

ANÁLISE DO USO DE BORRACHA PROVENIENTE DE LUVAS DE LÁTEX DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE SAÚDE EM MISTURAS ASFÁLTICAS

Naira Schmidt Rabello (1), Luiz Renato Steiner (2), Pedro Arns (3)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) nairaschmidtrabello@gmail.com (2) luizsteiner@unesec.net (3) par@unesec.net

RESUMO

As luvas de látex de resíduos sólidos de saúde apresentam-se, em sua maioria, como sendo em látex natural. O estudo consiste na proposta de realizar os processos de desinfecção e esterilização neste resíduo e adicioná-las ao ligante betuminoso convencional CAP 50/70 para misturas asfálticas. Estudos já comprovam que a adição de borracha de pneus ao ligante betuminoso de cimento asfáltico melhoram as propriedades físicas e mecânicas dos pavimentos flexíveis, bem como o desgaste a abrasão, a recuperação elástica e vida útil do pavimento. O presente estudo, tem por finalidade estudar a adição, deste resíduo, em duas porcentagens ao ligante betuminoso CAP 50/70 convencional e avaliar o seu desempenho em misturas asfálticas. Estas, foram dosadas no teor ótimo, obtido na mistura do ligante convencional com o agregado mineral, e que serviu como amostra de referência. Pelos resultados obtidos nos ensaios, destaca-se o de estabilidade Marshall que para a amostra ensaiada CP-5 obteve acréscimos de 16,18 %, em relação a amostra de referência. No ensaio a abrasão (cantabro), a resistência ao desgaste diminuiu e conseqüentemente a sua perda de massa, resultando em menor desagregação do pavimento. Avaliando um ligante betuminoso modificado com borracha de pneus inservíveis, com os com adição de luvas de látex, verificou-se que o resíduo de luvas gerou uma melhoria nas propriedades dos ligantes as quais são transferidas para as misturas asfálticas. A substituição de parte do ligante pelo resíduo, provocou uma elevação na coesão do esqueleto pétreo, redução da suscetibilidade térmica e da adesividade. Os novos parâmetros resultaram em um ligante betuminoso com ótima empregabilidade, em misturas asfálticas, para tráfego pesado, em regiões de variações térmicas significativas, resultando em um pavimento mais durável. Assim, a incorporação do látex de luvas de borracha de resíduo de saúde traz melhorias significativas nas misturas estudadas. Os revestimentos dos pavimentos que serão construídos com estas misturas irão ter mais flexibilidade em baixas temperatura, suportando maiores deformações causadas pelo excesso de peso dos veículos e suportando melhor as variações de temperatura. O estudo insere uma nova

reutilização para o resíduo, que possui atualmente como destino final aterros sanitários ou a incineração, ambos extremamente prejudiciais ao meio ambiente. Visando a sustentabilidade, sugere-se a atenção para avanços nos estudos para dispormos de uma maneira segura e benéfica para a reinserção destes resíduos na cadeia econômica, trazendo benefícios socioeconômicos e melhorando significativamente a qualidade dos cimentos asfálticos de petróleo empregados em nossas malhas rodoviárias.

Palavras-Chave: Luvas de látex, Resíduos, Reutilização, Ligantes betuminosos, Pavimentos.

1. INTRODUÇÃO

O asfalto é um dos mais antigos materiais empregados pelo homem. Na Mesopotâmia o asfalto já era utilizado como aglutinante em trabalhos de construção de estradas. Estudos comprovam que o asfalto tende a se perpetuar por muitos e muitos anos. (NEGRÃO, 2006)

Os asfaltos convencionais possuem bom comportamento para a maioria das aplicações rodoviárias resistindo as necessidades de tráfego e das condições climáticas. No entanto, para condições de tráfego intenso e peso por eixo crescente, em rodovias especiais ou nos aeroportos, e para grandes diferenças térmicas climáticas, tem sido utilizados cada vez mais modificadores nas propriedades dos asfaltos. (BERNUCCI et al., 2008).

Os polímeros são grandes moléculas incorporadas ao ligante asfáltico, modificando e melhorando suas características. Uma das alternativas mais estudadas é a incorporação de borracha de pneus inservíveis. Sua utilização em pavimentação tem sido uma das técnicas mais utilizadas em todo o mundo porque permite o uso de grandes volumes desse resíduo. (BERNUCCI et al., 2008).

Dentre todos os tipos de materiais poliméricos, as borrachas, ou elastômeros, se distinguem por sua característica única de permitir grande alongamento, seguido instantaneamente de quase completa retração, especialmente quando se encontram na condição vulcanizada. Esse fenômeno foi primeiramente observado na borracha natural, e passou a ser conhecido como elasticidade. A borracha é material considerado de importância estratégica, devido ao papel que desempenha principalmente no transporte de pessoas, matérias-primas, produtos acabados, alimentos, etc. (MANO,1999).

Vários trabalhos, abordam a problemática da geração de resíduos sólidos como de relevante importância. Há uma incessante busca por aprimoramentos para a exploração de recursos naturais diminuindo danos ao meio ambiente, porém devido a custos altíssimos não dispomos da mesma tecnologia para reutilizações destas matérias-primas.

Neste contexto, a luvas de resíduos sólidos de serviços de saúde apresentam-se no Brasil em sua maioria de látex, devido ao seu baixo custo. Da mesma forma que o uso de borracha de pneus inservíveis tem sido comprovado como uma alternativa para

melhorar o comportamento da camada asfáltica, a proposta do estudo consiste em atribuir o mesmo destino.

No Brasil, não dispomos de dados quantitativos e qualitativos da maior parte destes resíduos. Para (Ferreira, 1995), as instituições de controle e proteção do meio ambiente no Brasil, em caso de dúvida adotam todos os resíduos sendo como perigosos. Esse enquadramento equivocado traz como consequência custos elevados para o seu gerenciamento. A RDC (*Regime Diferenciado de Contracções*) Nº 15, DE 15 DE MARÇO DE 2012 – *Que dispõe requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde e dá outras providências*, conceitua como desinfecção de alto nível o processo físico ou químico que destrói a maioria dos microrganismos de artigos semicríticos, inclusive microbactérias e fungos, exceto um número elevado de esporos bacterianos. Porém, o Hospital Instituto de Medicina e Cirurgia do Paraná, de Curitiba-PR, possui um aparelho de origem alemã capaz de transformar os resíduos potencialmente infectados em resíduos comuns. Ele trata o lixo hospitalar, basicamente, através de dois processos o de trituração e o de esterilização.

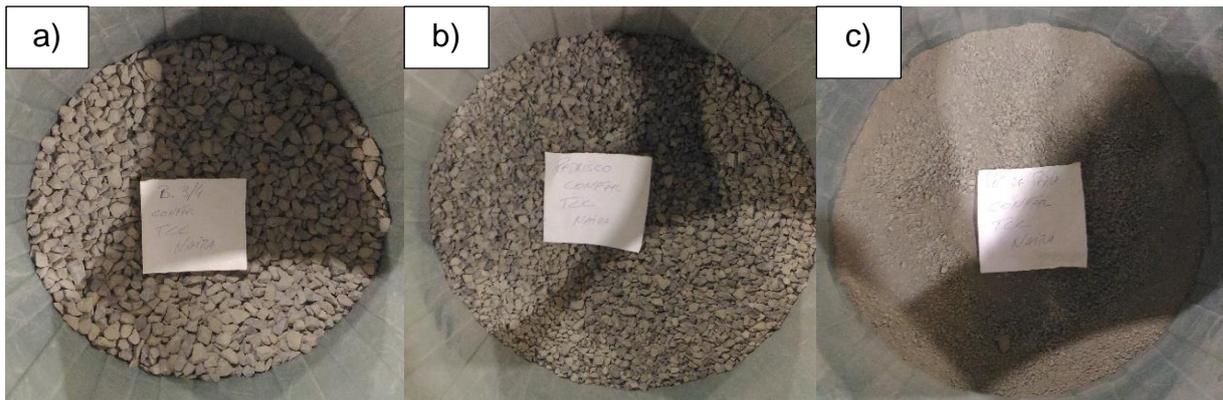
O presente estudo visa submeter as luvas a processos de desinfecção e esterilização adicionando-a em ligante asfáltico, afim de melhorar as características físico-químicas do ligante perante a mistura asfáltica, propondo uma reutilização para este resíduo.

