do ligante, verificando todos os parâmetros volumétricos e mecânicos para obtenção dos resultados.

Segundo SoloCap (1994), o teor ótimo de asfalto deve ser determinado como sendo a média algébrica dos teores que apresentarem valores de:

- Mínimo % V.A.M.;
- Máxima densidade aparente;
- Máxima estabilidade;
- Para este valor médio de teor, a % de Vazios reais (%Vv) e % de R.B.V., devem estar dentro dos limites especificados para a mistura estudada.

Tabela 3 – Teor do ligante

PORCENTAGEM EM MASSA DOS AGREGADOS EM FUNÇÃO DO TEOR					
TEOR DE ASFALTO	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%
BRITA 3/4"	6,65%	6,62%	6,58%	6,55%	6,51%
BRITA 0	38,0%	37,80%	37,60%	37,40%	37,20%
PÓ	48,45%	48,20%	47,94%	47,69%	47,43%
FILER	1,90%	1,89%	1,88%	1,87%	1,86%
SOMATÓRIO	100%	100%	100%	100%	100%

Fonte: O próprio autor (2017)

Com base nas informações obtidas através dos resultados gerados nos gráficos pelo software Excel e também pela visualização durante a realização dos ensaios, pode-se constatar que o teor ótimo encontrado foi de 6,0%, onde abaixo de 5,7% a massa ficará com aspecto seco e acima de 6,3% a massa ficará com excesso de CAP, ambos causariam problemas se executados.

2.3 EQUAÇÕES E GRÁFICOS

2.3.1 Densidade máxima teórica

De acordo com a NBR 15619 (ABNT 2016), a densidade máxima teórica é a razão entre a massa da mistura asfáltica não compactada (solta) e a massa de água por ela ocupada. Para calcular teremos as seguintes equações:

$$D_{rm} = ((100 - P_b) \times P_a / 100) / D_b \quad (1)$$

Onde:

D_{rm} – Densidade de massa média dos grãos ou fragmentos

P_b – Porcentagem material betuminoso

P_a – Porcentagem de agregado contido na mistura

D_b – Densidade relativa do agregado

$$D_t = 100 / \sum D_{rm} \quad (2)$$

Onde:

D_{rm} – Densidade de massa média dos grãos ou fragmentos

Determinando assim a densidade teórica conforme explanados em tabela.

Tabela 4 – Densidade Teórica

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE TEÓRICA		
46,3 %Agregado graúdo / Densidade relativa agregado	43,518 / 2,782	15,640
45,2 %Agregado miúdo / Densidade relativa agregado	42,516 / 2,713	15,672
8,5 % Agregado fino / Densidade relativa agregado	7,966 / 2,327	3,424
6,0 %Betume / Densidade relativa do betume	6,0 / 1,002	5,988
Somatório		40,724
Densidade teórica = 100 / Somatório (g/cm ³)	100 / 40,724	2,456

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.2 Densidade aparente da mistura

Segundo SoloCap (1994), a densidade aparente deve ser realizada o mais

rápido possível a partir do momento em que o corpo de prova tenha sido extraído do cilindro. Já que os procedimentos para esta determinação levam em consideração características de porosidade e textura.

$$DA = \frac{Par}{(Par - Pimerso)} \quad (3)$$

Onde:

Par - Peso ao ar

Pimerso - Peso imerso

Tabela 5 - Densidade Aparente

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE				
CP N°		01	02	03
Peso do CP ao ar	a	1195,8	1194,6	1192,7
Peso do CP imerso	b	690,1	689,8	688,2
Volume do CP	a-b	505,7	504,8	504,5
Densidade aparente	a/a-b	2,365	2,366	2,364
Média (g/cm ³)		d = 2,365		

Fonte: O próprio autor (2017)

