

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Separação e Análise de Efeitos Sistemáticos de Uniformidade na Construção e Vulcanização de Pneus

João Pedro Mota Brás Afonso

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador Interno: Professor Carlos João Rodrigues Costa Ramos

Orientador Externo: Engenheiro Ricardo José Oliveira Ferrão

9 de julho de 2019

Resumo

A presente dissertação de mestrado descreve o desenvolvimento do projeto realizado na empresa Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A. em parceria com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Este projeto tem como principais objetivos:

- Criação de uma rotina automática de análise de pneus de produção em série e por lote;
- Estudo da viabilidade da junção de resultados de análise de pneus provenientes de Máquinas de diferentes fornecedores;
- Separação das ondas dos efeitos sistemáticos de Vulcanização e *Green Tire*;
- Separação de efeitos sistemáticos na construção do *Green Tire*;
- Automatização através de software capaz de integrar todos os dados indicando ao utilizador qual o melhor *spot* de Vulcanização ¹.

Este projeto surge devido aos resultados de análise provenientes de Máquinas de Uniformidade (MU) de diferentes fornecedores não serem comparáveis entre si. O facto dos resultados das análises não serem coerentes entre os diferentes grupos, leva a que, quando se realiza uma análise da onda final do pneu, a mesma não corresponda à realidade observável, urge assim encontrar uma solução que permita a uniformização dos dados.

Com a criação da rotina de análise automática em conjunto com a uniformização dos dados de análise das Máquinas de Uniformidade, tornou-se possível fazer a separação automática do efeito de vulcanização e *Green Tire*, durante produção normal através da ajuda do projeto “*Spot Automático*”, levando assim a uma melhoria do *yield* de produção a nível de radiais *peak-to-peak*, radiais de 1^o e 2^o harmónicos.

¹ Posição escolhida para colocar o *Green Tire* na vulcanização

Abstract

This thesis describes the development of the project carried out at Continental Mabor - Indústria de Pneus S.A. in partnership with the Faculty of Engineering of the University of Porto.

This project has as main objectives:

- Creation of an automatic routine for analysis production tires and by batch production;
- Study of the feasibility of joining results from different machine suppliers for data analysis;
- Vector Separation of Curing and Green Tire;
- Separation of systematic effects in the construction of Green Tire;
- Automation through software of all data from different machines, indicating to the user the best Curing spot ².

This project arises due to the results of analysis coming from Uniformity Machines from different suppliers not being comparable with each other. The fact that the results of it are not coherent between the different groups of machines, leads to when an analysis of the final wave of the tire is performed, it does not correspond to the observable reality, it is therefore urgent to find a solution that allows the uniformity of the data.

With the creation of the automatic analysis routine in conjunction with the standardization of analysis data received from the Uniformity Machines, it became possible to make the automatic separation of curing and Green Tire effect during normal production through the help of the project "Spot Automático", thus leading to an improvement in the production yield at the peak-to-peak radial, 1st harmonic and 2nd harmonic radial.

²Position chosen for the textit Green Tire to get into curing

Agradecimentos

A realização deste trabalho de dissertação só foi possível devido a várias pessoas e instituições. Ao Professor Carlos Ramos, orientador académico, por toda a disponibilidade e suporte oferecido sempre que solicitado.

À Continental Mabor pela oportunidade, disponibilidade para a realização desta dissertação e permitir a aplicação das sugestões propostas ao longo deste trabalho.

Aos meus orientadores Eng. Ricardo Ferrão, Eng. Hélio Jesus pelo acompanhamento constante, assim como pela confiança depositada nas minhas capacidades de trabalho. A todo o Departamento da Qualidade que me acolheram como um membro da equipa e estiveram sempre disponíveis para qualquer ajuda que necessitasse.

A todos os meus amigos que foram essenciais nesta caminhada, nos momentos bons e maus sempre estiveram presentes. Todos sabem o quanto gosto de cada um e agradeço todo o orgulho que têm em mim. Um agradecimento muito especial aos meus pais, avós e irmãos pelo apoio incondicional, pelos sacrifícios, pelo amor demonstrado em tornar este sonho uma realidade.

A vós dedico este trabalho!

João Pedro Mota Brás Afonso

*“Success is not the key to happiness. Happiness is the key to success.
If you love what you are doing, you will be successful.”*

Albert Schweitzer

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contexto e Motivação	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organização	2
1.4	Apresentação da Empresa	2
2	O Pneu	5
2.1	Os Diferentes Componentes do Pneu	6
3	Revisão Bibliográfica	9
3.1	<i>Tyre Uniformity</i>	9
3.2	Parâmetros de Uniformidade do Pneu	9
3.2.1	Eixos de Medição	9
3.2.2	Variação da Força Radial (VFR)	10
3.2.3	Variação da Força Lateral (VFL)	10
3.2.4	Análise das Formas de Onda Harmônicas	11
3.2.5	Conicidade	11
3.2.6	<i>Ply-steer</i>	12
3.2.7	Descentramento Radial	12
3.2.8	Descentramento Lateral	13
3.2.9	Protuberância e Depressão	13
3.3	Máquinas de Medição de Uniformidade de Pneus	14
3.3.1	Outros tipos de Máquinas de Uniformidade	14
3.3.2	Métodos de Medição de Geometria	15
3.4	Medição de Uniformidade no Domínio de Forma de Onda	17
3.5	Medição de Uniformidade no Domínio de <i>Fourier</i>	19
4	Caraterização do Problema	23
4.1	Definição do Problema	23
4.2	Solução Proposta	23
4.3	Determinação das Configurações das MU's	25
4.3.1	Teste de Repetibilidade das Máquinas	27
4.3.2	Verificação dos Desvios do Valor Calculado dos Ângulos da Transformada de <i>Fourier</i>	29
4.4	Técnica de Separação Vetorial	31

5	Metodologia e Implementação	35
5.1	Separação de Efeito de Vulcanização e <i>Green tire</i>	35
5.1.1	<i>Spot</i> Automático	36
5.2	Separação de Efeitos na Construção do <i>Green Tire</i>	39
5.3	Análise das Ondas Finais	42
6	Análise de Resultados	43
6.1	Análise de Ondas Finais dos Pneus	43
6.2	<i>Spot</i> Automático	45
6.3	Separação de Efeitos na Carcaça	47
7	Conclusões e Trabalho Futuro	49
7.1	Discussão e Conclusões	49
7.2	Trabalho Futuro	50
	Referências	51

Lista de Figuras

1.1	Antiga Mabor	3
2.1	Etapas do processo de produção de um pneu	5
2.2	Composição do talão	6
2.3	Representação da camada na jante	6
2.4	Representação da tela na jante	7
2.5	Representação da parede na jante	7
2.6	Representação do <i>breaker</i> na jante	7
2.7	Representação do <i>caply</i> na jante	8
2.8	Representação do pneu completo numa jante	8
3.1	Eixos de variação de força no pneu	10
3.2	Análise dos harmónicos	11
3.3	Conicidade	12
3.4	Descentramento radial	12
3.5	Descentramento lateral	13
3.6	Máquina de uniformidade	14
3.7	Sensor <i>Sheet-of-Light</i> Laser	16
3.8	Diagrama de fluxo para medição de uniformidade no domínio de forma de onda	17
3.9	Diagrama de fluxo para medição de uniformidade no domínio de <i>Fourier</i>	19
3.10	Diagrama de fluxo de um exemplo de método para determinar uma magnitude de um processo harmónico	21
4.1	Diferença entre reconstrução das ondas	25
4.2	Pneu com <i>high point</i> em posição conhecida	25
4.3	Teste de repetibilidade com pneu de <i>high point</i>	27
4.4	Teste de repetibilidade com pneu onda suave	28
4.5	Teste de desvio de $\pm 10^0$ na medição das MU's	29
4.6	Script utilizado para gerar erro aleatório	29
4.7	Teste de desvio de $\pm 10^0$ na medição das MU's	30
4.8	Separador	32
4.9	Esquema de translação código de barras em relação a parede	33
5.1	Separação de efeitos ferramenta Continental	35
5.2	Separação efeitos <i>Matlab</i>	36
5.3	Sequência de funcionamento da rotina de <i>spot</i> automático	37
5.4	Painel do programa desenvolvido	37
5.5	Painel do programa desenvolvido	38
5.6	Representação da rotação dos componentes na PU	39

5.7	Configurações de desacoplamento na KM e PU respectivamente	40
5.8	Rotação código do barras e posição de vulcanização	40
5.9	Sequência de processamento dos dados da rotina de separação de efeitos	41
5.10	Sequência de funcionamento da rotina de visualização de ondas por artigo/módulo/data de construção	42
5.11	Página inicial do programa desenvolvido	42
6.1	Ondas da medida 215/55 R18 antes e após correção de <i>spot</i>	43
6.2	Caixa utilizada para a realização do <i>spot</i> automático	45
6.3	Resultado da análise de <i>spot</i> de vulcanização para a prensa N12	46
6.4	Onda de 1º e 2º estágios	47
6.5	Comparação <i>spot</i> de construção	47

Lista de Tabelas

4.1	Média e desvio padrão da magnitude do teste de 50 passagens	28
4.2	Média e desvio padrão dos ângulos do teste de 50 passagens	28
5.1	Exemplo tabela para análise vetorial	41
6.1	Comparação do artigo 215/55 R18 antes e após intervenção	44
6.2	Comparação do artigo 245/45 R18 antes e após aplicação de <i>spot</i> de vulcanização	45
6.3	Comparação do artigo 285/45 R22 antes e após análise vetorial	48

Abreviaturas e Símbolos

MU	Máquina de Uniformidade
TF	Transformada de <i>Fourier</i>
VFR	Varição da Força Radial
FRxH	Harmónico x da força radial
VFL	Varição de Força Lateral
rpm	Rotações por minuto
Km/h	Quilómetros por hora
mm	Milímetros
PU	Máquina de construção do conjunto
KM	Máquina de construção da carcaça
daN	Decanewton
yield	Número de pneus dentro dos limites do cliente \div Número pneus produzidos

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contexto e Motivação

Esta dissertação foi realizada em ambiente empresarial, mais concretamente na Continental Mabor – Indústria de Pneus, S.A. localizada em Vila Nova de Famalicão. O problema para o qual se procura uma possível solução prende-se com a uniformização dos dados gerados pelas máquinas de uniformidade, que para cada pneu quando medido nas mesmas, geram uma função periódica. Essa forma de onda pode ser decomposta no somatório de funções sinusoidais de diferente frequência e amplitude. Dentro destas funções existem uma parte sistemática (que é comum a todos os pneus) e uma parte não sistemática que depende da variação do próprio processo de construção de um pneu.

