

TATIANE APARECIDA FERNANDEZ BARBOSA

**PNEU VERDE – DESAFIOS PARA EQUILIBRAR CONFORTO, SEGURANÇA
E BAIXO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.**

São Caetano do Sul

2013

TATIANE APARECIDA FERNANDEZ BARBOSA

**PNEU VERDE – DESAFIOS PARA EQUILIBRAR CONFORTO, SEGURANÇA
E BAIXO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL**

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Automotiva, da Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Argemiro Luis de Aragão Costa

São Caetano do Sul

2013

Barbosa, Tatiane Aparecida Fernandez

Pneu verde – Desafios para equilibrar conforto, segurança e baixo consumo de combustível / Tatiane Aparecida Fernandez Barbosa. São Caetano do Sul, SP: CEUN-CECEA, 2013.

98p.

Monografia— Pós-graduação em Engenharia Automotiva. Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2013.

Orientador: Prof. Dr. Argemiro Luis de Aragão Costa

1. Pneu verde 2. Resistência ao rolamento 3. Consumo de combustível I. Barbosa, Tatiane Aparecida Fernandez. II. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário. Centro de Educação Continuada. III. Pneu verde – Desafios para equilibrar conforto, segurança e baixo consumo de combustível.

"É melhor tentar e falhar,
que preocupar-se e ver a vida passar;
é melhor tentar, ainda que em vão,
que sentar-se fazendo nada até o final."

Martin Luther King

RESUMO

A consciência ambiental vem tomando grandes proporções no desenvolvimento de um novo produto. As montadoras de veículos, seguindo esta tendência, passaram a se preocupar com o impacto que seus carros têm no meio ambiente em todo o seu ciclo de vida, da obtenção das matérias primas e processo, passando pelo uso cotidiano, indo até a sua correta destinação no final da vida. Podemos exemplificar essa preocupação com a utilização de novos sistemas de injeção, com a redução do peso e materiais empregados, com o desenvolvimento de meios de propulsão alternativos, entre outras ações.

Por este motivo também, as montadoras passaram a atentar-se aos pneumáticos empregados em seus veículos, uma vez que a resistência ao rolamento representa uma parcela considerável de energia consumida no seu deslocamento (algo em torno de 20% da energia contida no combustível), o que impacta diretamente seu consumo de combustível e seu impacto no meio ambiente, na emissão de CO₂.

O pneumático é o único componente do veículo que mantém contato com o solo, sendo assim, tem um papel decisivo na segurança veicular. Todas as forças que atuam no veículo, com exceção das forças aerodinâmicas, são transmitidas através dos pneus, possibilitando o seu controle de fato.

Graças a estas características e preocupações, nasceu a necessidade de desenvolver pneumáticos que encontrem o equilíbrio entre um baixo impacto ambiental, atendam aos requisitos de qualidade do produto, promovam a segurança, mantendo um custo competitivo no mercado.

Este trabalho visa esclarecer como este equilíbrio de resultados é alcançado, facilitando o entendimento entre as necessidades de desempenho dos fabricantes de pneus e de veículos no projeto de conjuntos e sistemas mais robustos e sustentáveis, para atender os requisitos atuais da sociedade.

Palavras-chave: Pneu verde. Resistência ao rolamento. Consumo de combustível.

Segurança.

ABSTRACT

The environmental conscience is beginning to have greater proportions on the development of a new product. Vehicle industries, following this trend, began to worry about the impact their cars have on the environment during their entire life cycle, from obtaining raw materials and process, daily usage, as far as their final disposal. We can explain this concern with the new usage of injection systems, reduction of weight and applied materials, the development of alternative propulsion methods, among other examples.

For this reason also, industries begun to pay attention to pneumatics used on their vehicles, as the rolling resistance corresponds to a considerable parcel of energy consumed by the vehicle's movement (around 20% of the energy contained on the fuel) what impacts directly on the vehicle's fuel consumption and its impact on the environment, the CO₂ emission.

The tire is the only vehicle component that stays in touch with the ground, having a decisive role on the vehicular safety. All the forces that act on the vehicle, with the exception of the aerodynamic forces, are transmitted through the tires, allowing the vehicle's full control.

Thanks to these characteristics and concerns, the need was created to develop pneumatics that find the balance between a low environmental impact, meet the product's quality demands, promote safety, while maintaining a competitive market cost.

This paper aims to clarify how this trade-off is achieved, facilitating the understanding of tire manufacturers needs and vehicles targets during the project of more robust and sustainable sets and systems, meeting society's current demands.

Key words: Pneumatic. Green tire. Rolling resistance. Fuel consumption. Safety.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Aspectos importantes para a indústria de veículos	10
Figura 2 - Seção de um pneumático para carruagens	15
Figura 3 – Seção de um pneumático para triciclo	16
Figura 5 - Mapa ANIP.....	19
Figura 6 - Produção dos principais países produtores de pneus	22
Figura 7- Faturamento das empresas de pneus por segmento	24
Figura 8- Estrutura de um pneu comercial para caminhões e ônibus.....	25
Figura 9 - Efeito da profundidade dos sulcos na distância de frenagem.....	26
Figura 10 - Seção transversal do pneu de automóvel de passeio, com cores ilustrando diferentes compostos de borracha	30
Figura 11 - Estrutura química da borracha natural e da vulcanizada.....	31
Figura 12 - Tribosistema	32
Figura 13 - Ações de forças e momentos sobre o pneu	33
Figura 14 - Estudo de elementos finitos.....	34
Figura 15 - Fase 1 da fabricação de pneus	34
Figura 16 - Fase 2 da fabricação de pneus	35
Figura 17 - Fase 3 da fabricação de pneus	35
Figura 18 - Fase 4 da fabricação de pneus	36
Figura 19 - Fase 5 da fabricação de pneus	36
Figura 20- Fase 6 da fabricação de pneus	37
Figura 21 - Dissipação de energia em carros a uma velocidade de 60km/h	40
Figura 22 - Esquematização do consumo de energia no veículo	40
Figura 23 - Balanço energético durante os quatro estágios de operação do veículo	41
Figura 24 - Distribuição do consumo de energia do combustível para diferentes ciclos para um Volkswagen Jetta, 1980	42
Figura 25 - Sistema de coordenadas XY	43
Figura 26 - Movimentos do veículo segundo coordenadas	44
Figura 27 - Representação da resistência ao rolamento	46
Figura 28 - Teste para determinação laboratorial da resistência ao rolamento contra superfície cilíndrica - tambor	47
Figura 29 - Teste para medição de RR em superfície plana	48
Figura 30 - Influência de cada parte da estrutura do pneu sobre a resistência ao rolamento.....	49
Figura 31 - Diminuição da resistência ao rolamento dos pneus Michelin	50
Figura 32 - Efeito da temperatura na resistência ao rolamento.....	51
Figura 33 - Efeito da pressão na resistência ao rolamento	52
Figura 34 - Efeito da velocidade sobre a resistência ao rolamento	53
Figura 35 - Representação da distância de parada	54
Figura 36 - Frenagem de um veículo.....	55
Figura 37 - Contribuição dos diferentes estágios do pneu para seu impacto no meio ambiente	57
Figura 38 - Motivos para desgaste da banda de rodagem	58

Figura 43 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia	63
Figura 44 - Explicação das diferentes porções da etiqueta de pneus	65
Figura 46 - Representação do consumo de combustível na etiqueta de pneus	66
Figura 47 - Representação do wet grip na etiqueta de pneus	67
Figura 48 - Representação de ruído na etiqueta de pneus	67
Figura 49 - Etiquetas de pneus empregadas nos EUA e no Japão	69
Figura 50 - Gráfico que mostra relação entre resistência ao rolamento e frenagem do veículo	75
Figura 51 - Diferença entre composto altamente histerético, pouco histerético e composto com sílica em sua formulação.....	76
Figura 52 - Exemplos de deformações em pneumáticos	77
Figura 53 - Estrutura da sílica.....	78
Figura 54 - Estrutura do isopreno.....	80
Figura 55- Tamanho do aro para Cinturato P1 e P7	83
Figura 65 - Detalhes na banda de rodagem do ContiPowerContact	86
Figura 67 - B250 Ecopia	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais invenções no universo dos pneumáticos	17
Tabela 2- Histórico das fábricas no Brasil	18
Tabela 3 - Investimentos do Setor de Pneumáticos no Brasil.....	20
Tabela 4 - Produção de pneus no Brasil por categoria	23
Tabela 5 - Produção de pneus no Brasil por categoria	23
Tabela 6 - Principais materiais empregados em cada parte da estrutura do pneu.	27
Tabela 7 - Composição de um pneu	28
Tabela 8 - Borrachas utilizadas na estrutura do pneu.....	29
Tabela 9 - Tempo de vulcanização de pneus para diferentes usos.....	37
Tabela 10 - Legislação relacionada ao PBEV	60
Tabela 11 - Sistemas comparativos em diferentes países.....	60
Tabela 12 - Definição dos critérios para diferentes categorias de veículos	61
Tabela 13 - Critérios para o PBEV em diferentes países.....	62
Tabela 14 - Métodos utilizados para realização dos testes para EU Labelling.....	66
Tabela 15 - Métodos para destinação final de pneus	71
Tabela 16 - Metas de reciclagem de pneus para fabricantes e importadores	73
Tabela 17 - Constituintes perigosos na composição de pneus	74
Tabela 18 - Processos de fusões e aquisições de Empresas	82
Tabela 19 - Participação no mercado mundial do setor de pneus	83
Tabela 20 - Comparativo de consumo de combustível com uso do pneu verde.....	88

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVO DO TRABALHO E MOTIVAÇÃO	13
3	O PNEU COMO COMPONENTE AUTOMOTIVO	14
3.1	HISTÓRICO DOS PNEUS	14
3.2	HISTÓRICO DOS PNEUS NO BRASIL	17
3.3	PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL	21
3.4	A ESTRUTURA DO PNEU E SEUS COMPONENTES	24
3.5	MATÉRIAS PRIMAS EMPREGADAS NO PNEU	27
3.6	BORRACHAS EMPREGADAS NOS PNEUS	29
3.7	O PROCESSO DE VULCANIZAÇÃO	30
3.8	PROJETO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM PNEU	32
4	FLUXO ENERGÉTICO EM UM VEÍCULO	39
5	DINÂMICA VEICULAR	43
5.1	FORÇAS AERODINÂMICAS	44
6	RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO	46
6.1	PROPRIEDADES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO	50
7	COMO O PNEU AFETA A SEGURANÇA VEICULAR	54
8	IMPACTO DOS PNEUS NO MEIO AMBIENTE	56
8.1	LEGISLAÇÃO	58
8.2	PROGRAMA DE ETIQUETAGEM DE PNEUS	64
9	DESTINAÇÃO FINAL DE UM PNEU	71
10	O PROJETO PNEU VERDE	75
9.1	SÍLICA	78
10.2	SÍLICA DE ALTO DESEMPENHO	79
10.3	BIOTRED	79
10.4	BIO-ISOPRENO	80
11	ANÁLISE DE PRODUTOS VERDES NO MERCADO BRASILEIRO	82
11.1	PIRELLI	83
11.2	MICHELIN	84
11.3	CONTINENTAL	85
11.4	GOODYEAR	87
11.5	BRIDGESTONE/ FIRESTONE	87

12	CUSTO VERDE.....	88
13	CONCLUSÃO.....	90
14	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	91
15	REFERÊNCIAS	92

1 INTRODUÇÃO

Temos presenciado uma mudança no comportamento de consumidores e dos governantes atuais em relação à sustentabilidade de seus automóveis, como pode ser verificado na esquematização abaixo, retirada da apresentação “Requirements for Tires of Modern Vehicles in the 21st Century” (Holtschulze, 2011).



Figura 1 - Aspectos importantes para a indústria de veículos

FONTE: Holtschulze (2011)

O mercado pede automóveis que consumam menos combustível, sejam bastante seguros e ecologicamente corretos. Por este motivo e pelo fato de que as autoridades governamentais têm sancionado leis mais rígidas para emissão de poluentes, as montadoras estão buscando cada vez mais materiais de baixo impacto ambiental, que ofereçam segurança para os ocupantes e que ainda mantenham um apelo financeiro para o consumidor.

Vendo esta preocupação do mercado, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) lançou em Abril de 2009 um programa de etiquetagem que classifica os veículos quanto ao seu consumo de combustível.

Este programa ainda tem adesão voluntária das montadoras, mas já vem sendo utilizado pelos consumidores que estão em busca de um automóvel mais econômico. Uma explicação mais detalhada sobre este programa será feita mais a frente.

Devemos lembrar que não é apenas a eficiência do motor, ou sua aerodinâmica que afeta o consumo de combustível de um veículo e seu resultado neste programa do INMETRO. Os pneus são vistos como grandes vilões na disposição final de resíduos, porém é inegável seu impacto na segurança e no consumo de combustível do automóvel durante seu uso. As montadoras passaram a prestar mais atenção nos pneus que são empregados em seus veículos. Os fabricantes de pneus estão sendo forçados pela crescente pressão dos clientes e do mercado consumidor a buscar alternativas em matérias primas e novos conceitos de projeto no desenvolvimento de seus produtos.

Desta necessidade nasceu o pneu ecológico, conhecido simplesmente como “pneu verde”, tido como ecologicamente correto por reduzir o consumo de combustível do carro, consequentemente seu impacto no meio ambiente.

Como explicou Marcelo Lacerda, presidente da empresa Lanxess Brasil, os pneus têm atributos básicos que se relacionam diretamente entre si: resistência ao rolamento, segurança e durabilidade. A tendência é de que, quando se melhora um destes atributos, os outros dois pioram (LACERDA, 2012). O pneu verde tem também o desafio de equilibrar todos os fatores, melhorando um sem prejudicar significativamente os outros.

Sabe-se que um dos meios para reduzir o impacto ambiental de um veículo é reduzir suas emissões de poluentes na atmosfera, ou seja, reduzir seu consumo de combustível. Uma das formas de se conseguir isso é diminuindo a resistência ao rolamento dos pneus (RR), que é a dissipação de energia predominantemente em forma de calor proveniente da histerese dos compostos de borracha, que ocorre durante o rolamento do pneu devido à sua deformação cíclica na região de contato com o solo.

Sendo a borracha um material viscoelástico, à medida que o pneu se deforma, parte da energia é armazenada elasticamente e parte é dissipada como calor. Esta é a perda de energia por histerese, e corresponde a cerca de 90 a 95% da energia dissipada na resistência ao rolamento. Os outros 5 a 10% correspondem a perdas aerodinâmicas ou escorregamentos na área de contato (COSTA c, 2011).

Em veículos de passeio, a resistência ao rolamento é responsável por 5 a 15% do consumo de combustível do veículo (CORPORATION, 2001).

2 OBJETIVO DO TRABALHO E MOTIVAÇÃO

Este projeto tem como objetivo descrever os mecanismos de dissipação de energia em um pneu e requisitos importantes de desempenho a serem mantidos, descrever os diferentes pneus verdes vendidos no mercado e destacar suas principais características e soluções tecnológicas que os diferenciam dos demais. Será analisado como cada empresa abordou o segmento pneu verde e como a segurança foi mantida ao mesmo tempo em que o impacto ambiental, ou seja, o consumo de combustível, é reduzido.

Trata-se de um assunto bastante atual, principalmente por conta da medida governamental INOVAR-AUTO (Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores), que incentiva a pesquisa e desenvolvimento na fabricação de veículos mais econômicos e seguros em troca de créditos no IPI.

Desta forma, este trabalho pretende ser uma referência de consulta para os fabricantes de veículos sobre o impacto do pneu no consumo de combustível e sobre as limitações e paradigmas das tecnologias envolvidas no pneu de baixa resistência ao rolamento.

3 O PNEU COMO COMPONENTE AUTOMOTIVO

Nos próximos parágrafos será descrito um breve histórico do pneu, mostrando as suas principais inovações nas últimas décadas, a sua estrutura, bem como materiais e processos empregados na sua fabricação. Estas informações serão importantes para compreender nos próximos capítulos como o pneu se integra ao veículo, e o porquê de algumas das vozes de desempenho serem acopladas às condições operacionais.

3.1 HISTÓRICO DOS PNEUS

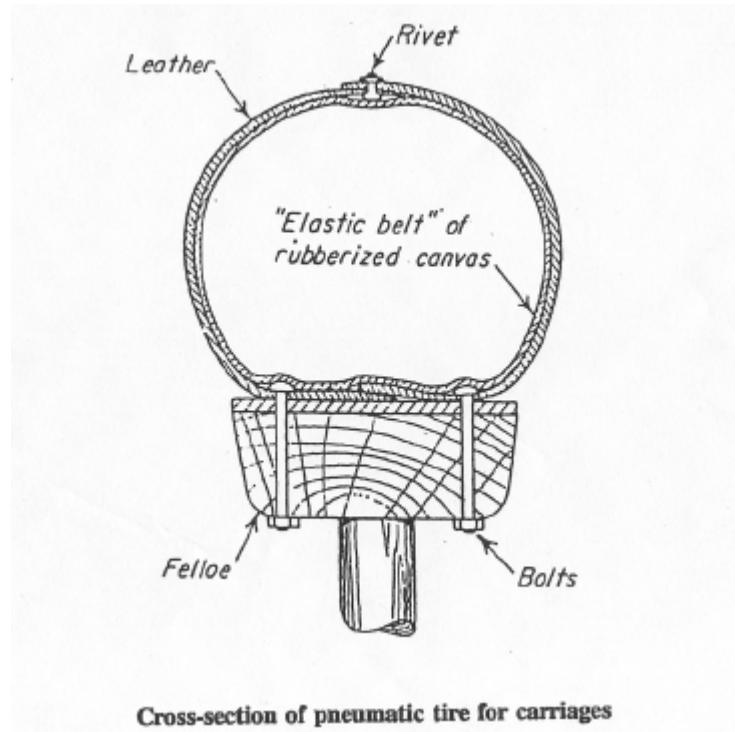
Atualmente o pneu é visto como um item fundamental no carro, um item de segurança que afeta diretamente o desempenho de veículo, influenciando a dirigibilidade, o conforto e o consumo de combustível.

A função essencial de um pneu é interagir com o solo produzindo as forças necessárias para o movimento do veículo. A geração de forças laterais controla a direção do veículo, e a aceleração lateral controla o veículo em curvas (GILLESPIE, 1992).

A palavra pneu teve sua origem na Grécia antiga, quando o termo *pneuma* era usado para designar sopro, vento ou ar. Deste termo nasceu *pneumatikós*, que quer dizer ao sopro, ao ar ou à respiração. Este termo foi emprestado pelos romanos e chamado em latim de *pneumaticus*, que se proliferou nas línguas latinas. Graças ao idioma francês, passamos a utilizar a palavra pneu, com seu significado atual (LAGARINHOS, 2011 apud FOI DADA... 2008).

A principal função de um pneu, descrita na sua patente de invenção, é “funcionar como um suporte elástico para as rodas, reduzindo a força necessária para a tração do veículo, proporcionando movimentos mais suaves e menos rumorosos” (COSTA a, 2011).

A primeira patente referente a pneumáticos é de R. W. Thomson, data de 1845 e apresenta a proposta de um pneumático empregado em carruagens.



Cross-section of pneumatic tire for carriages

Figura 2 - Seção de um pneumático para carruagens

FONTE: Walter (2007)

Os resultados obtidos com este primeiro pneumático mostraram que ele conseguia reduzir a resistência às irregularidades do solo, mas sua fabricação era difícil e custosa, fazendo com que a patente caísse no esquecimento.

Em 1888 existe registro da patente de John Dunlop, que desenvolveu o conceito do pneumático para triciclo, colocando um tubo de ar em torno da roda de um triciclo para seu filho.

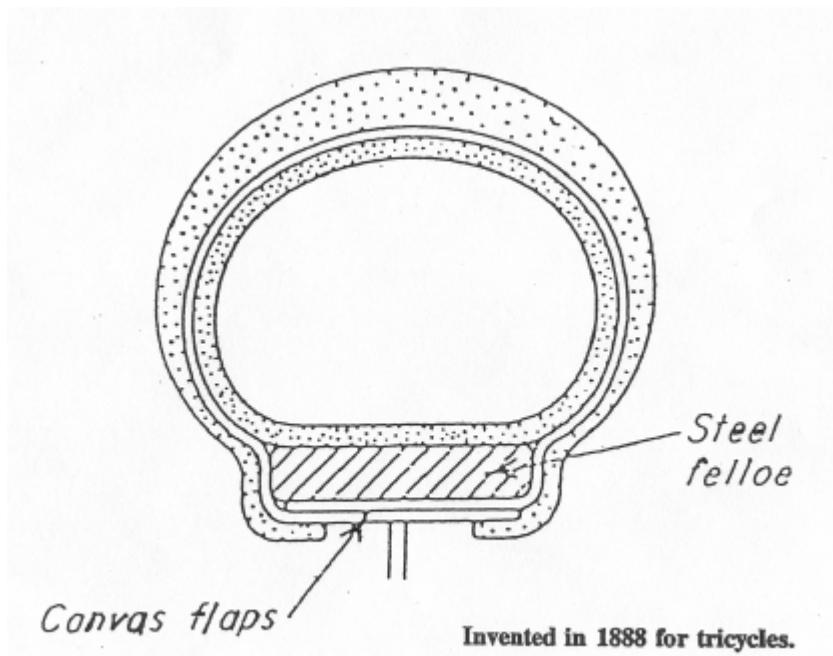


Figura 3 – Seção de um pneumático para triciclo

FONTE: Walter (2007)

Com o crescimento do uso de bicicletas na época, o pneumático de Dunlop encontrou seu mercado inicial ideal.

A partir deste ponto, as principais inovações no mundo dos pneumáticos ocorreram na sequência mostrada a seguir:

SELECTED TIRE TECHNOLOGY MILESTONES

Year	Innovation	Year	Innovation
1888	J.B. Dunlop patent	1939	RFL adhesives
1896	First automobile tire	1941	Emulsion SBR
1904	Carbon black discovered	1942	First synthetic tire cord (nylon in military tires)
1905	Nonskid tread pattern	1948	Radial tire (Michelin)
1906	Rubber accelerators	1949	Bladder cure (B-O-M)
1916	Banbury (mixer)	1950	Tubeless tire
1920	Cord plies replace square-woven fabric	1954	Synthetic natural rubber (polyisoprene)
1924	Rubber antioxidants	1961	Stereo synthetic rubber
1931	First synthetic rubber (neoprene)	1968	Federal tire standards (NHTSA)
1937	Wire tire cord	1974	Aramid tire cord (DuPont)
1938	Rayon tire cord	1977	All season tire (Goodyear)
		1992	Silica (Michelin “green” tire)

Tabela 1 - Principais invenções no universo dos pneumáticos

FONTE: Walter (2007)

3.2 HISTÓRICO DOS PNEUS NO BRASIL

A indústria brasileira teve como marco inicial a implementação do Plano Geral de Viação Nacional em 1934.

Em 1936 foi inaugurada a Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha, também conhecida como Pneus Brasil. Em seu primeiro ano de funcionamento produziu 29.000 pneus.

Ao longo dos anos, diversos fabricantes de pneus montaram suas fábricas em território brasileiro, como mostrado na tabela a seguir.

Fabricante	Produtos	Início da Produção	Localização
Bridgestone	Pneus de caminhões, ônibus, agrícolas, industriais e fora de estrada	1939	Santo André - SP
Goodyear	Pneus de ônibus e caminhões convencionais / diagonais, trator e avião	1939	São Paulo - SP
Pirelli	Pneus de caminhões.	1941	Santo André - SP
Maggion	Pneus de motocicletas, agrícolas, industriais, caminhão, de automóvel, câmaras de ar.	1942	Guarulhos - SP
Levorin	Pneus para bicicletas, motocicletas, industriais e materiais de reforma	1943	Guarulhos - SP
Pirelli	Pneus de automóvel e caminhões, SUVs e Vans	1953	Campinas - SP
Rinaldi	Pneus para motocicletas, agrícolas, industriais, tração animal e uso militar	1969	Bento Gonçalves - RS
Goodyear	Pneus esportivos, de automóveis, fora de estrada, ônibus e caminhões radiais, vans e utilitários, industriais, pick ups e SUVs	1973	Americana - SP
Pirelli	Pneus de automóveis, caminhões e motocicletas	1986	Feira de Santana - BA
Michelin	Pneus de automóvel e camionetes	1998	Itatiaia - RJ
Pirelli	Pneus de caminhões e motocicletas	2006	Gravataí - RS
Continental	Pneus de automóveis e camionetes	2006	Camaçari - BA
Bridgestone	Pneus de automóveis e camionetes	2007	Camaçari - BA
Michelin	Pneus de caminhões, ônibus, câmaras de ar, protetores para caminhões e ônibus; e bandas de rodagem	2008	Campo Grande - RJ

Tabela 2- Histórico das fábricas no Brasil

FONTE: Lagarinhos (2011)

Em 1960 foi fundada a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), representante da indústria de pneus e câmaras de ar. Ela compreende dez empresas e quinze fábricas instaladas em São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Bahia e Paraná, como mostrado na figura abaixo.



Figura 4 - Mapa ANIP

FONTE: ANIP (2013)

Entre 2004 e 2007, diversos investimentos foram feitos no cenário de pneumáticos do Brasil para instalação de novas fábricas e modernização daquelas existentes a fim de suprir o aumento na demanda de pneus tanto internamente quanto para exportação, como mostrado na tabela a seguir.