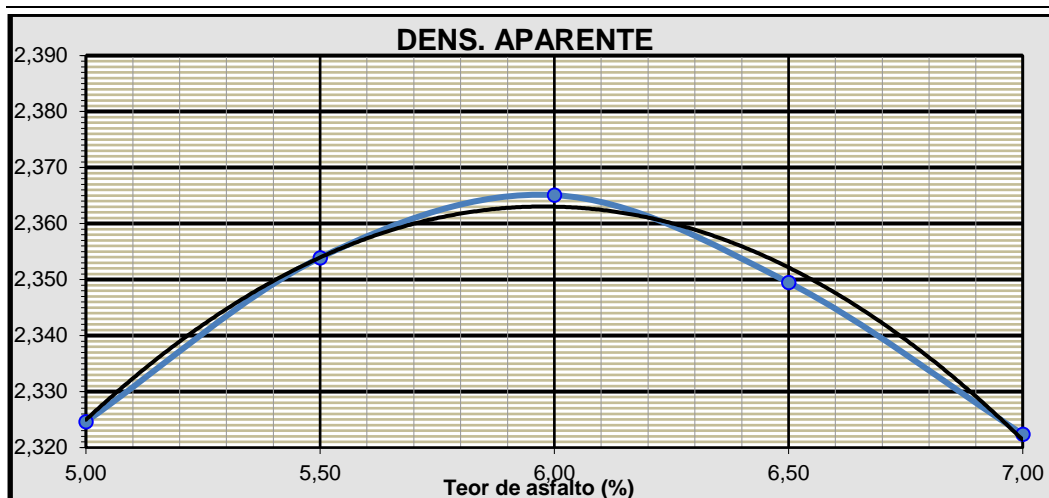


Figura 3 – Densidade Aparente

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.3 Estabilidade

Segundo NBR 12891 (ABNT, 1993), a estabilidade é a resistência máxima à compressão, apresentada pelo corpo de prova, quando executado e ensaiado de acordo com a metodologia estabelecida. Os resultados de estabilidade se dão através da leitura do rompimento do corpo de prova na prensa Marshall, conforme tabela e gráfico a seguir.

Tabela 6 - Estabilidade

DETERMINAÇÃO MÉDIA DA ESTABILIDADE			
CP N°	01	02	03
Leitura 1,99	710	700	700
Estabilidade encontrada	1412,90	1393,00	1393,00
Fator de correção	1,00	1,00	1,00
Estabilidade corrigida	1412,90	1393,00	1393,00
Estabilidade média (kgf)	1400,0		

Fonte: O próprio autor (2017)

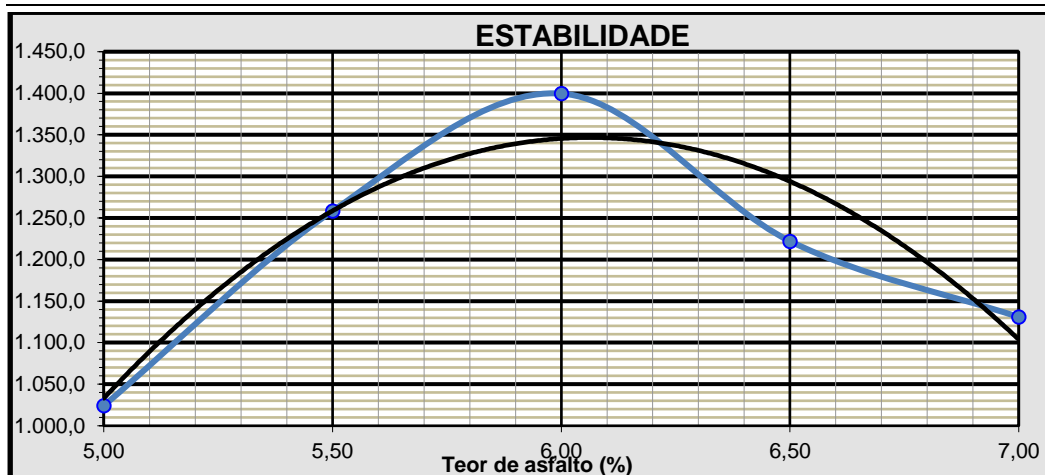


Figura 4 – Estabilidade

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.4 Fluência Marshall

Pela NBR 12891 (ABNT 1993), a fluência é a deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro.

Ou ainda segundo Bernunci et al. (2008) a fluência pode ser conceituada como o deslocamento na vertical apresentado pelo corpo de prova, com a aplicação de carga máxima. Da mesma maneira que a estabilidade a fluência também tem seu resultado através de leituras feitas na prensa Marshall no momento do rompimento do corpo de prova.