A identificação deste sinal, assim como identificar de que parte do processo é proveniente, é possível através de uma técnica de separação de efeitos sistemáticos. Neste trabalho pretende-se estudar a viabilidade desta técnica, identificando que tipo de pneus devem ser escolhidos para este estudo, a amostragem mínima, o erro associado, repetibilidade dos resultados e inferência dos resultados obtidos na produção em série.

A análise vetorial é usada para otimizar a distribuição de emendas dos vários materiais do pneu, assim como detetar e quantificar efeitos sistemáticos que estejam a ocorrer no processo. O resultado destas análises nem sempre corresponde a uma melhoria efetiva da qualidade do pneu. Outro problema é que o nível de residuais é bastante elevado, levando a repetições do processo de análise ou análises inconclusivas.

No final do projeto pretende-se que haja uma explicação teórica (provada na prática) que explique ou resolva os problemas referidos. Deve ser feito um programa que combine os vários parâmetros de medição (e outros) e que permita fazer uma análise de resultados e uma inferência destes na produção. Além disso, o programa deve ser capaz de fazer uma análise automática que tenha em conta as variáveis encontradas e combine os vários formatos possíveis de medição das várias máquinas de uniformidade existente.

1.2 Objetivos

Nesta secção apresentam-se os principais objetivos pretendidos com a realização desta dissertação.

- Melhoramento da técnica de separação e análise de problemas de uniformidade;
- Identificação rápida de problemas sistemáticos;
- Aumento do *Yield*¹ de uniformidade.

1.3 Organização

Neste capítulo, faz-se uma introdução à dissertação realizada, referindo contextualização e motivação, os seus objetivos e a organização da mesma. É também neste capítulo que se faz uma apresentação da empresa. No segundo capítulo, é feita uma abordagem ao pneu e às etapas de processo de construção de pneus.

No terceiro capítulo, faz-se a revisão bibliográfica. Caracteriza-se o problema no quarto capítulo com a definição do problema e descreve-se a solução.

No quinto capítulo, apresenta-se a implementação: separação de efeito de vulcanização e *Green Tire* assim como o *spot* automático, a separação de efeitos na construção do *Green Tire* e a análise das ondas finais.

A análise de resultados é demonstrada no sexto capítulo, pela análise de ondas finais de pneus, separação de *Green Tire* e vulcanização e separação de efeitos na carcaça. Por fim no sétimo capítulo referem-se as conclusões obtidas e trabalho futuro.

1.4 Apresentação da Empresa

A Continental Mabor faz parte da Continental AG (*Automotive Grupo*), que foi fundada em Hannover (Alemanha) em outubro de 1871. Na sua origem fabricava artefactos de borracha flexível e pneus maciços para carruagens e bicicletas.

Em 1898, iniciou a produção de pneus lisos (sem desenho de piso) para automóveis. A partir de então, acompanha a evolução operada na indústria automóvel com o estudo e aplicação de técnicas, produtos e equipamento para a melhoria de pneumáticos. O seu prestígio ultrapassa as fronteiras da Alemanha e os pneus Continental passaram a equipar carros vencedores de diversas competições automóveis.

Em 2007, a Continental adquire a Siemens VDO Automotive AG e avança para os cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel e ao mesmo tempo desenvolvendo a sua posição na Europa, América do Norte e Ásia.

O Grupo Continental é especialista na produção de sistemas de travagem, controlos dinâmicos para viaturas, tecnologias de transmissão de potência, sistemas eletrónicos e sensores. Em adição

¹Número de pneus dentro dos limites do cliente ÷ Número pneus produzidos

às operações ligadas ao setor automóvel, também produz para o fabrico de maquinaria, para a indústria mineira, de mobiliário e impressão. A Continental tem mais de 230 000 Colaboradores em cinco Divisões: *Chassis e Segurança, Powertrain, Interior, Pneus e ContiTech*. Trabalham em 56 países e em cerca de 427 locais diferentes [6].

A Continental Mabor nasceu em dezembro de 1989, como empresa ligada à indústria de pneus. O seu nome provém da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor, a nível nacional, e a Continental AG., de dimensão mundial. A Mabor – Manufatura Nacional de Borracha S.A. foi a primeira fábrica de pneumáticos de Portugal. Iniciou a sua laboração em 1946, com assistência técnica prestada pela General Tire, C^o, de Ohio (E.U.A.).

Em julho de 1990, iniciou-se o grande programa de reestruturação que transformou as antigas instalações da Mabor na mais moderna das, então, 21 unidades da Continental. Partindo de uma produção média diária de 5000 pneus/dia em 1990, foram atingidos os 21 000 pneus/dia em 1996, ou seja, a produção quadruplicou.

A produção da Empresa é, atualmente, muito variada quer em medidas, quer em tipos, quer em marcas. A Continental Mabor inclui, no seu portfólio, pneus destinados a SUV's (*Sport Utility Vehicles*), pneus de alta performance, pneus ContiSeal e pneus ContiSilent. A sua gama de fabrico inclui pneus de jante 14" até 22" e produz atualmente (2019) uma média diária de 60 000 pneus. Mais de 98% da produção destina-se à exportação.

O designado "mercado de substituição"(M.S.) absorve cerca de 60% da produção anual da Continental Mabor. A parte restante é distribuída pelas linhas de montagem, dos mais prestigiados construtores da indústria automóvel [5].



Figura 1.1: Antiga Mabor.

Capítulo 2

O Pneu

O pneu é composto por vários materiais: borracha, material têxtil e metálico. As principais funções do pneu são contacto com o solo, suporte de carga e conferir tração ao veículo. O pneu é desenvolvido para alcançar elevados desempenhos de tração, resistência ao desgaste, facilidade e conforto de condução, contudo, estas características apenas são possíveis de alcançar com um pneu o mais redondo possível e, sendo este uma composição de vários materiais, esta tarefa não é trivial.

Caso exista alguma imperfeição na construção do pneu este, ao invés de ter uma forma redonda, poderá ter uma forma oval ou mesmo triangular, que para além de causar desconforto na condução, também leva a uma diminuição do desempenho do pneu. Para evitar que este tipo de imperfeições saia para o mercado de venda, todos os pneus produzidos, para além de uma inspeção visual a 100% da produção, é também avaliada a sua uniformidade, geometria e balanceamento [1].

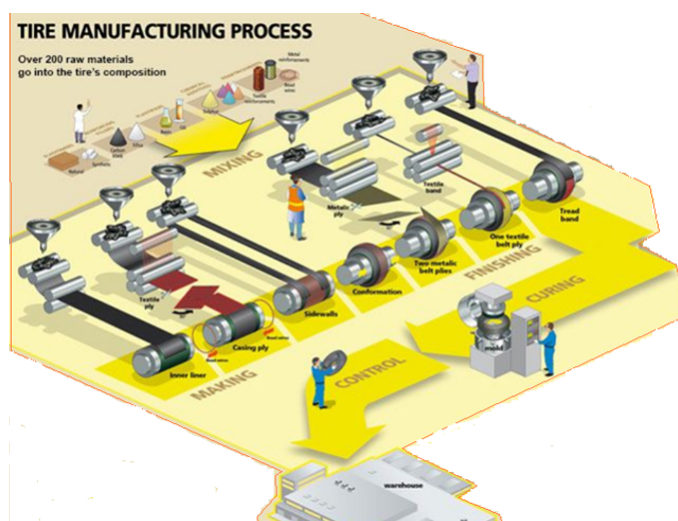


Figura 2.1: Etapas do processo de produção de um pneu [1].

2.1 Os Diferentes Componentes do Pneu

Como já foi referido anteriormente, o pneu é constituído por vários elementos, os quais são necessários juntar para formar um pneu uniforme. De modo a simplificar, considera-se que o *Green Tire* é constituído pela carcaça e conjunto. Descreve-se abaixo, de forma sumária, as etapas de construção do pneu [1].

- Talão: É responsável por fixar o pneu à jante, fornecer estabilidade direcional e delimitar a zona de flexão do pneu. Este é composto pelo núcleo do talão (Figura 2.2a) e pela cunha do talão (Figura 2.2b). O talão pode ainda conter um reforço, chamado reforço de talão, que tem como principal função solidificar a área de contacto com a jante (Figura 2.2c). Este reforço apenas é aplicado depois da tela [1].

