

OTIMIZAÇÃO DO CUSTO POR PNEU EM TRANSPORTE DE CARGA RODOVIÁRIA.

*Ghudson Thobias Queiroz de Andrade.
Carlos Eduardo Aguiar Lima Rodrigues*

Resumo: Durante algum tempo o pneu se tornou uma das principais preocupações nas operações das transportadoras. Atualmente, é um item de grande peso nos custos, pois sofre influência das taxas de câmbio e do preço das matérias primas aço e petróleo. Com o aumento nos investimentos relacionados a esse produto, a atenção a ele e seus componentes passou a ser maior nos últimos anos, principalmente no momento da sua troca. O artigo tem por objetivo analisar, baseado nos custos do produto, o desempenho econômico e financeiro da utilização de determinadas marcas e modelos de pneus na área de transporte. Será realizado um comparativo de rendimento de pneus que vai desde a sua vida inicial no ato da compra até o seu sucateamento, passando pelas recapagens ao longo de sua vida útil. Utilizou-se da pesquisa bibliográfica para aquisição de conceitos na busca de soluções para o contexto abordado. Foram estudados o conceito e a estrutura do pneu e em seguida foi efetuada a análise de dados de campo de uma transportadora. Os resultados encontrados mostraram que na empresa estudada, **os pneus da marca Michelin são os mais indicados** para o transporte, tendo em vista uma análise de performance em função do custo de aquisição.

Palavras-chave: Pneu; Custo; Economia; Performance.

1. INTRODUÇÃO

Em qualquer setor de trabalho a evolução de um conceito passa por processo que demandam estudo e vivência em um determinado tempo, mas que promovem resultados significativos que têm por importância, o aprimoramento e a redução de custos. Os insumos do setor de transporte, principalmente pneus, vêm sendo constantemente aprimorados no tempo, e com o aumento dos custos provocados pelas flutuações desfavoráveis dos índices da macroeconomia, os pneus são considerados hoje um dos principais desafios enfrentados pelos profissionais envolvidos com os processos de otimização de custos em empresas de transporte.

No trabalho com transporte de cargas, sabe-se que a relação entre motoristas e pneus é de muito cuidado, pois se entende que o prejuízo com este item pode vir repentinamente, devido aos diferentes tipos de terrenos que o caminhão irá trafegar. A malha viária brasileira, notadamente nos estados do Nordeste, vem apresentando muitos buracos por falta de manutenção, obrigando os motoristas a realizarem manobras para evitarem o comprometimento dos veículos, principalmente, os pneus.

Os pneus estão entre as maiores ações de despesas da operação. A busca por produtos que reduzam custos leva todo transportador rodoviário a ter preferência por modelos e características específicas, forçando os fabricantes a desenvolverem produtos cada vez mais eficientes, esse ambiente de busca e oferta de soluções de melhor eficiência é caracterizado por um mercado de alta concorrência.

A busca pelo melhor produto leva os frotistas a terem um amplo conhecimento acerca do assunto, exigindo cada vez mais do fabricante produtos de qualidade, com emprego de tecnologias avançadas que ofereçam maior capacidade de carga, tração, frenagem, estabilidade e vida útil mais longa.

Os novos produtos são introduzidos com frequência pelas marcas, sendo desenvolvidos e testados em parcerias com as transportadoras. Tendo em vista que tanto o produtor quanto o consumidor buscam o melhor desempenho e durabilidade dos pneus. Mesmo com o avanço tecnológico, a vida útil do pneu está ligada diretamente com a utilização de práticas adequadas, como: manter a pressão ideal, rodízio de pneus, evitar choques em buracos e

manobras bruscas, recapagem de qualidade, alinhamento e balanceamento essas são algumas delas. Reconhecer a qualidade do material é tirar o maior proveito, a fim de evitar custos da operação, seguindo as orientações do fabricante, pois toda transportadora necessita de boa condição de trabalho e segurança.

Em um estudo teórico focado em veículos leves, automóveis, Ma et al (2017) propôs um modelo teórico de como os efeitos dinâmicos da condução, como tempo de frenagem, ângulo de esterçamento das rodas dianteiras e a relação do pneu com o solo podem afetar o desgaste de pneus.

Em estradas suburbanas russas, Kravchenko et al (2012) analisaram fatores que influenciam o desgaste crítico de pneus e propuseram uma técnica de predição da vida operacional de certos tipos de pneus de algumas marcas, aplicados em caminhões tipo betoneira e tipo caçamba usados na região metropolitana de Donetsk, na Rússia. Diferente do estudo de Kravchenko et al (2012), esse trabalho foi realizado com dados de transporte rodoviário interestadual, e não metropolitano como o estudo russo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral: Prover análises que levem a decisões que possam reduzir custos em pneus de caminhões.

2.2 Objetivo específico: Analisar a quilometragem, o custo total e o custo por quilômetro rodado das marcas de pneus já adquiridas, com vistas a garantir o melhor custo básico do caminhão.

3. METODOLOGIA

Neste trabalho foi utilizado o método de análise baseado em dados coletados através de um sistema de controle implantado na empresa. Inicialmente os pneus comprados recebem uma marcação que é denominada, internamente, de Número de Fogo aonde nesta marcação vem o ano em que foi comprado e a sua respectiva posição. Por exemplo, o primeiro pneu que foi comprado no ano de 2020 recebe a marcação 200001, e assim por diante, onde 20 é o ano e 0001 o sequencial, conforme figura 1. O passo seguinte seria a aplicação do pneu no veículo, ao fim desde segundo passo, todo o processo é registrado no sistema, assim a cada abastecimento do veículo o sistema acrescenta a quilometragem percorrida de um ponto inicial até o próximo abastecimento. Com a coleta desta quilometragem rodada, podem ser gerados dados referentes ao rendimento do pneu. Um dos dados sendo ele considerado o mais importante da empresa, está o CPK que é o Custo de Pneu por Quilômetro, que representa o valor de rendimento em R\$/ km. Foi realizada uma análise de variância para amostras de tamanhos distintos por marca em um montante de 366 pneus selecionados em um montante de 623 produtos, sendo 4 Altura Índia, 187 Bridgestone, 11 Continental, 63 Firestone, 7 General Tire, 4 Michelin e 90 Pirelli. As amostras foram selecionadas por um critério de vidas mais confiáveis e melhor documentadas.