2. MATERIAIS

2.1. AGREGADOS

Os agregados minerais são de origem basáltica e foram fornecidos pela empresa CONFER - Construtora Fernandes, como mostram as figuras: 01 a) Brita $\frac{3}{4}$, 01 b) Pedrisco, 01 c) Pó de pedra. Foram coletados e caracterizados no Laboratório de Mecânica dos Solos – LMS, do Instituto de desenvolvimento e Tecnologia – IDT, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Figura 01 – Agregados minerais utilizados nas misturas.



Fonte: Autor, 2017.

2.2. LIGANTES ASFÁLTICOS

Os ligantes asfálticos foram fornecidos pela CBB asfaltos. Foi utilizado o cimento asfáltico de petróleo convencional CAP 50/70, para definição do teor ótimo da mistura, segundo metodologia Marshall, e como base para substituição do resíduo. O ligante TYREFLEX-AB8 com adição de borracha de pneus, geralmente possui substituição de 15% a 20% no CAP, e foi utilizado para comparativos. Abaixo na tabela 01, constam os certificados fornecidos pela empresa supracitada para o cimento asfáltico de petróleo convencional e com adição de pneus.

Tabela 01 - Especificação do CAP 50/70.

Características	Unidades	Especificação	Resultados	Métodos
Penetração (100g, 5s, 25C)	0,1 mm	50 a 70	62	NBR 6576
Ponto de amolecimento, mín.	°C	46	48,6	NBR6560
Viscosidade Saybolt-Furol				
135	ssf	> 141	171	NBR 14950
150		> 50	90	
177		30-150	35	
Viscosidade Brookfield				
135	cp	> 274	330	NBR 15184
150		> 112	170	
177		57-285	66	
Ponto de Fulgor	°C	> 235	310	NBR 11341
Índice de Susceptibilidade Térmica	-	-2,2	-1	-
Ductilidade a 25C, 5 cm/min	cm	> 60	> 100	NBR 6293
Solubilidade em Tricloroetileno	% (Massa)	> 99,5	99,9	NBR 14855
Massa Específica a 25	Kg/m	-	1,007	NBR 6296

Especificação do TYREFLEX AB8.

Características	Unidades	Especificação	Resultados	Métodos
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1 mm	30 a 70	52	NBR 6576
Ponto de amolecimento, mín.	°C	> 50	55,5	NBR6560
Recuperação elástica, 10 cm, 25°C	%	> 50	68	NBR 15086
Viscosidade Brookfield	1450	800-2000	1518	NBR 15529
Ponto de Fulgor	°C	> 235	270	NBR 11341
Ensaio de separação de Fase	Δ P.A. (°C)	< 9	4,9	NBR 15166
Massa Específica a 25°C	Kg/m ³	-	1,011	NBR 6296

Fonte: CBB Asfaltos, (2016).

2.3. LUVAS EM LÁTEX

As luvas utilizadas apresentam-se como de látex natural e foram compradas pelo autor, e que para o estudo, o mesmo foi utilizado inerte. Na tabela 02 estão os componentes das matérias-primas utilizadas no processo de fabricação das luvas de látex, cedido pela empresa SUPERMAX.

Tabela 02 - Matérias-primas utilizadas na fabricação das luvas de látex.

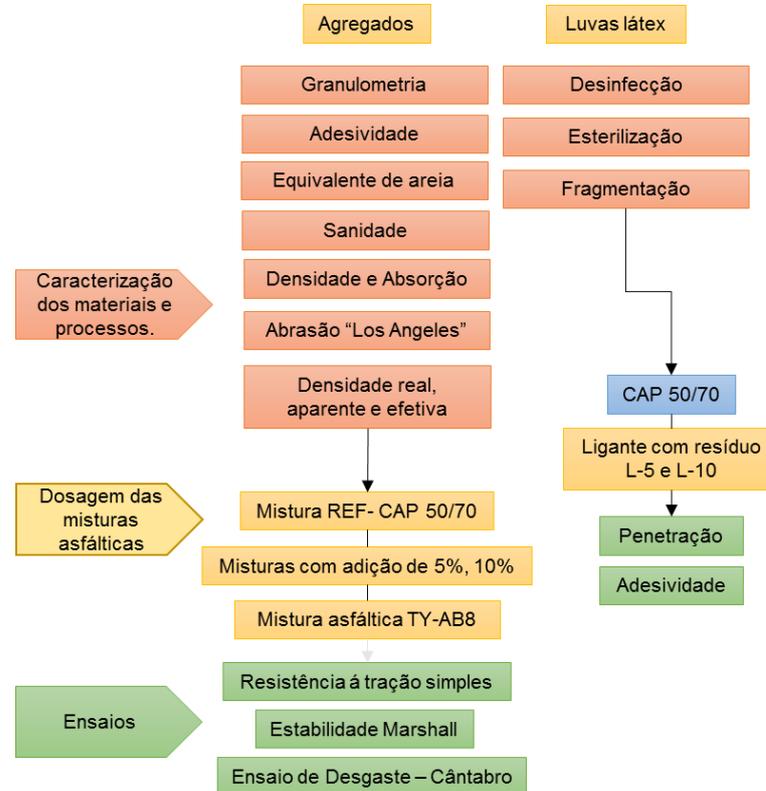
Nome Comum	Nome Químico	Finalidade
Látex natural	Látex NR	Polímero
Óxido de Zinco	Óxido de Zinco	Agente ativador
Enxofre	Enxofre	Agente de ligação cruzada
Ralox LC	Fenol Bloqueado	Antioxidante
Dióxido de Titânio	Dióxido de Titânio	Pigmento
ZDBC	Dibutilditiocarbamato de Zinco	Acelerador
ZDEC	Dietilditiocarbamato de Zinco	Acelerador
Cera	Emulsão de cera micro refinada	Anti-ozonizante
KOH	Hidróxido de Potássio	Estabilizante
Carbonato de Cálcio	Carbonato de Cálcio	Agente anti-mofo
Nitrato de Cálcio	Nitrato de Cálcio	Agente coagulante do látex
Ácido Nítrico	Ácido Nítrico	Limpador de formador
Cloro Gasoso	Cloro gasoso	Gerador de cloro livre
Neutralizante N ₃	Sulfito de Sódio	Neutralizante do cloro

Fonte: Supermax, (2017).

3. MÉTODOS

Os agregados foram caracterizados de acordo com Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – DNER. Após, realizado de acordo com DNER-ME 043/95 – a Dosagem Marshall. O resíduo foi processado simulando os processos de desinfecção e esterilização, a escolha dos dois simultaneamente deu-se para verificação se os processos poderiam alterar o resíduo fisicamente. A incorporação do resíduo ocorreu no ligante convencional, nas substituições de 5% e 10% em peso da massa do ligante. A substituição no ligante recebeu a designação “L” seguida da porcentagem para os ensaios. Após, foram moldados os corpos de prova de acordo com a Metodologia Marshall no teor ótimo obtido para o ligante convencional. Para a amostra de referência a denominação “REF”, e a designação “CP” seguida das porcentagens de substituições para as amostras de misturas asfálticas. Para comparativos com o ligante com adição de pneus foram moldadas amostras de misturas asfálticas, denominadas TY-AB8. A temperatura de compactação utilizada foi de 147°C para a mistura convencional e 175 °C para os asfaltos com adições. A figura 02 com fluxograma das etapas realizadas e a metodologia empregada.

Figura 02 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor, 2017.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

3.1.1. Agregados

Os revestimentos asfálticos constituem-se de associações, basicamente entre ligantes e agregados. Agregado é um termo utilizado para areias, pedregulhos e rochas minerais. O agregado deverá ser escolhido de forma que suporte as tensões impostas no pavimento e no seu interior. Na tabela 03 constam os resultados obtidos com a caracterização em laboratório dos agregados.

Tabela 03 - Granulometria e características físicas dos agregados.