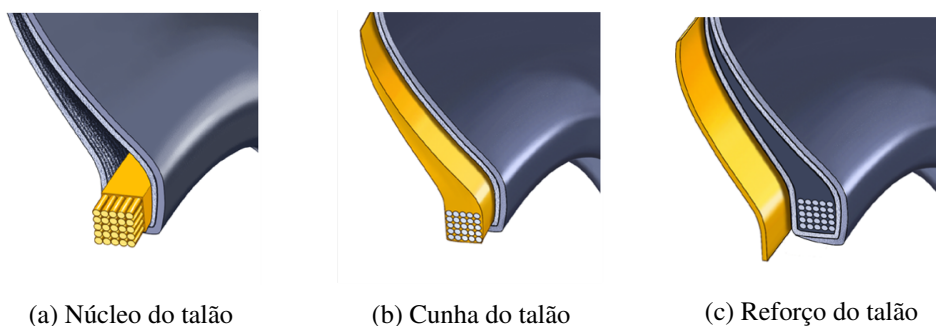


Figura 2.2: Composição do talão [1].

- Camada interna: Este é o primeiro elemento a ser inserido no tambor da construção da carcaça. Reduz a penetração de ar e assegura a estanquidade ao ar do pneu. Influencia a durabilidade, questões de ruído e vibrações. Resiste ao stress de tensões de corte elevado em alturas muito pequenas da parede lateral.

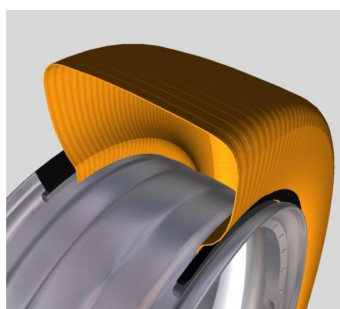


Figura 2.3: Representação da camada na jante [1].

- **Tela:** As carcaças podem ser constituídas por uma ou duas telas. Estas podem ou não ter reforço. É responsável pelo suporte da maior parte da carga provocada pela pressão interna do pneu. Esta conecta ambos os aros (talões), transmitindo as forças de tensão entre estas duas áreas [1].

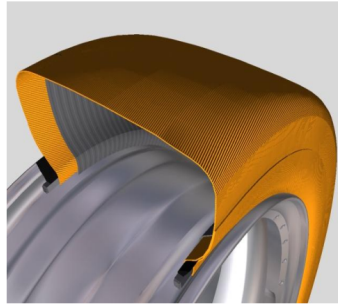


Figura 2.4: Representação da tela na jante[1].

- **Parede:** Protege a carcaça contra objetos e condições ambientais, influencia a transmissão de forças, comportamento de condução e resiste ao stress de tensões de corte elevado em alturas muito pequenas da parede lateral [1].

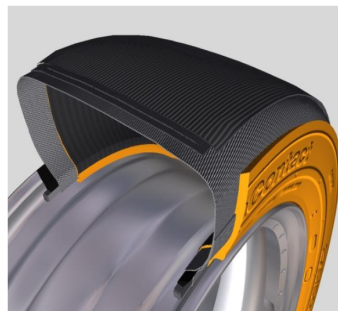


Figura 2.5: Representação da parede na jante [1].

- **Cintas metálicas (breaker):** Este é o primeiro componente do chamado conjunto, que é composto pelos *breakers*, *capply* e, por fim, o piso. Estabiliza o centro do pneu e transmite as forças da área de contacto do pavimento para a carcaça. Influencia também a estabilidade de condução e a durabilidade do pneu [1].

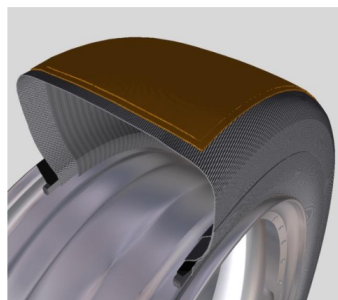


Figura 2.6: Representação da *breaker* na jante [1].

- *Caply*: Limita a expansão do centro do pneu, sob condições de alta velocidade (pressão interna). Reduz também o movimento do conjunto de ambas as cintas metálicas e, como tal, irá trazer melhorias a nível de durabilidade quando este esteja sujeito a altas velocidades [1].

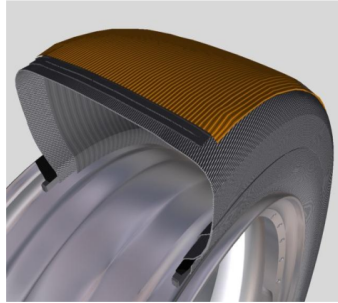


Figura 2.7: Representação da *caply* na jante [1].

- *Piso*: O composto do piso influencia o desgaste, a aderência, a resistência ao rolamento e a condutividade elétrica. Por outro lado, o padrão, que é atribuído durante a vulcanização do pneu, visto que este está impresso no molde, influencia a redução do ruído, aquaplanagem e *handling* do veículo (forma como o veículo se comporta durante a condução) [1].

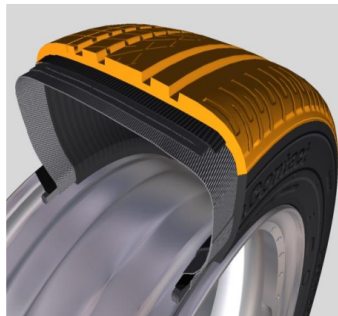


Figura 2.8: Representação do pneu completo numa jante [1].

Capítulo 3

Revisão Bibliográfica

3.1 *Tyre Uniformity*

Tyre uniformity (uniformidade dos pneus) refere-se às propriedades mecânicas dinâmicas dos pneus, conforme estritamente definido por um conjunto de padrões de medição e condições de teste aceites pelos fabricantes globais de pneus e automóveis. Esses padrões incluem: [15][16]

- [Variação da Força Radial \(VFR\)](#);
- [Variação da Força Lateral \(VFL\)](#);
- [Conicidade](#);
- [Ply-steer](#);
- [Descentramento Radial](#);
- [Descentramento Lateral](#);
- [Protuberância e Depressão](#).

Os fabricantes de pneus utilizam a medição da uniformidade dos pneus de forma a identificar pneus que tenham um desempenho abaixo dos *standards* aplicados pela empresa para que não sejam vendidos no mercado.

3.2 Parâmetros de Uniformidade do Pneu

3.2.1 Eixos de Medição

As forças exercidas no pneu podem ser divididas em três eixos: radial, lateral e tangencial. O eixo radial pode ser representado como um eixo vertical que se estende desde o topo do pneu até ao seu contacto com o solo passando pelo centro do pneu, este eixo é o responsável pelo suporte do peso do veículo. O eixo lateral corre lateralmente ao longo do piso e é paralelo ao eixo de montagem do pneu no veículo. Por fim o eixo tangencial é aquele que se representa ao longo da direção de deslocamento do pneu (Figura 3.1) [11].

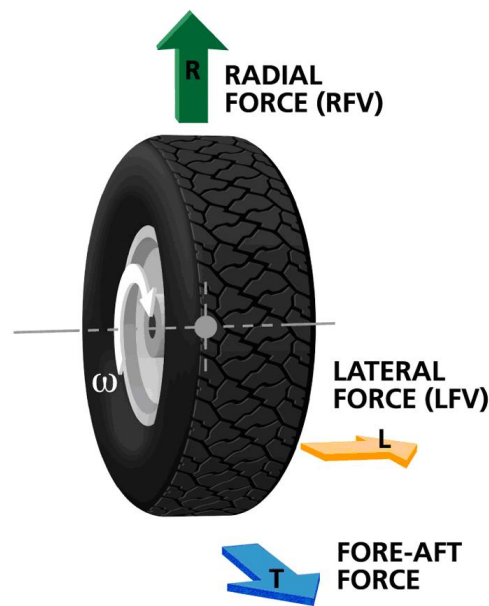


Figura 3.1: Eixos de variação de força no pneu [12].

3.2.2 Variação da Força Radial (VFR)

Na medida em que a força radial é aquela responsável pelo suporte do veículo, a VFR descreve a mudança nessa força quando o pneu gira sob carga. A VFR pode ser expressa como um valor pico a pico ou qualquer valor harmónico conforme descrito abaixo ([Análise das Formas de Onda Harmónicas](#)).

Alguns fabricantes de pneus marcam a parede lateral com um ponto vermelho para indicar a localização da força radial máxima e do desvio, o ponto alto. Um ponto amarelo indica o ponto de menor peso. O uso dos pontos é especificado no padrão de desempenho RP243 do *Technology Maintenance Council*. Para compensar essa variação, os pneus devem ser instalados com o ponto vermelho próximo à haste da válvula, supondo que a haste da válvula esteja no ponto baixo ou com o ponto amarelo próximo à haste da válvula, supondo que a haste da válvula esteja no ponto pesado [9].

3.2.3 Variação da Força Lateral (VFL)

Na medida em que a força lateral é a que age de um lado para o outro ao longo do eixo do pneu, a variação da força lateral descreve a mudança nessa força quando o pneu gira sob carga.

A VFL pode ser expressa como um valor pico a pico ou qualquer valor harmónico como descrito abaixo ([Análise das Formas de Onda Harmónicas](#)). A força lateral é assinalada, de tal forma que, quando montada no veículo, a força lateral pode ser positiva, fazendo com que o veículo puxe para a esquerda, ou negativo, puxando assim o veículo para a direita.