Resumo dos Investimentos do Setor de Pneumáticos no Período 2004-2007
 (Em R\$ Milhões)

EMPRESA	INVESTIMENTO	LOCAL	OBJETIVO
Continental	750	BA	Construção de fábrica para produção de pneus para uso em veículos de passeio e pesados
Michelin	110	RJ	Produção de pneus de alta <i>performance</i>
Michelin	440	RJ	Ampliação da capacidade de produção de pneus para caminhões e ônibus
Michelin	440	RJ	Construção de fábrica para produção de pneus para mineração e terraplenagem
Michelin	110	RJ	Aumento da produção de cabos e aros metálicos, insumos básicos na produção de pneus
Pirelli	116	RS	Produção de pneus radiais para caminhões, ônibus e agrícolas
Pirelli	160	BA	Expansão da capacidade produtiva de pneus radiais para veículos de passeio
Goodyear	265	SP	Aumento da produção de pneus para máquinas agrícolas e do tipo radial para caminhões
Bridgestone Firestone	450	BA	Construção de fábrica para produção de pneus para veículos de passeio e caminhonetes
Bridgestone Firestone	110	SP	Modernização da fábrica e ampliação da capacidade produtiva de pneus para uso em caminhões
Total	R\$ 3 Bilhões		

Tabela 3 - Investimentos do Setor de Pneumáticos no Brasil

FONTE: Goldenstein, Alves e Barrios (2007)

Em março de 2007, a ANIP criou a Reciclanip, que contempla a coleta e a destinação de pneus inservíveis no país em resposta ao crescente passivo ambiental gerado pela disposição de pneus.

Como definiu Lagarinhos (2011), a Reciclanip é uma “entidade exclusivamente responsável pela gestão e aprimoramento dos trabalhos realizados de coleta e destinação dos pneus inservíveis”.

Originária do Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis, de 1999, a Reciclanip é considerada uma das principais iniciativas na área de pós-consumo da indústria brasileira, reunindo mais de 460 pontos de coleta no Brasil e sendo responsável pelo volume de pneu reciclados atingido em todo país.

Seu papel é desenvolver programas e ações de conscientização ambiental para a população, apoiar pesquisas sobre o ciclo de vida do pneu e alternativas à sua destinação, estruturar uma cadeia de coleta e destinação de pneus inservíveis entre outras atividades, todas desenvolvidas juntamente ao poder público, fabricantes e importadores de pneus.

3.3 PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL

A produção mundial de pneus foi estimada em 1,385 bilhões em 2008. Os maiores produtores mundiais de pneus são: China com 15%, EUA com 13%, Japão com 13%, Coreia com 6%, Alemanha com 5% e França com 4% (LAGARINHOS, 2011).

O Brasil ocupa o sétimo lugar entre os produtores de pneus para automóveis, enquanto que alcança o quinto lugar na produção de pneus para caminhões, como representado no gráfico seguinte.

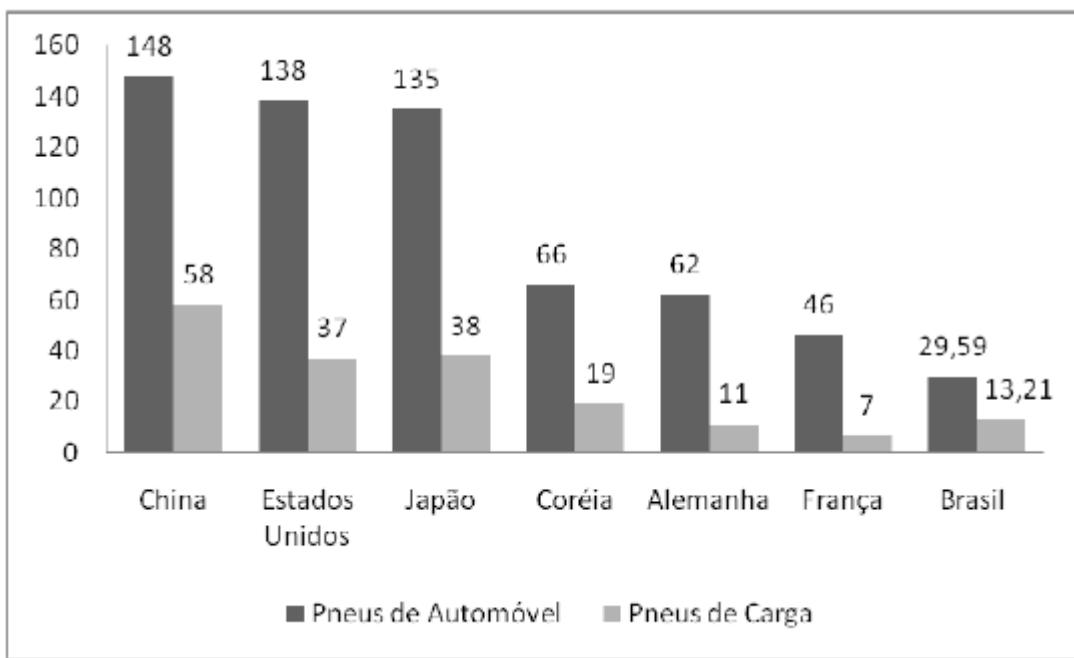


Figura 5 - Produção dos principais países produtores de pneus

FONTE: Lagarinhos (2011) apud Japan Automotive Tyre Manufactures Association (2010)

As vendas no Brasil são destinadas a três segmentos: às montadoras (26%), ao mercado de reposição (42%) e às exportações (32%), que compreendem vendas para cerca de cem países, como Estados Unidos, México, França e Argentina (GOLDENSTEIN; ALVES; BARRIOS, 2007).

O crescimento das vendas de pneus é explicado pelo crescimento na indústria automobilística. De 2009 para 2010, a indústria apresentou 14% de crescimento, o que correspondeu a 3,64 milhões de automóveis vendidos (LAGARINHOS, 2011 apud ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2011).

A seguir podemos ver duas tabelas que representam o número de pneus produzidos e vendidos no país.

Produção por categoria (em unidade)	2007	2008	2009	2010	2011
Caminhões/ ônibus	7,3 milhões	7,4 milhões	6,0 milhões	7,7 milhões	7,4 milhões
Caminhonetas	6,0 milhões	5,8 milhões	5,6 milhões	7,9 milhões	8,5 milhões
Automóveis	28,8 milhões	29,6 milhões	27,5 milhões	33,8 milhões	32,6 milhões
Motos	13,8 milhões	15,2 milhões	13,0 milhões	15,2 milhões	16,1 milhões
Agricultura e terraplanagem	830,1 mil	903,2 mil	679 mil	917 mil	902 mil
Veículos Industriais	462,1 mil	716,4 mil	963 mil	1,6 milhão	1,4 milhão
Aviões	61,0 mil	47,6 mil	41,8 mil	60 mil	60 mil

Tabela 4 - Produção de pneus no Brasil por categoria

FONTE: ANIP (2013)

Vendas por categoria (em unidade)	2007	2008	2009	2010	2011
Caminhões/ ônibus	7,8 milhões	7,6 milhões	6,6 milhões	8,4 milhões	8,4 milhões
Caminhonetas	6,5 milhões	6,2 milhões	5,9 milhões	8,3 milhões	9,1 milhões
Automóveis	33,7 milhões	33,3 milhões	32 milhões	38,1 milhões	36,2 milhões
Motos	13,7 milhões	15,4 milhões	13,6 milhões	15,5 milhões	16,6 milhões
Agricultura e terraplanagem	888 mil	962,2 mil	718,2 mil	977,3 mil	981,5 mil
Veículos Industriais	498 mil	686,7 mil	1,3 milhão	1,6 milhão	1,5 milhões
Aviões	71,6 mil	61,4 mil	53,1 mil	73,7 mil	73,9 mil

Tabela 5 - Vendas de pneus no Brasil por categoria

FONTE: ANIP (2013)

Já em relação ao faturamento das empresas, temos a seguinte distribuição mundial, que também reflete o que acontece no mercado brasileiro.

Participação das Linhas de Produtos, por Faturamento

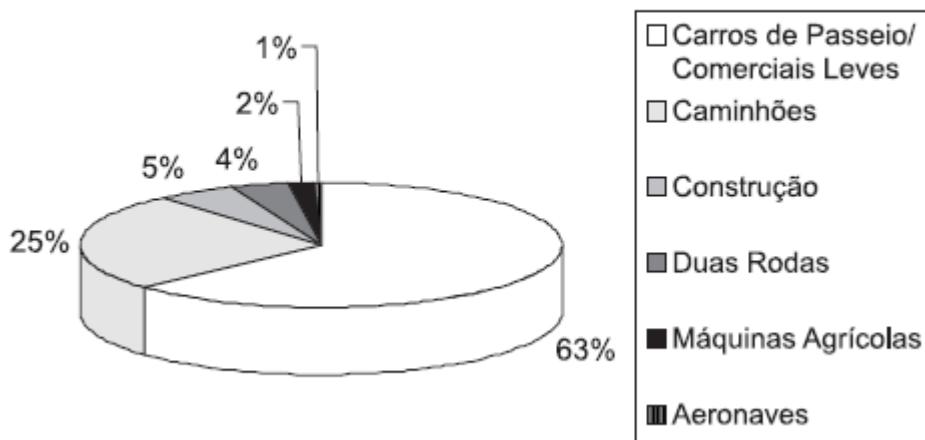


Figura 6- Faturamento das empresas de pneus por segmento

FONTE: Goldenstein, Alves e Barrios (2007) apud Michelin Fact book (2005)

3.4 A ESTRUTURA DO PNEU E SEUS COMPONENTES

O pneu, por ser o único elemento do carro que entra em contato direto com o solo, é o responsável por transferir todas as forças e momentos do solo para o veículo, o que permite que o mesmo movimente-se e seja controlado.

Como geometria, o pneu apresenta uma forma toroidal, deformando-se ciclicamente no contato com o solo na área conhecida como pegada do pneu, ou *footprint*, em inglês. É nesta região que são geradas todas as tensões de cisalhamento que vão compor as forças e momentos resultantes (F&M) necessários para o controle do veículo.

Um pneu é composto por diferentes materiais de modo a formar a estrutura resistente, adequada às mais diversas utilizações, onde cada componente é responsável por uma função específica. Abaixo, pode-se ver claramente como é estruturado um pneumático:

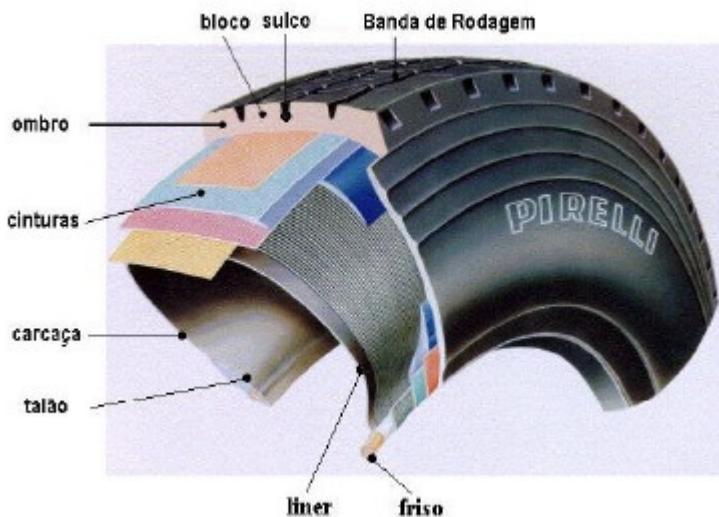


Figura 7- Estrutura de um pneu comercial para caminhões e ônibus

FONTE: COSTA a... (2011)

Carcaça: É responsável por reter o ar sob pressão, suportando o peso total do veículo. Composta por lonas de poliéster, nylon, ou aço cruzadas umas em relação às outras (pneu diagonal) ou em paralelo (pneu radial). Na atualidade, os automóveis usam principalmente pneus radiais, pois apresentam menor resistência ao rolamento, maior durabilidade e maiores forças laterais (FAVARI; AULICINO; DIAZ, 2009).

Talão: O talão é a região onde se encontra o friso, que ancora as lonas, prendendo o conjunto no aro da roda e impedindo que o pneu escape do aro. Garante a flexibilidade, a resistência a esforços radiais e axiais e a vedação entre pneu e aro (LAGARINHOS, 2011). É composto por arames de aço de grande resistência;

Parede lateral ou flanco: revestida por um composto de borracha com alto grau de flexibilidade e alta resistência à fadiga;

Cintas ou lonas de aço: dimensionadas para suportar cargas em movimento, tem como função garantir uma área de contato mais estável e plana em contato com o solo, necessária para transmitir os esforços entre o pneu e o solo, minimizando os escorregamentos e desgaste;

Banda de rodagem: é um composto de borracha formado por uma mistura de polímeros naturais e sintéticos, segundo seu emprego operacional, entre eles:

copolímero de estirenobutadieno (SBR), borracha natural (NR) e borracha de polibutadieno (BR), negro de fumo, sílica, óleos para melhorar o processamento das misturas, sistemas acelerantes e protetivos, pigmentos e outros produtos químicos.

A banda de rodagem é responsável pela segurança do veículo, oferecendo aderência, tração e estabilidade. É desenvolvida de acordo com cada utilização do produto final, sendo de suma importância, pois esta é a parte do pneu que fica em contato direto com o solo. Seus sulcos servem para drenar a água, o que ajuda a evitar o efeito de aquaplanagem e a diminuir a distância de frenagem no molhado.

Como podemos notar no gráfico abaixo, a profundidade dos sulcos do pneu afeta na distância de frenagem do veículo, ou seja, quanto menores forem os sulcos, maior a distância necessária para o veículo parar no caso de uma frenagem. Este efeito pode ser observado na molhada para velocidades maiores.

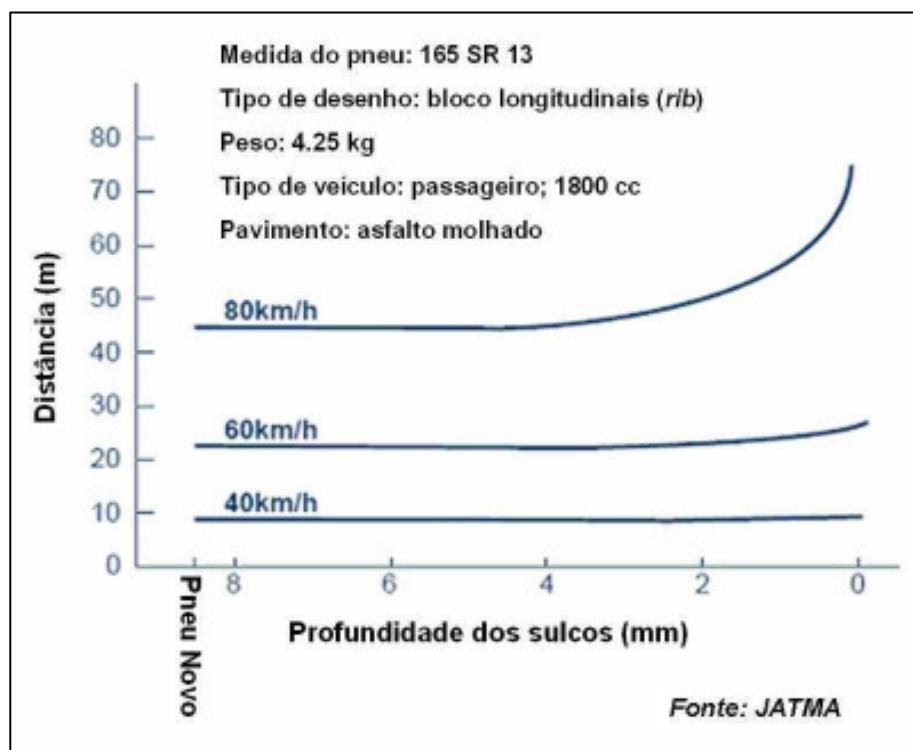


Figura 8 - Efeito da profundidade dos sulcos na distância de frenagem

FONTE: Costa a (2011) apud JATMA (2012)

Blocos e sulcos: Os blocos são os elementos que efetivamente tocam o solo, afetando diretamente a tração e a capacidade de frenagem do pneu. Eles apresentam diferentes

tamanhos de modo a evitar a emissão de ruído em uma única frequência predominante, de modo a incomodar o condutor e os passageiros.

Os sulcos afetam a tração, o controle direcional e as propriedades de resfriamento. O controle do desgaste pelo usuário é feito através do “*Tread Wear Indicator*” (TWI) que indicam quando o pneu deve ser trocado.

3.5 MATÉRIAS PRIMAS EMPREGADAS NO PNEU

A tabela abaixo apresenta um exemplo interessante de relação entre os materiais empregados em cada parte do pneu e a característica que eles conferem ao conjunto.

Parte do pneu	Tipo de material	Requisito do material
Banda de rodagem	Copolímero estireno-butadieno (SBR) (laminado)	Aderência e resistência ao desgaste
Costado	Composto de borracha (laminado)	Resistência à flexão, a rachaduras, a impactos, fricções e a fadiga
Carcaça	Cordonéis de <i>nylon</i> dipados, ou poliéster ou de aço impregnados com borracha	Capacidade de carga, resistência à flexão e à fadiga
Talão	Arames de aço isolados com borracha	Flexibilidade e resistência a carga
Amortecedores	Cordonéis de <i>nylon</i> dipados, impregnados com borracha	Resistência contra impactos e penetrações
Cintas estabilizadoras	Fios de aço impregnados de borracha	Resistência contra impactos e perfurações
Overlay	Cordonéis de <i>nylon</i> dipados, impregnados com borracha	Resistência contra impactos e perfurações
<i>Liner</i>	Composto de borracha butílica (para pneus sem câmara) e composto de borracha comum (para pneus tipo com câmara)	Ausência de porosidade e resistência a fricções

Tabela 6 - Principais materiais empregados em cada parte da estrutura do pneu

FONTE: Lagarinhos (2011) apud Goodyear do Brasil (2009)

Um pneu pode chegar a conter dezenas de tipos de matérias primas diferentes (SAIBA... 2013), sendo a composição média de um pneu no Brasil apresentada na tabela abaixo.

Verificando apenas a aparência de borracha negra de um pneu, muitas pessoas não imaginam a grande quantidade de matérias primas que este contém, nem a grande possibilidade de combinações de materiais de acordo com cada utilização, como explicado a seguir:

Materiais	Pneu de Automóveis (%)	Pneu de Carga (%)
Borracha Natural	14	27
Borracha Sintética	27	14
Negro de Fumo	28	28
Aço	14 - 15	14 – 15
Tecido, aceleradores, antiozônio, óleos, entre outros.	16 - 17	16 - 17
Peso Total	Peso médio do pneu novo 8,5 kg. No Brasil, o pneu inservível pesa 5 kg, conforme a Instrução Normativa nº 008 do Ibama, de 15 de maio de 2002 (*)	No Brasil, o pneu inservível pesa 40 kg, conforme a Instrução Normativa nº 008 do Ibama, de 15 de maio de 2002 (*)

(*) Na Instrução Normativa nº 008/02 consta a informação da equivalência em peso dos pneus de automóveis, ônibus, caminhões, motos e pneus fora de estrada. Em 2010, com a aprovação da Instrução Normativa nº 001/10, foi revogada a Instrução Normativa nº 008/02. Não existe um levantamento de campo do peso dos pneus inservíveis de automóveis, motos, ônibus e caminhões, realizado com as empresas de pré-tratamento e destinação desses produtos.

Referência: Adhikari, De e Maiti (2000); Brasil (2003)

Tabela 7 - Composição de um pneu

FONTE: Lagarinhos (2011)

Como a borracha no estado seu natural tem um comportamento plástico, ou seja, graças a seus efeitos viscosos, ela relaxa quando sob o efeito de alguma força, tem-se a necessidade de adicionar outros agentes químicos formando um composto de borracha mais resistente química e fisicamente, assumindo o comportamento visco-elástico.

Na porção referente à banda de rodagem, o pneu pode apresentar diferentes formulações de compostos de borracha, sendo alguns deles detalhados por Pinheiro (2001):

Polímeros: são as borrachas, naturais (extraídas de plantas) ou sintéticas (sintetizadas a partir do petróleo).

Agentes vulcanizantes: componentes responsáveis pelo processo de vulcanização, mais detalhado a seguir. O mais empregado na indústria de pneumáticos é o enxofre, porém também podem ser empregados o Selenium e o Tellurium, que não são tão comumente empregados devido a seus elevados custos.

Ativadores de cura: empregados para incrementar o grau de vulcanização do composto. Os principais componentes empregados pela indústria de pneumáticos são o óxido de zinco e o ácido esteárico.

Aceleradores: componentes utilizados para reduzir o tempo de vulcanização do pneu. Os mais utilizados pela indústria são os tiazois 2-Mercaptobenzotiazol (MBT) e 2,2'-Dibenzotiazil dissulfídrico (MBTS).

Cargas reforçantes: incrementam as propriedades físicas do composto, como a resistência ao rasgo e o módulo de elasticidade. Os dois principais exemplos de cargas reforçantes são o negro de fumo (carga negra) e a sílica (carga branca).

3.6 BORRACHAS EMPREGADAS NOS PNEUS

O tipo de borracha empregada nos pneus, se natural, sintética, ou uma mistura de ambas vai depender da aplicação do produto no mercado e do componente estrutural que forma o pneu. Podemos verificar através da tabela abaixo as principais combinações de borrachas utilizadas em toda a estrutura para as diferentes utilizações de um pneu.

Componente	Pneus de Automóveis	Pneus de Carga (*)
Banda de Rodagem	SBR- BR	NR - BR ou SBR - BR
Cintas	NR	NR
Carcaça	NR - SBR + NR	NR - BR
Costado	NR - BR ou NR - SBR	NR – BR
Liner	NR - SBR - IIR	NR – IIR

(*) Pneus de ônibus e caminhões

Legenda:

NR - Borracha Natural (*Isoprene Rubber / Natural Rubber*)

SBR - Borracha de estireno-butadieno (*Styrene-Butadiene Rubber*)

BR - Polibutadieno (*Butadiene Rubber*)

IIR – Borracha Butílica (*Isobutylene-Isoprene Rubber / Butyl Rubber*)

Tabela 8 - Borrachas utilizadas na estrutura do pneu

FONTE: Lagarinhos (2011) apud Datta (2005)

Ilustrando a tabela anterior, podemos verificar o levantamento feito por Pinheiro (2001), que mostra diferentes compostos de borracha empregados em diferentes partes do pneu. Cada uma das cores empregada na seção abaixo representa um material diferente.

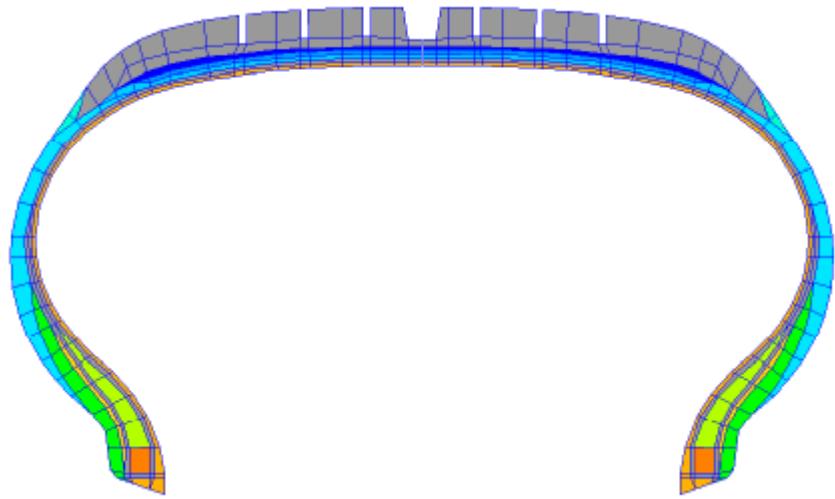


Figura 9 - Seção transversal do pneu de automóvel de passeio, com cores ilustrando diferentes compostos de borracha

FONTE: Pinheiro (2001)

3.7 O PROCESSO DE VULCANIZAÇÃO

Monômero é uma substância composta por moléculas básicas (como etano e etileno, por exemplo) enquanto que a junção destas moléculas menores é chamada de polimerização, formando os polímeros (PINHEIRO, 2001).

Os polímeros são divididos em três famílias:

Termo-Plásticos: compostos de longas moléculas unidas através de ligações secundárias;

Termo-fixos: compostos de longas moléculas unidas entre si através de ligações primárias, em forma tridimensional;

Elastômeros: compostos que em seus estados primários são pegajosos, mas que, quando sofrem um processo para criação de ligações cruzadas em suas cadeias poliméricas, tornam-se úteis para diversas aplicações. O principal exemplo de elastômero usado atualmente é a borracha.

Os elastômeros no seu estado natural não possuem as propriedades necessárias para aplicações em pneus. São um material viscoso, deformam-se plasticamente e são susceptíveis à temperatura e solventes. A vulcanização liga as macromoléculas dos

polímeros através de um ou mais átomos de enxofre (crosslink) formando um retículo elástico e estável, com maior resistência à ruptura e abrasão.