Tabela 7 – Fluência

DETERMINAÇÃO MÉDIA DA FLUÊNCIA			
CP N°	01	02	03
Leitura inicial	0,0	0,0	0,0
Leitura final	3,8	3,1	3,0
Fluência	3,8	3,1	3,0
Fluência média (mm)	Fm= 3,3		

Fonte: O próprio autor (2017)

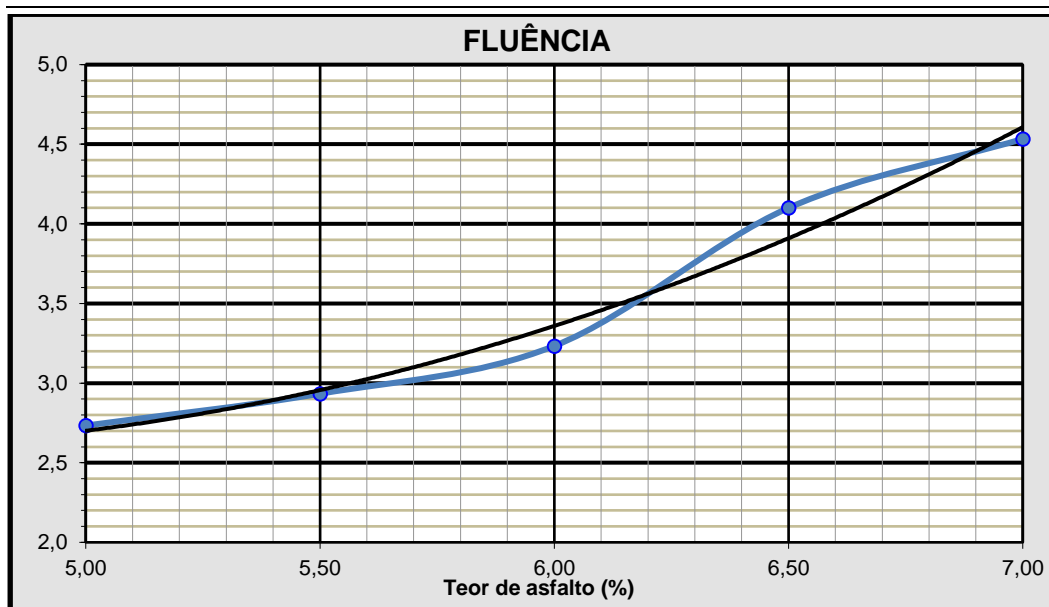


Figura 5 – Fluência

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.5 Volume vazios

Segundo NBR 12891 (ABNT 1993), o volume dos espaços vazios do corpo de prova é expresso percentualmente em relação ao volume aparente do corpo de prova, e calculado pela equação abaixo. Explanado em tabela e gráfico.

$$Vv=(Dt-Da)X100/Dt \quad (4)$$

Onde:

Dt – Densidade teórica

Da – Densidade aparente

Tabela 8 – Volume Vazios

DETERMINAÇÃO VOLUME VAZIOS	
CP teor	6%
Densidade teórica	2,456
Densidade aparente	2,365
Volume Vazios (%)	3,70

Fonte: O próprio autor (2017)