3.2.4 Análise das Formas de Onda Harmônicas

A VFR, assim como todas as outras medições de variação de força, podem ser mostradas como uma forma de onda complexa. Esta forma de onda pode ser expressa de acordo com seus harmônicos pela aplicação da Transformada de *Fourier* (TF). A TF permite parametrizar vários aspectos do comportamento dinâmico do pneu. O primeiro harmônico, expresso como FR1H (primeiro harmônico da força radial), descreve a magnitude da variação de força que exerce um pulso no veículo uma vez para cada rotação. O FR2H expressa a magnitude da força radial que exerce um pulso duas vezes por revolução, e assim por diante.

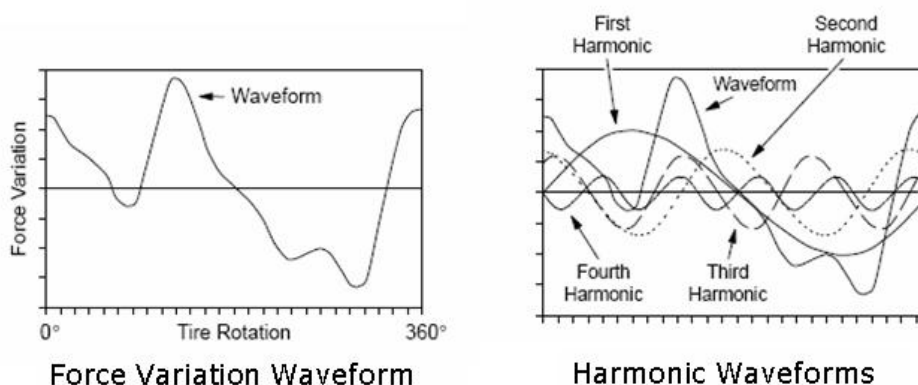


Figura 3.2: Análise dos harmônicos [22].

Muitas vezes, esses harmônicos têm causas conhecidas e podem ser usados para diagnosticar problemas de produção. Por exemplo, um molde de pneu instalado com menor número de parafusos que o necessário pode causar uma deformação, o que irá induzir um oitavo harmônico, portanto, a presença de um FR8H alto aponta para um problema de aparafusamento do molde.

O FR1H é a principal fonte de distúrbios de condução, seguido pelo FR2H. Os harmônicos altos são menos problemáticos, porque a velocidade de rotação do pneu nas velocidades de estrada multiplicado pelo valor harmônico faz com que distúrbios em frequências tão altas sejam amortecidos ou superados por outras condições dinâmicas do veículo.

3.2.5 Conicidade

A conicidade é um parâmetro baseado no comportamento da força lateral, característica a qual descreve a tendência do pneu a rolar como um cone. Essa tendência afeta o desempenho de direção do veículo (Figura 3.3) [7].

Para determinar a conicidade, a força lateral deve ser medida no sentido horário e no sentido anti-horário. A conicidade é calculada como metade da diferença dos valores, tendo em mente que estes valores têm sinais opostos. A conicidade é um parâmetro importante no teste de produção.

De forma a anular este efeito é essencial que os pneus com igual nível de conicidade sejam montados em lados opostos do veículo, tornando-se assim essencial que o fabricante de pneus mensure este valor e classifique os pneus em grupos de valores semelhantes.



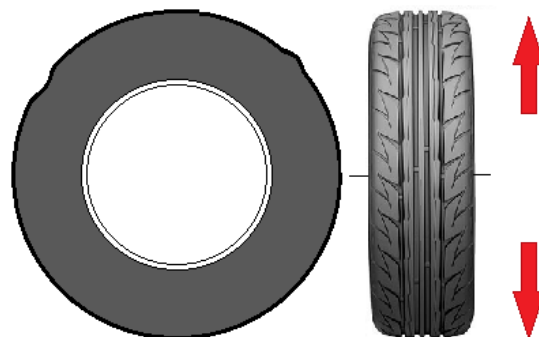
Figura 3.3: Conicidade de um pneu [2].

3.2.6 Ply-steer

Ply-steer descreve a força lateral que um pneu gera devido a assimetrias na sua carcaça. Este fenómeno pode também ser chamado de *pseudo side slip*. Esta característica é geralmente descrita como a tendência do pneu ter um "andar de caranguejo" (mover-se para os lados enquanto mantém uma orientação em linha reta). Esta tendência afeta o desempenho de direção do veículo[18][19]. Esta força permite também extrapolar o valor da conicidade, levando a que seja utilizada de forma a reduzir o tempo de ciclo de medição.

3.2.7 Descentramento Radial

Se existe descentramento radial, isso significa que o pneu não é perfeitamente circular e apresenta variações positivas ou negativas no seu diâmetro (Figura 3.4) [2].



As irregularidades diamétricas provocam sacudidas na suspensão do veículo e um grande desconforto

Figura 3.4: Descentramento radial [2].

3.2.8 Descentramento Lateral

O descentramento lateral é uma variação na geometria da parede lateral, a qual não se encontra toda no mesmo plano, num pneu a rolar, sob carga e com a pressão de enchimento recomendada (Figura 3.5) [2]. O descentramento lateral, tal como o descentramento radial, pode ser expresso como o valor pico a pico, bem como em valores harmônicos.



As variações na geometria da parede lateral originam sacudidelas na coluna de direcção

Figura 3.5: Descentramento lateral [2].

3.2.9 Protuberância e Depressão

Dado que o pneu é um conjunto de múltiplos componentes que são vulcanizados num molde, há muitas variações de processo que fazem com que os pneus vulcanizados sejam classificados como *scrap*. As protuberâncias e as depressões na parede lateral são os tais defeitos.

Uma protuberância é um ponto fraco na parede lateral que se expande quando o pneu é insuflado. A depressão é um ponto forte que não se expande em igual medida como a área circundante. Ambos são considerados defeitos visuais. Os pneus são verificados durante a produção para identificar aqueles que têm defeitos visuais excessivos. As saliências também podem indicar condições de construção defeituosas, como falta de fios, que representam um risco à segurança. Como resultado, os fabricantes de pneus impõem padrões rigorosos de inspeção para identificar pneus com protuberâncias [23].

3.3 Máquinas de Medição de Uniformidade de Pneus

As Máquinas de Uniformidade (MU) são máquinas para fins especiais que inspecionam automaticamente os pneus para os parâmetros de uniformidade do pneu descritos acima. Estas consistem em vários subsistemas, incluindo manuseio de pneus, *chuck*, jantes de medição, lubrificação, insuflação, roda de carga, acionamento do fuso, medição de força e medição de geometria [10].



Figura 3.6: Máquina de medição de uniformidade da *Hofmann Maschinen* [10].

O pneu é primeiro centrado e as áreas do talão são lubrificadas para garantir uma montagem suave nos aros de medição. O pneu é indexado na estação de teste e colocado na jante inferior. A jante superior desce para fazer contacto com o talão do pneu. O pneu é insuflado previamente com as definidas condições de teste. A roda de carga avança até entrar em contacto com o pneu e aplica uma força de carga definida. Em seguida, o pneu é acelerado até uma velocidade de teste. Quando a velocidade, a força e a pressão são estáveis, as células de carga medem a força exercida na roda de carga pelo pneu. O sinal de força é processado em circuitos analógicos e, em seguida, analisado para extrair os parâmetros de medição. Os pneus são marcados de acordo com vários padrões que podem incluir o ângulo de *high point*, o lado da conicidade positiva e a magnitude da conicidade.

3.3.1 Outros tipos de Máquinas de Uniformidade

Existem inúmeras variações e inovações entre vários fabricantes de máquinas de uniformidade de pneus. A velocidade de teste padrão para máquinas de uniformidade de pneus é 60 rpm de uma roda de carga padrão que se aproxima de 8 km/h.

As Máquinas de Uniformidade de alta velocidade são usadas em ambientes de pesquisa e desenvolvimento que atingem valores superiores a 250 km/h. As Máquinas de Uniformidade de

alta velocidade também foram introduzidas para testes de produção. As máquinas que combinam medição de variação de força com medição de balanceamento dinâmico também estão em uso.

3.3.2 Métodos de Medição de Geometria

Nas MU's também são medidos parâmetros de geometria dos pneus, estas medições são realizadas recorrendo a vários tipos de tecnologias de medição como, por exemplo: [20] [8]

- *Sensores de Contacto*;
- *Sensores Capacitivos*;
- *Fixed-Point Laser*;
- *Sheet-of-Light Laser*.

3.3.2.1 Sensores de Contacto

Os sensores de contacto utilizam uma sonda de toque para percorrer a superfície do pneu à medida que gira. A instrumentação analógica deteta o movimento da sonda e regista a forma de onda de saída. Este tipo de sensores requerem um esforço considerável para manter o seu desempenho mecânico. A pequena área de interesse na análise da parede lateral limita a eficácia destes sensor em discernir as protuberâncias e depressões do flanco lateral.

3.3.2.2 Sensores Capacitivos

Os sensores capacitivos geram um campo dielétrico entre o pneu e o sensor. Como a distância entre o pneu e o sensor varia, as propriedades de tensão e/ou corrente do campo dielétrico mudam. Para que sejam mensuradas as mudanças de campo e o registo da onda de saída é utilizado um circuito analógico. Estes sensores, embora tal como os sensores de contacto sejam uma das primeiras tecnologias a serem utilizadas, têm uma maior área de interesse.

Devido à proximidade necessária entre a superfície do pneu e o sensor durante o ato de medição, por vezes, podem ocorrer contactos entre ambos, o que pode causar problemas de manutenção a longo prazo. Além disso, alguns destes sensores são bastante suscetíveis à humidade, podendo assim estarem a fornecer leituras erróneas.