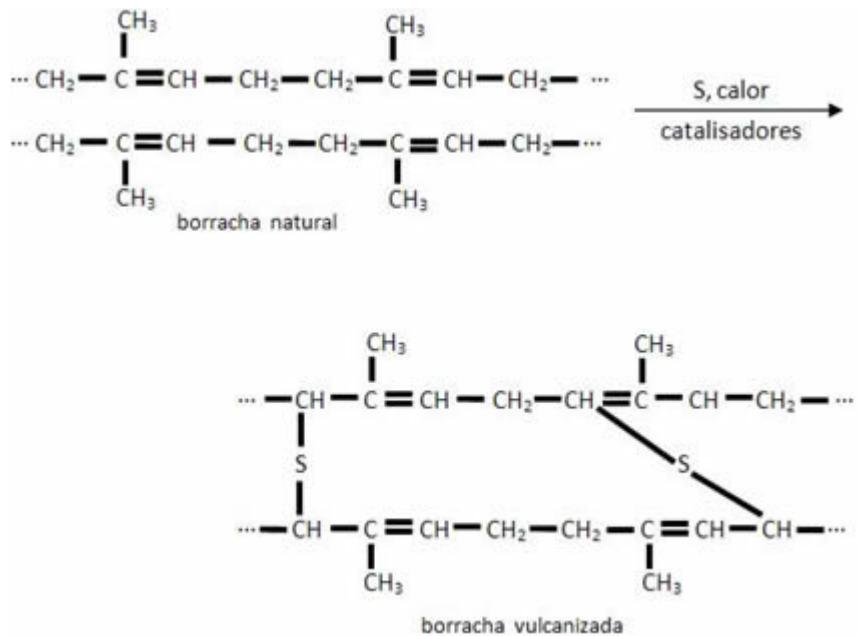


Figura 10 - Estrutura química da borracha natural e da vulcanizada

FONTE: Vulcanização... (2012)

Este processo foi descoberto por Nathaniel Hayward em 1838, quando ele notou que a adição de enxofre e a exposição do composto ao sol fazia com que sua superfície não permanecesse pegajosa. Pesquisas subsequentes foram feitas por Charles Goodyear e Thomas Hancock paralelamente. Ambos patentearam processos que mostravam a aplicação de calor ao composto de borracha e enxofre, obtendo-se produtos com propriedades superiores às da borracha.

Além do enxofre pode-se adicionar diversos componentes à borracha de modo a modificar as propriedades químicas e físicas do composto, sendo que alguns deles têm as seguintes funções (PINHEIRO, 2001):

- efetuar as ligações cruzadas – formar retículo polimérico (enxofre)
- incrementar as propriedades físicas da borracha (negro-de-fumo, sílica)
- incrementar a processabilidade da borracha (óleos)
- controlar a taxa de vulcanização (acelerantes, retardantes)

- prolongar a vida útil da borracha (antioxidantes, ceras)

3.8 PROJETO E PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE UM PNEU

O projeto de um pneu passa por estudos de tribologia, “a área da ciência dedicada ao estudo do desgaste, do atrito e, por conseguinte, da lubrificação” (COSTA b, 2011).

Analisa-se o tribosistema, ou seja, a interação do pneu com o solo:

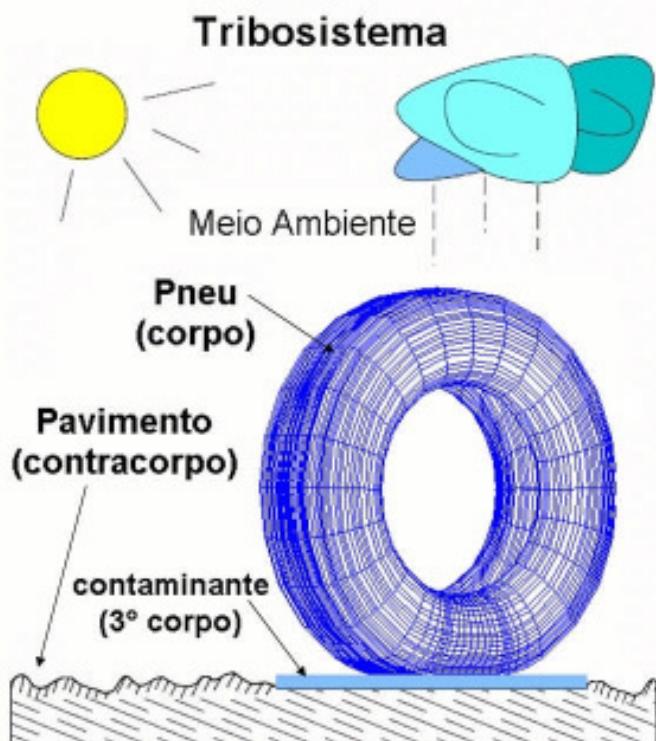


Figura 11 - Tribosistema

FONTE: Costa b (2011)

No projeto do pneu, são analisados fatores como durabilidade, resistência a altas velocidades, distância de frenagem, dirigibilidade no seco, resistência a impactos, resistência a altas cargas, dificuldade em sair do aro, conforto, tendência a aquaplanagem, baixo consumo de combustível, tratividade, resistência a lacerações, dirigibilidade no molhado, facilidade ao montar, desgaste regular, aparência, vibração, ruído e baixo custo. De acordo com o ambiente e o uso que será dado ao produto final, dá-se maior importância a determinados aspectos.

Por ser uma estrutura flexível e sofrer grandes deformações e deflexões cíclicas sob ação de diversas forças (como pode ser visto abaixo), principalmente quando está em movimento, o projeto de um pneu é bastante complexo.

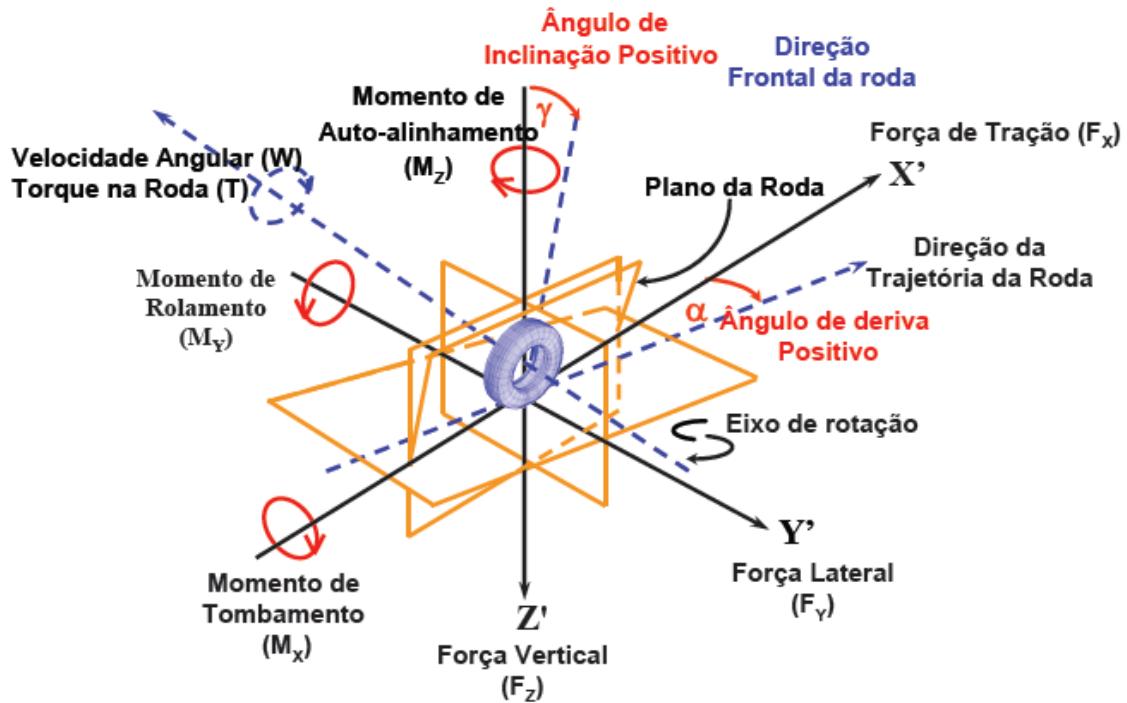


Figura 12 - Ações de forças e momentos sobre o pneu

FONTE: Costa d (2011)

Primeiramente, levam-se em conta as condições em que o pneu será utilizado (pneu off-road, alta performance, transporte de cargas, agricultura, etc.). É possível converter as necessidades em especificações técnicas com o auxílio de programas de computador avançados, chegando-se então a um protótipo do produto. Abaixo, pode-se ver o estudo por meio do modelo de elementos finitos.

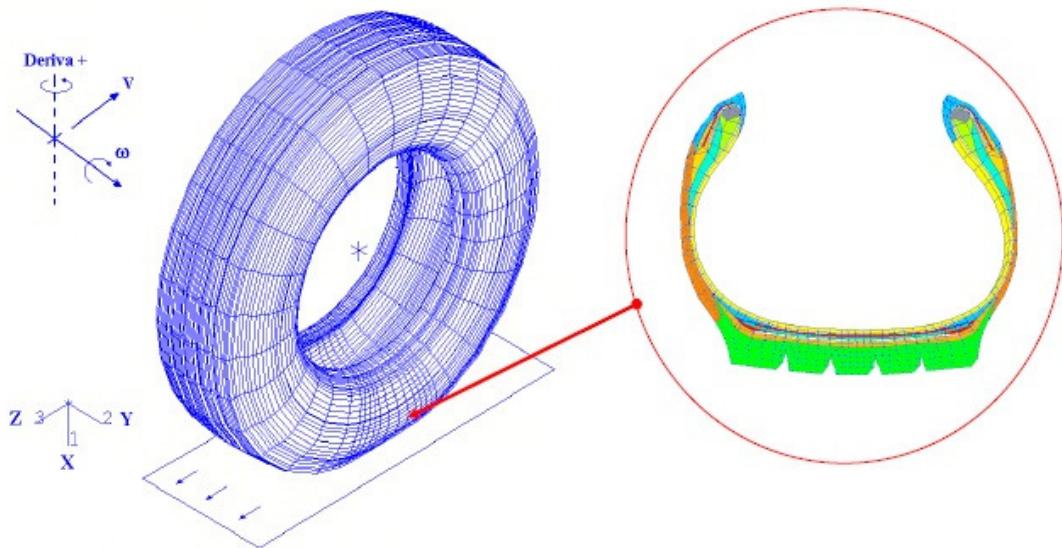


Figura 13 - Estudo de elementos finitos

FONTE: Costa a (2011)

Depois que todos os requisitos são atendidos de modo a certificar a segurança e qualidade do produto, segue-se para o processo de fabricação em si.

A primeira fase da produção propriamente dita de um pneu é a preparação do composto. Mistura-se diversas matérias primas, como borracha natural, borracha sintética, negro de fumo, pigmentos e aceleradores em um misturador sob alta temperatura de modo a obter a homogeneização do composto.

A mistura segue então para os rolos, onde é feita a manta de borracha e a porosidade da mistura é eliminada.



Figura 14 - Fase 1 da fabricação de pneus

FONTE: Scorpion Pneus (2012)

A manta de borracha segue para o processo de extrusão, onde são feitas a banda de rodagem (parte do pneu que entra em contato com o solo) e a parede lateral do pneu. Ambas começam a tomar seus formatos característicos.

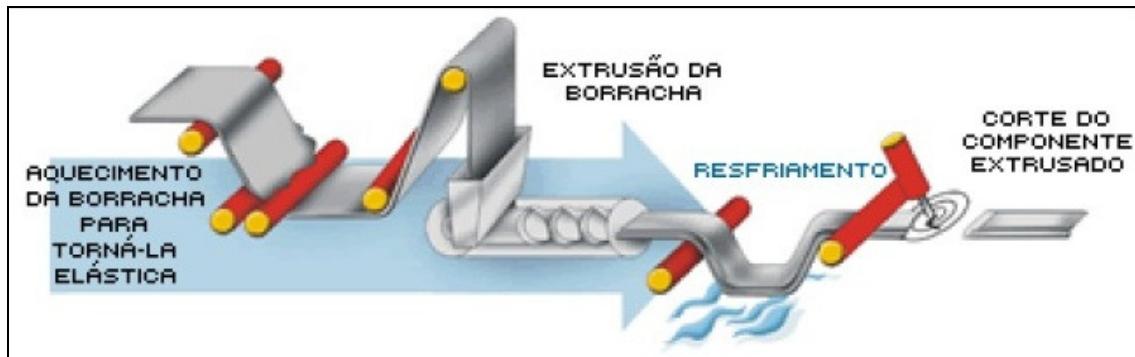


Figura 15 - Fase 2 da fabricação de pneus

FONTE: Scorpion Pneus (2012)

Os fios têxteis e metálicos são calandrados, ou seja, comprimidos em alta temperatura junto à borracha, formando as lonas de corpo.

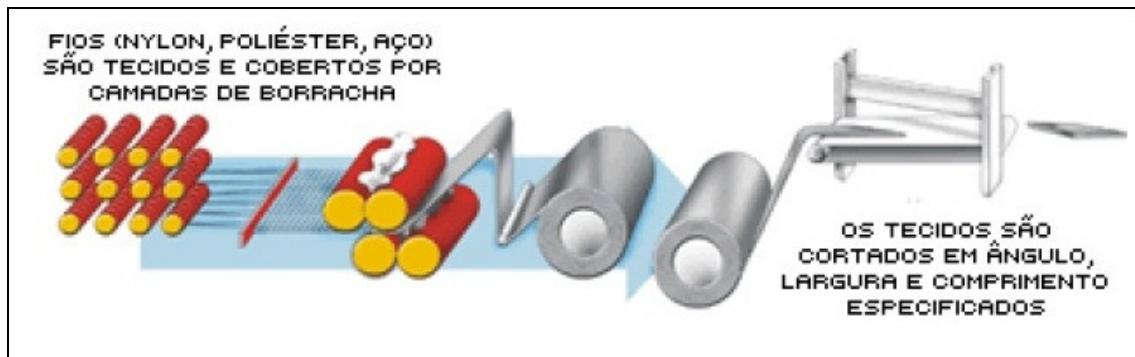


Figura 16 - Fase 3 da fabricação de pneus

FONTE: Scorpion Pneus (2012)

Os fios de nylon, poliéster ou aço são recobertos com borracha e enrolados em cilindros, formando o friso dos talões, parte do pneu que faz contato com a roda.

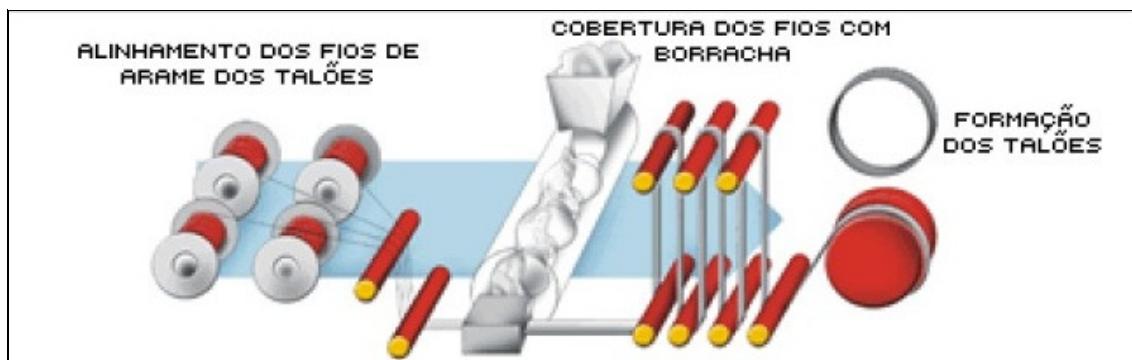


Figura 17 - Fase 4 da fabricação de pneus

FONTE: Scorpion Pneus (2012)

Todos os componentes do pneu são colocadas em uma máquina, parecida a um tambor, seguindo a ordem necessária do produto: lona, talão e cinta de rodagem. O produto resultante é o pneu cru ou verde, denominação empregada ao pneu não vulcanizado (mesma denominação do produto analisado neste projeto, mas graças a conceitos diferentes. Um por ser um produto cru ou inacabado e outro por motivos ecológicos).

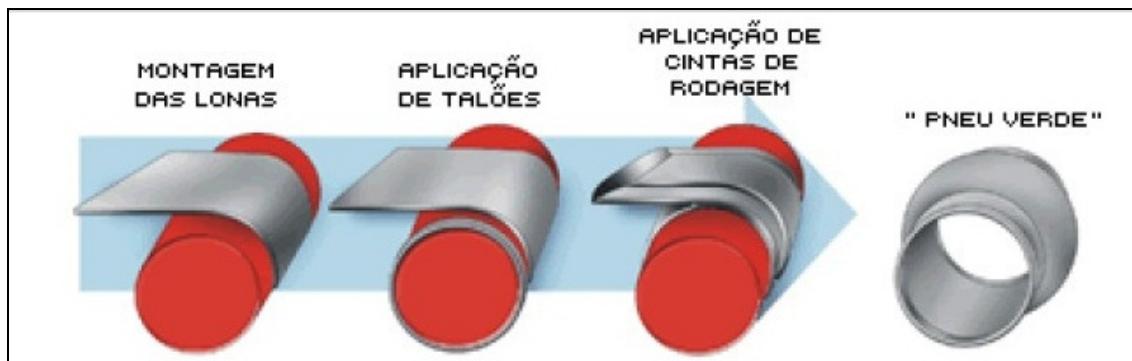


Figura 18 - Fase 5 da fabricação de pneus

FONTE: Scorpion Pneus (2012)

O pneu cru segue para a vulcanização, onde será dada forma ao produto final. Ele será submetido a uma temperatura de aproximadamente 180°C e pressões elevadas onde serão estampados os sulcos e ranhuras da banda de rodagem de acordo com cada projeto. O tempo de vulcanização varia bastante de acordo com a função final do pneu, podendo variar de alguns minutos, para pneus de moto, a algumas horas para pneus de agricultura ou fora de estrada (off-road), como mostrado abaixo.

<u>TIPO DE PNEU</u>	<u>CICLO DE VULCANIZAÇÃO</u>
Para automóveis	12 a 20 min @ 180 °C
Para caminhões e ônibus	30 a 60 min @ 160 °C
Para veículos de terraplanagem	60 a 300 min @ 160 °C

Tabela 9 - Tempo de vulcanização de pneus para diferentes usos

FONTE: Pinheiro (2001)

Além disso, este processo de vulcanização, como já foi explicado anteriormente, confere propriedades mecânicas importantes ao produto final.

O dimensionamento do tempo e da temperatura de vulcanização depende de um modelo matemático para a reação termoquímica e um modelo matemático para a transmissão de calor. Se o tempo de exposição ao calor for insuficiente, o composto continuará apresentando baixa resistência às deformações e se o tempo de exposição ao calor for elevado demais, o composto entra em uma fase de reversão, diminuindo as propriedades já alcançadas (PINHEIRO, 2001).



Figura 19- Fase 6 da fabricação de pneus

FONTE: Scorpion Pneus (2012)

Depois da vulcanização os pneus passam por um processo de inspeção final, onde se buscam defeitos como bolhas, manchas... As rebarbas da borracha são retiradas e o pneu segue então para o estoque, onde aguarda o momento da venda.

Conforme a Portaria INMETRO 05/2000, antes de ser comercializado, todo pneu deve obter aprovação do INMETRO e ter um selo atestando sua qualidade, obedecendo à Portaria n. 361, cujo objeto é “Regulamento de Avaliação da Conformidade para Pneus Novos de Motocicleta, Motoneta, Ciclomotor, Automóvel de Passageiros, inclusive os de uso misto, e rebocados, Veículos Comerciais, Comerciais Leves e Rebocados”.

Pneus importados e reformados também devem obter este selo para serem legalmente comercializados no país.

4 FLUXO ENERGÉTICO EM UM VEÍCULO

Na quase totalidade dos casos, a fonte de energia de um veículo dá-se através da queima de combustíveis fósseis em seu motor. Neste processo de queima converte-se a energia calorífica produzida pela combustão em energia mecânica através da quebra da estrutura química do combustível.

Esta explosão no interior dos cilindros do motor faz com que os pistões se movimentem para cima e para baixo em uma ordem pré-determinada, ocasionando o movimento rotativo através do virabrequim. Este movimento chega até às rodas com auxílio da embreagem, da caixa de câmbio, do eixo de transmissão e do diferencial.

As perdas energéticas ao longo do veículo ocorrem tanto quando o veículo está em movimento quanto nos momentos em que ele se encontra parado, porém em diferentes porcentagens para cada caso.

A resistência aerodinâmica, por exemplo, é tanto maior quanto maior for a velocidade do veículo, enquanto que a resistência ao rolamento apresenta valores significativos até mesmo quando o veículo está em baixas velocidades.

Em carros de passageiros, 1/3 da energia vinda do combustível é usada para vencer a fricção no motor, na transmissão, nos pneus e freios.

A energia do combustível é gasta nos seguintes mecanismos: 33% por conta dos gases de exaustão (sendo sua maioria em energia térmica), 29% em refrigeração (dissipada através do calor do motor) e 38% graças à forças mecânicas (5% dos quais são dedicados a vencer o arrasto enquanto que 33% são para vencer a fricção) (HOLMBERG; ANDERSSON; ERDEMIR, 2011).

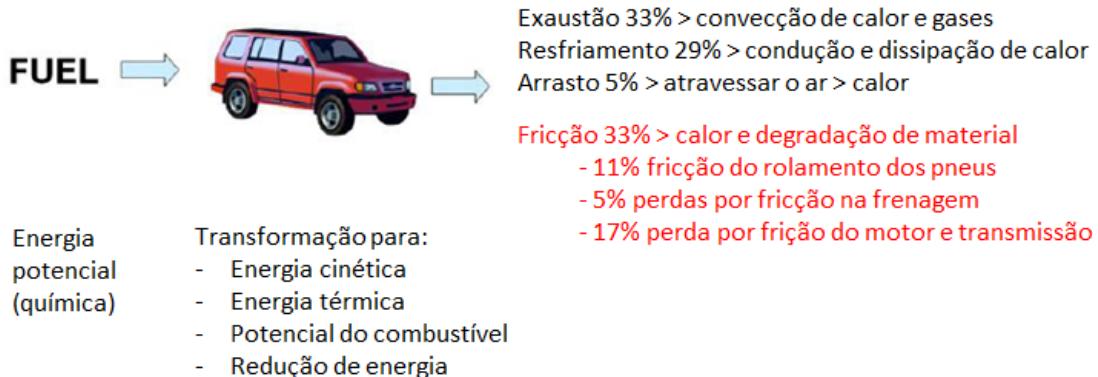


Figura 20 - Dissipação de energia em carros a uma velocidade de 60km/h

FONTE: Adaptada de Holmberg; Andersson; Erdemir (2011)

Outra forma de representar a perda de energia no veículo é mostrada por Holmberg; Anderson; Erdemir (2011), apresentando claramente quais porções da energia do combustível são usadas para movimentar o veículo e quais dissipadas de outras formas.

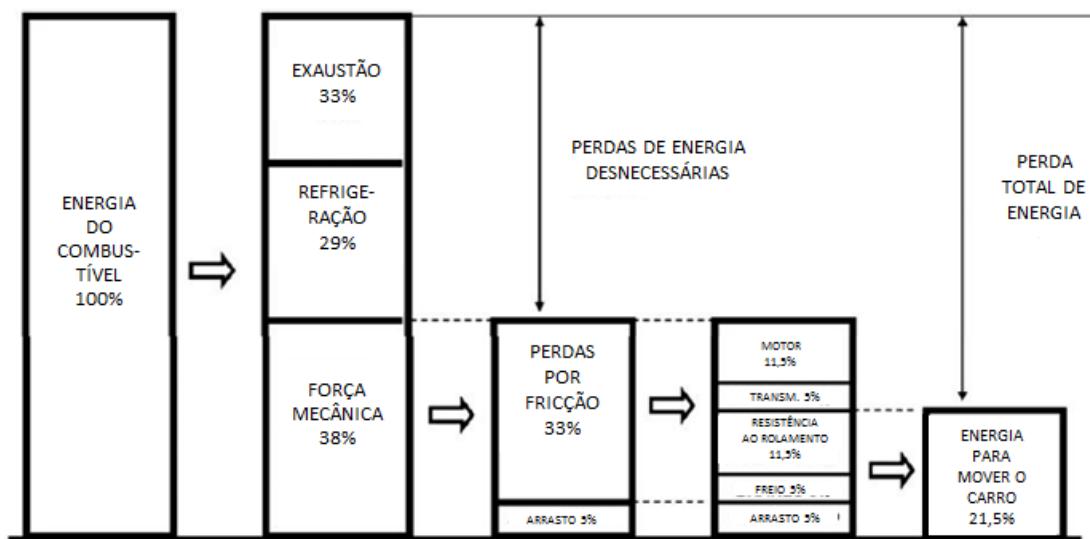


Figura 21 - Esquematização do consumo de energia no veículo

FONTE: Adaptada de Holmberg; Andersson; Erdemir (2011)

A participação de cada um destes mecanismos varia ao longo do ciclo do carro (veículo parado, aceleração, velocidade constante e frenagem), como mostrado no gráfico abaixo.

