Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro – ISSN 2178-6925
Faculdade Presidente Antônio Carlos de Teófilo Otoni - Junho de 2017

CARACTERIZAÇÃO E ESTUDO DE PNEUS PARA APROVEITAMENTO NA ELABORAÇÃO DE ASFALTO ECOLÓGICO

Pedro Emílio Amador Salomão[1], Everson Ferreira Junio[2],Samuel Augusto Braga de Souza[3]

Resumo

A indústria automotiva, que tem junto um cinturão de fornecedores, tem na indústria de pneus um dos seus pilares mais forte, pois emprega um grande numero de funcionários, gera um produto de alto valor agregado e de grande tecnologia, porém é um dos insumos que mais gera transtorno ambientais. Pneus quando descartados de forma incorreta, gera um passivo ambiental que leva em médio 600 anos para que o meio ambiente se recupere. Visto esse problema gerado pela falta de descarte e destino correto dos pneus usados, iniciou-se pesquisas voltadas para a utilização ambientalmente correta desses pneus, na qual podemos destacar o asfalto ecológico. Esse tipo de pavimento tem em sua composição a borracha proveniente de pneus descartáveis, melhorando propriedades e dandodestino economicamente e ecologicamente correto a esses pneus. Neste artigo é discutido o destino, composição e as formas de se utilizar esses pneus de forma ecologicamente correta.

Palavras Chave: Reciclagem, asfalto ecológico, reutilização pneus.

CHEMICAL PHYSICAL STUDY OF TIRES FOR USE IN THE PREPARATION OF ECHOLIC ASPHALT

Abstract

The automotive industry, which has a supplier belt, has one of the strongest pillars in the tire industry, employing a large number of employees, producing a high value-added product and high technology, but it is one of the inputs that More generates environmental disruption. Tires when discarded incorrectly, generates an environmental liability that takes in average 600 years for the environment to recover. Given this problem generated by the lack of disposal and correct destination of used tires, research began on the environmentally correct use of these tires, in which we can highlight the ecological asphalt. This type of pavement has in its composition the rubber coming from disposable tires, improving properties and giving an economically and ecologically correct destination to these tires. In this article we discuss the fate, composition and ways of using these tires in an ecologically correct way.

Keywords: Recycling, ecological asphalt, reuse tires.

[1] Doutorando em Química dos materiais e Professor Adjunto da Universidade Presidente Antônio Carlos UNIPAC –pedroemilioamador@yahoo.com.br
[2] Mestrando em Materiais para Engenharia – Universidade Federal de Itajubá UNIFEI – eversonjunio@unifei.edu.br
[3]Graduado em Engenharia Civil - Universidade Presidente Antônio Carlos UNIPAC – samuelaugusto.93@gmail.com

1Introdução

Em um mundo preocupado com sustentabilidade, profissionais procuram utilizar tecnologiaspara reciclagem de materiais que não apresentam mais utilidade e que muitas vezes são descartados de forma irregular.

Muitos materiais são descartados na forma de resíduos sem utilidade, na qual se encontra o pneu, que tem por estimativa a maior média de tempo de decomposição quando comparado com outros resíduos, gerando um passivo ambiental que demora até 600 anos para sua degradação total. Por falta de controle correto no descarte desse resíduo, muitas das vezes são jogados de qualquer forma na natureza. Quando o pneu não encontra mais serventia, o mesmo é descartado, mas para alguns engenheiros a realidade é outra, esses pneus descartados são trabalhados para a criação de uma mistura asfáltica para serem utilizados na criação de pavimentação de vias Rodoviárias e urbanas de acordo com DI GIULIO (2007).

O pneu é um dos principais elementos criados para o funcionamento de um veículo de transporte. O americano Charles Goodyear, inventor conhecido por registrar a patente na vulcanização da borracha em 1844, descobriu após vários testes um método onde misturava o enxofre com borracha e colocava em uma alta temperatura, obtendo-se a borracha vulcanizada. Goodyear pode observar que assim que ele realizava esta mistura ele conseguia manter as propriedades mais valiosas da borracha que era a elasticidade e a resistência. Assim o processo de vulcanização da borracha, no qual o enxofre é o principal agente responsável pela ligação entre as moléculas dos polímeros, onde no caso da borracha podem ter seus compostos de forma química ou orgânica.

De acordo com HENKES et. al. (2015) a composição de um pneu é constituída através de matérias primas diversas como a borracha natural, a borracha sintética, aço, negro de carbono (ou negro de fumo).

Conforme LAGARINHOS et. al (2008) esses materiais são essencialmente constituídos por carbono elementar sob forma de partículas aproximadamente esféricas, de diâmetro máximo inferior a 1µm, aglutinadas em agregados.A maioria dos negros de carbono é produzida pelo processo de fornalha, oxido de zinco e ácido esteárico, enxofre (agente vulcanizador), antidegradantes, aceleradores e retardadores.