Peneiras	Porcentagem passante acumulada				Métodos
	mm	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó de pedra	
Malha					
3/4"	19,100	100	100	100	-
1/2"	12,700	43,62	100	100	-
3/8"	9,500	14,35	99,84	100	-
#4	4,800	0,94	31,96	99,56	-
#10	2,000	0,69	2,43	69,03	-
#40	0,420	0,67	1,57	34,32	-
#80	0,180	0,63	1,41	23,52	-
#200	0,075	0,54	1,2	10,99	-
Abrasão "Los Angeles" Faixa B (%)		10,36	-	-	DNER-ME 035/98
Equivalente de Areia (%)		-	0,53	-	DNER-ME 054/97
Adesividade		Satisfatório	-	-	DNER-ME 078/94
Densidade real média		3,04	-	-	DNER-ME 081/98
Densidade aparente média		2,97	-	-	DNER-ME 081/98
Absorção média (%)		0,8	-	-	DNER-ME 081/98
Densidade real média		-	2,97	-	DNER-ME 084/95
Massa específica real média		-	-	2,93	DNER-ME 085/94
Sanidade (%)		2,06	-	-	DNER-ME 089/94

Fonte: Autor, 2017.

3.2. DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

3.2.1. Composição granulométrica

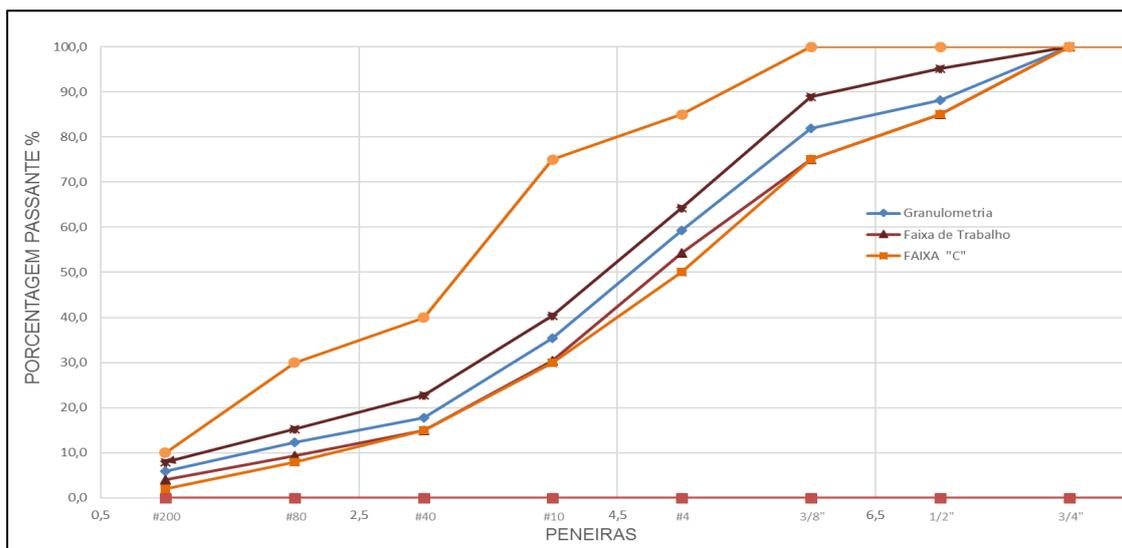
Para a composição granulométrica da mistura de referência foram utilizados os três agregados disponíveis, brita ¾, pedrisco e o pó de pedra, nas porcentagens de 21%, 29% e 50% respectivamente, conforme demonstrado na tabela 04. A granulometria resultante se enquadrou na faixa C do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. A figura 03 o gráfico da granulometria utilizada.

Tabela 04 - Composição granulométrica para todas as misturas.

Peneiras	Brita 3/4"	Pedrisco		Pó de pedra		Projeto % (Pass.)		Especificação				
		Malha	mm	21,0%	29,00%	50,00%	Granulo.	Faixa de Trabalho	CAUQ			
		%Pass	%Comp	%Pass.	%Comp	%Pass	%Comp			Faixa "C"		
3/4"	19,10	100,00	21,00	100,00	29,00	100,00	50,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,70	43,62	9,16	100,00	29,00	100,00	50,00	88,20	85,00	95,20	85,00	100,00
3/8"	9,50	14,35	3,01	99,84	28,95	100,00	50,00	82,00	75,00	89,00	75,00	100,00
#4	4,800	0,94	0,20	31,96	9,27	99,56	49,78	59,20	54,20	64,20	50,00	85,00
#10	2,000	0,69	0,14	2,43	0,70	69,03	34,51	35,40	30,40	40,40	30,00	75,00
#40	0,420	0,67	0,14	1,57	0,45	34,32	17,16	17,80	15,00	22,80	15,00	40,00
#80	0,180	0,63	0,13	1,41	0,41	23,52	11,76	12,30	9,30	15,30	8,00	30,00
#200	0,075	0,54	0,11	1,20	0,35	10,99	5,50	6,00	4,00	8,00	2,00	10,00

Fonte: Autor, 2017.

Figura 03 – Composição granulométrica da mistura de acordo com a faixa C do (DNIT).



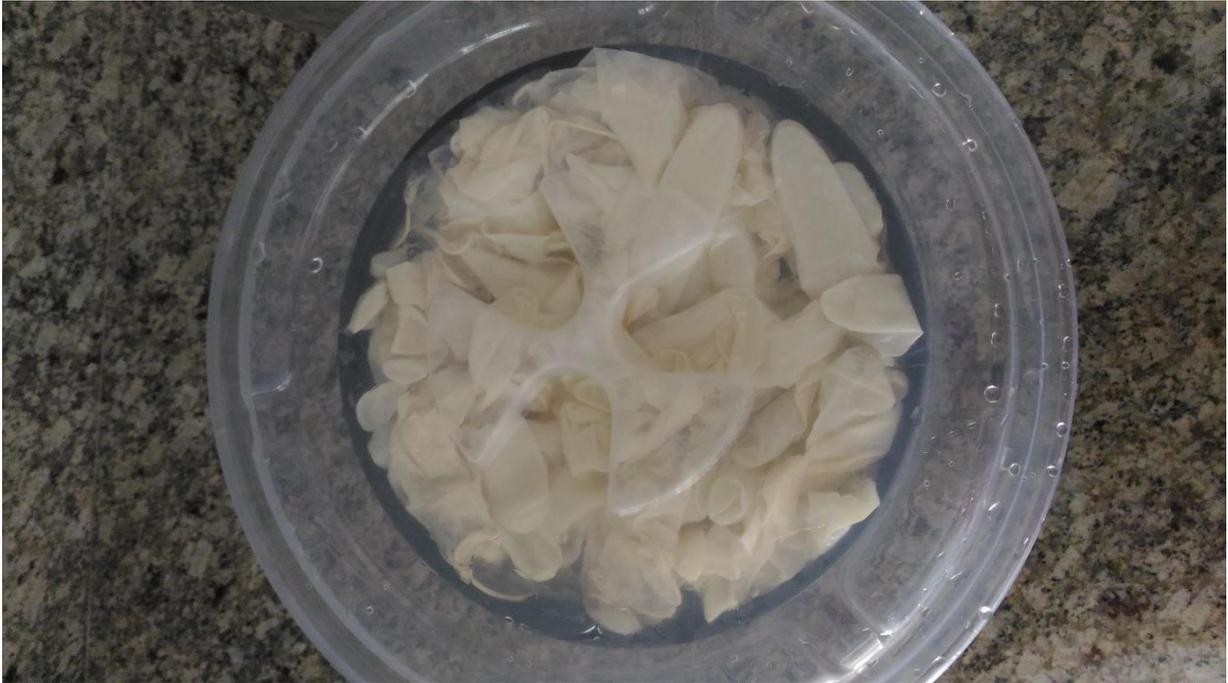
Fonte: Autor, 2017.

3.3. PREPARAÇÃO DAS LUVAS

O material foi classificado de acordo com Manual da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA, "Processamento de artigos e superfícies em Estabelecimentos de Saúde", de acordo com o seu uso. Os artigos destinados ao contato com a pele não-íntegra ou com mucosas íntegras são chamados de artigos semicríticos e requerem desinfecção de médio ou de alto nível, ou esterilização, para ter garantida a qualidade do múltiplo uso destes. O processo de desinfecção consiste na eliminação de formas vegetativas, existentes em superfícies inanimadas, mediante a aplicação de agentes

químicos ou físicos. Conforme indicação de uso do Manual, foi utilizado, para desinfecção, hipoclorito de sódio (NaClO), com cloro ativo em 1% por 10 minutos submersas num recipiente metálico como mostra a figura 04.