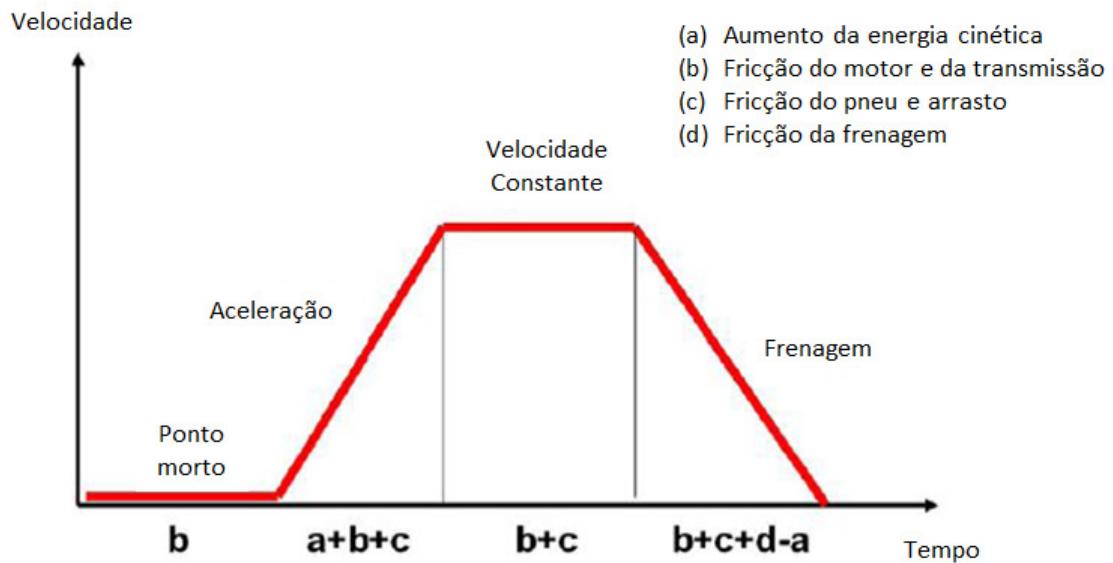


Figura 22 - Balanço energético durante os quatro estágios de operação do veículo

FONTE: Adaptada de Holmberg; Andersson; Erdemir (2011)

A importância relativa de cada uma dessas porções não varia apenas de veículo para veículo, mas também das condições em que este veículo está sendo conduzido (estrada ou trajeto urbano, por exemplo). A seguir podemos visualizar como diferentes condições de dirigibilidade afetam o efeito que cada dissipação energética tem sobre o veículo.

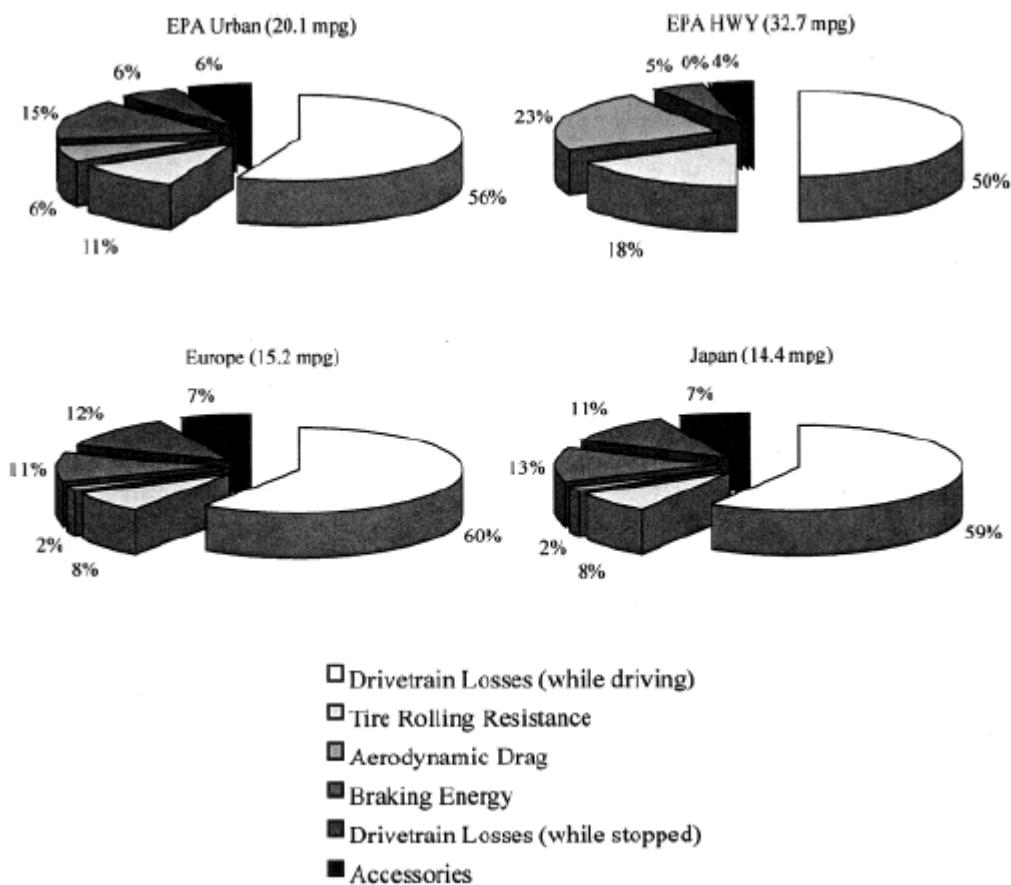


Figura 23 - Distribuição do consumo de energia do combustível para diferentes ciclos para um Volkswagen Jetta, 1980

FONTE: Corporation (2001)

5 DINÂMICA VEICULAR

Como explicou Costa (d, 2011), “A Dinâmica de Veículos estuda o movimento de suas partes em resposta aos esforços aplicados pelo meio ambiente e comandos do motorista”.

O comportamento dinâmico de um veículo é determinado pelas forças que agem sobre o mesmo: impostas pelos pneus, pela gravidade e pela aerodinâmica. A dinâmica veicular estuda este comportamento, analisando que forças serão produzidas nas manobras do carro e como este responderá a estas forças.

De acordo com Oliveira (2005), “para estudarmos a resposta de um veículo a ações de controle ou a perturbações, é necessário especificar um ou mais sistemas de coordenadas para medir sua posição”.

A SAE, sociedade de engenheiros da mobilidade, emprega um sistema referencial muito utilizado pelas montadoras de veículos e na literatura especializada, como ilustrado a seguir. :

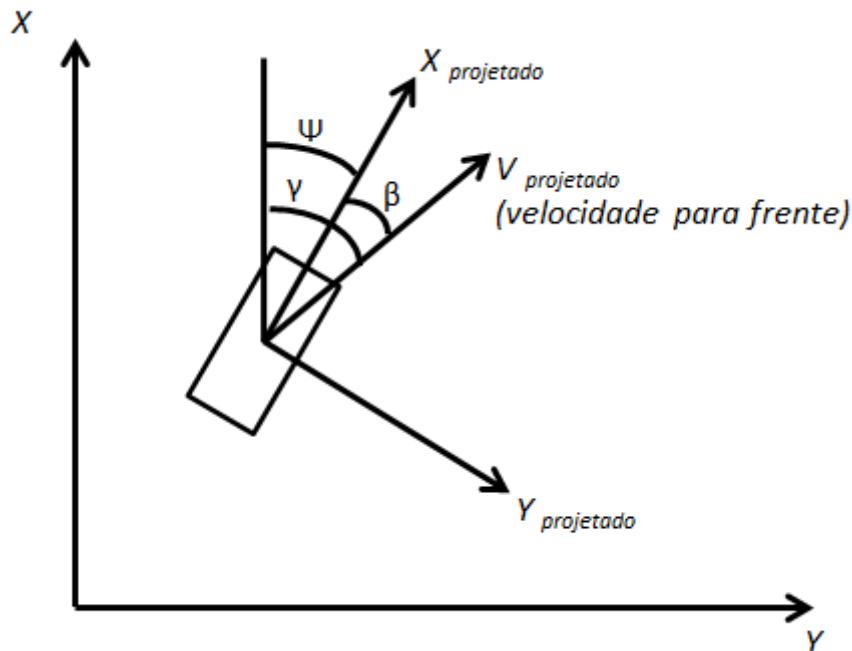


Figura 24 - Sistema de coordenadas XY

FONTE: Adaptada de Oliveira (2005) apud Dixon (1996)

Segundo Gillespie (1992), os movimentos e os esforços do veículo são definidos de acordo com o seguinte sistema de coordenadas, com origem no centro de gravidade do veículo (CG), conforme indicado na figura 22:

x - Frontal e no plano longitudinal da simetria;

y- Lateral externa ao lado direito do veículo;

z - Para baixo do veículo;

p - Rotação em torno do eixo x (*roll* ou rolagem);

q - Rotação em torno do eixo y (*Pitch* ou mergulho);

r - Rotação em torno do eixo z (*Yaw* ou guinada).

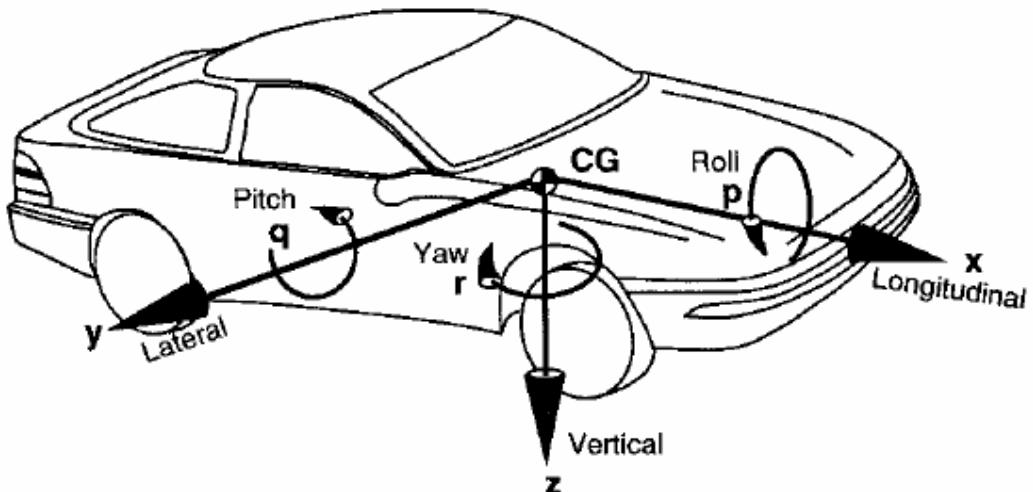


Figura 25 - Movimentos do veículo segundo coordenadas

FONTE: Gillespie (1992)

A velocidade frontal é caracterizada como a projeção da velocidade total do veículo na direção “x” enquanto que a velocidade lateral é a projeção desta mesma velocidade na direção “y” transversal ao plano do solo (GILLESPIE, 1992).

5.1 FORÇAS AERODINÂMICAS

As forças aerodinâmicas afetam diretamente o consumo de combustível, pois causam arrasto, sustentação, forças laterais, vibrações e ruídos. São originadas nos fenômenos

decorrentes do movimento relativo entre o veículo e o ar, dependendo da viscosidade e da pressão do meio e do design da carroceria do veículo.

De acordo com Gillespie (1992), a resistência aerodinâmica acontece por conta dos seguintes fatores:

- a) Resistência causada pela diferença de pressão do ar na parte frontal e traseira do veículo, constituindo de 55 a 60% do arrasto aerodinâmico;
- b) Resistência originada pelas partes móveis ou projetáveis do veículo, como pára-lamas, placa e retrovisores, que constituem de 12 a 18% da resistência aerodinâmica;
- c) Resistência causada pela passagem do ar pelo radiador e pelo capô, compondo 10 a 15% da resistência total;
- d) Fricção de superfícies externas contra camadas de ar movimentadas por outros veículos, constituindo de 8 a 10% da resistência aerodinâmica;
- e) Resistência causada pelo gradiente entre a pressão superior e inferior do veículo, constituindo de 8 a 10% da resistência total.

6 RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO

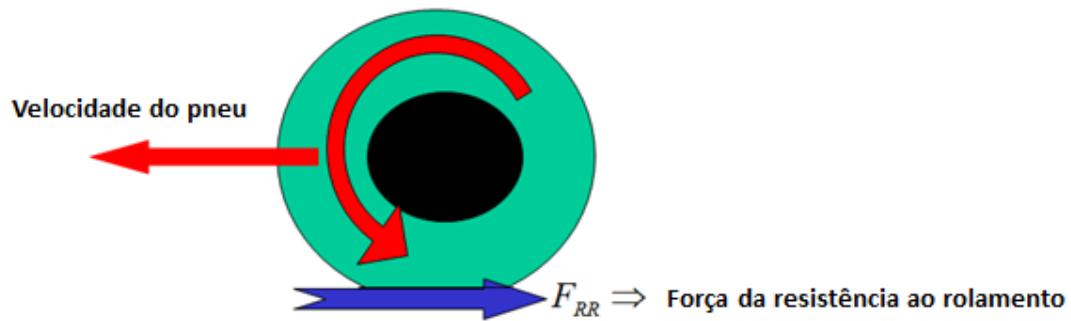
A resistência ao rolamento, ou RR, é um mecanismo de dissipação de energia que age contra o movimento do veículo. É definida como a energia consumida pelo pneu por unidade de distância percorrida. Por isso, no senso comum é encarada como uma força resistiva ao movimento.

A quase totalidade dessa dissipação de energia provém da deformação cíclica dos compostos de borracha. Como a borracha é um material viscoelástico, a deformação da mesma faz com que parte da energia seja armazenada elasticamente enquanto que a outra parte seja dissipada como calor. Esta porção refere-se à perda de energia por histerese, que em outro instante, contribui para a aderência entre o pneu e o solo (COSTA c, 2011).

A histerese dos compostos de borracha é a principal responsável pela perda de energia associada à resistência ao rolamento. Ela também é responsável por elevar a temperatura no corpo do pneu, o que ocasiona a aceleração das reações químicas que causam o envelhecimento da borracha.

A ilustração abaixo representa o conceito básico de resistência ao rolamento.

Força da resistência ao rolamento



$$F_{RR} * Vel = \text{Trabalho da resistência de rolamento}$$

Trabalho da resistência ao rolamento = Energia mecânica dissipada no pneu

Figura 26 - Representação da resistência ao rolamento

FONTE: Adaptada de Padovan (2012)

Segundo Pottinger (2012), a resistência ao rolamento RR é um parâmetro escalar que pode ser definida em unidade de energia dissipada por unidade de distância percorrida, como J/m, por exemplo, podendo ser simplificada em N. É comum também expressar a resistência ao rolamento sem unidade por meio do coeficiente de resistência ao rolamento, que representa a RR dividida pela carga. Como expressado em seguida:

$$F_{rr} = \frac{\text{força}}{\text{velocidade}} = N$$

$$RRC = \frac{F_{RR}}{\text{carga}} = N/N$$

A resistência ao rolamento é medida em laboratório, com um equipamento análogo aos apresentados abaixo:

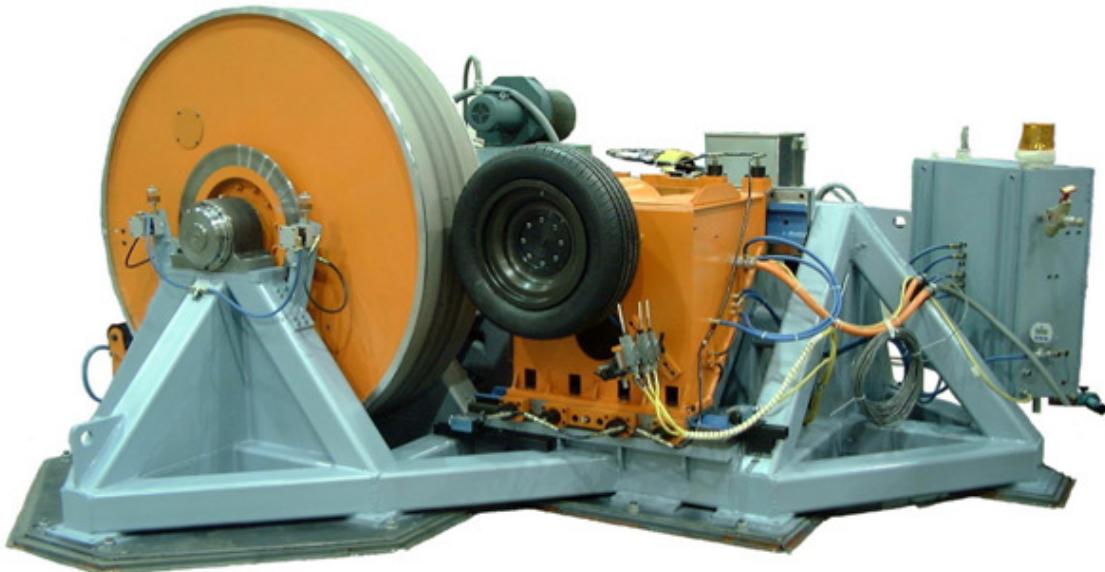


Figura 27 - Teste para determinação laboratorial da resistência ao rolamento contra superfície cilíndrica - tambor

FONTE: Potts (2012)

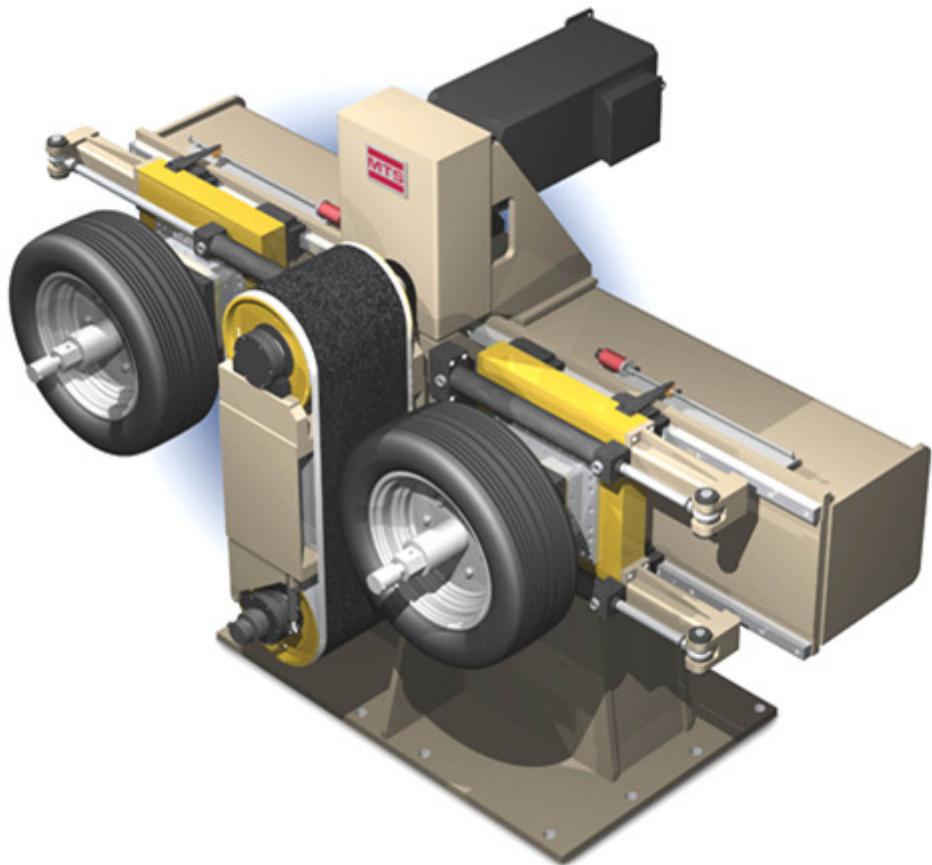


Figura 28 - Teste para medição de RR em superfície plana

FONTE: Pottinger (2012)

O teste para medir a resistência ao rolamento, segundo SAE J1269, deve ser feito em uma condição padrão de carga, pressão e velocidade. Este método é utilizado para testes de comparação de diferentes modelos de pneus. Oliveira (2005) apresenta o trabalho de Grover e Bordeon, “New Parameters for Comparing Tire Rolling Resistance”, que permite que a medição da RR seja feita a múltiplas velocidades para dadas condições de carga e pressão, resultando assim na nova norma SAE J2452, utilizada para modelar a economia do consumo de combustível. A ISO 18164:2005 também normatiza os parâmetros para que a medição da resistência ao rolamento seja feita.

Cada componente do pneu contribui de forma diferente à resistência ao rolamento, como é mostrado em maiores detalhes abaixo. É possível observar que a porção que mais contribui com a RR é a banda de rodagem, por conta da deformação cíclica que sofre quando em contato com o solo.

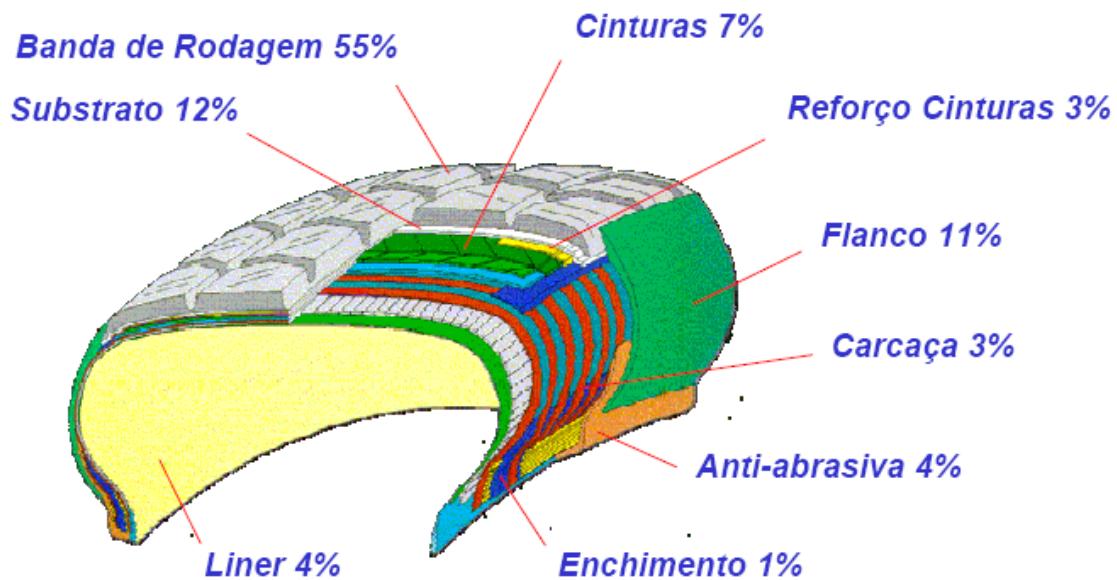


Figura 29 - Influência de cada parte da estrutura do pneu sobre a resistência ao rolamento

FONTE: Costa c (2011)

Para se ter uma maior percepção da importância do efeito da RR, uma redução de 10% na resistência ao rolamento acarreta em redução de 0,5 a 1,5% no consumo de combustível para veículos de passeio (CORPORTATION, 2001).

Com o passar do tempo e o aumento da pressão governamental e popular para diminuição do consumo de combustível, os fabricantes de pneumáticos viram-se compelidos a encontrar alternativas que diminuíssem a resistência ao rolamento de seus produtos sem perder em desempenho, isto é, no coeficiente de atrito, segurança, dirigibilidade e durabilidade.

A utilização de novas matérias primas e novas tecnologias fez com que a resistência ao rolamento diminuisse ao passar dos anos, como é possível ver abaixo.

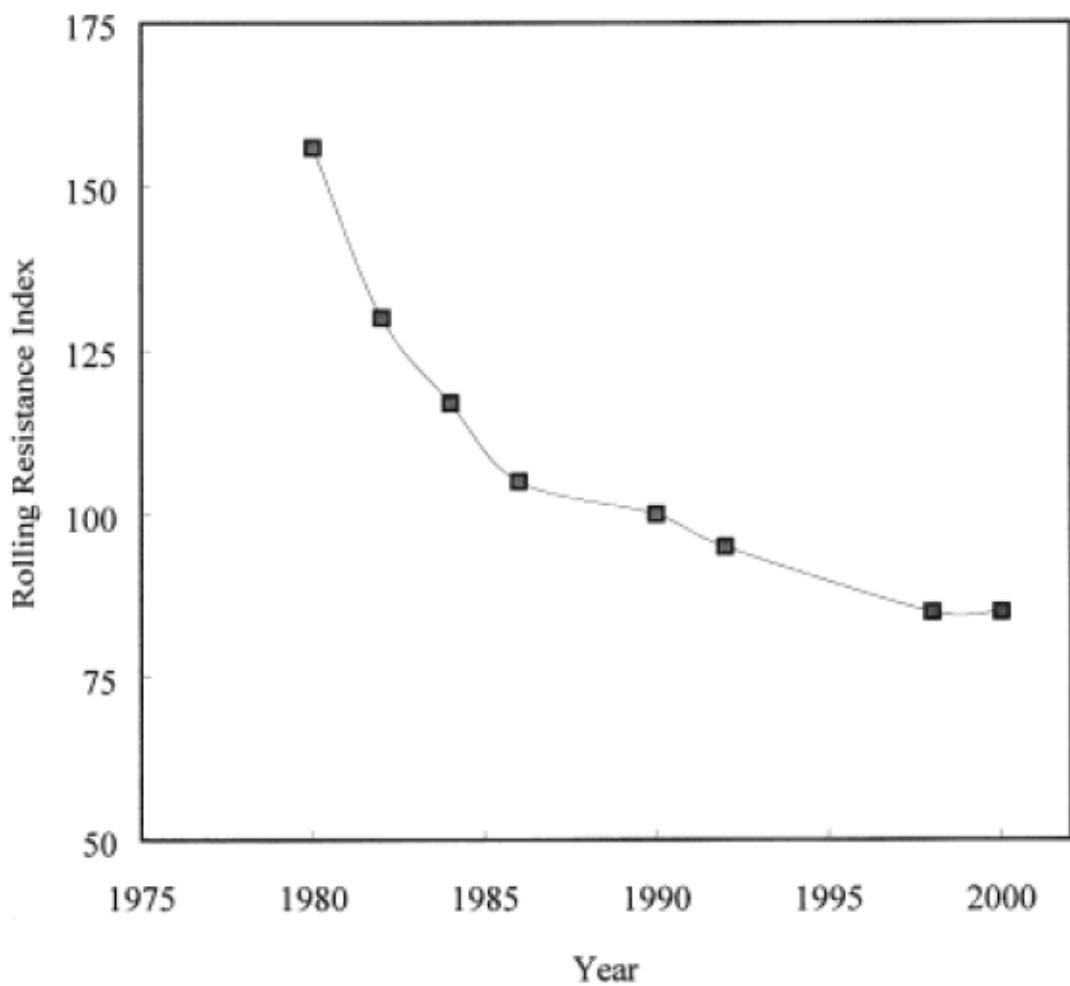


Figura 30 - Diminuição da resistência ao rolamento dos pneus Michelin

FONTE: Corporation (2001)

6.1 PROPRIEDADES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA AO ROLAMENTO

Segundo Oliveira (2005), os seguintes mecanismos são responsáveis pela resistência ao rolamento:

- Perda de energia devido à deflexão das laterais do pneu perto da área de contato com o solo;
- Perda de energia devido à deflexão dos elementos da banda de rodagem;
- Escorregamento do pneu nas direções longitudinais e laterais;
- Deflexão da superfície da pista;
- Arraste aerodinâmico dentro e fora do pneu;

Tais mecanismos agem de diferentes formas quando o pneu está submetido a diferentes situações, ou seja, diversos fatores afetam o valor de resistência ao rolamento de um pneu.