No processo da borracha natural, o látex é extraído de algumas espécies vegetais, onde a mais conhecida e importante e a seringueira (Hevea brasiliensis), uma árvore nativa na Amazônia, onde leva 8 anos após o plantio das mudas para que se permita a extração látex. A borracha natural possui também diversos benefícios, proporcionando uma baixa geração de calor, uma alta resistência a rupturas, boa resistência a abrasão, além das suas características elásticas para a composição de um pneu.

A borracha sintética foi desenvolvida em 1940, obtido através do elastômero de petróleo, onde proporciona a sua propriedade de tração sem comprometer a sua resistência de abrasão.

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria dos Peneumáticos (ANIPA), foram produzidos em trono de 67 milhões de pneus em 2016 no Brasil, como ilustrado na tabela 1, onde a coleta de diversos pneus inservíveis acaba sendo incorreta, na qual contribui com a degradação do meio ambiente.

Tabela 1: Dados da associação nacional da indústria de pneus.

PRODUÇÃO (Milhares de unidades)			
Ano	**2014**	**2015**	**2016**
Carga	7.894,36	6.829,05	7.431,21
Caminhoneta	8.860,74	8.843,08	10.014,59
Passeio	33.266,71	37.399,85	36.584,87
Moto	15.514,35	14.614,75	12.888,09
Agrícola	873,85	719,49	796,58
Industrial	151,55	120,80	49,29
Avião	50,52	0,79	0,00

TOTAL	66.730,50	68.631,00	67.870,35

2. Asfalto ecológico e métodos de produção

Estudos realizados por RODRIGUES, C, M. et. al.(2015) eTCHOBANOGLOUS,et al. (1993), mostram que o asfalto ecológico, teve seu aprofundamento em pesquisas próximo a década de 1960 nos Estados Unidos. O pesquisado Charles H. McDonald, visto a grande notoriedade que questões ambientais teriam no futuro, iniciou a pesquisa e percebeu que os pneus triturados proporcionavam um material muito elástico que poderia ser utilizado no asfalto para corrigir problemas relacionados à durabilidade, resistência, flexibilidade e resiliência. Visto os custos operacionais, o projeto de produzir asfalto com pneus velhos ficou parado, na qual a nova tecnologia só foi utilizada em larga escala no final do século XX quando o custo de produção viabilizou a utilização. Com base na nova proposta mundial de sustentabilidade, delineado pelo protocolo Quioto (1997), que reza sobre a reutilização e reaproveitamento de materiais descartados descobriu-se, através de diversas pesquisas e experimentos, as qualidades da utilização de agregados da borracha em ligantes asfálticos.

De acordo com CHOUBANE et. al. (1999), a utilização de misturas com asfalto emborrachado tem demonstrado que estas apresentam um desempenho muito superior às das misturas convencionais.

Com base em estudos do pesquisador HURLEY et. al.(2005) pode ser dito que o asfalto-borracha é um composto de cimento asfáltico de petróleo - CAP, borracha moída de pneus - BMP, diluentes e alguns aditivos especiais quando necessários. O volume de borracha varia entre 15% e 20% em relação ao peso total do composto. Existem dois tipos diferentes de borracha nos pneus que proporcionam propriedades diferentes ao pavimento: a sintética, responsável pela estabilidade térmica; e a natural, que fornece as propriedades elásticas Para serem reaproveitados no composto asfáltico, os pneus devem sofrer um processo de trituração e moagem para separação do aço e nylon existentes em sua composição, pois apenas a borracha moída é aproveitada.

Após esta segregação, a borracha é incorporada ao asfalto através de dois processos diferentes: processo seco e úmido.

a) processo seco – partículas trituradas da borracha são misturadas com o agregado para em seguida formar o concreto. Cerca de 1 a 3% do agregado fino em peso são substituídos pelas partículas de borracha. Neste processo, a interação de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, mas ainda assim é possível associar melhorias à mistura asfáltica.

b) processo úmido – Antes de ser misturada com o agregado, a mistura da borracha moída é misturada com o ligante asfáltico na proporção de 18 a 25% criando uma forte ligação química viscosa. Neste processo ocorre uma interação mais efetiva da borracha com o ligante propiciando melhorias da elasticidade, resistência e durabilidade do asfalto.

O processo úmido leva em consideração os componentes principais (asfalto, borracha, aditivos) com o objetivo de aprimorar a estabilidade da mistura ao longo do tempo e as proporções dos componentes visando obter as propriedades desejadas do novo ligante.