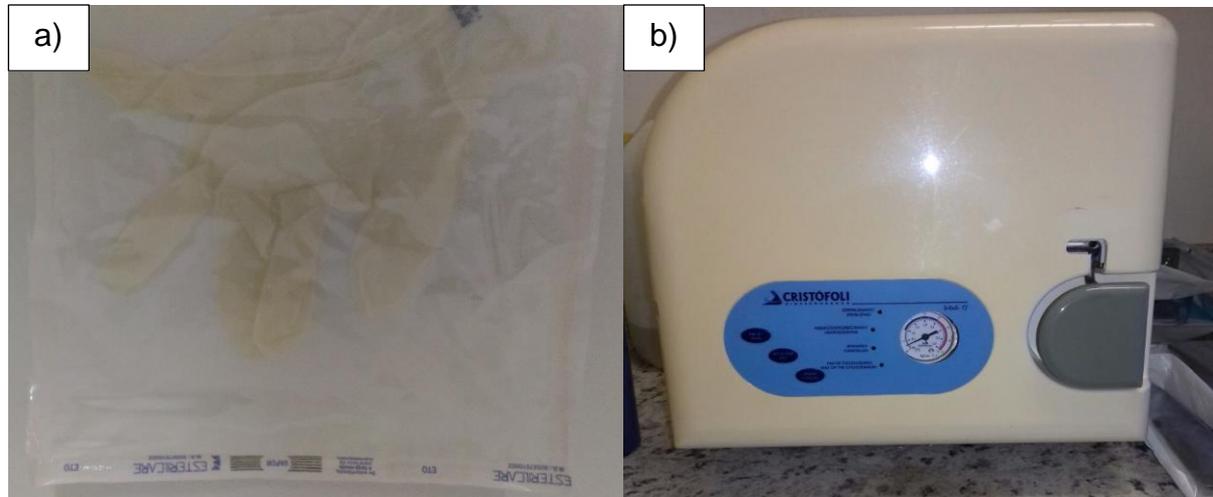
Figura 4 – Luvas submersas no hipoclorito de sódio.



Fonte: Autor, 2017.

A esterilização é o processo de destruição de todas as formas de vida microbiana (vírus, bactérias, esporos, fungos, protozoários e helmintos) por um processo que utiliza agentes químicos ou físicos. As luvas desinfetadas foram lavadas em água corrente e secas, para serem embalado em papel grau cirúrgico. Esse papel possui como garantia, para o processo de esterilização, fitas reativas ao calor, como mostra figura 05 a). A esterilização ocorreu por autoclavagem, como mostrado na figura 05 b) a autoclave utilizada.

Figura 05 – Luvas embaladas papel grau cirúrgico e autoclave utilizada.



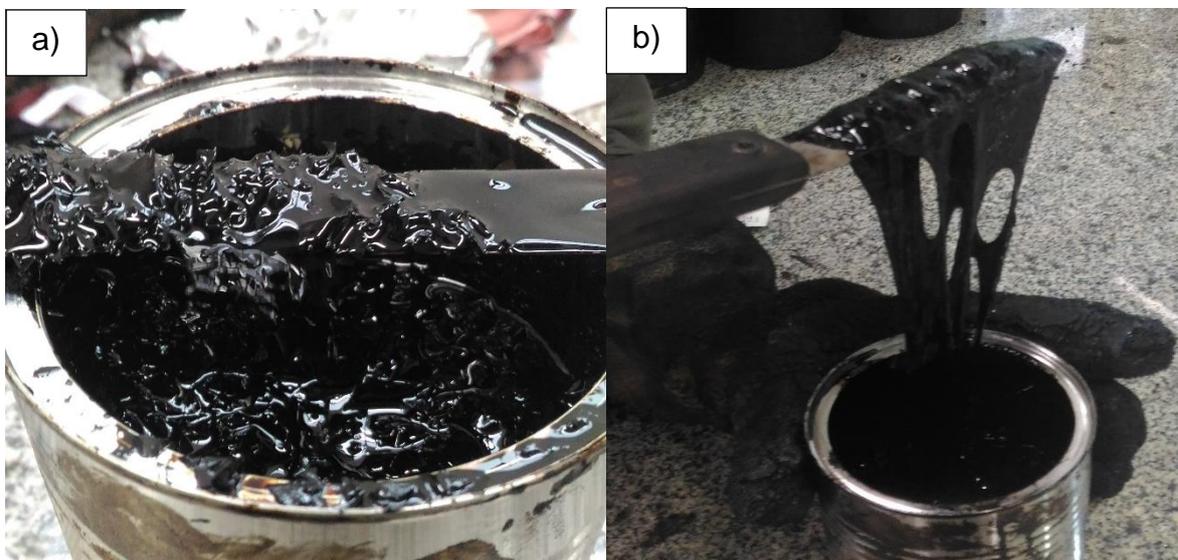
Fonte: Autor, 2017.

3.4. INCORPORAÇÃO DAS LUVAS AO LIGANTE ASFÁLTICO

Para a incorporação das luvas, foi utilizada a norma denominada Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending” – Especificação de material do Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte – DNIT-EM 111/2009. Por possuir semelhanças ao método empregado, e para a especificação de serviço foi utilizada a norma Concreto asfáltico com asfalto-borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending” – DNIT-ES 112/2009.

Para o estudo foi desenvolvido uma metodologia de incorporação, semelhante às normas supracitadas. O resíduo após os processos de desinfecção e esterilização foram picados manualmente. O ligante foi aquecido a 150°C e separado 500g para cada recipiente metálico. As luvas picadas foram adicionadas na parte superior das latas nas concentrações desejadas e incorporadas manualmente. A figura 06 a) mostra os resíduos já incorporados. Após, retornaram a estufa a temperatura de 170°C, por 2 horas, e redução para 160°C por 48 horas. Durante todo esse processo ocorreu a agitação manual. A figura 06 b), destaca-se resultado final da mistura.

Figura 06 – Etapa da adição do resíduo e resultado final.



Fonte: Autor, 2017.

3.5. DOSAGEM MARSHALL

Foi adotado o método denominado de Metodologia de Dosagem Marshall (DNER-ME 043/95). Este procedimento prevê a dosagem de misturas asfálticas considerando valores admissíveis empíricos para estabilidade. Leva em consideração a granulometria, densidade dos materiais e a porcentagem de vazios (BERNUCCI, 2007, p.57). A tabela 05 mostra os parâmetros obtidos para a amostra de referência.

Tabela 05 - Parâmetros Marshall obtidos para o teor ótimo de 4,1 % - DNIT- ES 031/2006.