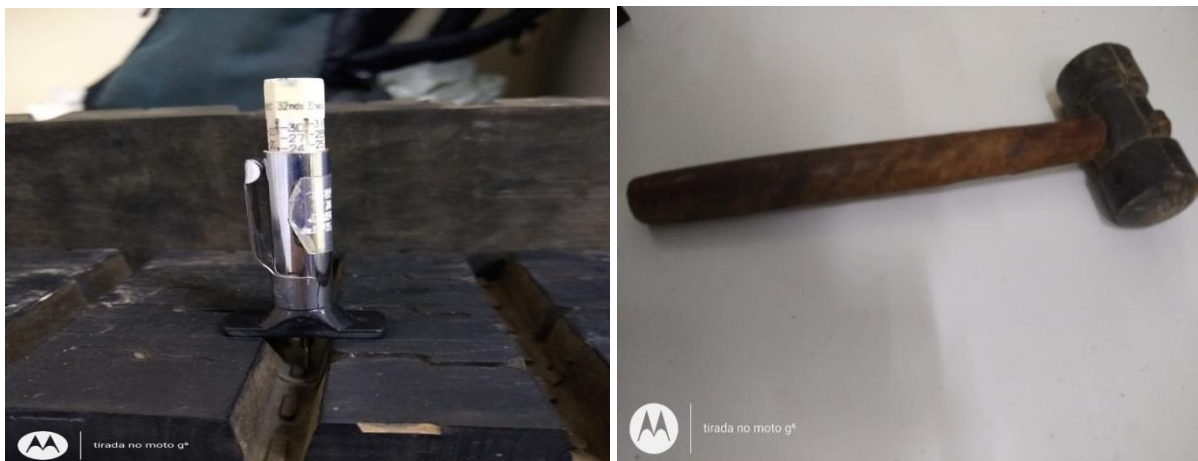


Figura1, marcação de número de fogo. Fonte: Autoria própria.

Os veículos possuem 18 pneus em contato com o solo, distribuídos em uma unidade de tração, denominando Cavalo Mecânico que possui 6 pneus, e o semirreboque que contém 12 pneus. Vale salientar que existem mais

dois pneus no Estepe do semirreboque totalizando 14 pneus, mas, como não estão aplicados ao eixo, seus dados não são utilizados a esta análise. Após o fim da vida útil do pneu, é gerado um relatório onde consta todas as informações referentes ao seu desenvolvimento e performance, além do seu custo final.

Para um melhor desempenho, as formas de controle utilizadas pela empresa variam de um paquímetro, figura 2, para medir a profundidade do sulco até o batedor (martelo de borracha), Figura 3, utilizado pelo condutor para verificar a calibragem dos pneus. O motorista utiliza da audição ao desferir golpes no pneu, assim o som produzido sendo ele grave ou agudo, representa se o pneu necessita de calibragem ou não. O som mais agudo representa que o pneu está com calibragem próxima do correto, enquanto o mais grave representa que o pneu esteja com pressão baixa.



Figuras 2 e 3: Medição de profundidade do sulco com o paquímetro e batedor (martelo de borracha) para verificar calibragem. Fonte: Autoria própria.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Componentes do pneu

O pneu é composto por alguns elementos como mostrado na Figura 4. Suas características variam com os esforços ao qual o produto é submetido, componentes estes que iniciam pela carcaça, que é representada pela estrutura do pneu e tem a função de resistir à carga aplicada, seja ela interna ou externa, para manter o equilíbrio. A carcaça é composta por uma ou mais lonas (conjunto de fios de aço ou de nylon revestidos por borracha) denominados cordonéis, que se estendem pelo talão. Por sua vez, o talão é representado pelas lonas estabilizadoras, compostas por borracha, que comportam cada uma das regiões do pneu que o ligam a roda, no intuito de atingir a resistência à ruptura.

O liner é uma camada de borracha que reveste inteiramente o pneu, protegendo a carcaça, já a banda de rodagem é a parte do pneu que está em contato permanentemente com o solo, responsável pela transmissão do movimento através de sua capacidade de tração e frenagem.

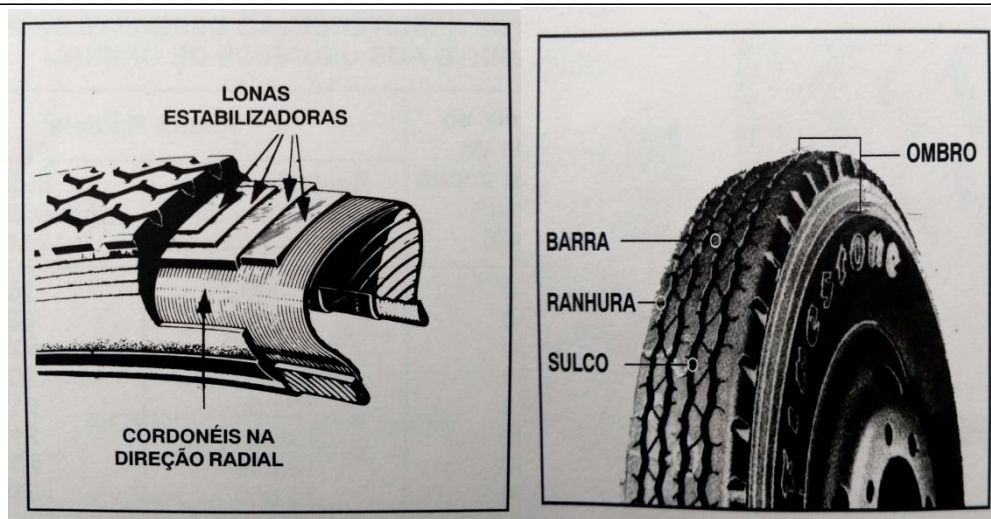


Figura 4: Partes do pneu. Fonte: BRIDGESTONE, Firestone.

O rendimento dos pneus em transportes passa por uma série de cuidados que visam um maior desempenho e aproveitamento máximo do produto, cuidados estes que iniciam pela pressão adequada, a pesagem por eixos do veículo, o emparelhamento, o rodízio, a condução do veículo, o limite de segurança, recapagem e recauchutagem e os problemas mecânicos do veículo.