De acordo com SILVA(2005), o asfalto-borracha gerado pelo processo úmido é composto de asfalto, aditivos e de borracha de pneus usados que representa cerca de 15% do peso total da mistura que reagiu com o asfalto a uma temperatura elevada para causar a expansão das partículas de borracha.

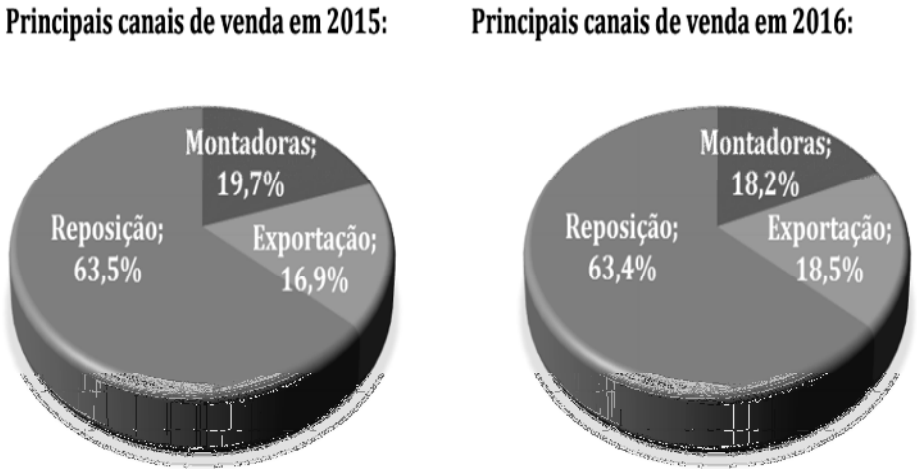
Existe ainda um terceiro processo, denominado processo misto, no qual a mistura é feita de forma semelhante ao demonstrado no processo seco, porém com o uso do ligante modificado com borracha.

3Produção e consumo de pneus no Brasil e Teófilo Otoni

De acordo com Associação Nacional da Industria de Pneumáticos (ANIP), no ano fiscal de 2016 o Brasil 67.870,35 milhares de unidade de pneus, uma queda de aproximadamente 1,5% quando comparado com 2015. Porém de acordo com especialistas da própria associação este ainda é um consumo elevado, que movimentou no ano de 2016 aproximadamente U$ 3 bilhões de dólares somente no Brasil, que tem um parque fabril com 20 unidades de produção.

A maioria desses pneus teve como forma de entrada no mercado a reposição frente aos usados. Aproximadamente 63% de todos os pneus produzidos no Brasil serviu para reposição, como ilustrado no gráfico 1:

Gráfico 1: Destino dos pneus produzidos no Brasil nos anos de 2015 e 2016.



Teófilo Otoni, localizada no Nordeste de Minas Gerais com população estimada em 141.502 mil habitantes, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) [8]. Apresenta uma frota de veículos automotores de aproximadamente 51.103 mil veículos de acordo com a Tabela 2. Isso gera um consumo e descarte anual de mais de 100.000,00 mil pneus que tem variados tipos de descartes de acordo com SINDIPNEUS.

Grandes empresas da região fazem o descarte correto , enviando para o município de Betim/MG, região metropolitana de Belo Horizonte/MG, onde os mesmo serão reutilizados ou triturados para diversas finalidades, dentre elas a produção de asfalto ecológico.

Tabela 2: Frota de veículos de Teófilo Otoni/MG.

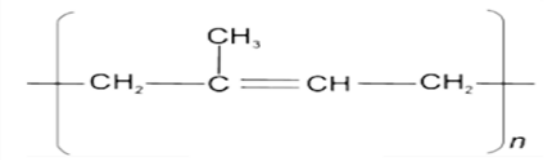
VARIÁVEL	**Teófilo Otoni**	**Minas Gerais**	**Brasil**
Automóvel	22.672	5.441.609	49.822.708
Caminhões	1.582	318.436	2.645.992
Caminhão Trator	225	63.067	593.892

Caminhonete	4.755	783.208	6.588.813
Caminhoneta	954	273.991	2.908.233
Micro-Ônibus	209	43.346	375.274
Motocicletas	18.448	2.308.174	20.216.193
Motonetas	1.791	257.972	590.657
Ônibus	178	71.950	30.371
Tratores	5	2.052	637.211
Utilitários	284	51.271	

3.1 Caracterização Físico Química do Pneu

A borracha é um polímero natural, com origem no látex, seiva extraída da árvore Hevea brasiliensis, popularmente conhecida como seringueira. A borracha é um polímero de adição, conhecido como poli isopreno, pois é formado pela adição de 1,4 de monômeros de isopreno (metilbut-1,3-dieno) como ilustrado abaixo:

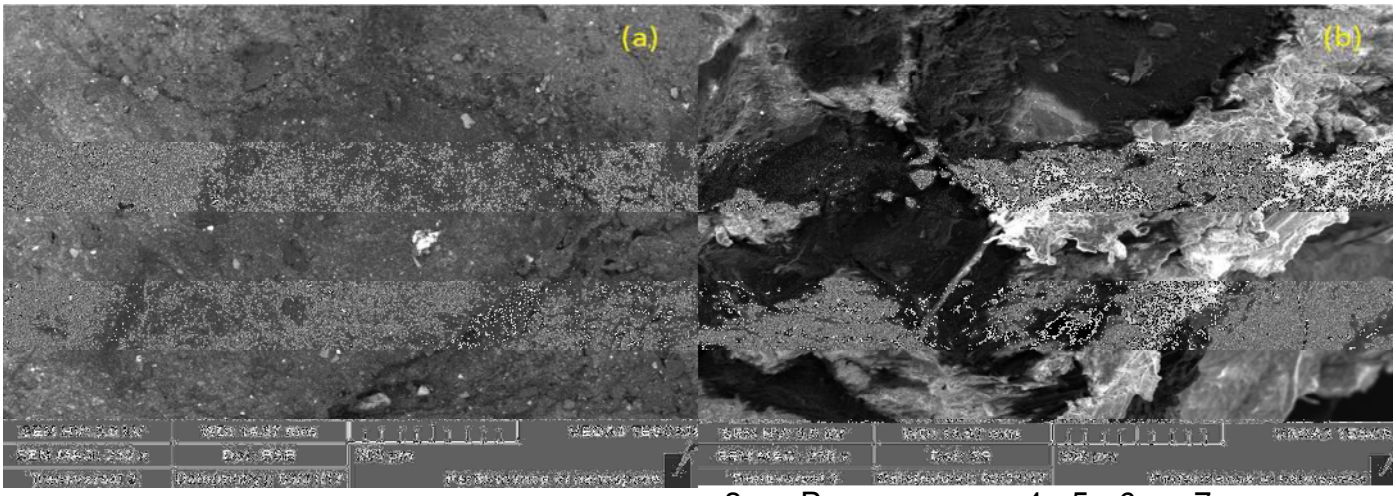
Figura 1: Estrutura química do unidade polimérica do isopreno.



O pneu convencional é uma mistura de látex (polímero natural) e borracha vulcanizada de origem no petróleo (polímero sintético). Cada fabricante tem sua formulação característica, na qual alguns utilizam o látex sobre a superfície e derivado de petróleo na parte inferior, porem alguns já utilizam uma mistura equitativa dos dois tipos de polímeros. A o pneu novo pode apresentar uma composição diferente do pneu usado, além de uma alteração na sua superfície.

Para confirmar e verificar essas informações, foi feita uma Microscópia eletrônico de varredura em um equipamento com canhão de elétrons por emissão de campo (FE-SEM), modelo Supra 35-VP (Carl Zeiss, Alemanha), de

amostras de borrachas de pneus novos e usados para elucidar em escala nanométrica a superfície do pneus. Afim de verificar a composição química, foram feitas análise de 7 amostras de borracha proveniente de 7 pneus (1, 2 e



3 – Pneus novos; 4, 5, 6 e 7 – Pneus usados). As amostras dos pneus foram coletadas nas principais borracharia da cidade de Teófilo Otoni;MG, na qual foi retirado uma pequena parcela na região lateral do pneu, para posteriormente ser desaglomerada e mistura com KBr (Brometo de Potássio) afim de ser conformada em uma pastilha para analise. As amostra foram caracterizadas em um espectrômetro modelo WQF-510A (Rayleigh) obtendo a transmitância. Os espectros foram medidos na região de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1} com 64 varreduras usando uma resolução de 1cm^{-1}.