Parâmetros	REF	Especificações	
		Mín.	Máx.
Densidade aparente (g/cm ³)	2,665	-	-
Volume de vazios (Vv), %	3,38	3	5
Relação betume vazios (RBV), %	76,32	75	82
Vazios agregado mineral (VAM), %	14,29	-	-
Volume de betume (VB), %	10,90	-	-
Estabilidade Marshall 75 Golpes (Kgf)	1285,00	500	-

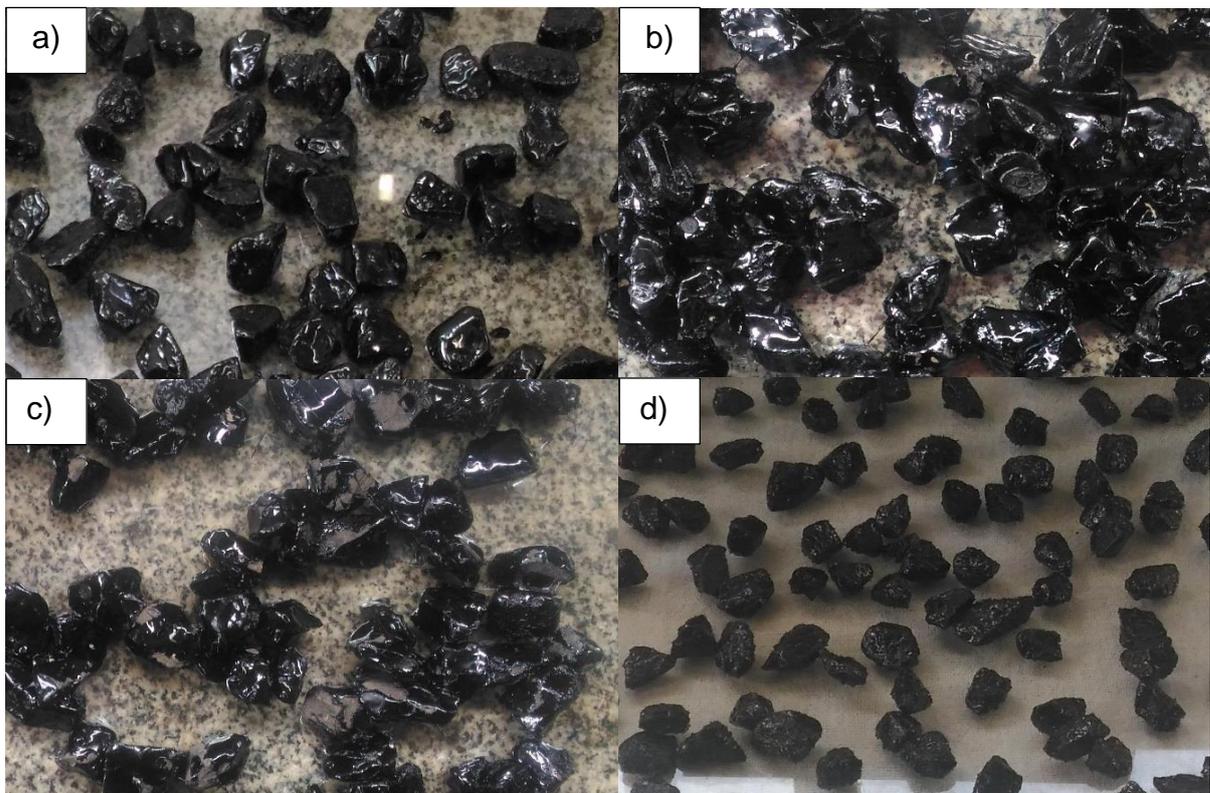
Fonte: Autor, 2017.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. ADESIVIDADE

É o ensaio que avalia a propriedade que tem o agregado de ser aderido por material betuminoso. É verificado pelo não deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado, quando a mistura agregado-ligante é submetida, à ação de água destilada, durante 72 horas. Foi realizado de acordo com a DNER- ME 078/94. A figura 07 a) representa os resultados obtidos com ligante convencional, b) ligante convencional com 5% de resíduos e c) ligante convencional com 10% de resíduos e d) ligante TYREFLEX-AB8.

Figuras 07 – Adesividade obtida para os ligantes supracitados.



Fonte: Autor, 2017.

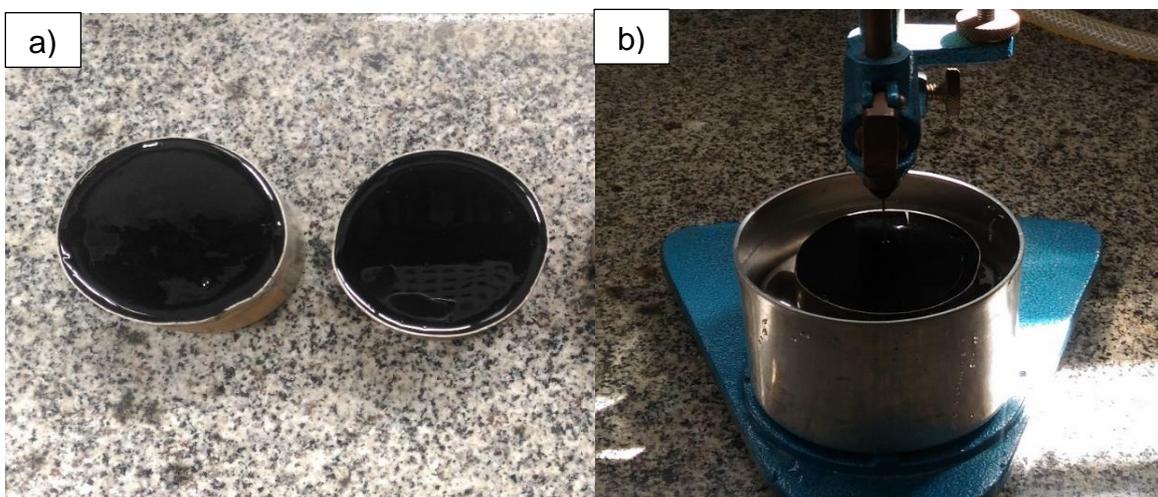
O ligante convencional e com substituição de 5% de resíduo, obtiveram resultado satisfatório, podendo ser visualizado nas figuras 07 a) e 07 b). Perante ao ligante com substituição de 10% de resíduos, observa-se na figura 07 c) que ocorreu o

descolamento da película, sendo classificado como insatisfatório o resultado obtido, a figura 07 d) apresenta o resultado obtido com o ligante com adição de pneus, o resultado já esperado foi como satisfatório. A melhor ou pior aderência dos agregados pelo asfalto é um parâmetro designado coesão. A modificação com borracha tende a tornar o ligante mais aderente e envolvente ao agregado garantindo uma boa adesividade. A amostra de ligante com 10% de resíduo não obteve o resultado satisfatório isso se deve ao fato de estarmos ultrapassando o limite de incorporação devido ao fato de que o resíduo é 100% látex, ou pelo fato de a amostra não ter sido preparado com um misturador de alto cisalhamento.

4.2. ENSAIO DE PENETRAÇÃO

Este ensaio consiste em determinar a profundidade, em décimos de milímetros, que uma agulha de massa padronizada (100g) penetra em uma amostra de volume padronizado de ligante asfáltico, por 5 s, à temperatura de 25°C, obtém-se a média dos 3 valores. O ensaio foi realizado no LMS, de acordo com a norma DNIT-ME 155/2010. A tabela 06 representa os resultados obtidos com o ensaio. A figura 08 a) preparação das amostras e 08 b) o ensaio de penetração. A figura 09 mostra graficamente os resultados obtidos com os parâmetros de norma.

Figura 8 – Ensaio de penetração.



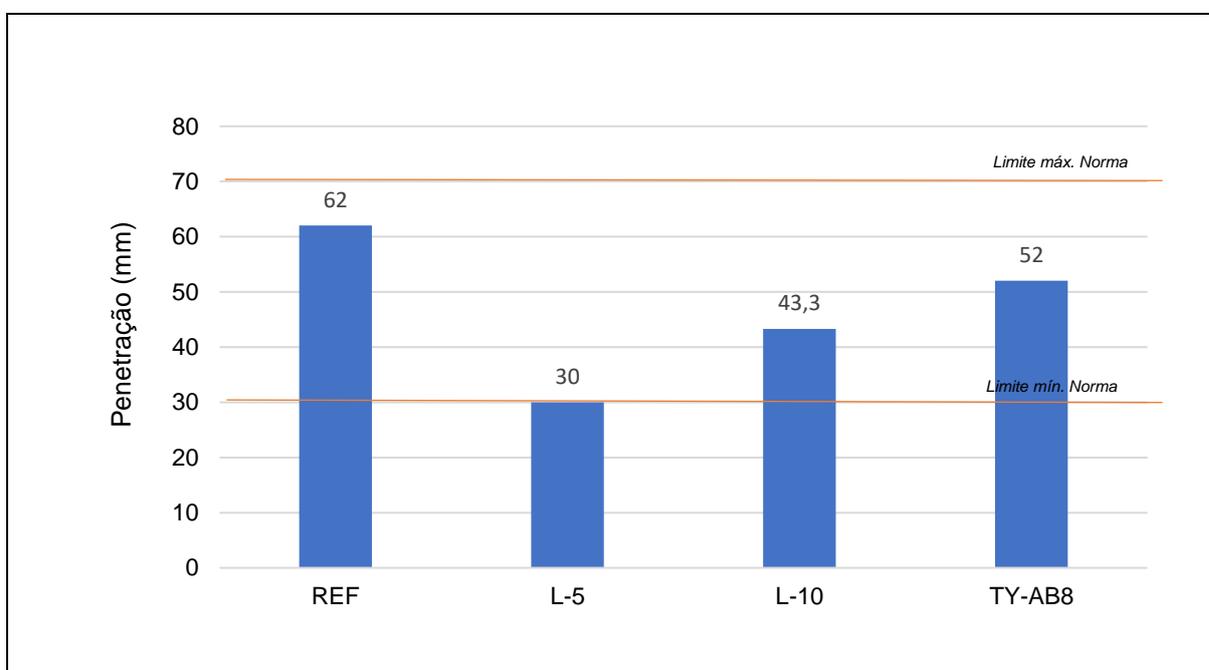
Fonte: Autor, 2017.