4.2 Pressão

Na Figura 2 é apresentado o efeito de diferentes pressões na geometria dos pneus. A aplicação de uma pressão adequada é um dos fatores fundamentais para um bom rendimento do pneu, tendo em vista que a baixa pressão piora consideravelmente o desempenho do equipamento, em que a deflexão do pneu nesta situação também representa um aumento do calor interno gerado na rodagem. Haverá também desgaste irregular da banda de rodagem que acarreta perda de recapabilidade, definida como a capacidade do pneu de receber recapagem, pois esse calor excessivo resulta em um desgaste prematuro na carcaça, conhecido como fadiga. Com a baixa pressão, também aumenta a resistência no desempenho do pneu passando a exigir mais força do veículo gerando maior consumo de combustível. Por sua vez, o excesso de pressão representa uma redução de performance devido ao arqueamento da rodagem, desgastando o centro da banda de rodagem, onde o apoio é maior.

Com a pressão excessiva o pneu se torna vulnerável aos danos por impactos e sua capacidade de absorção de energia diminui, podendo sofrer quebra na carcaça.

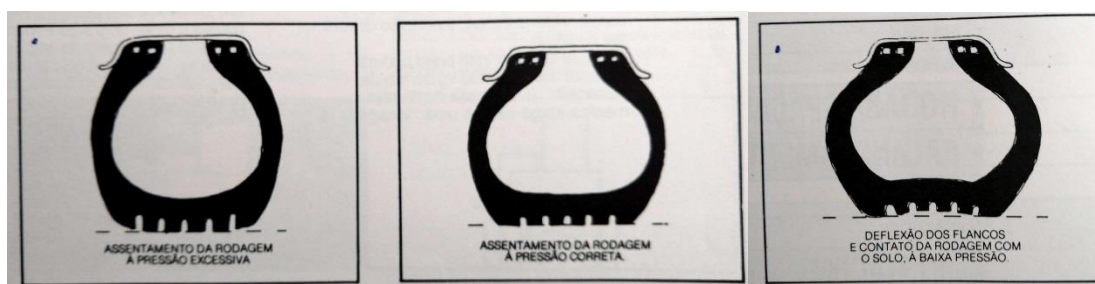


Figura 5: Pressão nos pneus, alta pressão, pressão correta e baixa pressão. Fonte: BRIDGESTONE, Firestone.

4.3 A pesagem dos veículos

Existe uma variação no limite de carga (peso) para um mesmo pneu em função de sua posição, em rodas duplas, esse limite de carga é menor, pois o peso é dividido por roda, se um pneu fura, os outros terão um acréscimo de carga na qual será suportada devido à margem de segurança. A pesagem com o veículo carregado é de suma importância, pois evita um carregamento desequilibrado como mostrado na Figura 6 (b), que recai mais peso para um lado do que o outro, acarretando um desgaste irregular, das bandas de rodagem. Isto tudo ocorre, pois a fadiga da carcaça é aumentada e a resistência na absorção de impacto diminuída.

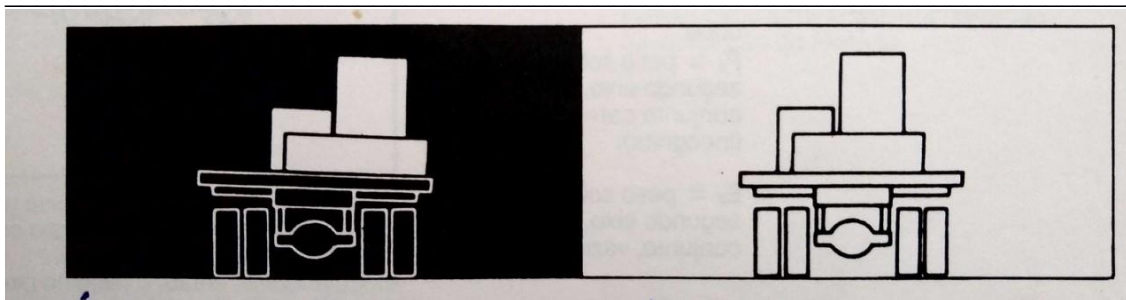


Figura 6: (a) Carregamento equilibrado.
Fonte: BRIDGESTONE, Firestone.

(b) carregamento desequilibrado.

4.4 Emparelhamento

O emparelhamento é representado pela homogeneidade quase completa entre a altura das bandas de rodagem dos pneus que estão em uma mesma ponta de eixo, entendendo-se que os pneus não devem possuir uma diferença superior de 7 mm de diâmetro ou 21 mm de perímetro com seus pares. Esta desconformidade causa um excesso de carga no pneu maior e desgaste de arraste no menor, entendendo que o menor deve dar mais voltas que o maior para percorrer a mesma distância.

Essa desconformidade além de causar o processo de arraste, também provoca uma transferência de peso. Normalmente o desemparelhamento, mesmo com o rodízio e a verificação correta, tem como principal origem a variação de pressão em percurso, pois vai aumentar o calor gerado no pneu, causando dilatação e assim ultrapassando as dimensões do seu par.

Uma das formas de fazer o emparelhamento de pneus é por medições dos mesmos montados no aro e em pressões idênticas, usando esquadro ou fita, como mostrado na Figura 7.

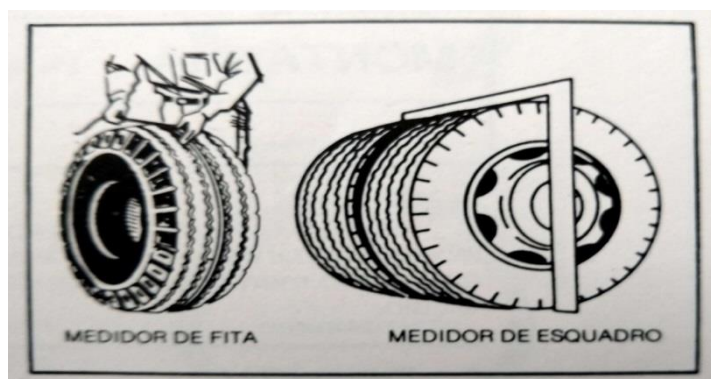


Figura 7: Verificação das medidas dos pneus para um melhor emparelhamento.
Fonte: BRIDGESTONE, Firestone.

4.5 O Rodízio

O rodízio, mostrado na Figura 8, tem por finalidade potencializar o desgaste uniforme das bandas de rodagem, uma vez que as pistas em geral são irregulares e causam maior desgaste nos pneus do lado direito. Um estudo feito em uma determinada transportadora foi apontado que a cada viagem de sua rota (Nordeste-Sudeste), que representa em torno dos 3.000 km, os veículos passam por um processo de rodízio visando melhor desempenho.