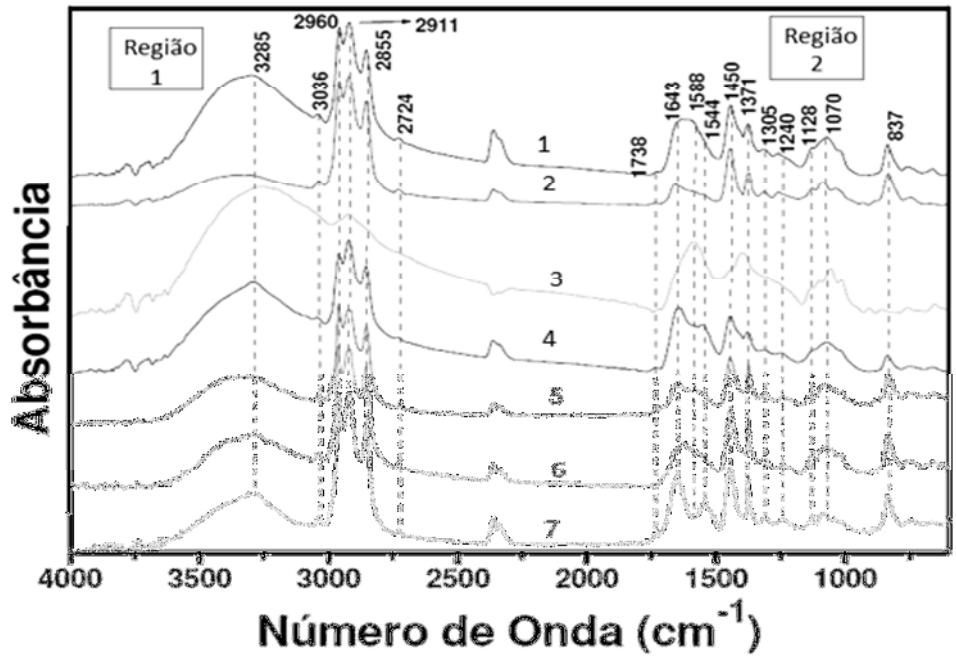
Pela microscopia eletrônica de varredura (MEV) podemos verificar na imagem (a) que os pneus novos apresentam uma superfície regular, quando aproximado em uma escala de 200 micrômetro, mostrando uma boa distribuição dos polímeros, já na imagem (b) pode ser visto que superfície de um pneu com mais de 40 mil quilômetros rodados apresenta uma imperfeição na superfície, como ilustrado na Imagem 1.

Imagem 1: Microscopia de um pneu novo (a) e microscopia de um pneu com 40 mil Km de uso (b).

Apesar de ter uma parte da sua camada exterior gasta, pode se afirmar que a composição química do pneu se manteve constando, como comprovado pelo infravermelho com transformada de fourier (IV-FT).

No espectro pode ser visto duas regiões distintas porem comuns em todas as amostras, tanto dos pneus novos (1 a 3) quanto dos pneus usados (4 a 7) como ilustrado no Gráfico 2:

Gráfico 2: Espectro do IV-TR das amostras de pneus.



De acordo com WEST (1996) os dados obtidos na espectroscopia de infravermelho, pode inferir que na Região 1, temos modos vibracionais atribuídos ao Isopreno, que é o principal constituinte da borracha natural (Látex) ao passo que na Região 2 pode ser visto modos vibracionais atribuídos a grupos da barrocha sintética. Para Ilustrar melhor, a tabela 3 mostra quais grupos químicos correspondem aos respectivos comprimento de onda, de forma comparada com os valores propostos pela literatura.

Tabela 3: Comparação dos comprimentos de onda encontrados com os propostos pela literatura e seus modos vibracionais.

Experimental	Literatura	Atribuição
3036	3036	ν_s (=C–H)
2960	2962	ν_s C-H no CH_3
2914	2912	ν_s C–H no CH_3
2855	2854	ν_s C-H no $-CH_2-$
2724	2726	ν $-CH_2-C=(CH_3)$
1450	1450	δ $-CH_2-$
1371	1375	δ_s $-CH_3$
1305	1309	$-CH_2-$ twist
1241	1244	$-CH_2-$ twist
1128	1125 ou 1128 [146,158]	C–H CH2 cis
833	837	δ C = C – H

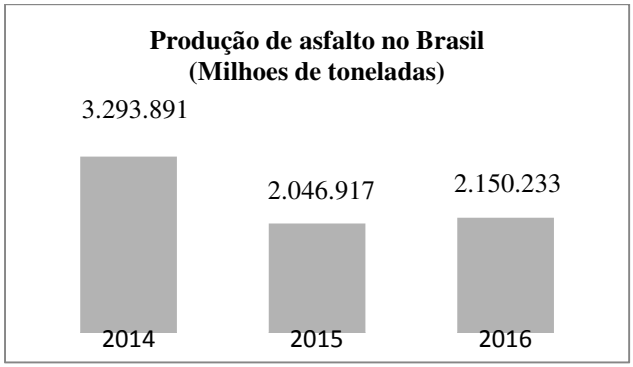
Com isso pode ser comprovado que os pneus utilizados em sua grande maioria são uma mistura entre borracha natural e sintética, o que para produção do asfalto ecológico ajuda mais, pois cada tipo de polímero colabora com uma característica.

3.2 Produção e demanda de asfalto

De acordo com dados publicados pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos **(**ABEDA), no ano fiscal de 2016 houve um aumento de aproximadamente 2% no consumo de asfalto, totalizando um volume de 2.150.233 toneladas de asfalto, como ilustrado no gráfico 3.

Juntamente com esse asfalto são adicionados os agregados para posteriormente ser depositado sobre uma superfície. Vale ressaltar que a produção de asfalto segue a demanda, visto que este material não pode ser armazenado.