Tabela 06 - Penetração, 100g, 5 s, 25° C, 0,1 mm – DNIT-ME 155/2010.

Amostra	Resultado	Especificação	
		Mínimo	Máximo
REF	62 mm	50	70
L-5	30 mm	30	70
L-10	43,3 mm	30	70
TY-AB8	52 mm	30	70

Fonte: Autor, 2017.

Figura 09 – Resultados obtido com a Penetração.



Fonte: Autor, 2017.

O ensaio de penetração isoladamente não caracteriza perfeitamente a qualidade de um cimento asfáltico, porém, constitui em uma indicação do seu grau de dureza, sendo utilizado em algumas especificações como parâmetro de classificação.

Para as amostras com substituições de resíduo, observa-se o decaimento significativo comparado com o ligante sem a substituição, ou seja, as amostras obtiveram um aumento da dureza ou da sua consistência relativa. Isso ocorre porque o elastômero contido nos resíduos promove a redução da suscetibilidade térmica do cimento asfáltico de petróleo, a mistura com substituição de resíduo deverá ser aquecida além

da temperatura realizada de ensaio 25°C para atingir a mesma penetração da mistura de referência de CAP convencional 50/70.

4.3. CANTABRO

O ensaio é usualmente realizado para determinação de resistência à desagregação e tem como objetivo avaliar a perda de massa pela metodologia Cantabro normatizado pelo DNER – ME 383/99. As amostras foram preparadas pela metodologia Marshall, o ensaio consiste em submeter amostras de concreto asfáltico à 300 revoluções no tambor, dentro da máquina de abrasão Los Angeles, sem as esferas. A figura 10 abaixo apresenta o resultado final obtido para as amostras CP-10. A tabela 7 apresenta os valores obtidos com o ensaio.

Figura 10 – Resultado final obtido para CP-10.



Fonte: Autor, 2017.

Tabela 07 - Ensaio de desgaste a abrasão Cantabro - DNER-ME 383/99

Amostra	Resultado
REF	6,01%
CP-5	3,27%
CP-10	2,85%
TY-AB8	5,74%

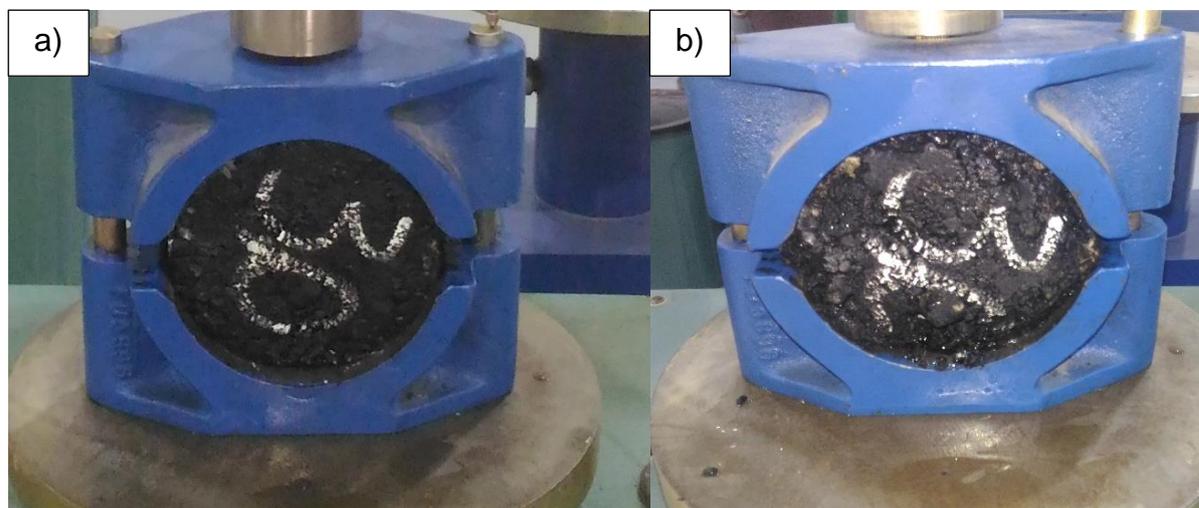
Fonte: Autor, 2017.

Observou-se que para as amostras com adição de borracha de látex que há uma redução da perda de massa de 45,59% para amostra CP-5 e 52,58% para amostra CP-10, enquanto que a amostra TY-AB8 apresentou somente um redução de 4,49% em comparação com a amostra de referência. Com os resultados obtidos, conclui-se que as misturas asfálticas realizados com ligantes modificadas com elastômeros são mais resistentes ao desgaste devido ao aumento na coesão entre ligante e agregados pétreos promovido pela incorporação da borracha, portanto resistindo a desagregação por efeito do atrito pneu-pavimento aumentando a sua durabilidade no pavimento.

4.4. ESTABILIDADE MARSHALL

É o procedimento de determinação dos parâmetros gerados numa dosagem Marshall, para concreto asfáltico utilizado em camada de rolamento e na confecção dos corpos de prova. A estabilidade Marshall é a resistência máxima a compressão diametral apresentada pelo corpo de prova antes da ruptura. O ensaio consiste na aplicação de uma carga de compressão sobre o corpo de prova cilíndrico. A figura 11 a) mostra a peça no início do ensaio e a figura 11 b) após compressão diametral.

Figura 11 – Início e final do ensaio de Estabilidade Marshall.



Fonte: Autor, 2017.

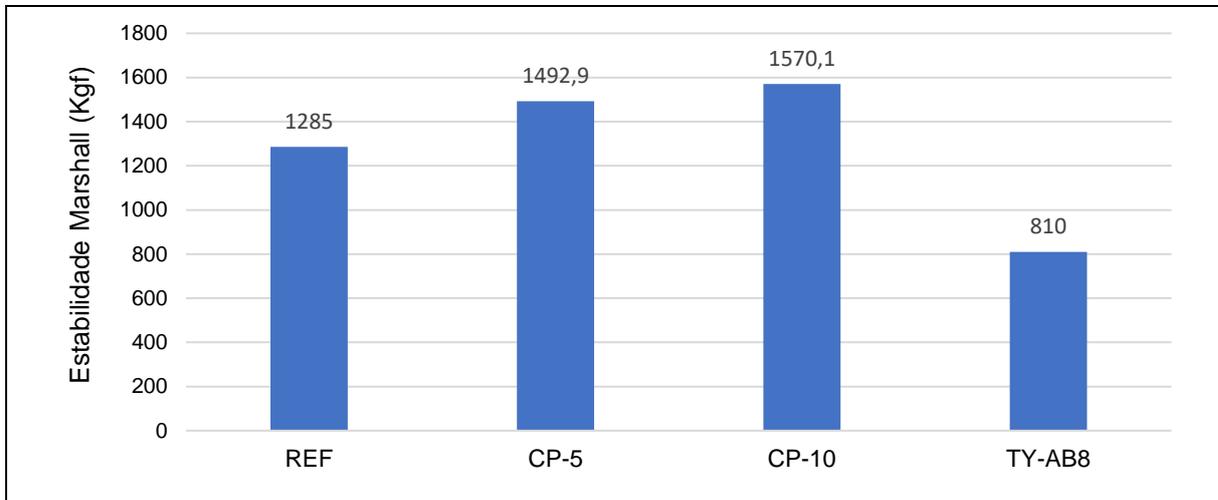
Na tabela 08 são apresentados os resultados de estabilidade das misturas estudadas e na figura 12 as variações da estabilidade das misturas em função dos ligantes utilizados.