Dado à sua abrangência ser de apenas 10 mm, significa também que a medição da protuberância é limitada a uma pequena porção do pneu. Estes sensores recorrem a filtragem de vazio de forma a remover o efeito do vazio entre o ressalto do piso na medição do descentramento radial e a filtragem de letras, para que não sejam consideradas nas leituras as inscrições e as ornamentações existentes no pneu.

3.3.2.3 *Fixed-Point Laser*

Como alternativa às tecnologias supracitadas, surgem os sensores de laser de ponto fixo. Este tipo de sensores utiliza, tal como os sensores capacitivos, a filtragem de vazio de forma a remover

o efeito do vazio entre o ressalto do piso na medição do descentramento radial e a filtragem de letras, para que não sejam consideradas nas leituras as inscrições e as ornamentações existentes no pneu [3].

No entanto, estes sensores têm uma área de interesse estreita, devido ao facto de se recorrer a um único laser para a recolha de dados. Para mitigar a sua débil área de interesse, estes sensores recorrem a posicionamento mecânico de forma a permitir a leitura de múltiplas posições da parede lateral.

3.3.2.4 *Sheet-of-Light* Laser

Os sensores *Sheet-of-Light* Laser foram introduzidos em 2003 e surgiram como o método de medição mais capaz e fiável para deteção de descentramento, protuberâncias e depressões.

Os sensores *Sheet-of-Light* projetam uma linha de laser em vez de um ponto de laser e, assim, criam uma área de interesse muito grande. Estes podem facilmente estender uma área desde o talão até ao ombro e inspecionar toda a parede lateral quanto a defeitos de protuberância e depressão. Uma vez que estes sensores podem abranger 400 mm ou até cobrir toda a largura do piso, permitem a caracterização de descentramento radial em várias faixas [13], conforme ilustra a Figura 3.7.

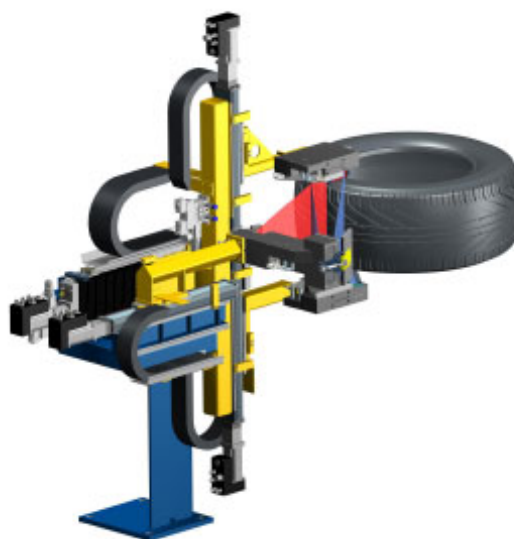


Figura 3.7: Sensor *Sheet-of-Light* Laser [13].

3.4 Medição de Uniformidade no Domínio de Forma de Onda

A Figura 3.8 ilustra um diagrama de fluxo de um possível método para medições de uniformidade. Neste método, as medições de uniformidade de cada pneu são modeladas com recurso a um modelo matemático incluindo o harmónico de processo.

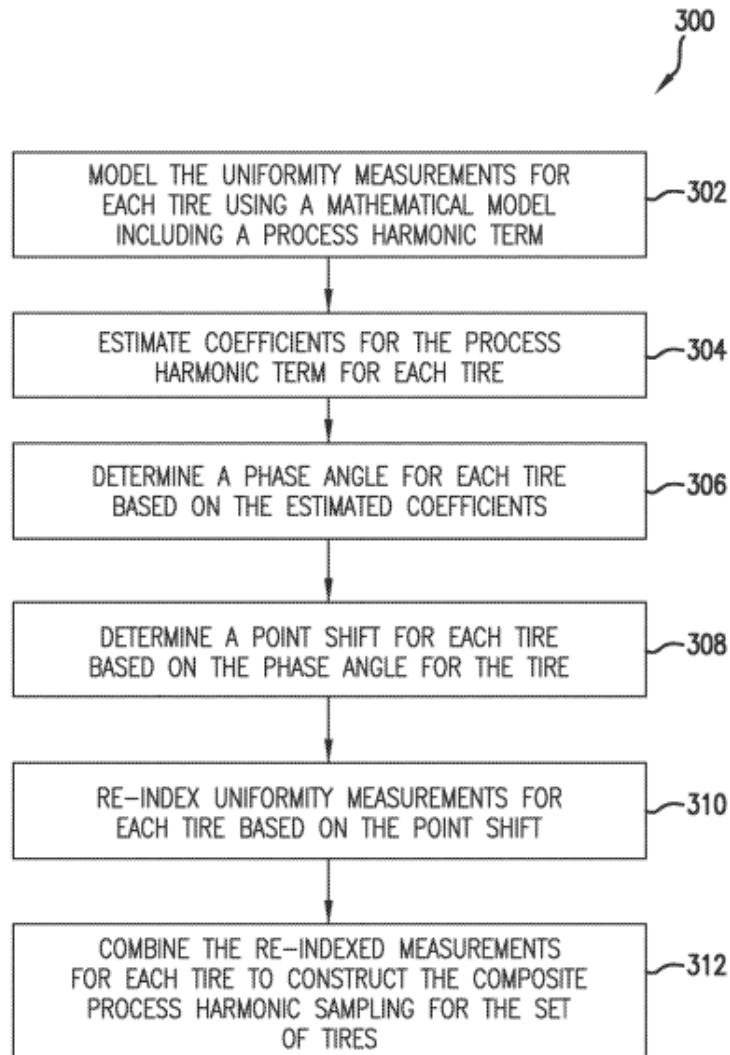


Figura 3.8: Diagrama de fluxo para medição de uniformidade no domínio de forma de onda [14].

Numa implementação que envolva dados de uniformidade em bruto, pode-se modelar de acordo com o seguinte modelo matemático 3.1: [14]

$$w_i = \mu + \sum_{p=1}^p a_p \cos\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) + b_p \sin\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) + \sum_{t=1}^T d_t \cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) + f_t \sin\left(\frac{2\pi}{N}\right) + \varepsilon_i \quad (3.1)$$

onde i é o ponto de dados de interesse dos N pontos de dados existentes, a_p e b_p representam os

coeficientes associados aos harmônicos de processo, d_i , f_i e h_p representam o número do harmônico associado ao processo P , μ representa os ruídos aleatórios e outros efeitos sistemáticos e, por fim, ε_i representa o residual ou erro. A equação 3.1 inclui o termo de processo harmônico representado por (equação 3.2): [14]

$$\sum_{p=1}^P a_p \cos\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) + b_p \sin\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) \quad (3.2)$$

No caso em que as medidas de uniformidade apenas necessitam de ser representativas de um único processo harmônico, com zero efeitos de pneu, o modelo pode ser simplificado da seguinte forma (equação 3.3): [14]

$$w_i = a_p \cos\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) + b_p \sin\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) + \varepsilon_i \quad (3.3)$$

Com referência à Figura 3.8 em (304), os coeficientes associados aos componentes de modelagem de termos harmônicos do processo das medições de uniformidade para cada pneu podem ser estimados usando uma análise de regressão, tal como uma análise de regressão linear. A análise de regressão estimará os coeficientes α_p e β_p , de modo a que o modelo matemático se ajuste melhor às medidas de uniformidade no sentido de mínimos quadrados.

Outra abordagem que pode ser usada para estimar os coeficientes inclui uma abordagem de programação. Sob uma abordagem de programação, os coeficientes são estimados para minimizar a diferença ou erro entre a medição de uniformidade num dado e o valor estimado para o ponto de dados usando o modelo matemático. Os coeficientes podem ser estimados usando uma abordagem de programação adequada linear, quadrática ou outra. Uma vez que os coeficientes associados ao termo harmônico do processo tenham sido identificados para cada pneu, um ângulo de fase que forneça a localização azimutal de uma magnitude máxima do processo harmônico no pneu pode ser determinado para cada pneu usando os coeficientes estimados Figura 3.8 (306). Por exemplo, o ângulo de fase de cada pneu pode ser determinado da seguinte forma (equação 3.4):[14]

$$\theta = \arctan \frac{b_p}{a_p} \quad (3.4)$$

onde θ é o ângulo de fase determinado para o pneu. Devido aos erros inerentes na determinação do ângulo de fase para cada pneu com base nos coeficientes determinados usando uma análise de regressão ou programação, a fase determinada para cada pneu também terá um pequeno erro. Os pequenos erros para os ângulos de fase dos pneus farão com que as medições de uniformidade para cada pneu sejam ligeiramente deslocadas quando alinhadas de acordo com exemplos de formas de realização.

3.5 Medição de Uniformidade no Domínio de *Fourier*

As medições de uniformidade também podem ser alinhadas para construir uma amostragem harmónica de processo composto no domínio de *Fourier*. A Figura 3.9 representa um diagrama de fluxo de um exemplo de método (400) para alinhar medições de uniformidade no domínio de *Fourier*.