Segundo Olga Sakno, 2012, A análise estatística da vida útil de cada pneu é de extrema importância no intuito de maximizar os limites de desempenho, levando-se em consideração as condições reais de operação dos pneus. Esta análise permite ainda condições para uma tomada de melhores decisões quanto ao manuseio do equipamento no que diz respeito a movimentação e rodízios, possibilitando ainda descobrir razões nas quais ocorre desgaste precoce de alguns pneus.

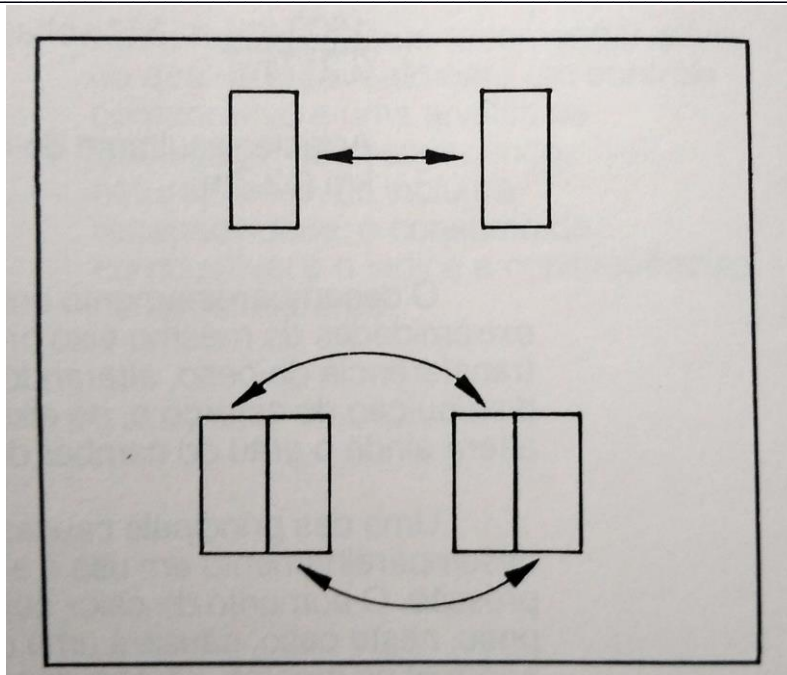


Figura 8: Rodízio de pneus em um eixo. Fonte: BRIDGESTONE, Firestone.

4.6 Condução do veículo

Entende-se que quanto maior a velocidade maior o desgaste, pois com o aumento da rotação, já vimos no estudo sobre a pressão, acarreta um aumento na temperatura. Curvas, freadas e arrancadas, também são alguns dos fatores que ocasionam o desgaste prematuro do pneu, por fadigar sua carcaça.

4.7 Limite de Segurança.

O limite de segurança é representado pela profundidade do sulco do pneu, em que seu mínimo segundo a Resolução do Contran 558/80, corresponde a 1.6 mm de profundidade. Geralmente, os pneus apresentam um ressalto na base dos sulcos que indicam o limite de segurança. O uso de pneus com o limite inferior ao imposto pela resolução acarreta uma série de consequências: Drenagem inadequada de água em pistas molhadas, aumento na derrapagem em momentos de frenagem, aumento do risco de estouros e apreensão do veículo. A Figura 9 mostra o TWI, sigla em inglês (*thread wear indicator*), para indicador de desgaste, que mostra quando os pneus devem ser recapados.



Figura 9: Indicador de desgaste (TWI). Fonte: Vivento Segurança.

4.8 Recapagem e Recauchutagem

A diferença entre esses dois processos consiste simplesmente na extensão da área reformada, a recapagem recompõe apenas a banda de rodagem e a recauchutagem pode chegar até o meio dos flancos, como mostrado na Figura 10.

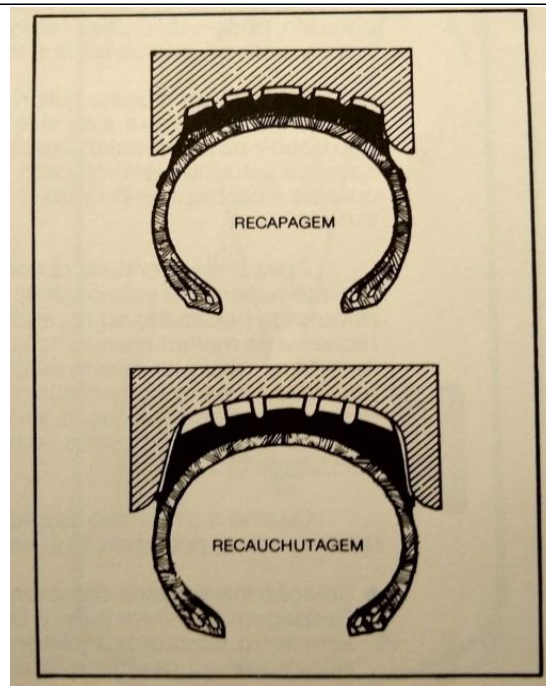


Figura 10: Recapagem e Recauchutagem. Fonte: BRIDGESTONE, Firestone.

Vale ressaltar que a recauchutagem só será necessária quando a reforma envolver avarias nas partes superiores dos flancos, onde entendemos que os flancos correspondem a parte lateral do pneu logo após a banda de rodagem e os ombros. Contudo, existem restrições aos processos de recapagem e recauchutagem; que impedem a reforma, são eles: separação entre as bandas de rodagem, talão danificado, carcaça envelhecida, rachaduras nas lonas e avarias fora dos limites de reparação.

Há casos em que a quilometragem após a reforma supera a da vida original, isso ocorre devido aos cuidados de estabilidade que a carcaça sofreu durante seu primeiro ciclo de vida, como a manutenção da pressão correta e montagem com emparelhamento adequado.

4.9 Efeitos Mecânicos

Vários problemas mecânicos trazem consequências ao rendimento dos pneus, tais como: terminais de direção com folga, avarias em barras de direção e braços auxiliares, empenamento de eixo, empenamento da ponta de eixo, avaria no pino mestre, rolamento e cubos desregulados ou gastos, molas arreadas, chassi torto e freios desregulados.

Segundo Kravchenko, 2012, uma análise aprofundada da dinâmica do veículo, também deve ser considerada, pois o ângulo de direção no impacto do pneu com o solo, representa uma parcela significativa no desgaste irregular dos pneus.