Nota-se que quanto maior a temperatura, menor é a resistência ao rolamento. Isso é verdade até que se atinja um ponto de equilíbrio, representado no gráfico abaixo. Este fenômeno é explicado pela redução da histerese dos compostos de borracha com o aumento da temperatura.

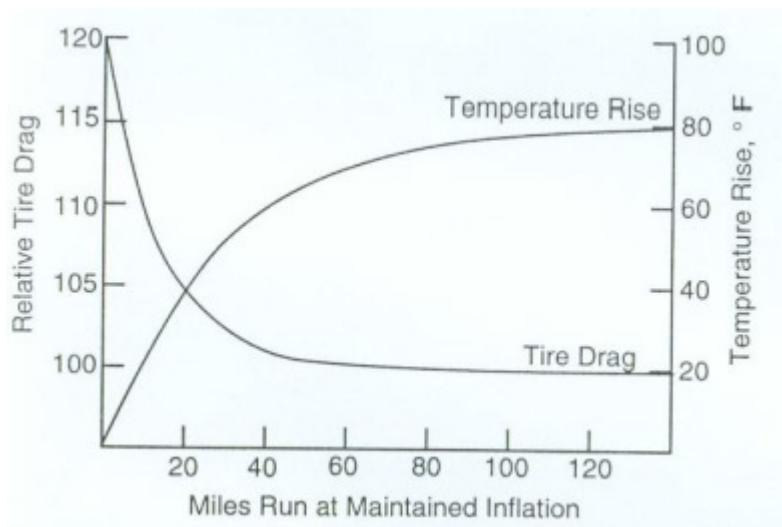


Figura 31 - Efeito da temperatura na resistência ao rolamento

FONTE: Gillespie (1992)

Já no gráfico abaixo, podemos notar que a redução de RR em função do aumento da pressão interna do pneu é válida para solos rígidos. Para solos deformáveis como a areia (sand), a pressão baixa aumenta a área de contato e impede que o pneu afunde na areia dificultando o movimento..

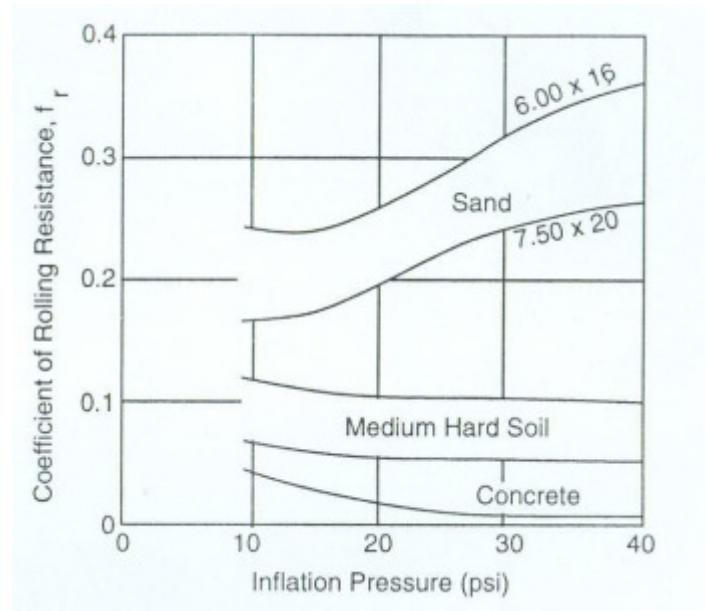


Figura 32 - Efeito da pressão na resistência ao rolamento

FONTE - Gillespie (1992)

A pressão interna do pneu é um dos itens que pode ser controlado pelo próprio condutor. Se um pneu subinflado tiver sua pressão interna aumentada em 0,3 bar já resulta em um decréscimo de 6% no valor de RR (valores válidos para solos rígidos) (POTTINGER, 2012).

Partindo-se deste fato, sabe-se que quanto maior a pressão interna do pneu, menor a resistência ao rolamento, porém deve-se sempre respeitar os valores especificados pelos fabricantes, uma vez que pressões internas acima das permitidas nos manuais do veículo ou do pneu podem acarretar em problemas de dirigibilidade e segurança, além de afetarem o conforto e o desgaste regular do pneu.

Analizando-se o efeito da velocidade sobre o pneu, nota-se que o coeficiente de RR é diretamente proporcional à velocidade do veículo. Para altas velocidades, o grande aumento do coeficiente pode ser explicado pela formação de ondas estacionárias conhecidas como “stand waves” que se formam na saída do contato do pneu. Estas grandes deformações são modos de vibrar do pneu que são excitados a partir de uma determinada velocidade, conhecida como velocidade crítica.

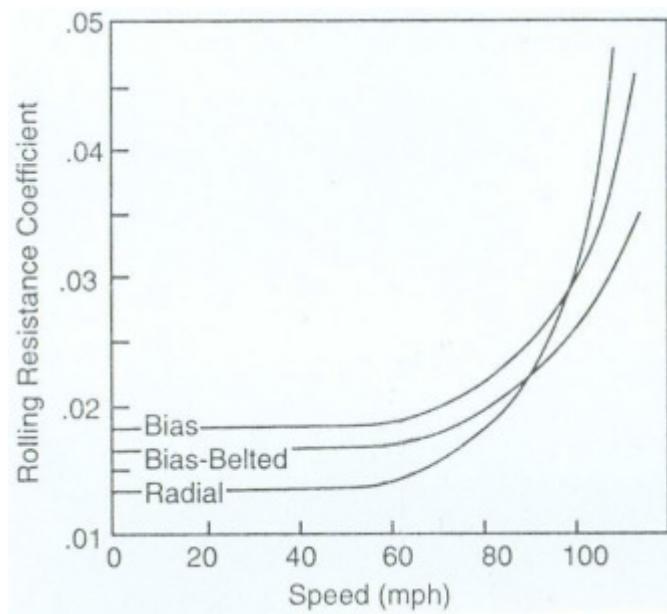


Figura 33 - Efeito da velocidade sobre a resistência ao roolamento

FONTE: Gillespie (1992)

7 COMO O PNEU AFETA A SEGURANÇA VEICULAR

Quando se altera os valores de resistência ao rolamento, deve-se ter o cuidado de não alterar outras propriedades do pneu de forma negativa, principalmente propriedades relacionadas à segurança, que servirão como um “limite” para as mudanças no projeto de um novo pneumático.

Um dos itens mais estudados do quesito segurança é a distância de parada, que pode ser definida como a distância percorrida entre o momento em que o motorista decide parar o veículo até o momento em que o mesmo para completamente, considerando o tempo de reação do motorista (t_r), o tempo de resposta inicial da frenagem (t_a) e o tempo ativo de frenagem (t_w).

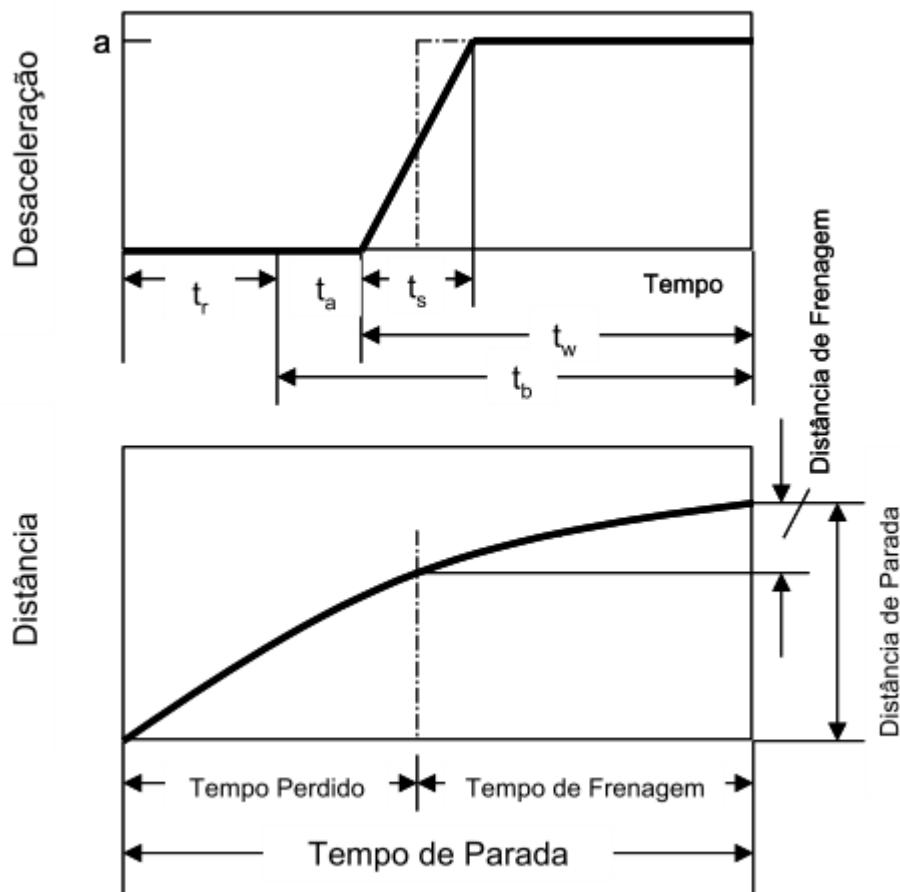


Figura 34 - Representação da distância de parada

FONTE: Oliveira (2005) apud Bosch (2000)

No momento da frenagem, as forças que atuam sobre o veículo são: força de atrito pneu-solo, arrasto aerodinâmico e resistência ao rolamento.

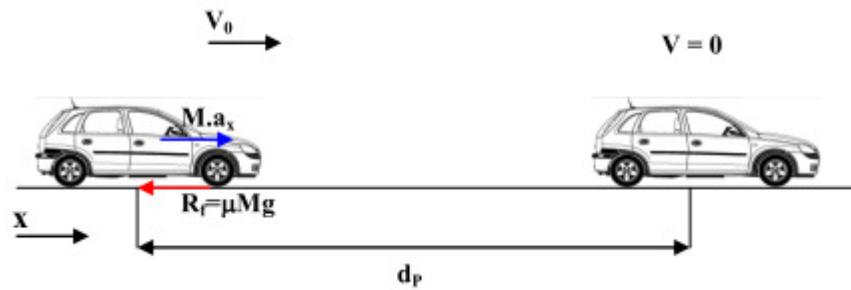


Figura 35 - Frenagem de um veículo

FONTE: Oliveira (2005)

Segundo Oliveira (2005) apud Rompe; Breuer (1999), uma diminuição de 0,5 segundo no tempo de frenagem consegue evitar 50% de todas as colisões traseiras e acidentes em cruzamentos, além de 30% de todos os acidentes de trâfego. O pneu também contribui neste resultado, pois otimizando suas propriedades de frenagem obtem-se um tempo de parada menor.

Estes dados nos fazem visualizar de forma mais clara a importância de otimizar valores de resistência ao rolamento, mantendo sempre a atenção em todas outras propriedades do pneu, pois de nada adianta a criação de um pneu ecológico que coloque em risco a vida dos ocupantes do veículo.

8 IMPACTO DOS PNEUS NO MEIO AMBIENTE

De acordo com Wills (2008), podemos citar como emissões automotivas que impactam o meio ambiente:

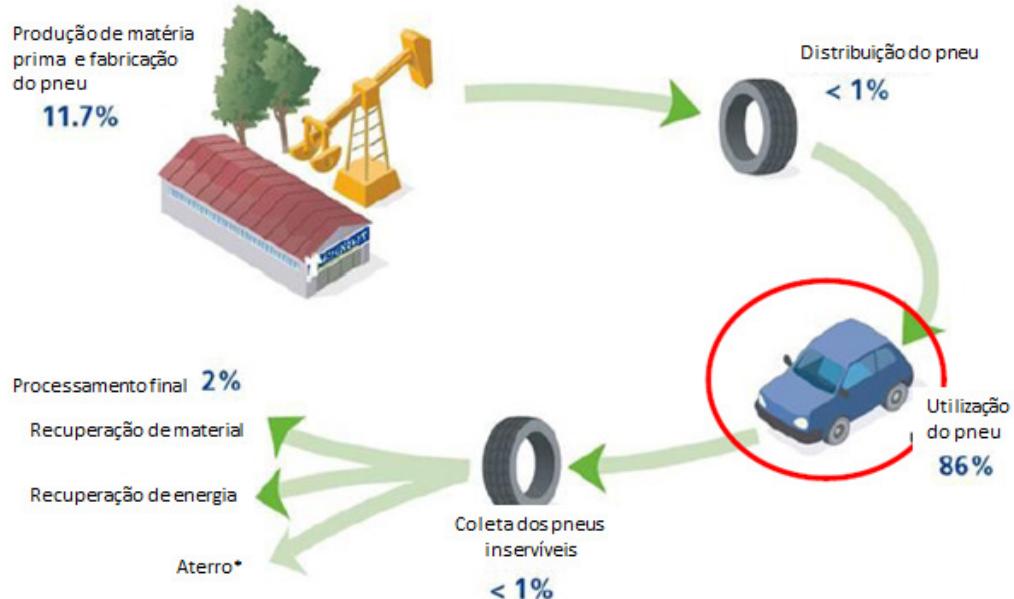
- Emissões de gases e partículas pelo escapamento do veículo;
- Emissões evaporativas de combustível (lançadas na atmosfera através de evaporação de hidrocarbonetos do combustível);
- Emissões de gases do cárter do motor (subprodutos da combustão que passam pelos anéis de segmento do motor e por vapores do óleo lubrificante);
- Emissões de partículas provenientes do desgaste de pneus, freios e embreagem;
- Re-suspensão de partículas de poeira do solo;
- Emissões evaporativas de combustível nas operações de transferência de combustível (associadas ao armazenamento e abastecimento de combustível).

Todas estas emissões são responsáveis por chuvas ácidas, nuvem de poluição urbana, gases do efeito estufa (GEE's), aquecimento global, entre outros problemas ambientais.

A parcela de emissões na atmosfera que ocorrem por conta dos pneus em um veículo se dá pelo fato de que o mesmo utiliza a queima de combustível no motor para vencer a resistência ao rolamento. A figura a seguir ilustra claramente que o grande impacto do pneu no meio ambiente é durante seu uso.

Ciclo de vida de um pneu europeu de veículo para passageiros

Contribuição dos diferentes estágios da vida do pneu no impacto global na saúde humana e no meio ambiente



* Proibido na Europa a partir de 2006. Já é proibido em 11 Estados americanos

Figura 36 - Contribuição dos diferentes estágios do pneu para seu impacto no meio ambiente

FONTE: Adaptada de Michelin (2009)

O pneu torna-se um produto inservível após o desgaste da banda de rodagem, pois o pneu gasto coloca em risco a segurança dos ocupantes do veículo em pisos molhados. Seu descarte gera transtornos e seu impacto ambiental pode ser bastante elevado.

Segundo Lagarinhos (2011) apud Kovac (1973), o desgaste do pneu é influenciado por diversos fatores, tais como: projeto do pneu, composto da banda de rodagem, tecido do reforço, condições do solo, motorista e severidade do serviço prestado. Esta afirmação é mais detalhada na esquematização abaixo.

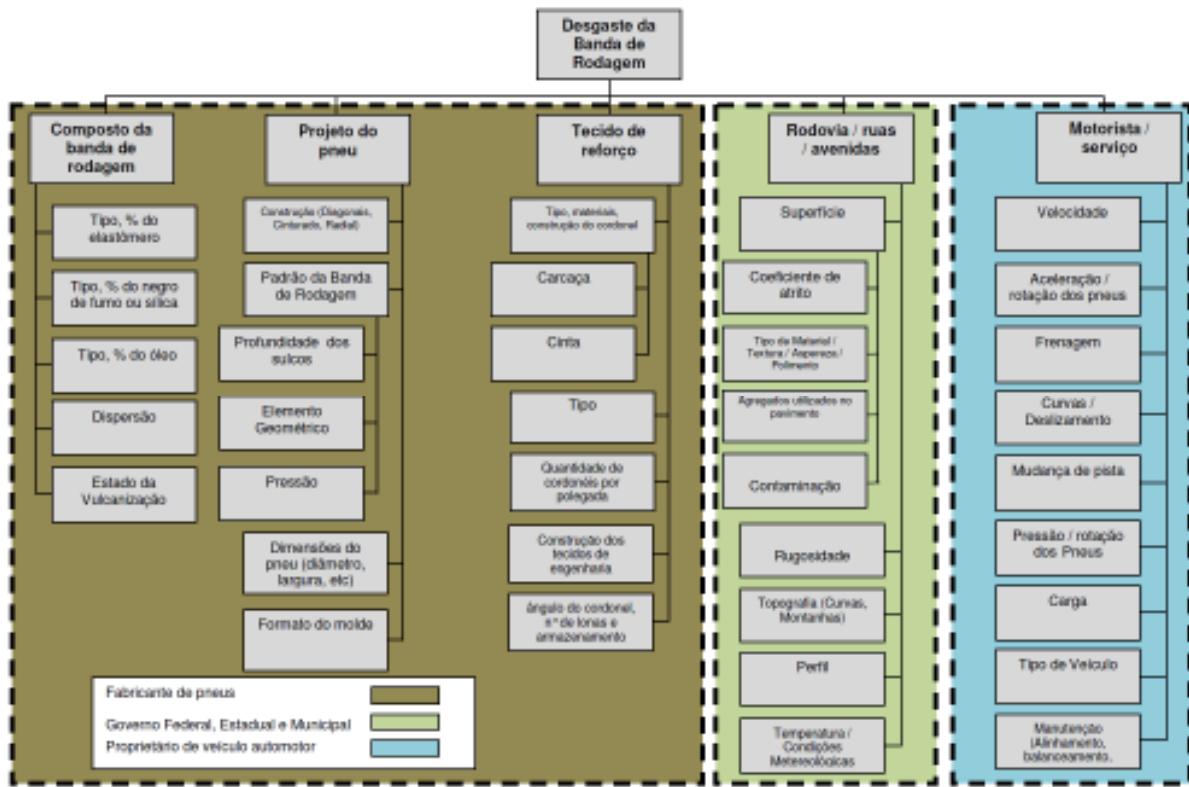


Figura 37 - Motivos para desgaste da banda de rodagem

FONTE: Lagarinhos (2011) apud Kovac (1973)

Os pneus inservíveis são classificados como Classe IIA segundo a NBR 10.004:2004, a classificação de resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Isso se dá ao fato de não serem inertes, por apresentarem teores de zinco e manganês no extrato solubilizado superiores aos padrões estabelecidos pela norma (LAGARINHOS, 2011 apud BERTOLLO et. Al., 2000).

8.1 LEGISLAÇÃO

A cada três tanques de combustível, um é consumido somente pelos pneus, pois este aquece e dissipa energia em forma de calor enquanto se movimenta (MICHELIN, 2012).

Por conta disso, os pneus verdes tornaram-se grandes aliados das montadoras, uma vez que podem auxiliá-las a atingir os níveis de emissão traçados pelo governo, principalmente com o novo regime automotivo conhecido como INOVAR-AUTO –

Programa de Incentivo à Inovação Tecnológica e Adensamento da Cadeia Produtiva de Veículos Automotores que vigora entre 2013 e 2017.

Para auxiliar na decisão dos consumidores, o site do IBAMA fornece aos usuários uma consulta dos níveis de emissões dos veículos novos brasileiros, partindo de um critério de notas, que pode atingir até 5 estrelas verdes, conferidas como explicado abaixo (IBAMA, 2013).

- Por baixa emissão de poluentes convencionais (CO, NMHC e NO_x):

Modelo atendendo entre 80% e o limite = 1 estrela

Modelo atendendo entre 60% e 80% do limite = 2 estrelas

Modelo atendendo abaixo dos 60% do limite = 3 estrelas

- Nível de emissão de CO₂, calculado a partir do valor de emissão homologado, descontando-se a parcela “etanol” (17,7% para E22 e 100% para E100) e, no caso dos veículos a álcool ou flex, fazendo-se uma média entre a emissão com E22 e com E100:

Abaixo de 80 g/km = 1 estrela

- Combustível utilizado:

Veículo movido a combustível renovável (flex ou dedicado), híbrido ou elétrico = 1 estrela

Em paralelo a isso, em 2008 foi criado o PBEV (Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular) coordenado pelo INMETRO em parceria com o CONPET, obedecendo aos requisitos da portaria 391 de 4 de Novembro de 2008. Este programa tem como objetivo incentivar a melhoria energética dos veículos e é responsável por fornecer a ENCE, Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

O PBEV é embasado pelas seguintes legislações:

NORMA	CONTEÚDO
LEI 10.295/2001	Institui a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia
LEIS 5.966/1973 e 9.333/1990	Disciplinam o Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (SINMETRO) e o Sistema Brasileiro de Avaliação da Conformidade (SBAC)
DEC. 18/7/1991	Institui o CONPET
PORTARIA INMETRO 391/2008	Institui o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular - PBEV
Portaria conjunta INMETRO E IBAMA 2/2010	Estabelece a unificação do PBEV com o Nota Verde

Tabela 10 - Legislação relacionada ao PBEV

FONTE: Instituto de Energia e Meio Ambiente (2011)

Em um sistema de etiquetagem utiliza-se o método de comparação que pode ser absoluta ou relativa. Na primeira compara-se o veículo com todos os outros enquanto que na comparação relativa compara-se o veículo apenas com os demais da sua categoria.

Abaixo, podemos ver como são feitos os programas de etiquetagem de veículos em diferentes países:

Países	Brasil	Canadá	Estados Unidos	Reino Unido	Nova Zelândia	Hong Kong	Japão
Tipo de Sistema	Comparativo	Não Comparativo	Comparativo	Comparativo	Comparativo	Não comparativo	Comparativo
Tipo de Comparação	Relativa	N/A	Absoluta e Relativa	Absoluta	Absoluta	N/A	Relativa a meta estabelecida
Critérios usados na definição das categorias	Tamanho ou uso do Veículo	N/A	Volume Interno do Veículo	N/A	N/A	N/A	Peso
Parâmetro usado para o ranqueamento	Economia de Consumo	N/A	Consumo Energético	Emissão Específica	Consumo Específico	N/A	Consumo Específico

Tabela 11 - Sistemas comparativos em diferentes países

FONTE: Instituto de Energia e Meio Ambiente (2011)

No Brasil, os veículos são divididos nas seguintes categorias para comparação:

Categoría	Definição	Critério
Veículo Sub-Compacto	Área de $6,5 +/- 0,10 \text{ m}^2$	Área
Veículo Compacto	Área de $6,5 +/- 0,10 \text{ m}^2$ até $7,0 +/- 0,10 \text{ m}^2$	Área
Veículo Médio	Área de $7,0 +/- 0,10 \text{ m}^2$ até $8,0 +/- 0,10 \text{ m}^2$	Área
Veículo Grande	Superior a $8,0 +/- 0,10 \text{ m}^2$	Área
Veículo Esportivo	Veículo com até 4 assentos, dotado de motor com potência mínima de $75 \text{ kW}/1000 \text{ Kg}$ e capacidade de acelerar em 3ª marcha de 50 a 61Km/h em no máximo 20m (norma ECE R-51).	Utilidade
Veículo Uso Fora-de-Estrada	O Veículo com características especiais para uso fora de estrada: veículo que possui tração nas quatro rodas e no mínimo quatro das seguintes características calculadas para o veículo com o peso em ordem de marcha, em superfície plana, com as rodas dianteiras paralelas à linha de centro longitudinal do veículo e os pneus inflados com a pressão recomendada pelo fabricante: . ângulo de ataque mínimo 25°; . ângulo de saída mínimo 20°; . ângulo de transposição de rampa mínimo 14°; . altura livre do solo, entre os eixos, mínimo de 200 mm; . altura livre do solo sob os eixos dianteiro e traseiro mínimo de 180 mm.	Utilidade
Veículo Leve Comercial, exceto os para uso fora-de-estrada	veículo automotor não derivado de veículo leve de passageiros com massa total máxima autorizada até 3856 kg e massa do veículo em ordem de marcha até 2720 kg, projetado para o transporte de carga, ou misto ou seus derivados, ou projetado para o transporte de mais que 12 passageiros, ou ainda com características especiais para uso fora de estrada.	Utilidade
Veículo de Carga derivado de Veículo de Passageiro	veículo automotor com massa total máxima autorizada até 3856 kg e massa do veículo em ordem de marcha até 2720 kg, projetado para o transporte de até 12 passageiros, ou seus derivados para o transporte de carga.	Utilidade

Tabela 12 - Definição dos critérios para diferentes categorias de veículos

FONTE: Instituto de Energia e Meio Ambiente (2011)

Como podemos verificar, há uma sobreposição entre os valores de área de diferentes categorias, permitindo assim que o mesmo veículo possa ser avaliado em duas categorias distintas. Por exemplo, podemos ter um veículo compacto competindo na categoria de veículos subcompactos, afetando assim o resultado obtido através da comparação.