Tabela 08 - Estabilidade Marshall – DNER-ME 043/95

Amostra	Resultados	Especificação	
		Mín.	Máx.
REF	1285,00 kgf	500	-
CP-5	1492,90 kgf	800	-
CP-10	1570,10 kgf	800	-
TY-AB8	810,00 kgf	800	-

Fonte: Autor, 2017.

Figura 12 – Estabilidade Marshall.



Fonte: Autor, 2017

Como mostram os resultados, a estabilidade para a amostra CP-5 aumenta em 207,9 kgf, e para a mistura CP-10 em 285,10 kgf em relação a amostra de referência. A amostra com ligante TY-AB8, resultou que para o teor ótimo do cimento convencional, ocorreu uma redução na sua estabilidade Marshall.

Este aumento na estabilidade para as amostras com ligante modificado com borracha de luvas de látex, se deve ao fato de que, o ligante ficou menos suscetível ao calor conforme o ensaio de penetração. Como o ensaio é realizado em uma temperatura pré-determinada, as misturas com borracha de luvas de látex são menos influenciadas pela temperatura, ficando mais rígidas e suportando carregamentos maiores antes da ruptura. Vale ressaltar que todas as amostras atenderam as especificações de norma.

A Tabela 09 apresenta os parâmetros volumétricos da dosagem Marshall obtidos para as misturas asfálticas REF, CP-5 e CP-10 e TY-AB8, dosadas no teor ótimo de ligante.

Tabela 09 - Parâmetros Marshall obtidos para o teor ótimo de 4,1 % - DNIT-ES 112/2009

Parâmetros	REF	CP-5	CP-10	TY-AB8	Especificações	
					Mín.	Máx.
Densidade aparente (g/cm ³)	2,665	2,685	2,683	2,674	-	-
Volume de vazios (Vv), %	3,38	2,65	2,72	3,06	3	5
Relação betume vazios (RBV), %	76,32	80,59	80,15	78,47	65	78
Vazios agregado mineral (VAM), %	14,29	13,63	13,70	14,00	-	-
Volume de betume (VB), %	10,90	10,99	10,98	10,94	-	-

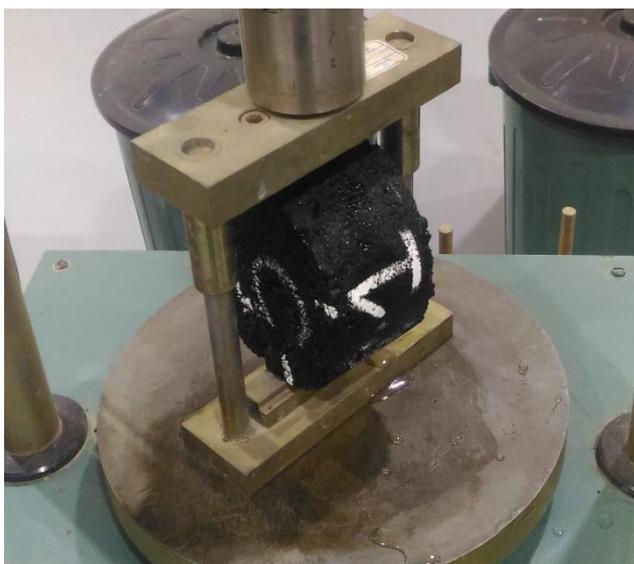
Fonte: Autor, 2017

Com o teor ótimo obtido para a amostra de referência, de 4,1%, obteve-se as amostras sendo substituído parte do ligante por resíduo conforme os percentuais estipulados. Essa diminuição da quantidade de ligante, com a introdução da borracha de luvas de látex, mostra que para a densidade aparente ocorre um aumento. No Volume de vazios (Vv), observa-se um decréscimo, deixando as amostras CP-5 e CP-10 fora dos parâmetros de norma. Essa diminuição, também, se dá pelo fato de estarmos trabalhando com menos ligante betuminoso e introduzindo sólidos e que isto reduz os índices de vazios. Porém, com a substituição pelo resíduo concluiu-se que as misturas asfálticas ficaram menos suscetível às intempéries, favorecendo a diminuição da oxidação dos pavimentos e por consequência seu envelhecimento a longo prazo aumentado sua durabilidade. Para enquadramento do volume de vazios conforme especificações, deverá ser promovido o ajuste da granulometria dos agregados e ainda continuar tendo os mesmos benefícios obtidos.

4.5. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Após a definição do teor ótimo de ligante, de acordo com a Metodologia Marshall, foram moldados três corpos de prova para o ligante convencional, para o ligante com as adições de resíduo e o ligante modificado com a inserção de pneus. Uma vez moldados, os mesmos foram submetidos ao ensaio de resistência a tração diametral, DNIT-ME 136/2010. Abaixo, a figura 13 mostra o corpo-de-prova sendo submetido ao ensaio de tração por compressão diametral e a tabela 10 apresenta os resultados obtidos. A figura 14, representa graficamente as resistências obtidas com o ensaio.

Figura 13 – Amostra CP-5 no ensaio de tração por compressão diametral.



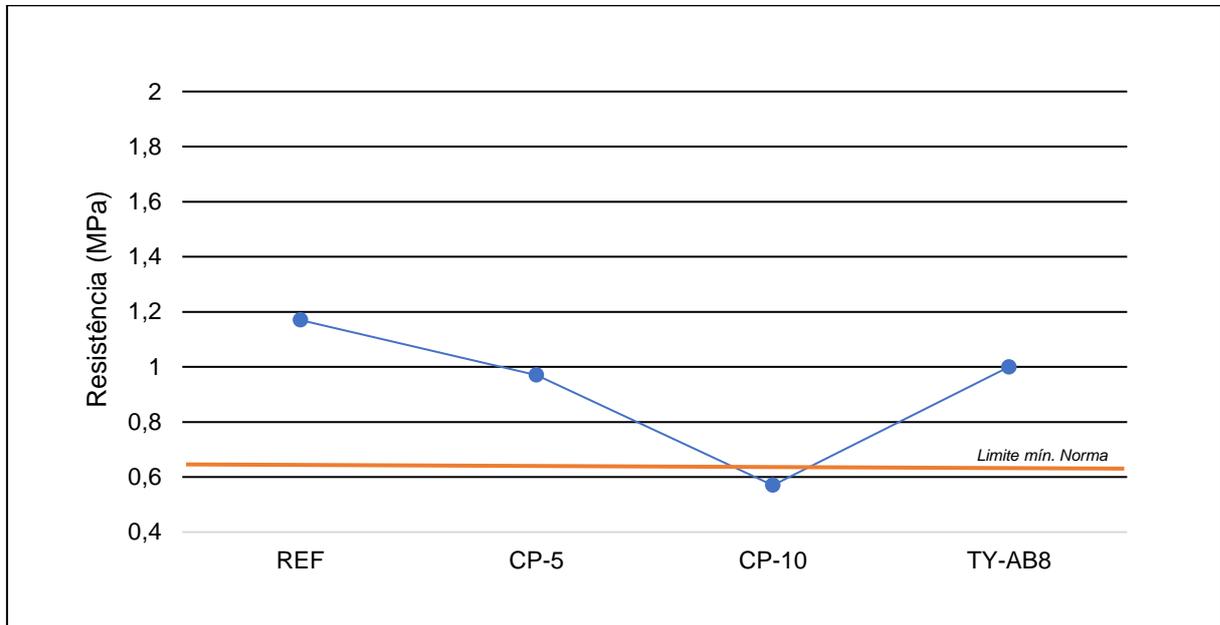
Fonte: Autor, 2017.

Tabela 10 - Determinação da resistência à tração por compressão diametral - DNIT-ME 136/2010.

Amostra	Resultado	Especificação	
		Mínima	Máximo
REF	1,17 MPa	0,65	-
CP-5	0,97 MPa	0,65	-
CP-10	0,57 MPa	0,65	-
TY-AB8	1,00 MPa	0,65	-

Fonte: Autor, 2017.