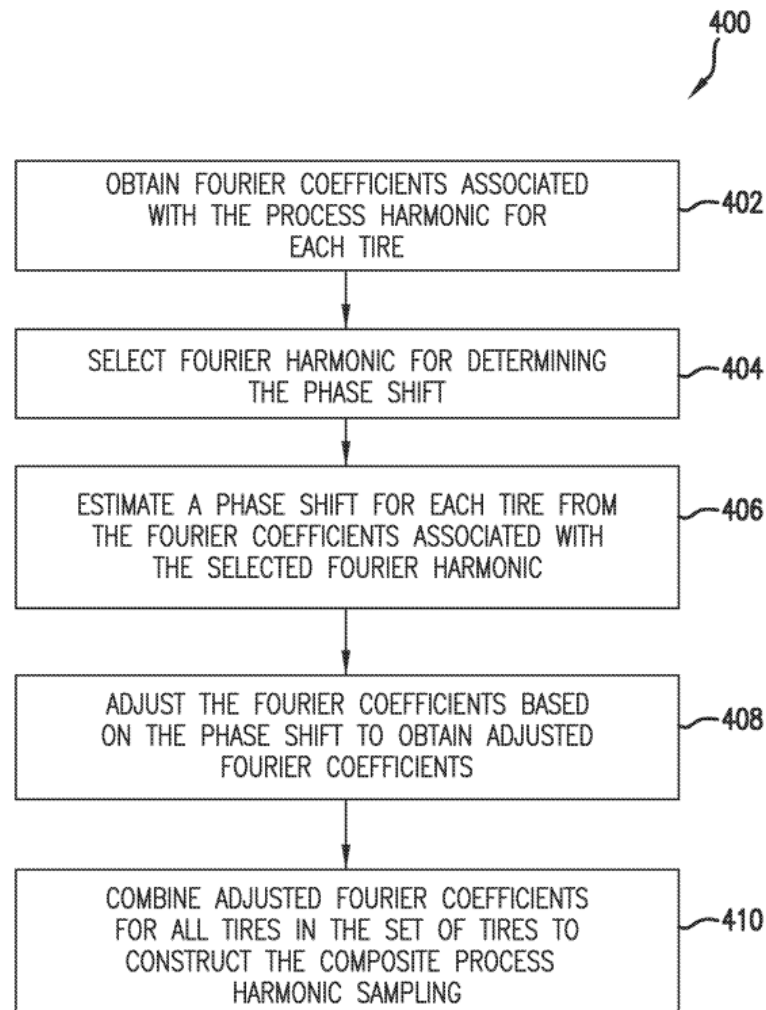


Figura 3.9: Diagrama de fluxo para medição de uniformidade no domínio de *Fourier* [14].

Na Figura 3.9, em (402), o método inclui a obtenção de coeficientes de *Fourier* associados ao processo harmónico para cada pneu no conjunto de pneus. Obter coeficientes de *Fourier* pode referir-se à determinação dos coeficientes de *Fourier* a partir das medidas de uniformidade, ou ao acesso aos coeficientes de *Fourier* previamente determinados, ou medidos armazenados, por exemplo, numa base de dados.

Em particular, os coeficientes de *Fourier* (associados a termos seno e cosseno) podem ser determinados para cada pneu para n componentes harmónicos do processo. Por exemplo, os coeficientes de *Fourier* podem ser determinados decompondo as medidas de uniformidade, usando uma

análise de *Fourier* numa pluralidade de harmónicos de *Fourier*, como um 1º, 2º, 3º, 4º harmónicos, etc. Os coeficientes de *Fourier* para cada harmónico de *Fourier* podem incluir um coeficiente associado ao termo cosseno e ao termo seno. Os coeficientes de *Fourier* podem ser obtidos para até $N/2$ harmónicos de *Fourier*. [21]

Os coeficientes de *Fourier* para qualquer ou todos os harmónicos de *Fourier* podem ser usados para determinar um deslocamento de fase para cada pneu. Na Figura 3.9 (404), um harmónico particular de *Fourier* é selecionado para determinar o deslocamento de fase para cada pneu. Por exemplo, os coeficientes de *Fourier* associados ao 1º harmónico de *Fourier* podem ser selecionados para determinar o deslocamento de fase de cada pneu.

Na Figura 3.9, em (406), o deslocamento de fase para cada pneu é estimado com base nos coeficientes de *Fourier* associados ao harmónico de *Fourier* selecionado. O deslocamento de fase pode ser as rotações angulares estimadas que são necessárias para trazer os termos cosseno do harmónico de *Fourier* selecionado de cada pneu igual às magnitudes do componente harmónico e os termos sinusoidais iguais a zero. O deslocamento de fase pode ser determinado da seguinte forma (equação 3.5): [14]

$$\theta = \arctan \frac{y_p}{x_p} \quad (3.5)$$

onde θ é o ângulo de fase determinado para o pneu, y_p é o coeficiente de *Fourier* associado ao termo seno do harmónico de *Fourier* selecionado para o pneu e x_p é o coeficiente de *Fourier* associado ao termo cosseno do harmónico de *Fourier* selecionado para o pneu. Após a determinação do ângulo de fase para cada pneu, o método pode incluir o ajuste dos coeficientes de *Fourier* para cada pneu com base no ângulo de fase determinado para o pneu ajustado aos coeficientes de *Fourier* Figura 3.9 (408). Os coeficientes ajustados para cada pneu podem ser determinados com base no ângulo de fase do pneu, de acordo com o seguinte (equação 3.6): [14]

$$x_a = \cos \cos \theta + \sin \cos \theta$$

$$y_a = -\sin \cos \theta + \cos \sin \theta \quad (3.6)$$

onde θ é o ângulo de fase determinado para o pneu, y_a é o coeficiente de *Fourier* ajustado associado ao termo sinusoidal do harmónico de *Fourier* selecionado para o pneu e x_a é o coeficiente de *Fourier* ajustado associado ao termo cosseno do harmónico de *Fourier* selecionado para o pneu. Os coeficientes de *Fourier* ajustados serão alinhados de tal forma que a magnitude total do componente de *Fourier* esteja associada aos termos do cosseno e o coeficiente associado com os termos do seno se aproximem de zero.

Na Figura 3.9, em (410), os coeficientes de *Fourier* ajustados para todos os pneus podem ser combinados para fornecer a amostragem harmónica composta. Os coeficientes combinados de *Fourier* ajustados para todos os pneus podem, desta forma, ser analisados usando uma única técnica de análise (por exemplo, técnica de regressão ou técnica de programação) para determinar

a magnitude do processo harmónico.

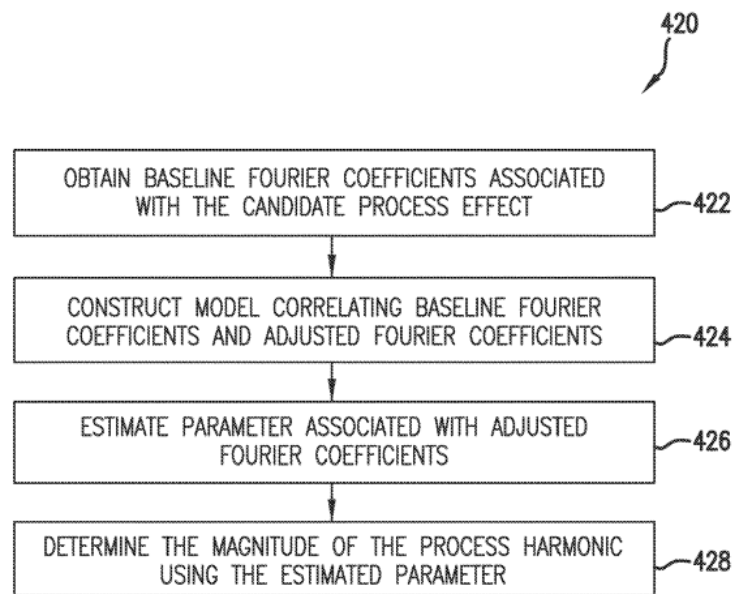


Figura 3.10: Diagrama de fluxo de um exemplo de método para determinar uma magnitude de um processo harmónico a partir de uma amostragem harmónica [14].

Na Figura 3.10, em (422), os coeficientes da linha de base associados ao efeito do processo candidato são calculados. Os coeficientes da linha de base serão usados para comparar com os coeficientes de *Fourier* ajustados para determinar a magnitude do harmónico do processo. Os coeficientes da linha de base podem ser obtidos construindo uma forma de onda simulada de linha de base para o efeito de processo candidato específico, como se segue (equação 3.7): [14]

$$base_i = \cos\left(\frac{2\pi i h_p}{N}\right) \quad (3.7)$$

onde $base_i$ é um valor de linha de base para cada ponto de dados i na forma de onda da linha de base, h é o número harmónico associado ao efeito do processo candidato e N é o número de pontos de dados para as medidas de uniformidade sobre o pneu.

A análise de *Fourier* pode ser realizada na forma de onda da linha de base para determinar os coeficientes de linha de base de *Fourier* para o harmónico. Após o cálculo dos coeficientes de linha de base de *Fourier*, um modelo pode ser construído correlacionando os coeficientes de *Fourier* da linha de base Figura 3.10 (424). Um exemplo de modelo é fornecido abaixo (3.8): [14]

$$w = P \cdot \beta + \varepsilon \quad (3.8)$$

onde w representa os coeficientes de *Fourier* ajustados, P representa os coeficientes de *Fourier* da linha de base associados ao efeito do processo candidato, β representa um parâmetro para correlacionar os coeficientes de *Fourier* da linha de base e os coeficientes de *Fourier* ajustados e representa um(ns) resíduo(s). Uma vez que os coeficientes de *Fourier* ajustados associados aos

termos do seno se aproximam de zero, o modelo pode correlacionar os coeficientes de *Fourier* associados aos termos cosseno.