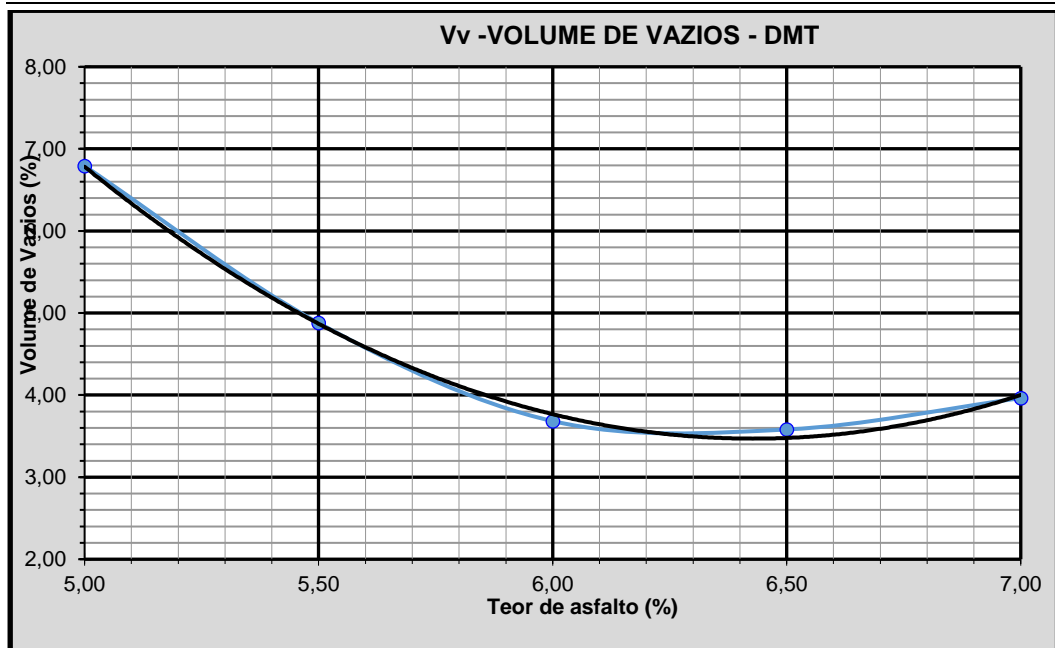


Figura 6 - Volume Vazios

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.6 Vazios cheios de betume

Os vazios cheios de betume são verificados através da equação a seguir conforme normativa. Exemplificado em tabela e gráficos a seguir.

$$VCB = \frac{D_a \times P_b}{D_b} \quad (5)$$

Onde:

D_a – Densidade aparente

P_b – Porcentagem de material betuminoso empregado

D_b – Densidade relativa material betuminoso (fornecida pela fabricante).

Tabela 9 - Vazios Cheios de Btume

DETERMINAÇÃO VAZIOS CHEIOS DE BETUME	
Porcentagem betume	6%
Densidade aparente	2,365
Densidade rel. material betuminoso	1,002
Vazios cheios de betume (%)	14,16

Fonte: O próprio autor (2017)

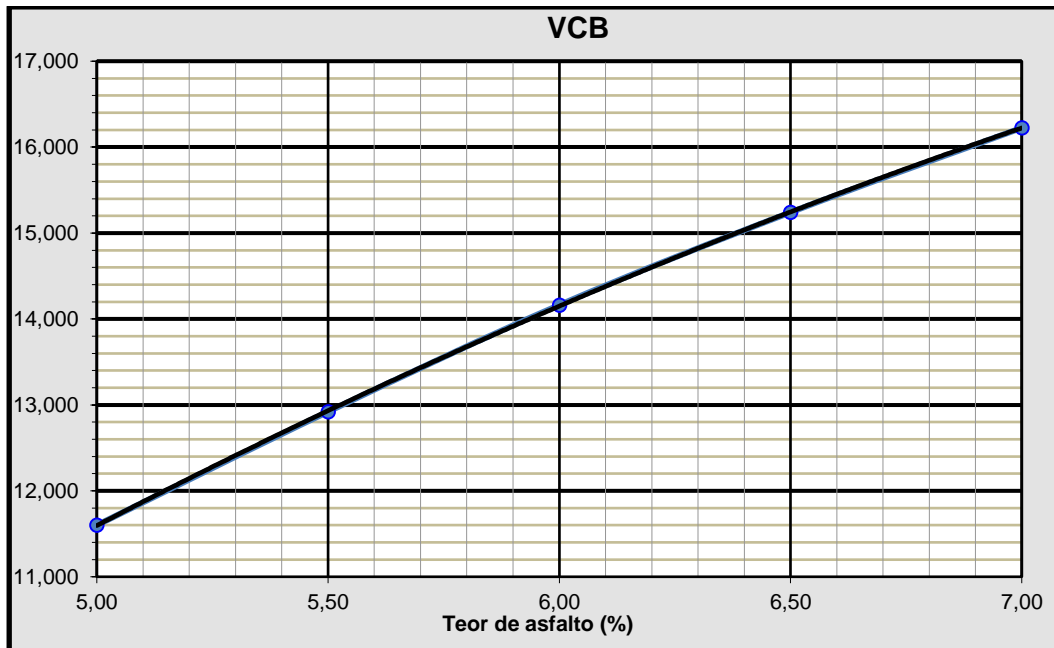


Figura 7 – Vazios Cheios de Betume

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.7 Vazios agregados mineral

Os vazios de agregado mineral são determinados pela equação abaixo. Os resultados estão destacados em tabela e gráfico.

$$VAM = Vv + Vcb \quad (6)$$

Onde:

Vv – Volume vazios

Vcb – Vazios cheios de betume

Tabela 10 - Vazios do nAgregado Mineral

DETERMINAÇÃO VAZIOS AGREGADO MINERAL	
CP teor	6%
Volume vazios	3,70
Vazios cheios betume	14,16
Vazios agregado mineral (%)	17,85

Fonte: O próprio autor (2017)

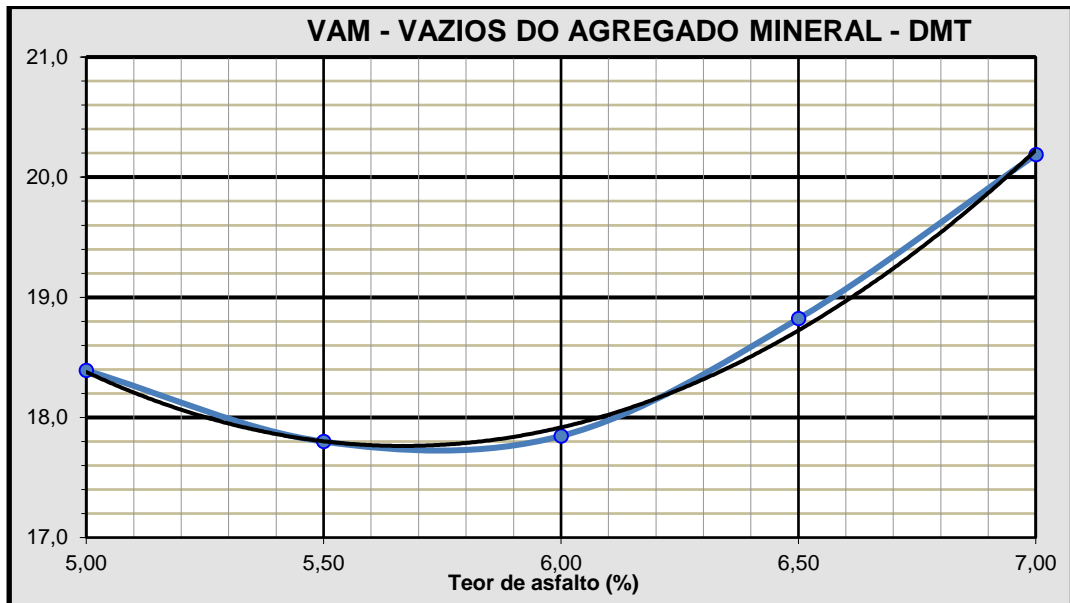


Figura 8 – Vazios do Agregado Mineral

Fonte: O próprio autor (2017)

2.3.8 Relação betume vazios

$$RBV = (VCB/VAM) \times 100 \quad (7)$$

Onde:

VCB – Vazios cheios de betume

VAM – Vazios do agregado mineral

Tabela 11 – Relação Betume Vazios

RELAÇÃO BETUME VAZIOS	
Vazios cheios betume	14,16
Vazios agregado mineral	17,85
Relação betume vazios (%)	79,36

Fonte: O próprio autor (2017)