Cada categoria tem a mediana dos valores de consumo energético calculada para cada ano, o que resulta em uma escala variável de acordo com os valores medidos nos veículos participantes naquele ano. Isso acarreta em variações no valor da mediana ao longo dos anos, o que impossibilita determinar se houve real melhoria na eficiência energética de um dado veículo ou não.

As empresas que decidem participar do PBEV devem obedecer os procedimentos, critérios e métodos estabelecidos pela norma ABNT NBR 704:2006. Além disso, o

laboratório que realizar os testes deve ser credenciado pelo INMETRO de modo a garantir a qualidade dos resultados (INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE, 2011).

Ciclo	Duração (s)	Velocidade Média (Km/h)	Velocidade Máxima (Km/h)	Aceleração Max. (Km/hs)
EPA Estrada	765	77,6	96,4	5,3
EPA Urbano	1872	31,4	91,2	5,3
CAFE		52,1	96,4	5,3
NEDC	1181	33,6	120,1	3,9
JC08	1204	24,5	81,6	6,1
NBR6601 (FTP 72)	1372	31,5	91,2	5,3
NBR7024 (HFET)	765	77,6	96,4	5,3

Tabela 13 - Critérios para o PBEV em diferentes países

FONTE: Instituto de Energia e Meio Ambiente (2011)

Cada país emprega um diferente critério a ser comparado, como conteúdo consumido por distância, emissão de gases por unidade de distância ou distância percorrida com uma unidade de combustível.

Como no Brasil temos veículos que utilizam combustíveis diferentes, optou-se por converter os valores de consumo de combustível verificados para álcool e gasolina em joule, unidade que mede energia produzida.

A partir de 2013 a etiqueta sofre modificações, mostrando que a conscientização ambiental vem tomando maiores dimensões no mercado brasileiro. A etiqueta passará a mostrar a autonomia em km/l do veículo na cidade e na estrada, além de graduação quanto à emissão de CO₂ de origem fóssil não renovável, mostrando a eficiência energética do veículo.

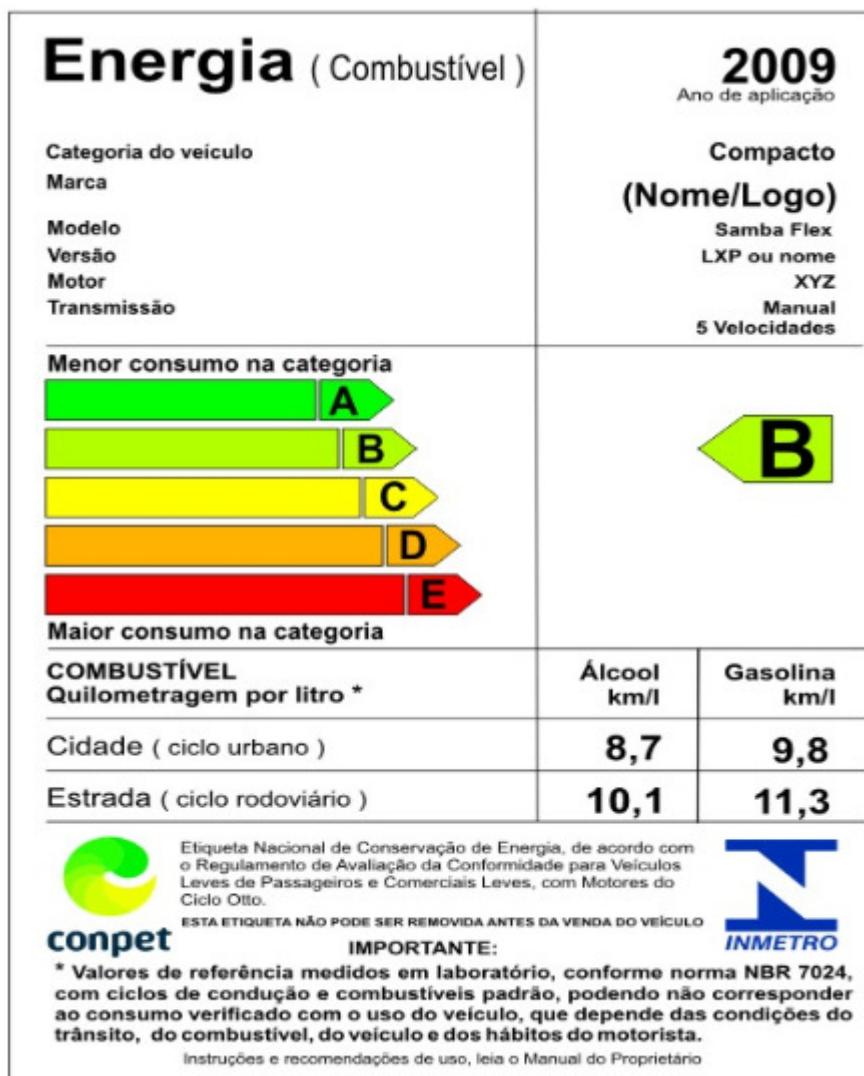


Figura 38 - Etiqueta Nacional de Conservação de Energia

FONTE: INMETRO (2013)

Este programa também serve como um dos requisitos do Inovar Auto. Para participarem do programa, as montadoras devem obedecer alguns requisitos de modo a ganhar isenção percentual no IPI, obtendo uma melhora de pelo menos 12% na eficiência energética média da sua frota de veículos.

Já as importadoras deverão se comprometer a importar veículos mais econômicos, realizar investimentos em pesquisas de engenharia e tecnologia industrial no Brasil e capacitar seus fornecedores, além de aderirem ao PBEV.

Enquanto o PBEV fixa-se na etiquetagem do veículo como um todo, existe também a etiquetagem dos pneumáticos.

8.2 PROGRAMA DE ETIQUETAGEM DE PNEUS

Preocupada com o equilíbrio entre segurança, conforto e redução no consumo de combustível, a União Européia decidiu criar a EU Tyre Labelling Regulation 1222/2009, que obriga os fabricantes, importadores e vendedores de pneus além de montadoras de veículos a informar o consumidor os resultados obtidos em testes relacionados a resistência ao rolamento, ao wet grip (frenagem no molhado) e ao nível de ruído externo ocasionado pelo pneu.

O objetivo deste programa de etiquetagem é facilitar a escolha do consumidor final, permitindo que diferentes produtos possam ser mais facilmente comparados e que sua compra seja feita de forma mais embasada.

Este programa é voltado para pneus de carros de passeio (C1), veículos comerciais leves (C2) e veículos comerciais pesados (C3) e começou a ser oficialmente válido a partir de 1 de Novembro de 2012.

Fabricantes, importadores, vendedores e montadores de veículos têm diferentes papéis na hora de informar o consumidor final sobre os dados de cada pneu, como mostrado abaixo:

Fabricantes e importadores de pneus – para pneus classe C1, C2 e C3 (categorizados acima) as informações devem ser dispostas em literatura promocional, como panfletos, livretos, entre outros, incluindo obrigatoriamente o site do fabricante. Para pneus classe C1 e C2, há também a possibilidade de se colar um adesivo no pneu ou afixar uma etiqueta para cada conjunto de pneus que chega ao consumidor ou ao revendedor.

Vendedores – devem se assegurar de que o pneu visível ao consumidor no momento da compra tenha um adesivo ou etiqueta com as informações e, em casos que o pneu não esteja visível ao consumidor, deve informá-lo sobre os resultados obtidos no processo de etiquetagem. A conta também deve conter ou vir acompanhada da informação.

Montadoras e distribuidoras de veículos – para casos em que o consumidor final possa escolher algum pneu diferente do padrão do veículo, deve ser lhe apresentado os dados obtidos nos testes realizados para o “Tire Labelling”.

As informações devem ser fornecidas ao consumidor final por meio de graduação de acordo com os resultados dos testes obtidos, como apresentado abaixo:

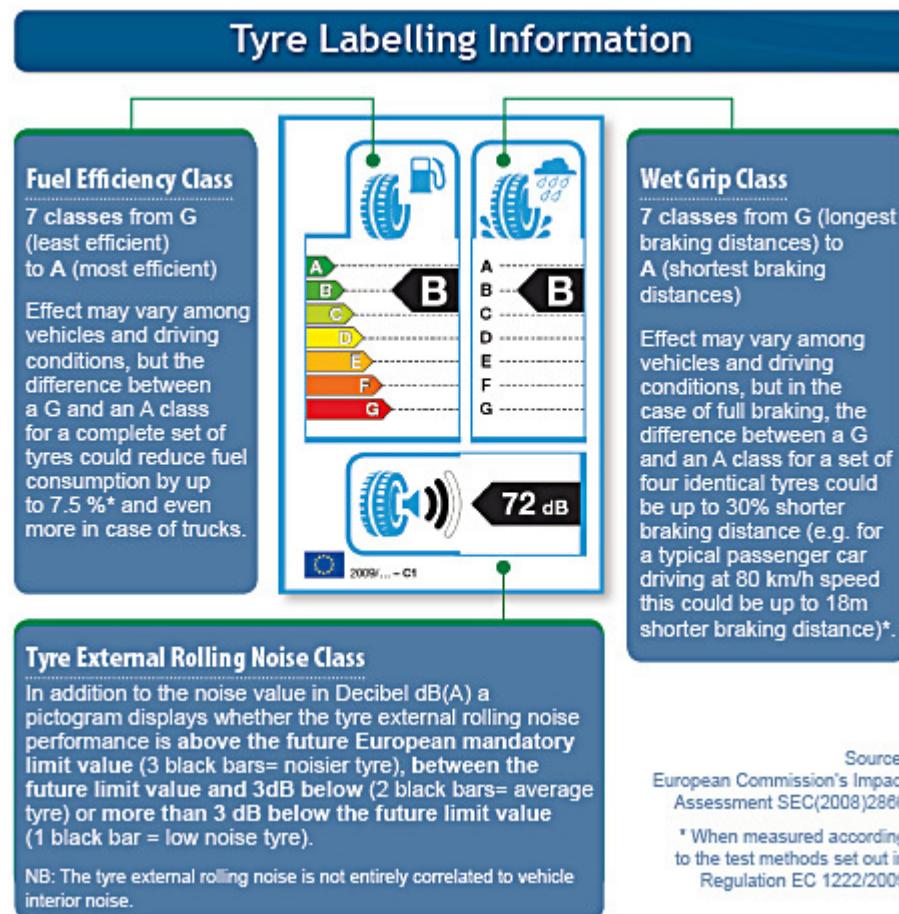


Figura 39 - Explicação das diferentes porções da etiqueta de pneus

FONTE: European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (2013)

Esta etiqueta deve medir no mínimo 7,5cm de largura por 11 cm de altura, seguindo o padrão estabelecido de layout e cores, como apresentado anteriormente. A área total da etiqueta deve ser de, no máximo, 250cm², incluindo informações adicionais do produto, como marca, dimensões, carga máxima suportada, entre outros (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS' ASSOCIATION, 2012).

Os testes realizados com os pneus são determinados pela EU Commission, atestando os métodos que devem ser utilizados de modo a garantir a legalidade e a coerência dos resultados.

Test method concept	Type Approval 661/2009			Labelling 1222/2009		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Rolling Resistance	Indoor Method (machine test)	UNECE R117.02 (ISO 28580:2009 w/o §10)			UNECE R117.02 + EC Alignment procedure	
Wet Grip	Outdoor method ; the wet braking is measured vs a reference tyre by vehicle or trailer	UNECE R117.02	No Requirement	EU Reg.228/2011	ISO15222:2011 EU Reg 1235/2011	
Noise	Outdoor pass-by	UNECE R117.02				

Tabela 14 - Métodos utilizados para realização dos testes para EU Labelling

FONTE: European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (2012)

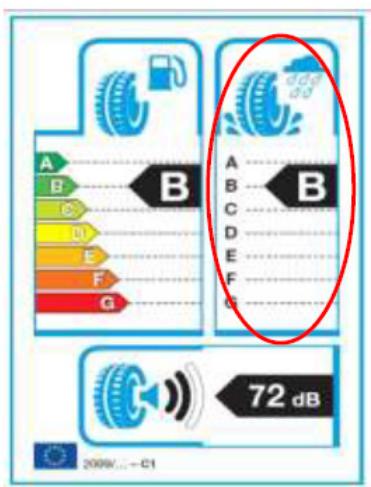
Para avaliar-se a porção da etiqueta referente ao consumo de combustível, analisa-se a resistência ao rolamento e os resultados numéricos são transcritos em graus (de A a G) utilizando-se como parâmetro a tabela abaixo, onde RRC é o coeficiente de resistência ao rolamento:

Passenger car C1 Tyres		Light Truck C2 Tyres		Truck & Bus C3 Tyres	
RRC in kg/t	Energy Efficiency class	RRC in kg/t	Energy Efficiency class	RRC in kg/t	Energy Efficiency class
$RRC \leq 6,5$	A	$RRC \leq 5,5$	A	$RRC \leq 4,0$	A
$6,6 \leq RRC \leq 7,7$	B	$5,6 \leq RRC \leq 6,7$	B	$4,1 \leq RRC \leq 5,0$	B
$7,8 \leq RRC \leq 9,0$	C	$6,8 \leq RRC \leq 8,0$	C	$5,1 \leq RRC \leq 6,0$	C
Empty	D	Empty	D	$6,1 \leq RRC \leq 7,0$	D
$9,1 \leq RRC \leq 10,5$	E	$8,1 \leq RRC \leq 9,2$	E	$7,1 \leq RRC \leq 8,0$	E
$10,6 \leq RRC \leq 12,0$	F	$9,3 \leq RRC \leq 10,5$	F	$RRC \geq 8,1$	F
$RRC \geq 12,1$	G	$RRC \geq 10,6$	G	Empty	G

Figura 40 - Representação do consumo de combustível na etiqueta de pneus

FONTE: European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (2012)

Para o wet grip, os valores padrões são apresentados abaixo:

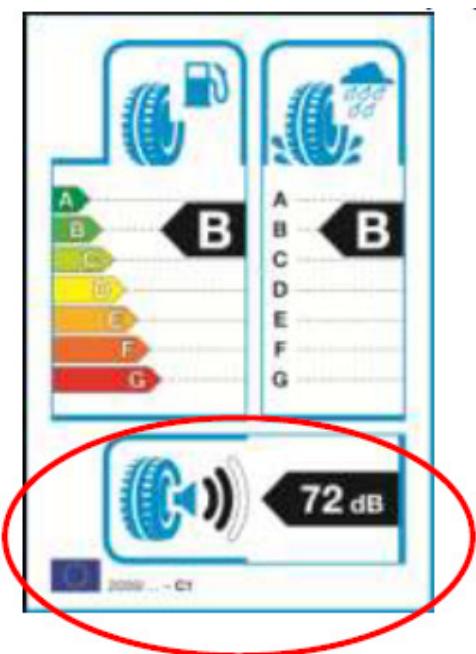


Passenger car C1 tyres		Light Truck C2 tyres		Truck & Bus C3 tyres	
<i>G</i>	Wet grip class	<i>G</i>	Wet grip class	<i>G</i>	Wet grip class
$1,55 \leq G$	A	$1,40 \leq G$	A	$1,25 \leq G$	A
$1,40 \leq G \leq 1,54$	B	$1,25 \leq G \leq 1,39$	B	$1,10 \leq G \leq 1,24$	B
$1,25 \leq G \leq 1,39$	C	$1,10 \leq G \leq 1,24$	C	$0,95 \leq G \leq 1,09$	C
Empty	D	Empty	D	$0,80 \leq G \leq 0,94$	D
$1,10 \leq G \leq 1,24$	E	$0,95 \leq G \leq 1,09$	E	$0,65 \leq G \leq 0,79$	E
$G \leq 1,09$	F	$G \leq 0,94$	F	$G \leq 0,64$	F
Empty	G	Empty	G	Empty	G

Figura 41 - Representação do wet grip na etiqueta de pneus

FONTE: European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (2012)

E por último, os parâmetros utilizados para a categorização de ruídos externos provocados pelo pneu são os seguintes:



= when tyre is 3dB(A) less than the future limits of 661/2009



= meets 661/2009 limits that will apply in the future



= current 2001/43 limits

Figura 42 - Representação de ruído na etiqueta de pneus

FONTE: European Tyre and Rubber Manufacturers' Association

Este programa de etiquetagem dos pneus consegue resumir de forma sucinta a grande preocupação em atender requisitos de consumo de combustível, mantendo conforto e segurança.

“Wet grip”, por exemplo, é relacionado diretamente com segurança e foi o parâmetro escolhido como o que melhor representa situações de aderência reduzida, pois corresponde à capacidade de o veículo frear em um pavimento molhado.

O programa de etiquetagem de pneus é obrigatório na Europa desde novembro de 2012, e será obrigatório no Brasil em 2016, segundo determinação do INMETRO.

O programa de etiquetagem de pneus no Brasil seguirá o mesmo conceito que o programa de etiquetagem da União Européia, estabelecendo os mesmos três requisitos: classificação quanto à resistência ao rolamento (graduação de A a G), classificação de frenagem em piso molhado (wet grip, de A a G) e ruído de rolamento (informação fornecida em decibéis).

O governo brasileiro optou por seguir o modelo de etiqueta da União Européia, porém diferentes países decidiram seguir diferentes diretrizes para fazer seus programas de etiquetagem. Abaixo temos o exemplo das etiquetas utilizadas nos EUA e no Japão.

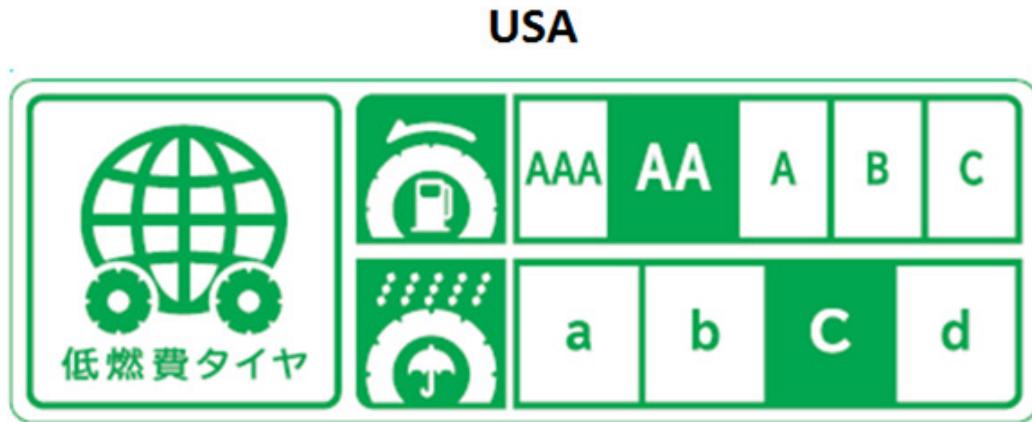
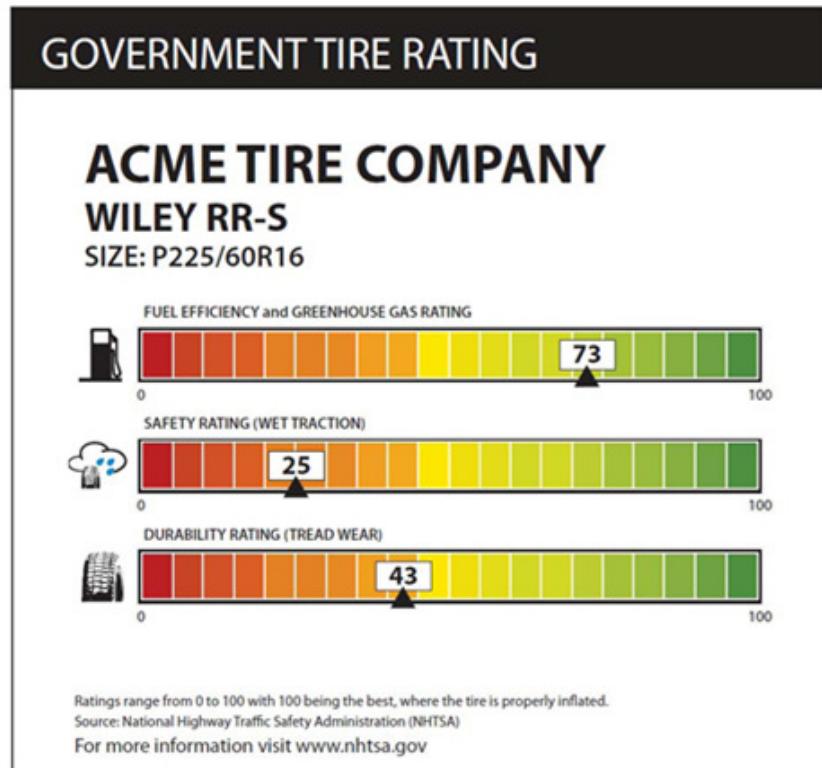


Figura 43 - Etiquetas de pneus empregadas nos EUA e no Japão

FONTE: Pottinger (2012)

A portaria 544 baixada pelo INMETRO em 25 de Outubro de 2012 decreta que o programa de etiquetagem seja válido para pneus novos utilizados em motocicletas, motonetas, ciclomotores, automóveis de passageiros, inclusive os de uso misto e rebocados, veículos comerciais, comerciais leves e rebocados. A lei exclui pneus de construção diagonal, pneus destinados ao uso exclusivamente temporário, de veículos de coleção, de veículos não rodoviários e de fora de estrada, pneus reformados, de

bicicletas, pneus para uso exclusivo em veículos agrícolas, pneus destinados a veículos de competições, militares, industriais e a empilhadeiras.

O INMETRO explica que é possível quantificar os benefícios do programa de etiquetagem, que dependem do tipo de via e do combustível utilizado pelo veículo.

Por exemplo, segundo o INMETRO um veículo que utiliza exclusivamente gasolina e trafega em estradas pode obter uma economia de R\$35,90 por ano. Para o mercado como um todo, o Instituto estima que haja uma economia entre R\$3,66 e R\$4,81 bilhões, além de evitar uma emissão de CO₂ entre 778 mil e um milhão de toneladas (CONPET, 2013).

9 DESTINAÇÃO FINAL DE UM PNEU

Quando um pneu atinge o limite de sua vida útil, um novo problema ambiental surge: seu difícil descarte.

Ao redor do mundo a problemática do descarte de pneus é abordada através de diferentes métodos aceitos legalmente para a disposição final de pneus inservíveis, além de diferentes porcentagens de real cumprimento da lei, como mostrado na tabela abaixo elaborada por Lagarinhos (2011):

Destinação Final	Brasil	Estados Unidos	Comunidade Européia	Japão
Utilização de pneus usados como combustíveis alternativos	Parcialmente regulamentado	Regulamentada	Regulamentada	Regulamentada
Aterros	Não aceito desde 1999	Aceito em alguns estados	Pneus inteiros até 2003 e triturados até 2006.	Não aceito
Reutilização	Não aceito	Aceito	Aceito	Aceito
Exportação de pneus usados	Não aceito	Aceito	Aceito	Aceito
Reforma (recauchutagem, recapagem e remoldagem)	Não regulamentada	Não regulamentada	Regulamentada	Regulamentada
Taxas e incentivos	Não existe	Existente em alguns estados	Existente em alguns países	Existente
Base de cálculo para a reciclagem de pneus	Disponibilidade efetiva no mercado de reposição	Disponibilidade efetiva no mercado de reposição	Disponibilidade efetiva no mercado de reposição	Disponibilidade efetiva no mercado de reposição
% do cumprimento das metas de reciclagem de pneus	47,3% (fabricantes de pneus) / 12,92% (importadores de pneus usados) / 97,04 % importação de pneus novos (em peso) (2002 ao 1º quadrimestre de 2011) (*)	89,3% (2007)	95% (2008)	89% (2009)
Sistema implementado	Responsabilidade do fabricante e importador	Mercado livre	Responsabilidade do fabricante e importador (48,3%) / mercado livre / sistema de taxas	Mercado livre

(*) Dados do 1º quadrimestre de 2011, divulgados pela associação dos fabricantes.