5. Resultados e Discussões.

Esta análise foi feita mediante dados fornecidos por uma empresa cujo foco é o transporte de cargas diversificadas, onde tem como rota Nordeste/ Sudeste conforme figura 11. Tem como matriz a cidade de Mossoró-RN com destino a cidade Guarulhos –SP. Salientamos que o tempo para coleta de dados está compreendido num período de 12 meses. O motorista sai da matriz em Mossoró e percorre cerca de 3.000 km (três mil quilômetros) passando pelos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, Bahia e Minas Gerais até chegar ao estado de São Paulo com um prazo máximo de cinco dias.

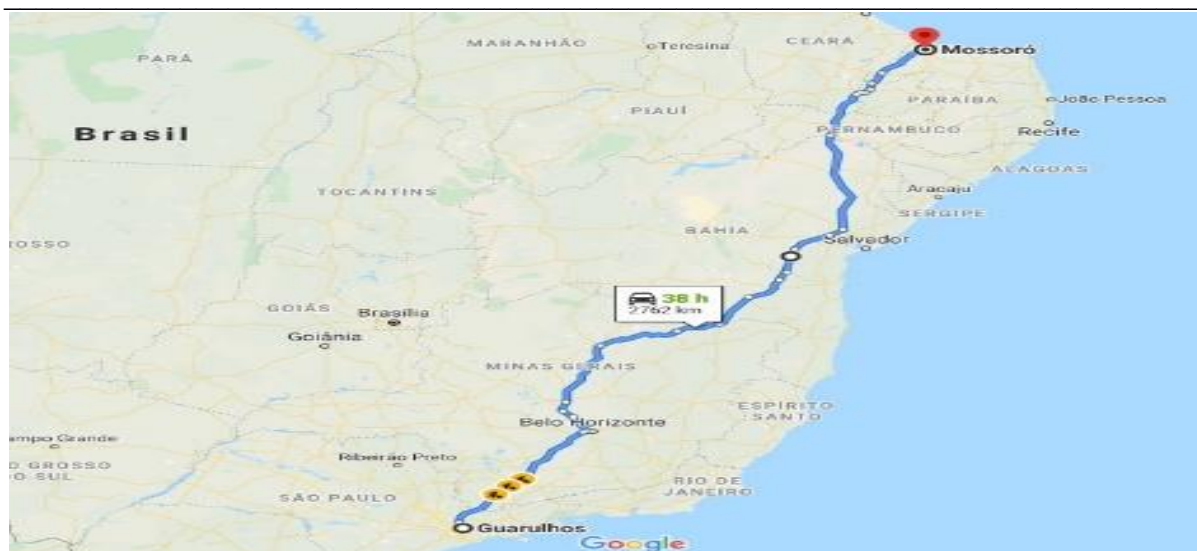


Figura 11. Percurso dos pneus avaliados. Fonte: Google Maps.

Os dados estão compreendidos por uma coleta de quilometragem durante o tempo de vida útil de pneu, entendendo que a vida é representada da seguinte forma: 1º vida indica o pneu novo; 2º vida indica o pneu recapado pela primeira vez e 3º vida indica o pneu recado pela segunda vez.

5.1 Pneus do tipo tração.

O gráfico 1 mostra o CPK (custo por quilômetro) da amostra de pneus do tipo tração. O CPK é calculado usando os valores de aquisição e recapagem dos pneus.

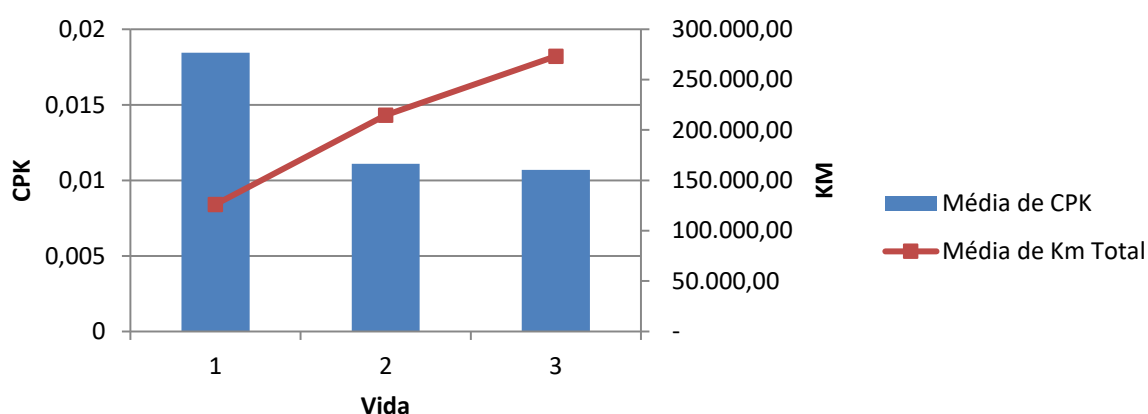


Gráfico 1. CPK e quilometragem dos pneus de tração em até 3 recapagens.

Os pneus de tração, mais conhecidos como borrachudos, são aplicados desde a sua primeira vida até o seu primeiro recape exclusivamente em veículos com eixo de tração. São esses modelos de estudo e análise: M-729 (BRIDGESTONE); M-732 (BRIDGESTONE) e TR-88 PIRELLI.

A partir do seu terceiro recape é aplicada banda de rodagem do tipo direcional e alocado em semirreboques, pois o rendimento cai drasticamente devido aos esforços aplicados na carcaça durante a utilização e a recapagem, além de visar o máximo de aproveitamento da carcaça reduzindo o custo do pneu por quilômetro rodado.

5.2 Pneus do tipo direcional

O gráfico 2 representa a análise feita em pneus direcionais que são aplicados geralmente nos veículos de tração em seus eixos dianteiros e em semirreboques em geral. Nos veículos de tração a aplicação dos pneus direcionais é feita só com os que estão na primeira vida exclusivamente no primeiro eixo do cavalo mecânico, a partir do primeiro recape ele é alocado nos semirreboques.