Na Figura 3.10 em (426), o parâmetro que correlaciona os coeficientes de *Fourier* da linha de base com os coeficientes de *Fourier* ajustados é estimado usando uma análise de regressão ou uma análise de programação. A magnitude do processo harmônico pode ser determinada a partir do parâmetro estimado, Figura 3.10 (428). Por exemplo, a magnitude do processo harmônico pode ser igual ao parâmetro estimado.

Capítulo 4

Caraterização do Problema

4.1 Definição do Problema

Atualmente, na Continental-Mabor existe uma técnica de análise vetorial, no entanto, os ganhos dos resultados obtidos nem sempre correspondem a ganhos na produção em série, não sendo, em muitos casos, possível identificar a razão para esta discrepância.

Com esta dissertação pretende-se o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de forma automática reconstruir formas de onda do pneu, realizando as necessárias correções para o efeito, uniformizando os dados registados pelas MU's na base de dados, uma vez que estas devido ao facto de serem de diferentes fornecedores os guardam em diferentes configurações.

É também um requisito o desenvolvimento da separação do efeito de *Green Tire* do efeito de vulcanização de forma automática através do projeto *spot* automático. Com isto, espera-se que seja possível identificar as causas que levam a uma menor uniformidade do pneu e posterior correção dos mesmos, levando a que o *yield* seja maior.

4.2 Solução Proposta

A solução proposta prende-se por, inicialmente, estudar a teoria por trás da medição de uniformidade com base na TF. Este passo é essencial para que todo o trabalho desenvolvido esteja devidamente documentado, facilitando assim que terceiros possam realizar quaisquer atualizações necessárias ao programa desenvolvido.

Após a análise teórica, pretende-se que seja desenvolvido um programa capaz de reconstruir as ondas do pneu e juntar os dados provenientes de MU de diferentes fornecedores, uniformizando-os, para que seja possível a análise dos mesmos independentemente da MU na qual o pneu foi testado.

Numa fase inicial de trabalho, e ainda durante o decorrer da unidade curricular de Preparação da Dissertação, foram analisados alguns documentos com informação relativa à separação de efeitos no domínio de *Fourier*. Concluiu-se que para a reconstrução da onda proveniente da leitura

do pneu na MU seria necessário recorrer à inversa da transformada de *Fourier*, utilizando-se a seguinte fórmula 4.1 [17]:

$$U_i = \sum_{h=1}^H \frac{MAG}{2} \times \cos(h \times h_i - Angle) \quad (4.1)$$

onde *MAG* representa a magnitude e *angle* o valor dos ângulos dos harmônicos amostrados, já o valor de h_i é calculado a partir da fórmula 4.2 abaixo:

$$h_i = \frac{360 \times i}{N} \quad (4.2)$$

onde i corresponde ao ponto entre 0° e 360° , para o qual se está a calcular o valor de h_i e N corresponde ao número de pontos que foram amostrados pela MU.

Uma vez reconstruído um dos pontos que irão constituir a reconstrução da onda, torna-se agora necessário reconstruir a onda na sua totalidade, para, isso terá de se realizar a reconstrução de todos os N pontos que constituem a leitura do pneu, chegou-se, assim, à fórmula 4.3 utilizada no *script* de MatLab para reconstruir a onda original:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{h=1}^H \frac{MAG}{2} \times \cos\left(h \times \frac{360 \times n}{N} - Angle\right) \quad (4.3)$$

onde N corresponde ao número de pontos obtidos (128), H ao número de harmônicos calculados pela MU e *Angle* o valor recalculado do valor do ângulo obtido da base de dados.

Já no que diz respeito à uniformização dos dados, a solução que se propõe passa por com a ajuda de um pneu com uma onda de sinal conhecido e após passagem na MU comparar os resultados obtidos, manipulando os graus registados pela MU, usando as possíveis configurações fornecidas pelo departamento da engenharia, de forma a saber qual a devida configuração para cada uma das MU's.

4.3 Determinação das Configurações das MU's

De forma a que fosse possível uniformizar os resultados provenientes das MU's e a fazer as devidas alterações para que os ângulos estivessem uniformizados entre todas as máquinas em parque, procedeu-se à criação de um *high point* num pneu. De seguida, passou-se esse pneu em pelo menos uma máquina dos diferentes grupos existentes, desenhando-se depois as respetivas ondas resultantes.

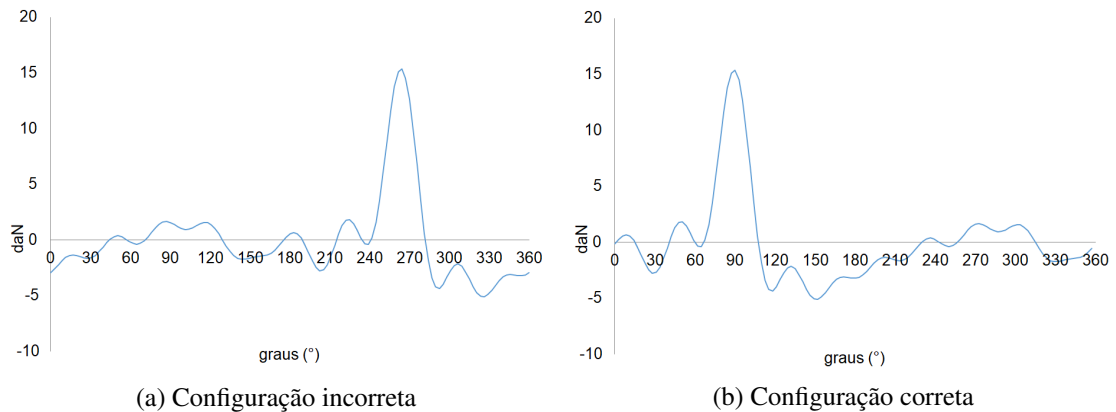


Figura 4.1: Diferença entre reconstrução das ondas com configuração correta e incorreta das MU's.

De forma a validar estes resultados obtidos, produziu-se um pneu onde a forma de onda gerada por este cálculo teria de ter um *high point* numa posição conhecida (Figura 4.2), obtendo assim a forma de onda visível na Figura 4.1a.



Figura 4.2: Pneu com *high point* em posição conhecida (90 °).

No entanto, conforme se pode verificar, a posição do *high point* da onda obtida não corresponde ao *high point* criado no pneu, o que levou à necessidade da descoberta da forma com que

cada uma das MU's envia para a base de dados os dados relativos aos ângulos da transformada de *Fourier*, podendo assim ser corretamente, realizada a reconstrução da onda, conforme se pode visualizar na Figura 4.1b. O valor de RFPP que a MU guarda na base de dados foi outro fator a considerar, uma vez que este deve ser igual ao valor pico a pico da onda reconstruída.

Daqui, e após conversa com o responsável pela manutenção das MU's na Continental Mabor, foi possível inferir que, quando a MU realiza a transformada de *Fourier*, o código de barras corresponde à posição 0° e que, neste caso, a MU guarda o ângulo na base de dados na forma invertida, ou seja, o ângulo real corresponde ao valor dado pela transformação 4.4:

$$\text{Angulo_Lido} = 360 - \text{Angulo_Base_de_Dados} \quad (4.4)$$

Após a correção dos ângulos, todas as ondas teriam de corresponder entre si, assim como ao resultado esperado com base na posição do ponto alto criado no pneu de teste.

Com este estudo definiram-se as seguintes configurações:

- Definição do Ângulo 4.5, 4.6, 4.7:

- *High Point*:

$$\text{Corrected_Angle} = \text{Angle} \quad (4.5)$$

- *Positive Zero Pass*:

$$\text{Corrected_Angle} = 90 + \text{Angle} \quad (4.6)$$

- *Negative Zero Pass*:

$$\text{Corrected_Angle} = -90 + \text{Angle} \quad (4.7)$$

- Referência do Ângulo 4.8, 4.9:

- *Normal Mode*:

$$\text{Corrected_Angle} = \text{Angle} \times h_i \quad (4.8)$$

- *Math Angle*:

$$\text{Corrected_Angle} = \text{Angle} \quad (4.9)$$

- Estado do Ângulo 4.10, 4.11:

- *Normal*:

$$\text{Corrected_Angle} = \text{Angle} \quad (4.10)$$

- *Flipped*:

$$\text{Corrected_Angle} = 360 - \text{Angle} \quad (4.11)$$

onde *Angle* corresponde ao valor do ângulo guardado na base de dados e *Corrected_Angle* ao ângulo já corrigido e pronto para o cálculo da forma de onda.

4.3.1 Teste de Repetibilidade das Máquinas

Uma vez que toda a reconstrução do sinal do pneu se baseia nas leituras fornecidas pelas MU's, tornou-se essencial estudar qual seria o seu comportamento a nível de precisão das medições realizadas, para tal, realizou-se um teste que consistia na passagem de dois pneus com ondas distintas. Desta forma recorreu-se a um pneu com um *high point* pronunciado e um pneu com uma onda final bastante suave (RFPP inferior a 2 daN), passando cada um destes pneus 50 vezes.