Tabela 15 - Métodos para destinação final de pneus

FONTE: Lagarinhos (2011) apud Temório (2009) e Reciclanip (2011)

No Brasil, a destinação final de pneus passou a ser abordada quando da aprovação da Resolução Conama 258/99, que obriga fabricantes e importadores de pneus a darem um destino final adequado aos pneus inservíveis.

Antes da aprovação desta lei, somente 10% dos pneus inservíveis no país eram reciclados e havia quatro empresas cadastradas para recolher e destinar estes pneus. Após a aprovação da lei o número de empresas subiu para 65 e em 2010 já eram 124 empresas, além de outras que atuam no mercado informal (LAGARINHOS, 2011).

A Resolução Conama 258/99 sofreu uma revisão em 2006 pelo IBAMA e, em 2009 foi aprovada a Resolução Conama 416/09 que obriga os fabricantes e importadores a dar destinação a 100% dos pneus que entram no mercado de reposição, baseando-se na equação apresentada por Lagarinhos (2011):

$$MR = [(P+I) - (E+EO)] \times 0,7$$

Onde:

MR - Mercado de reposição de pneus ou meta de reciclagem

P – número de pneus novos produzidos

I – número de pneus novos importados

E – número de pneus novos exportados

EO – número de pneus novos equipados em veículos novos

O fator 0,7 corrige o resultado final, levando em conta o fator de desgaste de 30% sobre o peso do pneu novo.

Entre 2002 e 2010 foram reciclados 12 milhões de pneus no Brasil (LAGARINHOS, 2009 apud RECICLANIP, 2007), mas foi registrado que de 2002 ao primeiro quadrimestre de 2011, 425 milhões de pneus não foram descartados corretamente, o que corresponde a 2,1 milhões de toneladas do produto (AGÊNCIA USP, 2013).

Segundo Doria (2013), houve uma tentativa do governo em intensificar o controle do descarte de pneus no Brasil:

“A recente Resolução Conama nº 416/09 visa buscar maior restrição e controle da disposição final de pneus usados e inservíveis. Mantendo a idéia de atribuir aos fabricantes e importadores de pneus novos a destinação final dos pneus inservíveis, conforme

anteriormente regrado pela Resolução Conama nº 268/99, a nova resolução estabelece a necessidade de inscrição no Cadastro Técnico Federal (CTF), dos responsáveis pela destinação final, implicando o recolhimento da Taxa de Controle e Fiscalização Ambiental (TCFA).”

Esta resolução também é responsável por obrigar fabricantes e importadores de pneus a elaborar um plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação de pneus inservíveis, explicitando estratégias, indicação e descrição das unidades de armazenagem, métodos de destinação final e licenças ambientais envolvidas.

As metas de reciclagem de pneus de fabricantes e importadores foram aumentando na medida em que a lei foi tornando-se mais severa, como se pode ver na tabela abaixo:

Ano	Pneus produzidos no país ou importados novos	Fator para reciclagem
2002	4 pneus produzidos = 1 pneu inservível reciclado	0,25
2003	4 pneus produzidos = 2 pneus inservíveis reciclados	0,5
2004	4 pneus produzidos = 4 pneus inservíveis reciclados	1
2005	4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados	1,25
2006	4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados	1,25
2007	4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados	1,25
2008	4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados	1,25
2009	4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados, até o 3º trimestre de 2009. Com a aprovação da Resolução nº 416/09, para cada pneu colocado no mercado de reposição, 1 pneu inservível deve ser reciclado.	1,25 (até o 3º trimestre). A partir do 3º trimestre, 1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado
2010 (*)	1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado	1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado
2011 (**)	1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado	1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado

(*) Reportagem trimestral e (**) Reportagem anual para o Ibama.

Tabela 16 - Metas de reciclagem de pneus para fabricantes e importadores

FONTE: Lagarinhos (2011) apud Brasil (2008) e Brasil (2009)

A preocupação com o descarte apropriado dos pneus dá-se pelo fato de que seu impacto ambiental ocorre de diversas formas, poluindo diferentes fontes. O descarte inadequado pode causar desde proliferação de vetores (exemplo do *Aedes aegypti*) e até liberação de substâncias tóxicas no ar em caso de queima accidental ou provocada (LAGARINHOS, 2011). Um pneu queima com bastante facilidade, produzindo uma fumaça negra e podendo causar até mesmo contaminação da água, pois esta queima libera um material oleoso, derivado de petróleo.

Abaixo se pode ver os constituintes perigosos que compõem os pneus, tornando-se um risco à saúde humana.

Compostos de cobre	Aprox. 0,2%
Compostos de zinco	Aprox. 1%
Cádmio	Max. 0,001%
Chumbo e seus compostos	0,005%
Soluções ácidas ou ácidos na forma sólida	Aprox. 0,3%
Compostos organoclorados	Conteúdo de halogênios max. 0,1%

Referência: United Nations Environment Programme (1999)

Tabela 17 - Constituintes perigosos na composição de pneus

FONTE: Lagarinhos (2011) apud United Nations Environment Programme (1999)

Já em aterros, os pneus não sofrem biodegradação e apresentam baixa compressibilidade, tornando-se um resíduo volumoso e reduzindo a vida útil do aterro (LAGARINHOS, 2011).

A fim de reduzir os impactos ambientais dos pneus, tanto durante seu uso quanto em seu descarte, as empresas têm buscado matérias primas alternativas, que melhoram o desempenho do veículo e que sejam mais facilmente degradáveis pelo meio ambiente.

O pneu verde, ou pneu de baixa resistência ao rolamento, é o produto que busca reduzir este impacto e sabe-se que, como dito por Consentino (2012, apud Continental, 2011), “se toda a frota do Brasil, de aproximadamente 30 milhões de veículos, usasse pneus de baixa resistência, seriam economizados cerca de 600 milhões de litros de combustível por ano”.

Em paralelo, é importante destacar que a qualidade do pneumático deve ser mantida, garantindo a segurança do veículo. O cliente busca um produto que polua menos, mantenha um preço baixo e competitivo, além de manter a segurança necessária, o que será o foco principal deste projeto.

10 O PROJETO PNEU VERDE

Sabe-se que um dos meios para reduzir o impacto ambiental de um veículo é reduzir suas emissões de poluentes na atmosfera, ou seja, reduzir seu consumo de combustível. Uma das formas mais eficazes de se conseguir isso é diminuindo a resistência ao rolamento, força que está ligada diretamente ao tipo de pneumático que o veículo utiliza.

Três fatores devem ser abordados para obter a redução da resistência ao rolamento: diminuição do peso do pneu, mudar sua estrutura e mudar seus compostos. O desafio das empresas é equilibrar as três frentes, pois de nada adianta criar um pneu extremamente leve, porém de curta durabilidade.

O conceito pneu verde surgiu em 1983, pela fabricante Pirelli e vem evoluindo desde então, lançando mão de novas tecnologias e novas matérias primas.

O gráfico abaixo demonstra o desafio da indústria de pneumáticos, uma vez que, graças à histerese, quando se melhora a resistência ao rolamento, reduz-se a capacidade de frenagem do veículo. O papel das novas tecnologias é melhorar a performance do pneu como um todo.

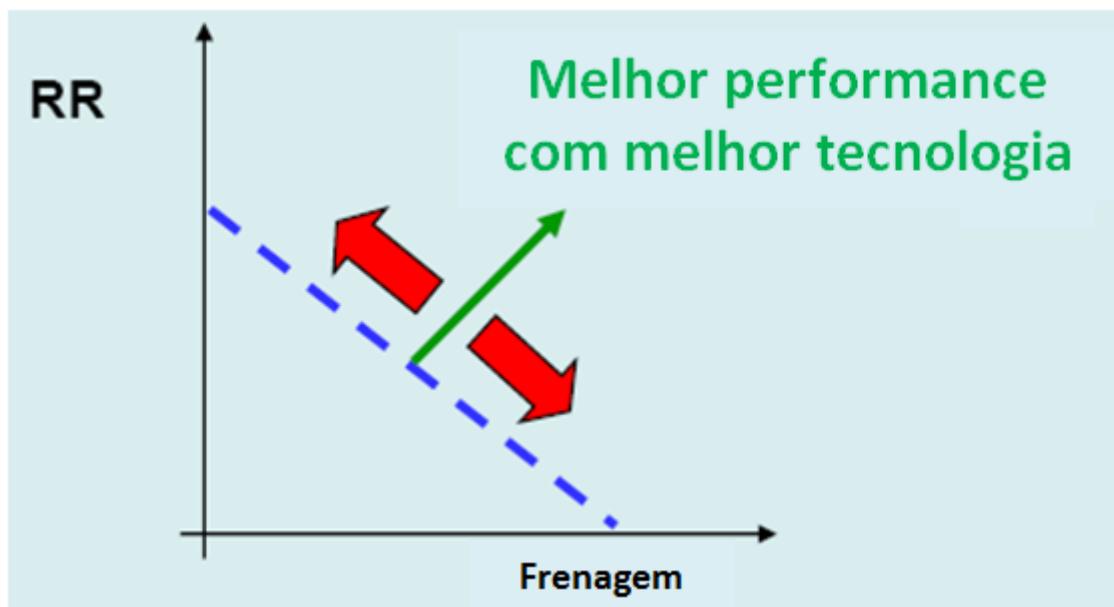


Figura 44 - Gráfico que mostra relação entre resistência ao rolamento e frenagem do veículo

FONTE: Adaptada de Michelin (2009)

A substância responsável por diminuir a histerese e a resistência ao rolamento (RR) e fazer com que melhores desempenhos sejam alcançados é a sílica.

Com sua adição, foi possível desenvolver compostos de borracha que apresentem baixa histerese a baixas frequências (porção relacionada à resistência ao rolamento) e alta histerese a altas frequências (relacionada à frenagem), como mostra o gráfico abaixo.

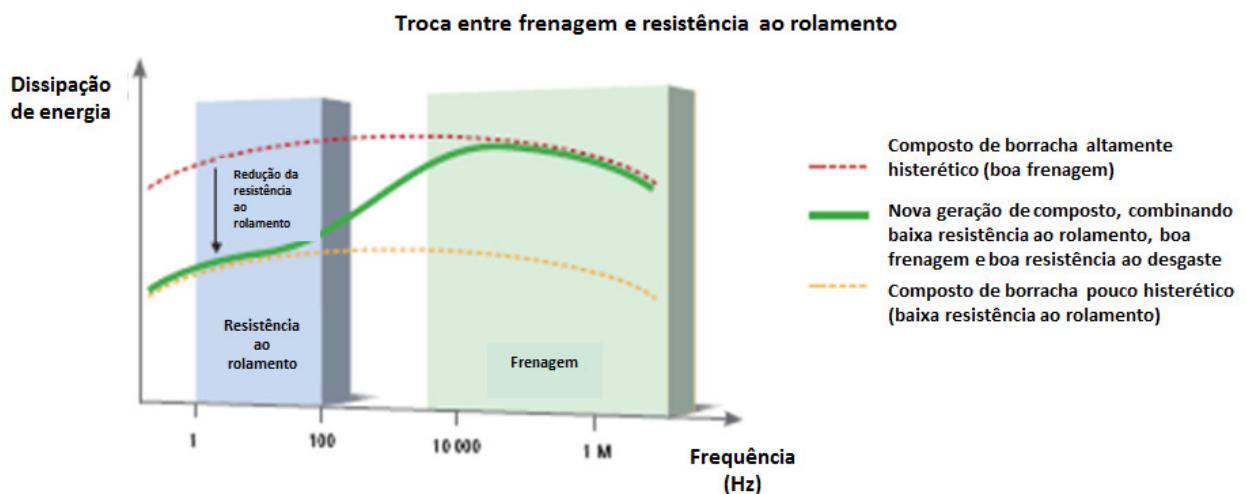


Figura 45 - Diferença entre composto altamente histerético, pouco histerético e composto com sílica em sua formulação

FONTE: Adaptada de Michelin (2009)

Em conjunto com a sílica, é importante utilizar uma ou mais borrachas que tenham o ponto de transição vítreo em temperaturas adequadas para que a histerese do composto seja baixa a temperaturas normais de operação.

Com esta mudança na composição dos pneus, foi possível reduzir a resistência ao rolamento em 20 a 30%, enquanto outras características eram mantidas ou até mesmo melhoradas (MICHELIN, 2009).

Para continuar obtendo reduções nos valores de resistência ao rolamento e assim criar pneus cada vez mais ecológicos mantendo a segurança, as indústrias de pneumáticos devem seguir três preceitos (MICHELIN, 2009):

- Melhorar a arquitetura do pneu, reduzindo esforços, forças e distorções desnecessárias, por meio dos quais existe a perda energética;

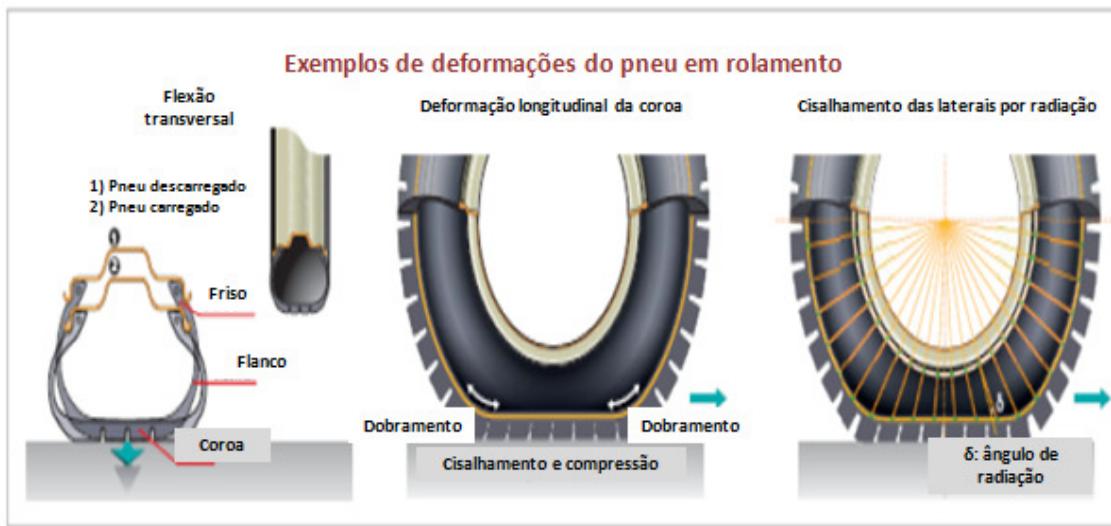


Figura 46 - Exemplos de deformações em pneumáticos

FONTE: Adaptada de Michelin (2009)

- Reduzir as perdas por histerese em frequências que envolvam a resistência ao rolamento (resultado atingido utilizando-se a sílica e elementos químicos de ligação, formando um composto que, ao contrário do composto de borracha com negro de fumo, não tenha cadeias poliméricas longas. Isso acarreta em um material bastante histerético nas altas frequências, melhorando o atrito, e pouco histerético nas frequências baixas, melhorando o RR);
- Reduzir a massa do composto de borracha utilizado no pneumático, seja com novo design ou com materiais inovadores, isto é, projetar pneus mais leves, menos espessos.

9.1 SÍLICA

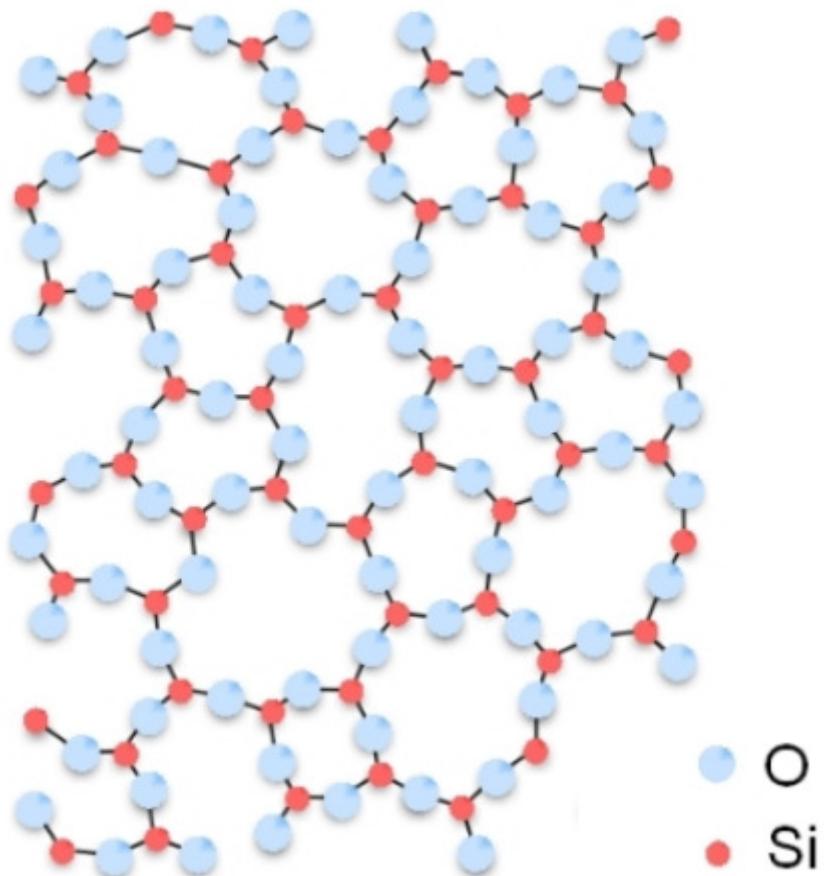


Figura 47 - Estrutura da sílica

FONTE: Estrutura (2012)

A sílica, ou dióxido de silício, está presente na composição dos pneus há 30 anos. Seus benefícios foram descobertos acidentalmente; ela estava sendo utilizada para melhorar o desempenho esportivo e a dirigibilidade quando se notou que ela produzia uma redução na resistência ao rolamento por conta de sua menor dissipação de energia (CONTINENTAL a, 2013).

A sílica é empregada juntamente com agentes da família dos silanos, cujo papel é criar reações entre as moléculas de sílica e as moléculas poliméricas (enquanto uma ponta do agente reage espontaneamente com a sílica, a outra ponta sulfúrica reage com uma parte da cadeia polimérica).

Este processo faz com que a sílica seja bem distribuída no composto, reduzindo a perda de energia pela deformação da borracha e reduzindo, consequentemente, a resistência ao rolamento (MICHELIN, 2009).

Como o custo da sílica ainda é bastante elevado, a solução que as empresas encontraram é tirar o máximo de proveito do material, buscando novas formulações químicas, aliando-se a mudanças na aparência do pneu, na deflexão da carcaça e na fricção das cintas internas (GRANDE, 2013).

10.2 SÍLICA DE ALTO DESEMPENHO

Nestes 30 anos a sílica foi sendo aprimorada para obter resultados ainda melhores nos veículos. Enquanto a sílica reforça a estrutura do pneu, a sílica de alto desempenho oferece ainda mais vantagens, gerando menos atrito com o chão, exigindo menos energia para que o veículo se movimente.

Como exemplo, podemos analisar a Zeosil Premium, a segunda geração da sílica de alto desempenho da Rhodia. Sua sílica de alto desempenho de primeira geração diminuía a resistência ao rolamento em 25%, atingindo uma redução no consumo de combustível de 5%. Já a Zeosil apresenta uma redução adicional de 10% na resistência ao rolamento, oferecendo mais segurança e melhor aderência em pistas molhadas. Entre outros fatores, o grande diferencial desta sílica de segunda geração é sua maior dispersabilidade, o que garante uma melhor estabilidade na formulação do pneu (SANCHES, 2012).

O grande desafio da Rhodia e das outras empresas trabalhando no aprimoramento da sílica é baratear seu custo, tornando-a mais acessível ao consumidor. A sílica é empregada na formulação de 90% dos pneus de automóveis e motos no Brasil, mas apenas 10% dos pneus apresentam a sílica de alto desempenho, sendo que parte desse volume é destinada à exportação (SANCHES, 2012).

10.3 BIOTRED

O BioTRED criado pela Goodyear em conjunto com a companhia italiana Novamont é um composto biopolimérico que utiliza um derivado do amido de milho como preenchimento de polímeros na composição do pneu. Este preenchimento é uma partícula sólida que serve para reforçar o composto, otimizando algumas de suas propriedades.

Especificamente no caso de pneus, ele é empregado para substituir a sílica e o negro de fumo.

10.4 BIO-ISOPRENO

A Goodyear, em parceria com a empresa norte-americana de biotecnologia Genencor, lançaram o bio-isopreno, composto criado a partir de micróbios que consomem açúcar.

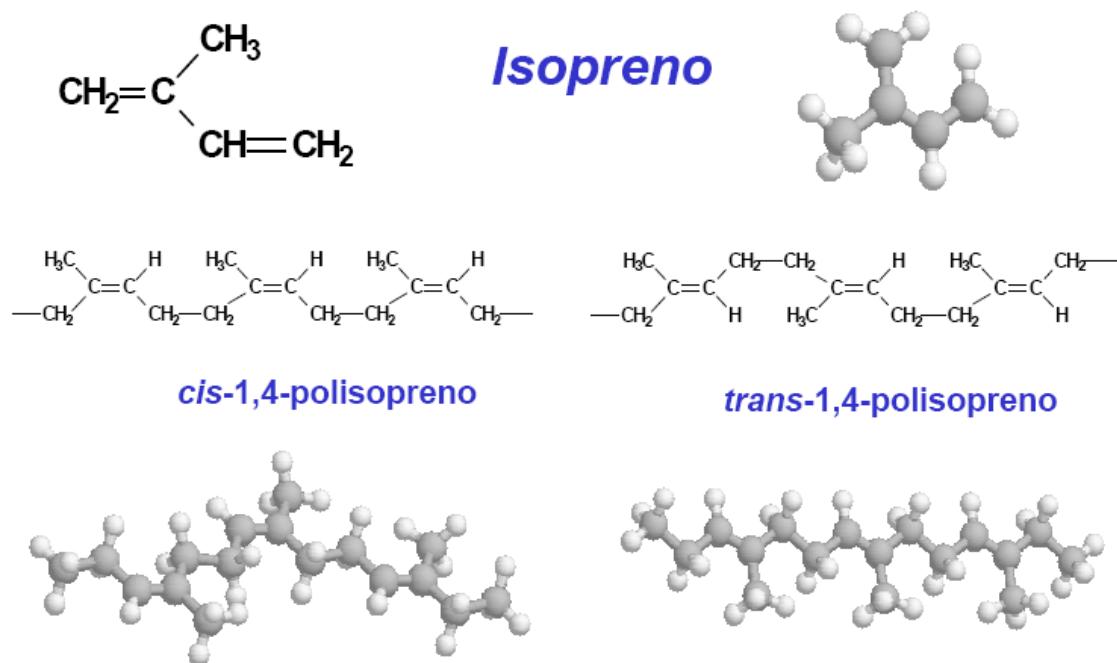


Figura 48 - Estrutura do isopreno

FONTE: Costa a (2011)

A Genencor não revelou qual processo exato é utilizado para obtenção do bio-isopreno, mas sabe-se que ela licenciou a tecnologia patenteada pela Universidade do Colorado, que utiliza bactérias *Bacillus* (*B. subtilis* e *B. amyloliquefaciens*) de modo a obter grandes quantidades de bio-isopreno. O primeiro carregamento foi feito para a Goodyear em 2009 (RODRIGUES, 2011)

Seu papel é substituir o isopreno, derivado do petróleo, o que é importante pois o açúcar é um material renovável, enquanto que o petróleo não.

Em média, para produzir um pneu utiliza-se 30 litros de petróleo e o bio-isopreno tem a missão de reduzir esta quantidade.

Espera-se que pneus utilizando bio-isopreno em sua composição cheguem no mercado em 2017 (ESTADÃO, 2013).

11 ANÁLISE DE PRODUTOS VERDES NO MERCADO BRASILEIRO

Com isto em mente, diferentes fabricantes de pneus lançaram os chamados pneus verdes, que apresentam modificações em seus projetos e composições de modo a conseguir um consumo mais baixo de combustível, mas ainda assim garantindo a segurança dos ocupantes e a qualidade do produto.

Segundo Goldenstein, Alves e Barrios (2007), a indústria de pneus no Brasil concentra-se em 6 grandes empresas transnacionais, sendo elas: Goodyear, Pirelli, Bridgestone, Firestone, Michelin e Continental.

É possível notar que o mercado interno reflete o que está ocorrendo no mercado externo, uma vez que estas grandes empresas vêm dominando o cenário atual, como mostrado na tabela abaixo.

Processos de Fusões e Aquisições das Empresas

1981	2005
Goodyear	Goodyear
Dunlop	
Firestone	Bridgestone
Bridgestone	
Michelin	
BF Goodrich	Michelin
Uniroyal	
Pirelli	Pirelli
Armstrong	
Continental	Continental
General	

Tabela 18 - Processos de fusões e aquisições de Empresas

FONTE: Goldenstein, Alves e Barrios (2007) apud Michelin – Fact Book (2005)

Participação no Mercado Mundial do Setor de Pneus

EMPRESA	PARTICIPAÇÃO NO MERCADO (Em %)	PARTICIPAÇÃO ACUMULADA (Em %)
Bridgestone	18,2	18,2
Michelin	17,7	35,9
Goodyear	17,3	53,2
Continental	6,3	59,5
Pirelli	4,5	64,0
Sumitomo	3,6	67,6
Yokohama	2,9	70,5
Hankook	2,5	73,0
Cooper	2,1	75,1
Kumho	1,9	77,0
Toyo	1,8	78,8
Outros	21,2	100,0
Total	100,0	

Tabela 19 - Participação no mercado mundial do setor de pneus

FONTE: Goldenstein, Alves e Barrios (2007) apud Tire Business (2005)

11.1 PIRELLI

A Pirelli apresenta a linha Green Performance, composta pelos pneus Cinturato P1 (para veículos de baixa e média potência), Cinturato P7 (para veículos de médio e alto desempenho) e Scorpion Verde All Season (Crossovers e SUVs, uso misto - 85% on-road e 15% off-road) (PIRELLI a, 2012).