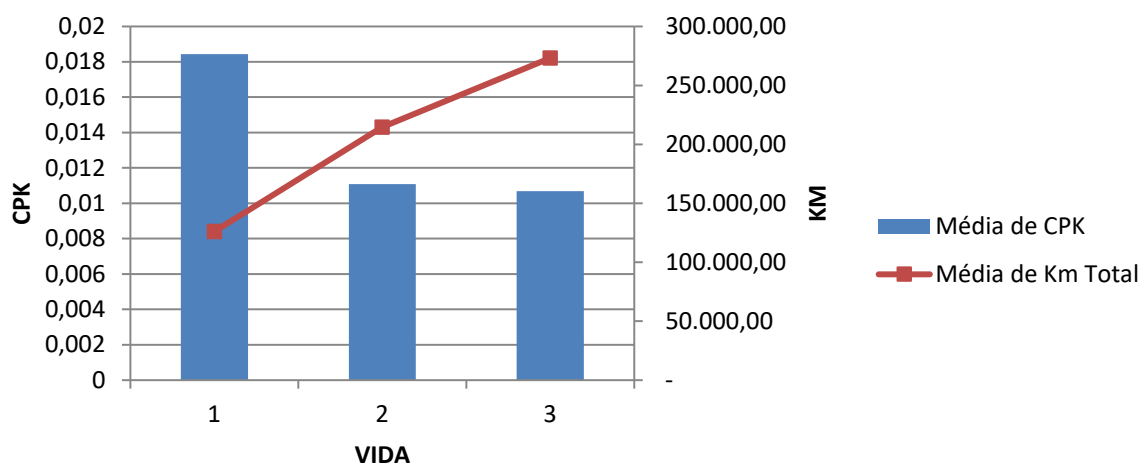


Gráfico 2. CPK e quilometragem dos pneus direcionais em até 3 recapagens.

5.3 Análise média de quilômetros percorridos por marca.

Os gráficos 3 e 4 e a Tabela 3 mostram a média de desempenho em quilômetros percorridos de cada marca em função da vida.

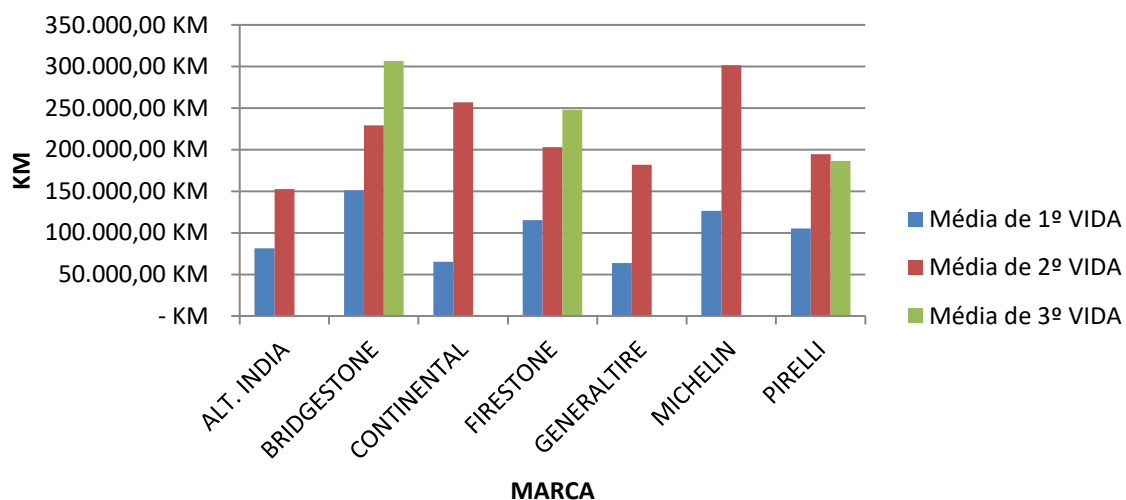


Gráfico 3. Quilometragem percorrida por marca em cada vida.

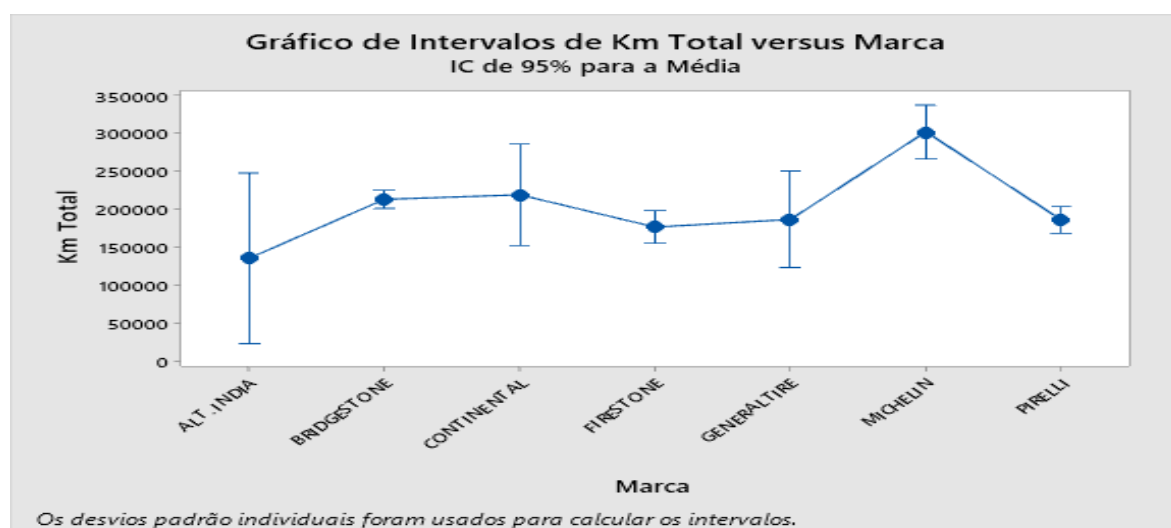


Gráfico 4. Quilometragem percorrida por marca, geral. Nível de significância < 0,05.

5.4 Análise de custo médio por marca.

Os gráficos 5 e 6 e a tabela 4 representam a análise de custo médio por pneu em função de suas recapagens, que correspondem ao número de vidas. Onde o número 1 representa a vida inicial do pneu e respectivamente 2 e 3 representam o quantitativo de vezes em que o pneu foi recapado. A cada recapagem o custo desse processo é somado ao custo de aquisição do pneu.