Gráfico 3: Produção de asfalto nos últimos 3 anos no Brasil.



Com uma tendência de crescimento na produção de asfalto e com intuído de reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte incorreto de pneus, pode ser incorporado um polímero ligante ao asfalto, utilizando a borracha de pneus em misturas asfálticas. A utilização de pneus tem sido uma das técnicas mais utilizadas em todo o mundo porque se emprega grande volume desse resíduo com melhorias para as misturas asfálticas sob vários aspectos.

Na caracterização de infravermelho (IV-FT) pode ser visto que um pneu convencional apresenta tanta borracha sintética como natural, conferindo diferentes propriedades. De acordo com BERTOLLO (2003) um pneu de veículo de passeio típico (Goodyear P 195/ 75R14), com massa aproximada de 10kg contem em massa:

2,50kg de diferentes tipos de borracha sintética;
2,0kg de 8 diferentes tipos de borracha natural;
2,5kg de 8 tipos de negro-de-fumo;
0,75kg de aço para as cinturas;
0,50kg de poliéster e náilon;
0,25kg de arames de aço;
1,50 kg de diferentes tipos de produtos químicos, óleos, pigmentos etc.

Na produção do asfalto ecológico, a incorporação de borracha a incorporação da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas pode ser de 2 formas: o processo úmido e o processo seco.

No processo úmido, a borracha finamente triturada é adicionada ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) aquecido, produzindo ligante modificado,

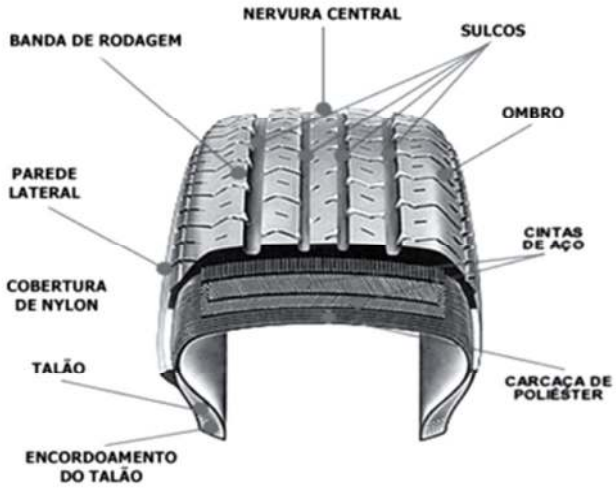
que tem sido denominado de asfalto-borracha. No processo úmido, o pó de pneus representa em geral 15 a 20% da massa de ligante ou menos que 1,5% da massa total da mistura. De acordo com BERTOLLO(2003).e MORILHA(2003) o ligante modificado por borracha moída de pneus por via úmida, dependendo do seu processo de fabricação, pode ser estocável ou não-estocável.

O sistema não-estocável é produzido com equipamento misturador na própria obra e, nessa condição, deve ser aplicado imediatamente devido à sua instabilidade e, assim, apresenta algumas características diferentes do asfalto-borracha estocável. O sistema estocávelé preparado com borracha moída de pneus finíssima (partículas passantes na peneira n° 40) e devidamente misturado em um terminal especial, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, posteriormente transportado para cada obra. Esse sistema (estocável), quando comparado com o sistema, permite uma economia de tempo e de custos já que o ligante asfáltico modificado é produzido e transportado para várias obras ao mesmo tempo, enquanto o não estocávelcada obra deve possuir um equipamento de fabricação de asfalto-borracha. Há também o processo de mistura via úmida imediatamente antes da usinagem em equipamentos especiais, que são acoplados às usinas de concreto asfáltico, e só se adiciona a borracha moída ao CAP minutos antes de ele ser incorporado ao agregado. O asfalto-borracha obtido pelo processo imediato, chamado de não-estocável conduz a um inchamento superficial da borracha do CAP o que permite o uso de borracha com maior tamanho de partícula e aumento da viscosidade. Não ocorre despolimerização nem desvulcanização e a agitação é feita em baixo cisalhamento.

No processo seco, a borracha triturada entra como parte do agregado pétreo da mistura e juntamente com o ligante asfáltico dá origem ao produto “agregado-borracha” ou concreto asfáltico modificado com adição de borracha. A mistura modificada com adição de borracha via seca só deve ser utilizada em misturas asfálticas a quente (concreto asfáltico convencional ou com granulometria especial descontínua – *gap-graded*, por exemplo), não devendo ser usada em misturas a frio como proposto porLEITE (2003) e PINHEIRO (2004).

Planta Piloto

Imagem 2: Estrutura de um pneu.



O consumo de asfalto no Brasil e na região de Teófilo Otoni é elevado, visto issopode ser proposto uma planta piloto para fins acadêmicos e até mesmo a realização de uma participação público privado com município, empresas e universidade para produção de asfalto ecológico.