Figura 49- Tamanho do aro para Cinturato P1 e P7

FONTE: Pirelli b (2012)

Em sua produção são utilizados novos materiais, além da eliminação de óleos aromáticos de sua composição, substâncias as quais são ditas cancerígenas e mutagênicas.

Segundo Roberto Falkenstein, diretor de pesquisa e desenvolvimento da Pirelli, esta linha de produtos apresenta em sua composição até 30% de sílica, o que permite que o pneu trabalhe com temperaturas mais baixas na sua deformação cíclica no contato com o solo (SEVERO, 2012).

Estes produtos garantem redução de ruído, melhor frenagem e dirigibilidade, além de reduzir o consumo de combustível. Isto é obtido através da utilização de matérias primas diferenciadas (sílica e polímeros funcionais, gerando um composto de menor histerese), diferente estrutura e mudanças no design da banda de rodagem.

Com estes pneus, o consumo de combustível pode diminuir cerca de 6%, o suficiente para que, na vida útil do pneu estimada em 60 mil quilômetros, economizar 3,6 pneus (PIRELLI a, 2012).

Além dos benefícios para o meio ambiente, mantendo a segurança dos ocupantes do veículo, a linha Green Performance apresenta um maior conforto, reduzindo o nível de ruído através da utilização de um desenho da banda de rodagem otimizado e assimétrico.

Os pneus da Pirelli mostram o quanto o design do pneu pode afetar a segurança do veículo, pois estudos comprovaram que graças ao desenho da banda de rodagem ele é capaz de expulsar 30 litros de água por segundo a 80 Km/h (PIRELLI a, 2012).

Os pneus verdes apresentam um preço 3,5% maior que de seus antecessores, o que é compensado pela diminuição do valor gasto com combustível em sua vida útil (SEVERO, 2012).

11.2 MICHELIN

A linha verde para veículos de passeio da Michelin recebeu o nome Energy e é composta por pneus que chegam a pesar 2,5kg a menos, o que significa uma deformação menor do pneu, gerando assim menos calor (recordando o efeito da histerese) e,

consequentemente menor gasto de combustível. Uma redução de até 80 litros de combustível ao longo da vida útil do pneu foi constatada.

Foi verificado pelo instituto alemão *TÜV SÜD Automotive* que é possível reduzir as emissões em 4 gramas de CO₂ por quilômetro rodado quando o veículo está usando o pneu ENERGY™ Saver (MICHELIN b, 2012).

A segurança também é um ponto forte deste pneu: a adição da sílica em sua composição, além de reduzir o consumo de combustível do veículo, também aumenta a aderência do pneu em superfícies molhadas. Estudos feitos pela empresa mostra que o pneu MICHELIN ENERGY™ Saver apresenta uma distância de frenagem até 3 metros menor do que a de seu antecessor (MICHELIN b, 2012).

Estima-se que desde 1992, os pneus verdes Michelin permitiram economia de mais de 11,4 bilhões de litros e 28,8 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera (*Resultados obtidos em 30 de julho de 2009*) (MICHELIN a, 2012).

11.3 CONTINENTAL

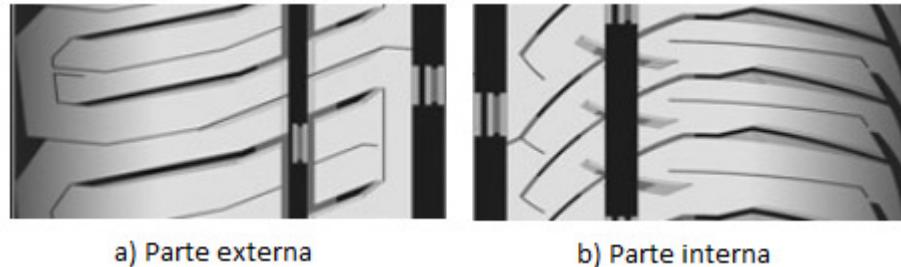
Em 1992 a Continental lançou o pneu ContiEcoContact CP, seu primeiro pneu verde. Em 1997 foi lançado o ContiEcoContact EP, que apresentava resultados ainda melhores quanto à durabilidade e à economia de combustível.

Em 2003 a Continental passou a usar a sílica de terceira geração, trazendo ao mercado seu último produto, o ContiEcoContact3.

Um estudo da Continental em parceria com um instituto de pesquisa brasileiro demonstrou que a linha de pneu ecológica da empresa apresenta resultados 5% melhores em relação à economia no consumo de combustível. O ContiEcoContact, que lidera a linha ecológica da Continental, foi escolhido como o mais econômico de sua categoria.

Estatisticamente, se toda frota brasileira de automóveis usasse os pneus ContiEcoContact 3, 553 milhões de litros de combustível seriam economizados em um ano, o equivalente à uma redução na emissão de CO₂ suficiente para corresponder ao plantio de 56 milhões de árvores no mesmo período. Este estudo levou em consideração a frota de 28 milhões de veículos e consumo médio anual de combustível de uma frota como a da cidade de Porto Alegre (450 mil veículos) (CONTINENTAL a, 2013).

O ContiEcoContact alia inovações em suas matérias primas ao inovador desenho na banda de roagem, que apresenta a Dual-Zone Tread Pattern Design, no qual o contato com o solo é otimizado. A área externa da banda de rodagem confere dirigibilidade enquanto que a parte interna é responsável pelo conforto e segurança.



a) Parte externa

b) Parte interna

Figura 50 - Detalhes na banda de rodagem do ContiPowerContact

FONTE: Continental c (2013)

O pneu possui um composto com sílica de quarta geração, diferentes cadeias de polímeros e ativadores.

A sílica e os polímeros de cadeia curta (Black Chilli Visco-Polymers) auxiliam na absorção de energia e na aderência, aumentando a eficiência de frenagem em solo seco e molhado. Já os polímeros de cadeia longa (Elasto_polymer) e também a sílica reduzem a temperatura do pneu, diminuindo a dissipação de energia, o que reduz o consumo de combustível, minimiza a resistência ao rolamento e, por consequência, as emissões de CO₂ (MECÂNICA ONLINE® & MLP ASSESSORIA DE IMPRENSA, 2013).

A Continental realizou um teste com 700 pneus ContiPowerContact de medida 175/65R14 82T e registrou uma redução de cerca de 3% no consumo de combustível em relação a seus concorrentes diretos. Por exemplo, em um veículo como o Fox com consumo médio de 10 km/litro, a economia seria equivalente a 210 litros ou ao preço de 2,3 pneus (MECÂNICA ONLINE® & MLP ASSESSORIA DE IMPRENSA, 2013).

Este estudo mostra que o preço um pouco mais elevado de um pneu verde é compensado pela redução de consumo de combustível, o que será reforçado mais a frente.

11.4 GOODYEAR

A Goodyear conta com seu pneu GPS Duraplus FuelMaxTM, que apresenta menor consumo de combustível e uma vida útil mais longa. Segundo Rui Moreira, Diretor de Marketing da Goodyear, “trata-se de um produto com tecnologia exclusiva e que, graças ao seu desenho assimétrico, construção reforçada e composto de borracha diferenciado, proporciona uma grande durabilidade e economia de combustível” (EBERSPACHER, 2013).

11.5 BRIDGESTONE/ FIRESTONE

A Bridgestone é responsável por lançar um dos primeiros pneus do segmento verde no mercado brasileiro, o B250 Ecopia, que utiliza a tecnologia NanoPro-Tech para obter melhor desempenho quanto à resistência ao rolamento.



Figura 51 - B250 Ecopia

FONTE: Bridgestone (2013)

O B250 Ecopia foi escolhido para ser utilizado no Fiat Novo Uno e no Volkswagen Gol Ecomotion, auxiliando ambos os veículos a atingirem menores índices de emissões na atmosfera.

12 CUSTO VERDE

Um fato bastante discutido sobre o pneu verde é seu preço mais elevado. Por utilizar matérias primas diferenciadas, o custo de um pneu verde muitas vezes pode ser mais elevado em relação aos pneus usuais, mas estudos provam que este valor é recuperado pelo cliente graças à economia de combustível.

De acordo com um estudo da National Academies of Science, uma diminuição de 10% da resistência ao rolamento pode acarretar em uma economia de 1 a 2% de combustível. Como alguns pneus verdes que estão no mercado hoje alcançam até 20% de diminuição da resistência ao rolamento, pode-se obter uma economia de até 4% no consumo de combustível. Assumindo o preço de US\$2,50 por galão de gasolina e a vida útil do pneu como sendo de três anos e meio, uma economia de US\$100,00 é alcançada no consumo de combustível (TONACHEL, 2012).

Estudos de caso no Brasil foram realizados baseando-se no Mille Economy e no Polo Bluemotion e apresentados por Gustavo Henrique Ruffo (RUFFO a, 2012).

Analisa-se qual distância o carro conseguia percorrer com um tanque de combustível empregando-se o pneu usual e em outro momento o pneu verde. Os resultados são mostrados abaixo:

Veículo	MILLE ECONOMY	POLO BLUEMOTION
		
Pneu verde	Bridgestone B250	Dunlop SP10
Consumo com pneu usual	400 km/tanque	400 km/tanque
Consumo com pneu verde	408 km/tanque	420 km/tanque
Resultado	2% mais econômico	5% mais econômico

Tabela 20 - Comparativo de consumo de combustível com uso do pneu verde

FONTE: Ruffo a (2012)

Outro ponto levantado pode ser a durabilidade do produto. Graças a novas matérias primas, um pneu verde pode durar mais tempo, o que compensaria seu custo um pouco

mais elevado em relação aos outros pneus. Como pneus verdes diminuem a histerese, diminui também a geração de calor, o que faz com que a sua degradação seja mais lenta, uma vez que o calor acelera as reações químicas que promovem o envelhecimento dos compostos de borracha.

Em alguns casos, como levantado por Roberto Giorgini, coordenador de marketing da Goodyear, o preço de certa matéria prima pode ser mais elevado no início de produção, mas tende a cair com o aumento das vendas (RUFFO a, 2012).

13 CONCLUSÃO

Notou-se ao longo deste trabalho que é sempre muito mencionada a crescente preocupação com o meio ambiente e com a economia de combustível, o que tornou o pneu verde uma tendência atual.

Verificou-se que cada fabricante opta por abordar o segmento verde de uma forma diferente, seja com a diminuição do peso do pneu, um novo design na banda de rodagem, utilização de novas matérias primas ou uma combinação destes fatores de modo a atingir o resultado ideal, sempre melhorando as características do produto final. Seja como for, cada uma das grandes empresas apresenta produtos verdes, deixando ainda mais claro que este é um mercado crescente e promissor.

Analizando os produtos disponíveis hoje e os resultados obtidos em diversos testes, conseguiu-se provar que é possível diminuir o impacto ambiental mantendo ou até mesmo melhorando outras características do pneu, como conforto e segurança. Mesmo que o pneu apresente um preço mais elevado, isso pode ser compensado através da economia de combustível ao longo da vida útil do pneu.

Muitas novidades vêm sendo apresentadas no mercado de pneus, obtendo-se cada vez mais resultados promissores para o meio ambiente, como é o caso das matérias primas inovadoras apresentadas neste trabalho.

Legislações cada vez mais incisivas auxiliam no impulso destas novas tecnologias que equilibram o impacto ambiental, a segurança, a economia e o conforto, pois todas vertentes são analisadas e expostas ao consumidor final.

Foi observado que uma possível forma de impulsionar tanto as montadoras quanto os fabricantes de pneus é aumentar a divulgação dos resultados de eficiência energética, tornando ainda obrigatória a adesão dos fabricantes aos programas de etiquetagem do governo. Desta forma, o resultado final representa ainda mais a realidade vista no mercado.

14 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A confidencialidade das empresas faz com que certa dificuldade seja encontrada em obter dados mais específicos quanto às matérias primas empregadas nos compostos de borracha dos pneus verdes atuais. Um caminho interessante a seguir seria avaliar as patentes das grandes empresas de modo a entender como as novas matérias primas (Zeosil, sílica de quarta geração...) interagem no composto e qual o seu real papel na melhora dos resultados do produto final.

Também é importante entender quais características são primordiais para o cliente final, o que ele busca em um pneu e qual valor ele pagaria a mais por conta do conceito verde. Uma análise mercadológica seria interessante para entendermos de fato o cenário atual de pneus, utilizando o “Voice of Customer” (VOC), por exemplo.

Uma terceira vertente para este trabalho seria conduzir testes com veículos reais para dimensionar a diferença de consumo de um determinado veículo com e sem o pneu verde, confirmado os resultados apresentados pelos fabricantes.

15 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA USP. **Reciclagem:** Descarte inadequado de pneus causa impacto ambiental. Disponível em: <<http://360graus.terra.com.br/ecologia/default.asp?did=32942&action=geral>>. Acesso em: 13 jan. 2013.

ANIP. **Produção.** Disponível em: <http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produção>. Acesso em: 28 jan. 2013.

BRIDGESTONE. **B250** **Ecopia.** Disponível em: <<http://www.bridgestone.com.br/PNEUS/BRIDGESTONE/PASSEIO/b250.aspx>>. Acesso em: 12 fev. 2013.

CONPET. **Começa nova era para os pneus no Brasil, com portaria que determina a sua etiquetagem:** Pela primeira vez no país, pneus passarão a ser etiquetados, o que vai reduzir o consumo de combustíveis e as emissões de CO2.. Disponível em: <http://www.conpet.gov.br/portal/conpet/pt_br/noticia/comeca-nova-era-para-os-pneus-no-brasil-com-portaria-que-determina-a-sua-etiquetagem-1.shtml>. Acesso em: 30 mar. 2013.

CONTINENTAL a. **Sílica.** Disponível em: <http://www.conti-online.com/generator/www/br/pt/continental/portal/temas/csr/hidden/geral/home/responsabilidade%20social/silica_pt.html>. Acesso em: 22 jan. 2013

CONTINENTAL b. **ContiEcoContact 3.** Disponível em: <http://www.conti-online.com/generator/www/br/pt/continental/automobile/temas/passeio/ecocontact/conti_eco_3/master_eco3_pt.html>. Acesso em: 28 jan. 2013.

CONTINENTAL c. **ContiPowerContact.** Disponível em: <http://www.conti-online.com/generator/www/br/pt/continental/automobile/temas/passeio/powercontact/power_contact/master_power_pt,tabNr=2.html>. Acesso em: 11 jan. 2013.

COSTA a, Argemiro. Dinâmica Veicular – Pneumáticos: Histórico – Introdução. Pós Graduação – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2011

COSTA b, Argemiro. Dinâmica Veicular – Pneumáticos: Desgaste em Pneus. Pós Graduação – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2011

COSTA c, Argemiro. Dinâmica Veicular – Pneumáticos: Ruídos em Pneus. Pós Graduação – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2011

COSTA d, Argemiro. Dinâmica Veicular – Pneumáticos: Pneus e a Dinâmica Veicular. Pós Graduação – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2011

CONSENTINO, Marcelo. **Reciclagem afasta pneus do estima de "vilões".** Disponível em: <<http://motordream.uol.com.br/noticias/ver/2011/05/30/reciclagem-afasta-pneus-do-estima-de-viloes>>. Acesso em: 28 ago. 2012.

DORIA, Maria Alice. **A destinação final de pneus e a questão ambiental.** Disponível em: <<http://qualidadeonline.wordpress.com/2010/05/05/pneus-usados-um-problema-de-saude-publica/>>. Acesso em: 28 jan. 2013.

EBERSPACHER, Gisele. **Carros brasileiros adotam pneu ecológico da Goodyear:** Novo pneu melhora o desempenho do motor e foi apresentado no Salão Internacional do Automóvel. Disponível em: <<http://atitudesustentavel.uol.com.br/blog/2010/11/04/carros-brasileiros-adotam-pneu-ecologico-da-goodyear/>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

ESTADÃO. **Tecnologia invade mundo dos pneus.** Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/jornal-do-carro/tecnologia-invade-mundo-dos-pneus/>>. Acesso em: 14 fev. 2013.

ESTRUTURA DA SÍLICA Disponível em: <<http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/tvmultimidia/imagens/6quimica/1silica.jpg>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS' ASSOCIATION. **EU Tyre Labelling Regulation 1222/2009:** Industry Guideline on tyre labelling to promote the use of fuel-efficient and safe tyres with low noise levels. Unkown, 2012. 6 p.

EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS' ASSOCIATION. **TYRE LABELLING.** Disponível em: <<http://www.etrma.org/tyres/tyre-labelling>>. Acesso em: 26 fev. 2013.

FAVARI, Hiussen Guilherme De; AULICINO, Rafael Barros; DIAZ, Tiago Abad. **INFLUÊNCIA DA PRESSÃO INTERNA DO PNEUMÁTICO NO DESEMPENHO DO VEÍCULO COM ÊNFASE NA SEGURANÇA E NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL.** 2009. 131 f. Projeto (Graduação) - Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2009.

GILLESPIE, T.D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. 1.ed. Warrendale: SAE International, 1992. 480p. ISBN 1-56091-199-9

GOLDENSTEIN, Marcelo; ALVES, Marcelo de Figueiredo; BARRIOS, Mariana Toniolo. **PANORAMA DA INDÚSTRIA DE PNEUS NO BRASIL: CICLO DE INVESTIMENTOS, NOVOS COMPETIDORES E A QUESTÃO DO DESCARTE DE PNEUS INSERVÍVEIS.** Rio de Janeiro: Bndes, 2007.

GOODYEAR (Brasil). **Pneu GPS Duraplus Fuel Max:** DIFERENCIAS DO PNEU. Disponível em: <<http://www.goodyear.com.br/pneus/pneus-carros/pneus-passeio/pneu-goodyear-gps-duraplus-fuelmax/pneu-goodyear-gps-duraplus-fuelmax.html>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

GRANDE, Paulo Campo. **Pneu Light:** Boa parte do consumo de calorias de um carro pode ser debitada da conta dos pneus. Mas isso não vai ficar assim. Disponível em: <http://quatorodas.abril.com.br/reportagens/novastecnologias/conteudo_196860.shtml>. Acesso em: 22 jan. 2013.

HALL, David E.; MORELAND, J. Cal. FUNDAMENTALS OF ROLLING RESISTANCE. In: CORPORATION, Michelin Americas Research. **Rubber Chemistry and Technology**. Greenville: The Rubber Division, 2001. p. 525-539.

HOLTSCHULZE, Dr. Jens. Requirements for Tires of Modern Vehicles in the 21st Century. In: TIRE TECHNOLOGY EXPO, 2011, Cologne.

HOLMBERG, Kenneth; ANDERSSON, Peter; ERDEMIR, Ali. Global Energy Consumption due to friction in passenger cars. **Tribology International**, Argonne, p.221-234, 6 dez. 2011.

IBAMA. **Consulta dos níveis de emissão dos veículos novos brasileiros**. Disponível em: <http://servicos.ibama.gov.br/ctf/publico/sel_marca_modelo_rvep.php>. Acesso em: 10 fev. 2013.

INMETRO. **Informação ao consumidor: Etiquetas**. Disponível em: <<http://www.inmetro.gov.br/consumidor/etiquetas.asp>>. Acesso em: 04 abr. 2013.

LACERDA, Ricardo. **Vem aí a onda do “pneu verde”**. Disponível em: <<http://www.amanca.com.br/home-2/815-vem-ai-a-onda-do-pneu-verde>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

LAGARINHOS, Carlos. **Reciclagem de pneus**: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa. 2011. 293 f. Tese (Doutorado) - Usp, São Paulo, 2011.

MATÉRIAS Primas Disponível em: <<http://www.anip.com.br/?cont=fabricacao>>. Acesso em: 4 nov. 2012.

MECÂNICA ONLINE® & MLP ASSESSORIA DE IMPRENSA (Brasil). **Tecnologia de ponta no novo pneu verde da Continental**: Tecnologia ECOPlus reduz o consumo de combustível e a emissão de CO2. Disponível em: <<http://www.mecanicaonline.com.br/plantao/tecnovidade.php?noti=31>>. Acesso em: 13 fev. 2013.

MICHELIN a. **Conheça o pneu verde da Michelin**. Disponível em: <<http://www.michelin.com.br/tudo-sobre-carros/Tecnologia-e-Inovacao/Michelin-cria-o-pneu-verde.html>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

MICHELIN b. **Pesquisas e inovações**. Disponível em: <<http://michelin.com.br/tudo-sobre-carros/mais-info/Voce-sabia.html>>. Acesso em: 21 dez. 2012.

MICHELIN. **Tyre and Environmental Evolutionary Scenario**. São Paulo, 2009.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES. **Tires and Passenger Vehicle Fuel Economy**: Informing Consumers, Improving Performance. Washington, 2006. 152 p.

OLIVEIRA, Adriano Monteiro De. **PNEUS AUTOMOTIVOS: ANÁLISE CRÍTICA DOS REQUISITOS DE SEGURANÇA E DE DESEMPENHO**. 2005. 183 f. Engenharia

Automotiva (Mestrado) - Escola Politécnica Da Universidade De São Paulo, São Paulo, 2005.

PADOVAN, Joe. Tire Rolling Resistance. University of Akron, Akron, 2012

PINHEIRO, Eduardo Gonçalves. **MODELOS NUMÉRICOS APLICADOS À VULCANIZAÇÃO DE PNEUS.** 2001. 140 f. Engenharia (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

PIRELLI a. **Green Performance.** Disponível em: <http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/car/genericContent/green_performance>. Acesso em: 20 dez. 2012.

PIRELLI b. **Cinturato Family.** Disponível em: <<http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/car/genericContent/cinturato>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

PIRELLI c. **Scorpion Verde All Season.** Disponível em: <http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/suv/sheet/scorpion_verde_all_season.html>. Acesso em: 20 dez. 2012.

PIRELLI d. **Cinturato P1.** Disponível em: <http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/car/sheet/cinturato_p1.html>. Acesso em: 20 dez. 2012.

PIRELLI e. **Cinturato P7.** Disponível em: <http://www.pirelli.com/tyre/br/pt/car/sheet/cinturato_p7.html>. Acesso em: 20 dez. 2012.

POTTINGER, Marion. **Rolling Resistance, Tire/ Pavement interaction Noise and Tire Created Ride Problems.** Akron, 2012. 93 p.

POTTS, Gerald R.. The Tire as a Vehicle Component. 2012.

RODRIGUES, José Augusto R.. Do engenho à biorrefinaria: A usina de açúcar como empreendimento industrial para a geração de produtos bioquímicos e biocombustíveis. **Química Nova**, Campinas, v. 34, n. , p.1242-1254, 5 maio 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v34n7/v34n7a24.pdf>>. Acesso em: 17 fev. 2013.

RUFFO a, Gustavo Henrique. **O pneu verde:** Indústria investe cada vez mais para reduzir o consumo e evitar problema com o descarte dos pneus. Disponível em: <<http://quatorodas.abril.com.br/autoservico/reportagens/pneu-verde-479152.shtml>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

RUFFO b, Gustavo Henrique. **A história do pneu:** de roda de madeira a pneu hi-tech sem ar. Disponível em: <<http://quatorodas.abril.com.br/autoservico/reportagens/historia-pneu-476615.shtml>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

RUFFO c, Gustavo Henrique. **Você sabia?:** onze verdades sobre o mundo dos pneus. Disponível em: <<http://quatorodas.abril.com.br/autoservico/reportagens/historia-pneu-476615.shtml>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

SAIBA tudo sobre pneus. Disponível em: <<http://www.braziltires.com.br/novo/noticias/pneus.html>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

SANCHES, Eduardo. **Pneus mais verdes.** Disponível em: <<http://www.autodata.com.br/modules/revista.php?m=reportagens&recid=4115>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

SCORPION PNEUS. **Fabricação dos pneus.** Disponível em: <<http://www.scorpionpneus.eu/pdf/fabrico.pdf>>. Acesso em: 14 dez. 2012.

SEVERO, Fabiano. **Pneu "verde" quer rodar mais sem poluir.** Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/veiculos/cv1704201106.htm>>. Acesso em: 16 out. 2012.

TONACHEL, Luke. **Tire Efficiency: How Your Car Can Cruise on Less Gas.** Disponível em: <http://www.hsw.uol.com.br/framed.htm?parent=pneus-baixo-consumo-combustivel.htm&url=http://switchboard.nrdc.org/blogs/ltonachel/tire_efficiency_how_your_car_c.html>. Acesso em: 20 set. 2012.

VULCANIZAÇÃO da borracha. Disponível em: <<http://www.alunosonline.com.br/quimica/vulcanizacao-borracha.html>>. Acesso em: 4 nov. 2012.

WALTER, Joseph D. **INNOVATION IN THE TIRE INDUSTRY.** The University of Akron College of Engineering, 2007.

WILLS, William. **O AUMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS VEÍCULOS LEVES E SUAS IMPLICAÇÕES NAS EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA: CENÁRIOS BRASILEIROS ENTRE 2000 E 2030.** 2008. 149 f. Dissertação (Pós Graduação) - Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.