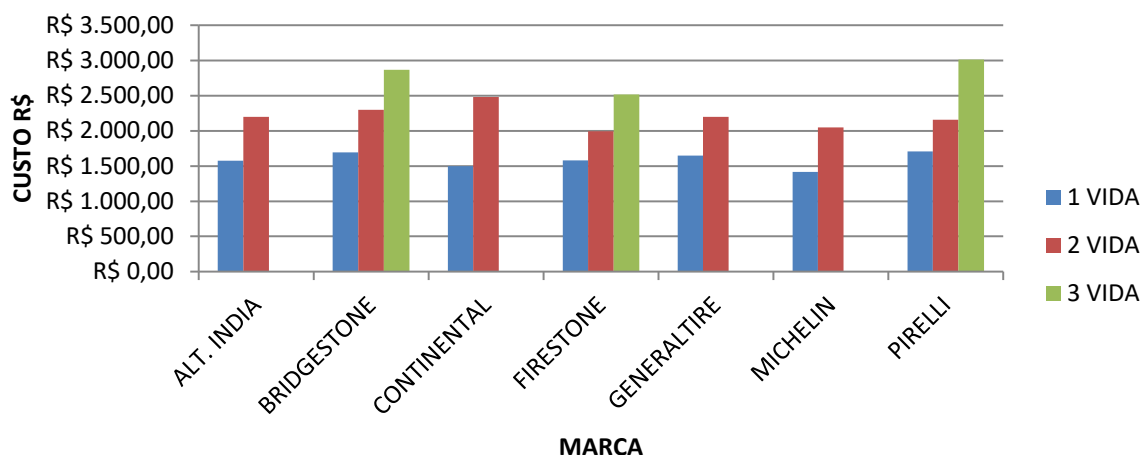


Gráfico 5. Custo médio por vida de cada marca de pneu.

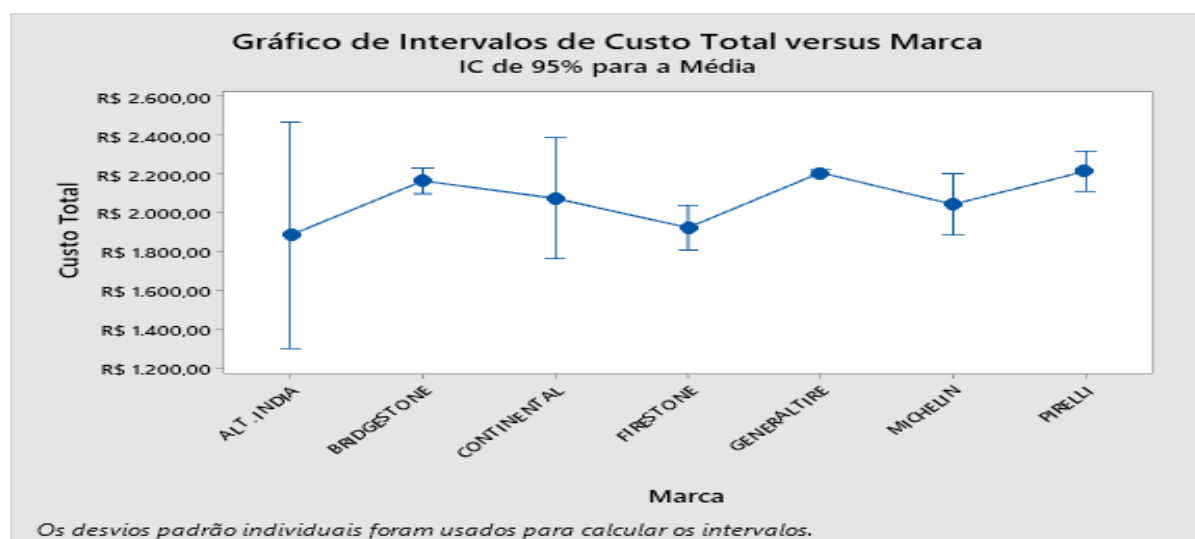


Gráfico 6. Custo médio geral de cada marca de pneu. Nível de significância <0,05.

MARCA	1º VIDA	2º VIDA	3º VIDA	MÉDIA
ALT. INDIA	1.575,00 R\$	2.200,00 R\$		1.887,50 R\$
BRIDGESTONE	1.691,44 R\$	2.296,46 R\$	2.865,60 R\$	2.210,69 R\$
CONTINENTAL	1.500,00 R\$	2.480,00 R\$		2.153,33 R\$
FIRESTONE	1.581,70 R\$	1.995,89 R\$	2.516,25 R\$	1.871,90 R\$
GENERALTIRE	1.650,00 R\$	2.200,00 R\$		1.925,00 R\$
MICHELIN	1.417,50 R\$	2.046,00 R\$		1.731,75 R\$
PIRELLI	1.707,14 R\$	2.158,24 R\$	3.014,00 R\$	2.045,95 R\$

Tabela 4 Valores do custo médio de cada marca em cada vida.

5.5 Análise média de Custo do Pneu por Quilometragem (CPK).

Os gráficos 7 e 8 e a tabela 5 apresentam os valores de CPK médio, nesta análise entende-se que os dados na vertical correspondem ao CPK do pneu, entendendo que quanto menor o seu valor, maior é o desempenho, que corresponde a custo e quilometragem percorrida (R\$/km).

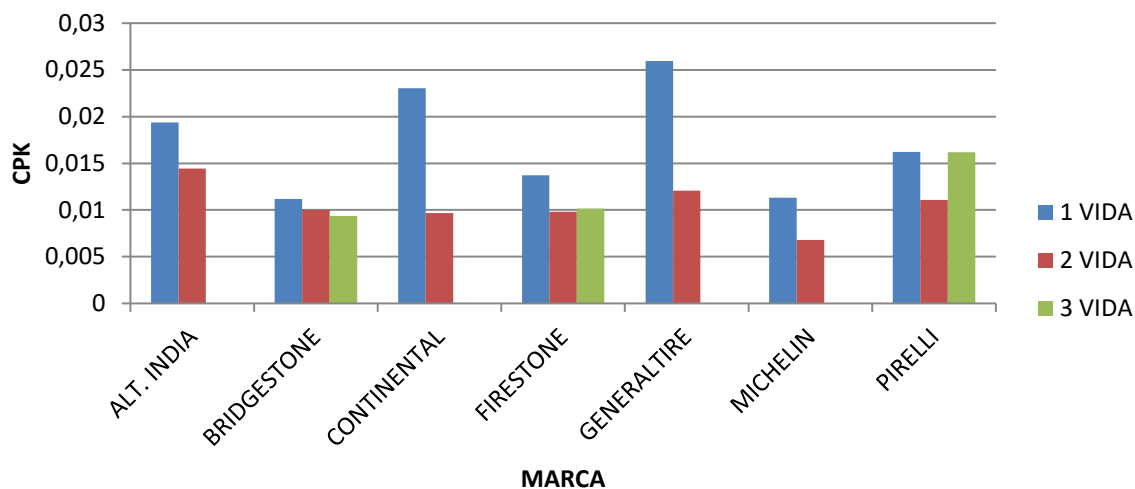


Gráfico 7. Custo por quilômetro em cada vida, por marca avaliada.