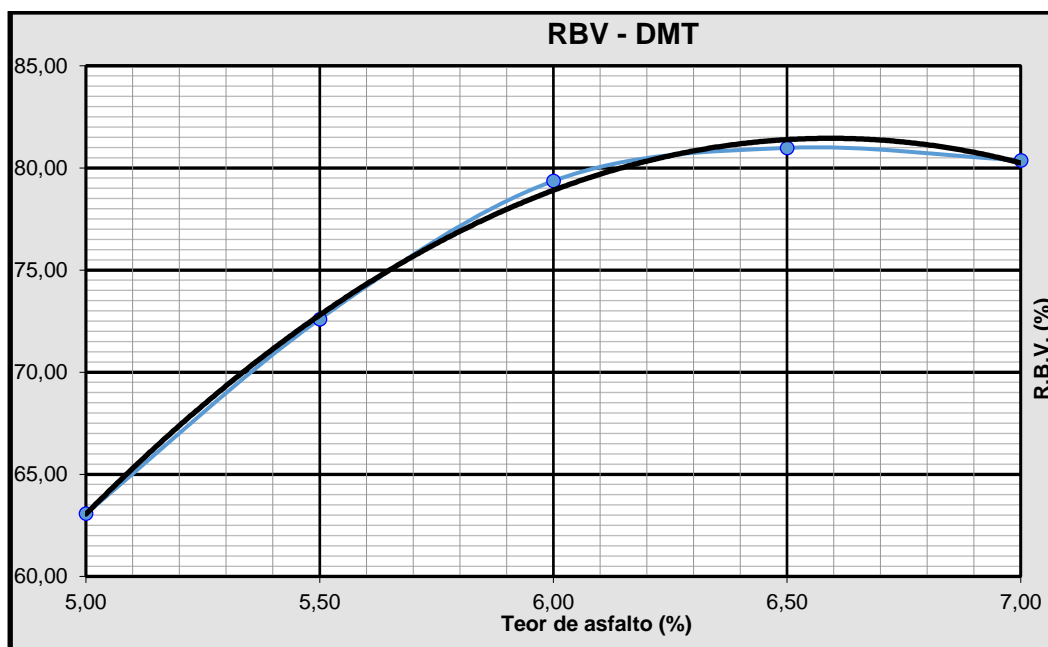


Figura 9 – Relação Betume Vazios

Fonte: O próprio autor (2017)

2.4 RESULTADOS FINAIS

De acordo com todos os ensaios executados e os cálculos realizados seguindo as normas estabelecidas, chegou-se por meio dos gráficos aos seguintes resultados, que serão explanados nas tabelas a seguir:

Tabela 12 – Características finais

CARACTERÍSTICAS MARSHALL			
Resultados Gráficos	Limites de Projeto		Especificação DNIT 031/2006 – ES
Densidade aparente	2,365 g/cm ³		
Volume Vazios	3,70%		3,0 a 5,0
Estabilidade	1400,0 kgf		Min 500
Fluência	3,30 mm	Recomendado 2 a 4	
RBV	79,36%		75 a 82
VAM	17,85%		
VCB	14,16%		
Teor Ótimo	6,00%	Mín 5,7 a Max 6,3	± 0,3 (Por dentro)

Fonte: O próprio autor (2017)

3 CONCLUSÃO

Conclui-se que o reuso do resíduo cinza se mostra tecnicamente possível na adição parcial como filler no concreto asfáltico flexível, pois todos seus resultados ficaram dentro dos parâmetros exigidos.

Entretanto, analisando os resultados finais nota-se que não ocorreu melhorias na mistura asfáltica, apesar de ser possível sua utilização, a cinza não proporcionou mudanças favoráveis. Também pode-se observar que a cinza não apresentou boa interação com o ligante, com deficiência na adesividade entre eles e homogeneidade em sua concentração na mistura. Devido a sua baixa massa específica reduziu a densidade da fração, aumentando excessivamente o consumo de CAP o que tornaria sua utilização economicamente inviável, pois quanto maior a quantidade de finos maior será o teor de CAP, assim tornando a produção do concreto asfáltico flexível com um custo muito mais elevado, isso se a preocupação for o custo de curto prazo propendendo para os preços, pois o CAP representa em torno de 60% a 70% o custo de uma obra. Porém se o objetivo for o valor que isso representa a longo prazo, há grandes chances de ser viável sua utilização, de modo que ele trará ganhos no meio ambiente, evitando a necessidade de tomar medidas futuras para conter a poluição que a cinza causará.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE BRASIL. **Ambiente Resíduos**. 2017. Disponível em: <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/residuos/classes_dos_residuos.html>. Acesso em: 15 jun. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12891**. Dosagem de Mistura Betuminosa pelo Método Marshall. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15619**. Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas. Rio de Janeiro, 2016.

BALDO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de Construção**. 5. Ed. Vol 1. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos Científicos Editora LTDA, 2013.

DNER. **Manual de Pavimentação**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Implanta%E7%E3o%20B%E1sica.pdf>. Acesso em: 19 mai. 2017.

FOELKEL, Celso. **Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose Kraft de Eucalipto. Parte 05: Resíduos Minerais**. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. **Pavimentação Asfáltica**. 1.ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos Científicos Editora LTDA, 2015.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: Editora Pini LTDA, 2007.

SOLOCAP, Geotécnica Rodoviária. **Proposição de método de dosagem Marshall para mistura betuminosa tipo CBUQ**. 1994.

WWF BRASIL. **O que é Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimen>

to_sustentavel/>. Acesso em: 07 mai. 2017.