Para ser reaproveitado um pneu afim de ser usado em uma massa asfáltica, deve ser feito alguns procedimentos.

Para ser utilizado em asfalto ecológico, o pneu deve ser triturado e apresentar uma baixa granulometria.

Para iniciar o processo de triturar, primeiro deve ser feita a remoção da cinta de aço, que pode ser reciclado em empresas de fundição, para em seguida ir para um triturador de grossos. O produto resultante do primeiro triturador, será levado para outro afim de reduzir a granulometria, e posteriormente para um terceiro triturador que terá como produto resultante um pó de borracha. Este pó de borracha que é utilizada na composição do asfalto ecológico com porcões que variam de 15% a 20% da massa total. Uma planta industrial para processar 10 mil pneus por ano e produzir asfalto, deve contar com alguns equipamentos listados a seguir:

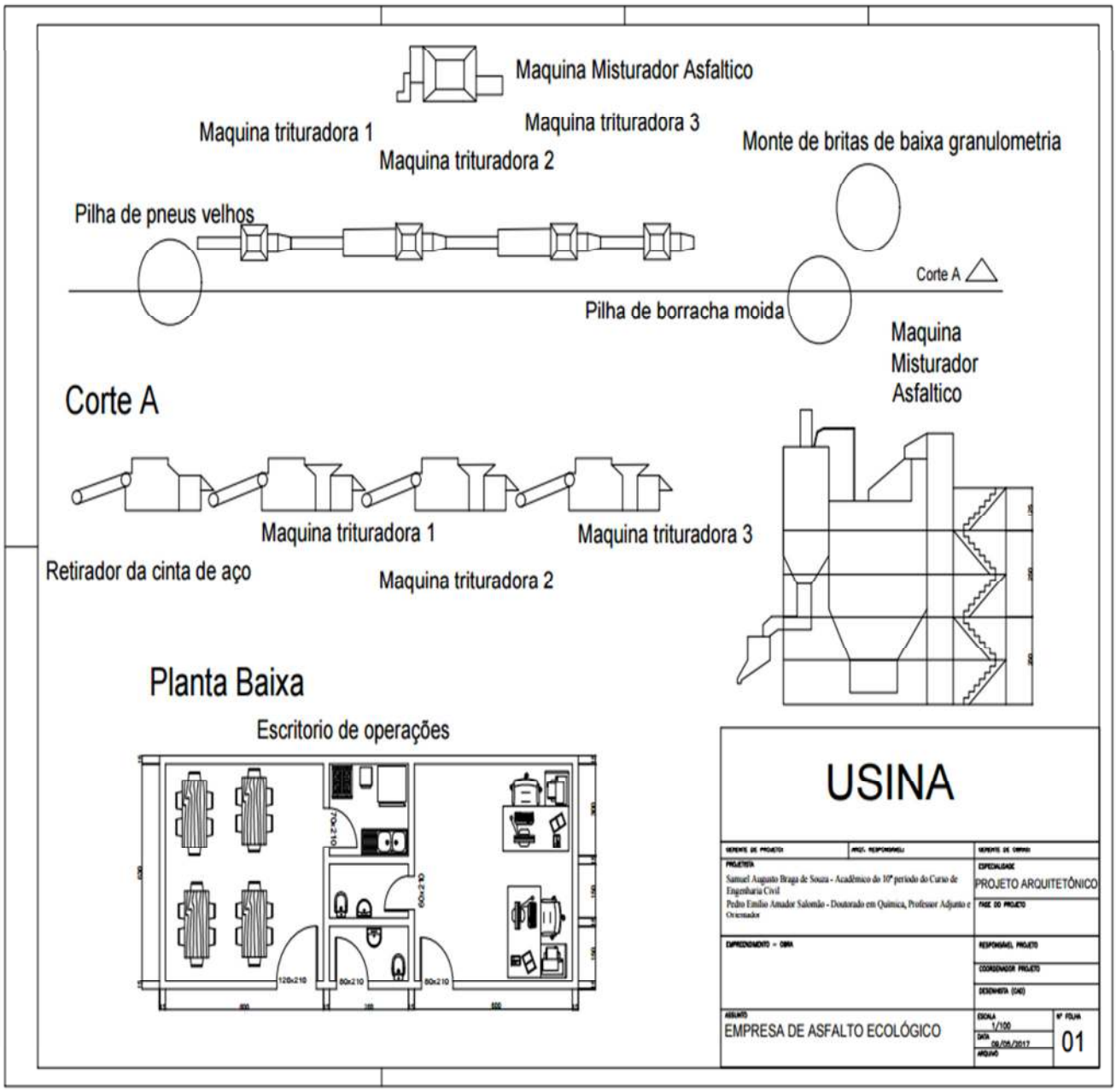
Orçamento Escritório
(Valores sujeitos a alteração)*