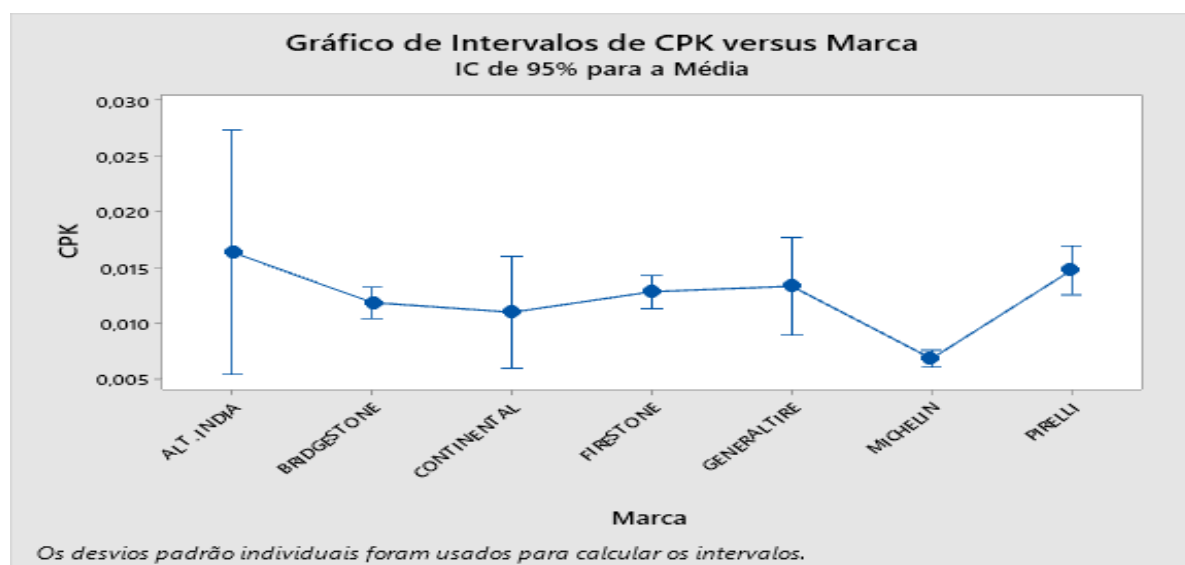


Gráfico 8. Custo por quilômetro por marca. Nível de significância < 0,05.

MARCA	KM (TOTAL)	CUSTO (TOTAL)	CPK (TOTAL)
ALT. INDIA	116.953,50 KM	R\$ 1.887,50	0,016139
BRIDGESTONE	218.378,39 KM	R\$ 2.210,69	0,010123
CONTINENTAL	192.925,00 KM	R\$ 2.153,33	0,011161
FIRESTONE	170.341,55 KM	R\$ 1.871,90	0,010989
GENERALTIRE	122.827,49 KM	R\$ 1.925,00	0,015672
MICHELIN	214.025,37 KM	R\$ 1.731,75	0,008091
PIRELLI	163.716,95 KM	R\$ 2.045,95	0,012497

Tabela 5. Valores gerais para análise por marca avaliada.

Os dados apresentados mostram que o custo com pneus na empresa tem os produtos da Michelin com o melhor desempenho tendo em vista seu custo e rendimento, com custo inicial no valor de R\$ 1.417,50 e uma

quilometragem média de 214.025,37 km ele acaba se sobressaindo das outras marcas principalmente a Bridgestone pelo fato de sua carcaça aguentar uma rodagem em termos de km maior entre as recapagens, e a Pirelli por possuir uma média de quilômetros percorridos superior. Entendendo que quanto menor for o seu Custo de Pneu por Quilômetro, maior é o seu desempenho, temos que a marca Michelin chegou a atingir em média o CPK 0,008091 R\$/ km valor este que se considerado com as outras marcas que foram estudadas e aplicado a um custo geral anual, representa uma economia significativa para a empresa.

A análise de CPK é adquirida a partir da Equação 1.

Análise de CPK (R\$/Km):

$$CPK = \frac{\text{Custo total do pneu (desde a compra até a última recapagem)}}{\text{Quilometragem percorrida a o longo de sua vida útil}} \quad \text{Equação 1}$$

4. CONCLUSÕES

Foram analisados os custos e os benefícios financeiros da utilização de uma marca e modelo adequado, tomando por base a sua aplicação e os processos pelos quais o produto passa ao longo de sua vida útil. O estudo possibilitou um maior entendimento da composição e manuseio além de uma apresentação dos componentes do pneu. Além disso foi apresentada uma análise operacional de uma empresa transportadora com foco a um comparativo entre marcas adotadas por essa empresa.

Assim, pode-se concluir que foi provida uma análise de dados que pode dar suporte à uma decisão com vistas a reduzir o custo com pneus em caminhões de carga.

Concluiu-se ainda que, considerando exclusivamente a experiência catalogada pela empresa, os produtos da marca Michelin foram os mais adequados para a empresa, tomando por base os dados analisados, tendo demonstrado o melhor custo por quilômetro, parcela muito importante do custo básico de um caminhão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRIDGESTONE, Firestone. **Centro de treinamento** volumes 4;5;6 . 1º edição de 1994.

<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/viewFile/1383/1383>; acesso em: 23/05/2020.

<https://www.google.com.br/maps/@-5.1952368,-37.34164,13z>; acesso em: 23/05/2020.

<https://www.ocarreteiro.com.br/saiba-como-aumentar-a-vida-util-dos-pneus/>; acesso em: 23/05/2020.

<https://www.ocarreteiro.com.br/?s=pneus>; acesso em: 23/05/2020.

Ma, B.; Xu, H.; Chen, Y. e Lin, M.; Evaluating the tire wear quantity and differences based on vehicle and road coupling method. *Advances in Mechanical Engineering*, 2017; Vol. 9(5) 1–13.

Kravchenko, A. ; Sakno, O.; Lukichov, A.; Research Of Dynamics Of Tire Wear Of Trucks And Prognostication Of Their Service Life; *Transport Problems*, 2012, Volume 7 Issue 4.