Figura 14 – Gráfico da resistência à tração por compressão diâmetral.



Fonte: Autor, 2017.

Observa-se por meio da Figura 14, que a incorporação do resíduo nas misturas promove uma redução na resistência a tração e que somente a amostra CP-10 acabou ficando abaixo da especificação mínima exigida por norma. Essa diminuição se deve ao comportamento elástico que as misturas adquirem com a adição de elastômeros, e se estes, segundo Negrão (2006), não forem reativos com o ligante e sim somente uma modificação mecânica, existe a possibilidade de segregação do resíduo, formando ponto de fragilidade no sistema.

Apesar das misturas apresentarem uma diminuição na resistência a tração em comparação a amostra de referência, este comportamento elástico imposto pelos ligantes modificados com polímeros, fazem com que as misturas sejam mais deformáveis, porém elas apresentam uma recuperação elástica muito superior em relação as misturas com ligantes convencionais. Este comportamento elástico torna os revestimentos asfálticos mais flexíveis em baixas temperaturas, prevenindo o aparecimento de trincas térmicas ou por fadiga e em temperaturas mais elevadas, tornando as misturas asfálticas mais resistente as deformações permanentes.

5. CONCLUSÃO

- A avaliação do ligante betuminoso modificado com resíduo em misturas asfálticas, permite demonstrar que as adições das luvas de látex provenientes de resíduos sólidos de saúde garantem melhorias nas propriedades do ligante e sendo transferidas para as misturas asfálticas. Ressalta-se que o comportamento obtido se equipara aos parâmetros analisados, como um pavimento modificado com polímero.
- De maneira geral, a utilização destes resíduos como modificador polimérico melhora as propriedades físicas e mecânicas das misturas asfálticas.
- Ressalta-se que com a substituição de parte do ligante por resíduo, promove nas misturas asfálticas a elevação da coesão do esqueleto pétreo, redução da suscetibilidade térmica e boa adesividade. Esses parâmetros resultam em uma mistura modificada, com ótima empregabilidade para tráfego pesado, em regiões com oscilações térmicas diárias, promovendo um aumento na durabilidade dos pavimentos.
- A incorporação do látex de luvas de borracha de resíduo de saúde trouxe melhorias significativas nas misturas estudadas. Os revestimentos dos pavimentos que foram construídos com estas misturas irão ter mais flexibilidade em baixas temperaturas, suportaram maiores deformações causadas pelo excesso de peso dos veículos e iram suportar melhor as variações de temperatura.
- Esses parâmetros analisados favorecem a diminuição de várias patologias, tais como: deformações permanentes, afundamento por trilho de rodas e ao aparecimento precoce de trincas e fissuras no revestimento.
- O estudo insere uma nova reutilização para o resíduo, que possui atualmente como destino final aterros sanitários ou a incineração, ambos extremamente prejudiciais ao meio ambiente. Visando a sustentabilidade, sugere-se a atenção para avanços nos estudos para dispormos de uma maneira segura e benéfica para a reinserção destes resíduos na cadeia econômica, trazendo benefícios socioeconômicos e melhorando significativamente a qualidade dos cimentos asfálticos de petróleo empregados em nossas malhas rodoviárias.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Ajustar a curva granulométrica, para atender as especificações de volume de vazios V_v ;
- Elaborar uma metodologia de incorporação do resíduo, com controle da agitação e temperatura;
- Analisar o desempenho da adição de luvas de látex em outros tipos de misturas asfálticas;
- Analisar o desempenho da adição de luvas de látex frente às deformações permanentes e módulo de resiliência;
- Analisar o desempenho da adição de luvas de látex frente ao fissuramento e trincamento devido as variações térmicas;
- Analisar o desempenho da adição de luvas de látex frente as diferentes temperaturas de usinagem e compactação;
- Analisar a eventual aplicabilidade dos dois processos utilizados nas luvas, e se somente o de esterilização já as tornaria reutilizáveis;
- Analisar outros processos de desinfecção e esterilização, pertinentes ao manual da Anvisa, analisando os custos e benefícios;
- Analisar a empregabilidade efetiva do resíduo, utilizando-os contaminados.

6. AGRADECIMENTOS

As empresas fornecedoras dos materiais, CONFER – Construtora que forneceu os agregados minerais, e a CBB Asfaltos de Curitiba, pelo fornecimento do ligante betuminoso, para a realização de todo o trabalho. Em especial, ao ex-professor da UNESC Joe Arnaldo Villena Del Carpio, que foi umas das pessoas a acreditar e confiar na viabilidade deste projeto. E aos meus orientadores e professores Luiz Renato Steiner e Pedro Arns, por todo o apoio e confiança.

7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: **Agregados graúdo – Determinação do índice de forma pelo método paquímetro.** (2005).

BALBO, José Tadeu. Pavimentação asfáltica: matérias, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BRASIL. ANS. Agência Nacional de Saúde Suplementar RDC nº 55, de 4 de novembro de 2011. **Estabelece os requisitos mínimos de identidade e qualidade para as luvas cirúrgicas e luvas para procedimentos não cirúrgicos de borracha natural, de borracha sintética, de mistura de borrachas natural e sintética e de policloreto de vinila, sob regime de vigilância sanitária.** ANS Publicações Eletrônicas. 2011.

BERNUCCI, Liedi Bariani (Et al.). **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem (DNER). DNER-ME 003/1999: **Material Betuminoso – determinação da penetração.** Rio de Janeiro: IPR, 1999. 7 p.

BRASIL. Departamento Nacional de Estradas De Rodagem (DNER). DNER-ME 043/1995: **Misturas betuminosas à quente – Ensaio Marshall.** Rio de Janeiro: IPR, 1995. 11 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 043/95: **Misturas betuminosas á quente – Dosagem Marshall.** 11 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 083/98: **Agregados – Análise granulométrica.** 5 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 035/98: **Agregados – determinação da “Abrasão Los Angeles”**. 6 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 054/97: **Equivalente de areia**. 10 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 078/94: **Agregado graúdo – adesividade ao ligante betuminoso**. 3 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 081/98: **Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. 6 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 084/95: **Agregado miúdo – determinação da densidade real**. 3 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 085/94: **Material finamente pulverizado – determinação da massa específica real**. 4 pág. (2005)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ME 089/94: **Agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou magnésio**. 6 pág. (2005)

FERREIRA, J. A. Solid waste and Nosocomial waste: Na Ethical Discussion. *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 314-320,1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro (3ª edição), 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ES 031/2004: **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico**. 13 pág. (2004)

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-EM 111/2009: **Pavimentação flexível – Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida, do tipo “Terminal Blending”** . 6 pág.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ES 112/2009: **Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico com asfalto-borracha, via úmida, do tipo “Terminal Blending”** . 13 pág.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ME 155/2010: **Material asfáltico - Determinação da Penetração**. 7 pág.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT-ME 136/2010: **Misturas asfálticas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral**. 6 pág.

FONTES, P. T. L. LISEANE *Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos*, Tese de Doutorado, Universidade de Minho, Portugal, 2009, 582 pp.

LEITE, L.M.F.; MOTTA, L.M.G.; BARIANI, L.B.; Soares, J.B., 2000. *Mechanical Behaviour of Asphalt Rubber Mixes Prepared in Laboratory*. Asphalt Rubber 2000 – Proceedings. Vilamoura, Portugal.

MACHADO, N. L.; MORAES, L. R. S. *RSSS: Revisitando as soluções adotadas no Brasil para tratamento e destino final*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 9, n. 1, p. 55-64, 2004.

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a polímeros**. 2.ed, rev. ampl. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 191 p.

NEGRÃO, Douglas Polcaro. Estudo de asfaltos modificados por polímeros do tipo RET para aplicação em pavimentos. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2006. 160 p.

PLANETA SUSTENTÁVEL: Lixo Hospitalar vira lixo comum, também no Brasil. São Paulo: Editora Abril, 16 fev. 2011. Disponível em: <<http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/lixo-hospitalar-vira-lixo-comum-tambem-brasil-618912.shtml>>. Acesso em: 08 mar. 2016.