Material	UN	Valor unitário	Valor total
Computador	2	999,90	1.999,80
Mesa escritório	2	284,90	569,80
Cadeiras escritório	4	299,90	1.199,60
Banheiro completo	2	899,90	1.799,80
Cozinha refeitório	1	1.999,80	1.999,80
Mesa refeitório	4	699,90	2.799,60
		Total	**10.368,40**

Orçamento Máquinas
(Valores sujeitos a alteração)*

Material	UN	Valor	Total
Extrator de Arame (30 pneus/h)	1	9.000,00	9.000,00
Triturador de Grosso (250 kg/h)	1	35.000,00	35.000,00
Triturador médio (250 kg/h)	1	30.000,00	30.000,00
Triturador Fino (180 kg/h)	1	15.000,00	15.000,00
Usina de Asfalto (900 m^3)	1	25.000,00	25.000,00
		TOTAL	**114.000,00**

Imagem 3: Projeto de planta piloto de uma micro usina de asfalto para produção de 900 m^3asfalto ecológico.



Uma planta piloto pode ser instalada na Universidade para fins acadêmicos em parceria com empresas recolhendo e dando um destino aos seus pneus e a prefeitura, afim de abastecer a cidade no que diz respeito a produção de asfalto para manutenção de vias públicas.

4 Conclusões

A produção de asfalto tende a crescer nos anos que se segue devido a retomado do crescimento do pais e o investimento do Governo Federal e obras de manutenção e construção de novas estradas.

Afim de preservar o ambiente e dar um destino correto aos pneus sem utilidade, o mesmo pode ser incorporado em massas asfálticas respeitando uma porcentagem de até 20%, pois foi visto que a composição do pneu (tanto novo quanto usado) se mantém constante independente de estar usado ou não. E a mistura dos componentes da borracha natural, complementa propriedades da borracha sintética quanto utilizadas na composição de asfalto ecológico.

A região de Teófilo Otoni tem demanda de consumo e insumo suficiente para produzir esse tipo de asfalto, na qual fica a proposta de uma planta piloto com seu orçamento básico e equipamentos e seu projeto para quem sabe ser desenvolvida pelas instituições privadas, município e estado.

5 Referencias

Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos **(ABEDA)**, Obtido em: http://www.abeda.org.br/mercado/?target=id-1 (Acesso 23/03/2017)

Associação Nacional da Industria de Pneumáticos **(ANIP)**, obtido em: http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf (Acesso 20/03/2017)

BERTOLLO, S.A.M. **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**. 2003. 198 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CHOUBANE, B.; G. A. SHOLAR; J. A. MUSSELMAN; G. C. PAGE (1999).**Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt-Rubber Surface Mixes**, Transportation Research Record, TRR, v. 1681, n. 0177.

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

HENKES, Jairo Afonso, RODRIGUES, Cristiano Millani;.**Reciclagem de Pneus: atitude ambiental aliada a estratégia Econômica.**

RevistaGestão&sustentabilidadeAmbiental, Florianópolis, SC, v. 4, n. 1, p. 448-473, 2015.

HURLEY, G.C.; PROWELL, B.D. **Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt**.NCAT Report 05-06. Auburn, 2005.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **(IBGE)** Obtido em: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=316860&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas (Acesso 24/03/2017)

LEITE, L.F.M. **Notas de aula do Curso de Pavimentação Urbana**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2003.

MORILHA JR., A.; TRICHÊS, G. **Análise comparativa de envelhecimento em laboratório de nove ligantes asfálticos**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 34., 2003, Campinas. Anais, Rio de Janeiro: ABPv, 2003. p. 110-128.

PINHEIRO, J.H.M.; SOARES, J.B. **Realização e acompanhamento de dois trechos experimentais com asfalto-borracha no Estado do Ceará. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES**, 18., 2004, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ANPET, 2004. v. 1, p. 01-10.

RODRIGUES, C. M., HENKES, J. A. **Reciclagem de pneus: atitude ambiental aliada à estratégia econômica**. IN: Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 448- 473, abr./set.2015.

SILVA, P.B. **Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S. 2005**. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

Sindicato Nacional da Industria de Pneus **(SINDIPNEUS)** Obtido em: http://sindipneus.com.br/wordpress/?page_id=8 (Acesso 24/03/2017)

TCHOBANOGLOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel A.; VIGIL, S. A..**Integrated Solid Waste Management**. New York: McGraw - Hill, 1993.

WEST, Y.D., HENDRA, P.J. and HEALY, A.M. **A Fourier-transform raman study of the strain-induced crystallization and cold crystallization of natural rubber**. Polymer 1996, 37, 4009-4024.