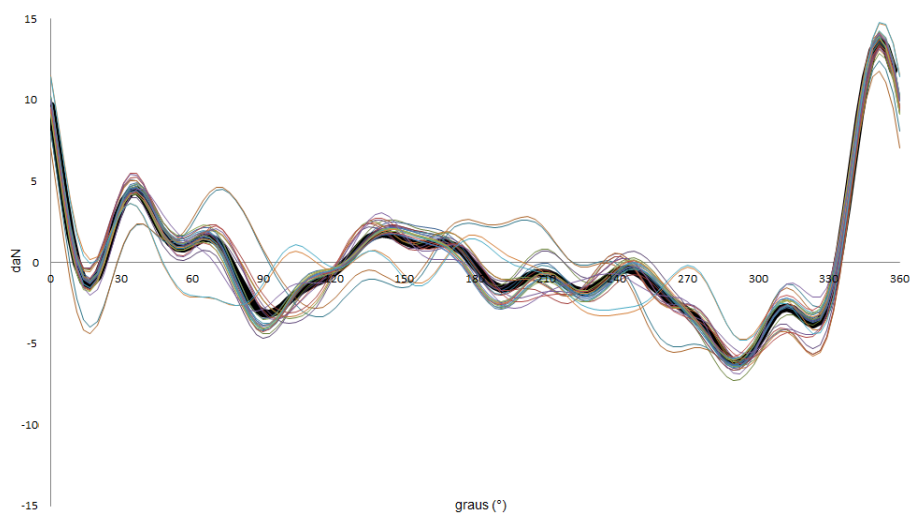


Figura 4.3: Teste de repetibilidade efetuado MU 24, com pneu de *high point* com valor elevado.

De forma a termos um pneu com um *high point* e uma diferença pico a pico da onda final bastante pronunciada, neste pneu o piso foi esticado na máquina de construção (PU) e na emenda do mesmo, ao invés de se criar uma emenda suave, na zona da emenda sobrepuseram-se as duas pontas, ficando assim este pneu com um primeiro harmónico bastante evidente. Este pneu tem a onda final conforme podemos ver na Figura 4.3.

Do mesmo modo em que se testou a repetibilidade da MU para um pneu com um primeiro harmónico pronunciado e, uma vez que o objetivo da construção do pneu passa por criar um pneu com uma onda final o mais suave possível, foi escolhido um pneu com uma relação pico a pico o mais suave possível, Figura 4.3. Com este pneu pretendia-se avaliar o comportamento das MU's a um pneu onde não existe um primeiro harmónico evidente e qual seria a diferença nos desvios padrão das medições entre os dois diferentes pneus, conforme se pode ver na Tabela 4.1 e Tabela 4.2.

Com este estudo foi possível concluir que as MU's têm uma boa repetibilidade no que diz respeito à magnitude, conforme podemos analisar através dos dados compilados na Tabela 4.1, onde vemos que o maior desvio padrão existente é de 0,6 daN.

Já no que diz respeito aos ângulos medidos, analisando a Figura 4.3, consegue inferir-se que existe alguma dificuldade em definir o ponto mais alto do pneu, conforme seria de esperar. No entanto, o pneu com um primeiro harmónico pronunciado, teve uma repetibilidade dentro dos limites estabelecidos de $\pm 10^\circ$.

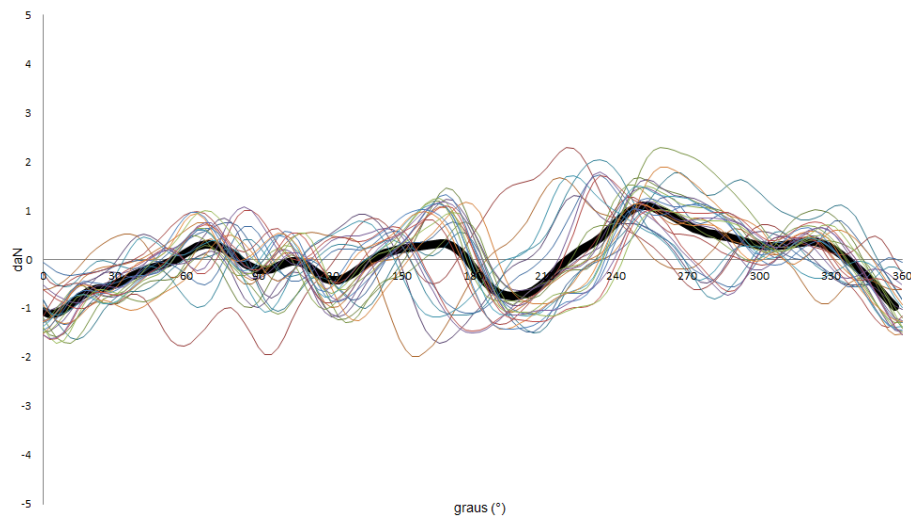


Figura 4.4: Teste de repetibilidade efetuado na MU 24, com pneu de onda suave (sem *high point* prenunciado).

Tabela 4.1: Média e desvio padrão da magnitude do teste de 50 passagens.

Pneu com <i>high point</i>																	
	RPP	RH1	RH2	RH3	RH4	RH5	RH6	RH7	RH8	RH9	RH10	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16
\bar{x}	20,5	4,3	5,8	3,9	3,7	2,9	2,3	2,5	2,9	2,2	1,9	1,4	1,1	0,6	0,5	0,3	0,1
σ	0,4	0,6	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Pneu com onda Suave																	
	RPP	RH1	RH2	RH3	RH4	RH5	RH6	RH7	RH8	RH9	RH10	RH11	RH12	RH13	RH14	RH15	RH16
\bar{x}	2,8	0,7	1,1	0,8	1,1	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
σ	0,4	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Valores em daN

Tabela 4.2: Média e desvio padrão dos ângulos do teste de 50 passagens.

Pneu com <i>high point</i>																
	RFA1	RFA2	RFA3	RFA4	RFA5	RFA6	RFA7	RFA8	RFA9	RFA10	RFA11	RFA12	RFA13	RFA14	RFA15	RFA16
\bar{x}	135,6	101,2	97,5	17,4	30,8	40,0	31,0	13,7	19,1	19,6	19,6	11,6	13,9	13,7	10,9	9,7
σ	10,1	7,4	27,4	21,1	7,4	7,5	17,3	11,8	7,4	9,7	11,6	7,8	6,7	6,4	8,5	6,2

Pneu com onda Suave																
	RFA1	RFA2	RFA3	RFA4	RFA5	RFA6	RFA7	RFA8	RFA9	RFA10	RFA11	RFA12	RFA13	RFA14	RFA15	RFA16
\bar{x}	236,7	117,9	83,5	54,2	27,4	37,8	24,6	30,2	18,2	18,6	13,8	20,5	12,8	11,3	9,0	13,8
σ	104,8	15,3	21,5	30,3	12,3	14,5	12,1	11,3	9,4	7,7	11,1	6,0	5,8	7,3	5,3	5,1

Valores em graus (°)

No pneu de onda suave (Figura 4.4), que embora tenha obtido valores de desvio padrão idênticos aos do pneu de *high point*, no primeiro harmónico obteve-se um desvio padrão de cerca de 100°, o que não está dentro dos limites estabelecidos, estes desvios podem dever-se à existência de *outliers*. Analisou-se também se este desvio padrão elevado se poderia dever a mudanças de comportamento do pneu ao longo do tempo, no entanto, mesmo apenas considerando as últimas 10 medições obteve-se um desvio padrão de 45°.

Este erro de medição poderá estar associado a uma colocação pouco precisa do código de barras na posição zero. Este posicionamento é feito com a ajuda de uma câmara que deteta o código de barras quando este se encontra na posição pretendida, porém, uma vez que este processo

não é o *botle neck* do ciclo de medição, esta poderia ser efetuada de forma mais precisa, tendo, por exemplo, os rolos de posicionamento uma velocidade mais lenta, ou mesmo a utilização de outro sistema de posicionamento como, por exemplo, o utilizado nas máquinas de marcação central.

4.3.2 Verificação dos Desvios do Valor Calculado dos Ângulos da Transformada de Fourier

Dada a tolerância existente na medição realizada pelas MU's, passa a ser essencial analisar o impacto que o erro de leitura pode causar na reconstrução da onda. Foi neste ponto que a fórmula 4.3 chegou à sua versão final, pois até este momento estava a ser utilizada uma variante da mesma, a qual foi disponibilizada pelo fornecedor.

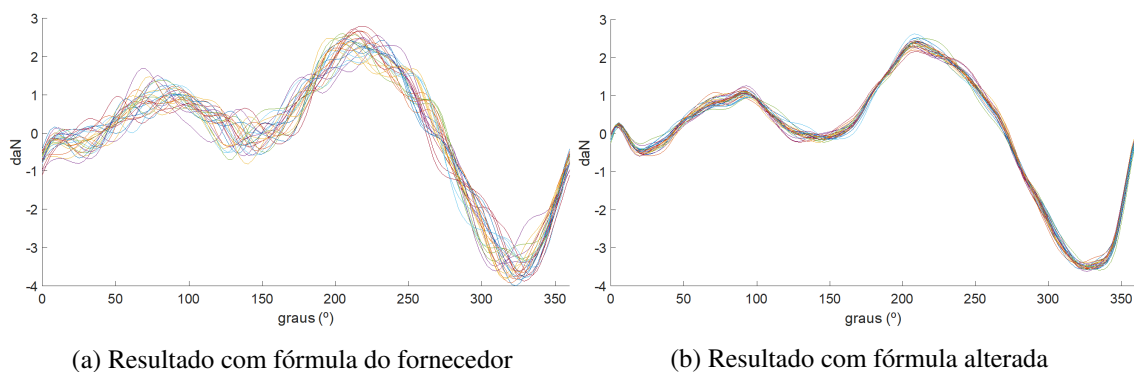


Figura 4.5: Teste de desvio de $\pm 10^\circ$ na medição das MU's.

Durante a realização deste teste, verificou-se, conforme se pode ver através das diferenças entre a Figura 4.5a da Figura 4.5b, que a utilização da fórmula da inversa da transformada de Fourier, ao invés da fórmula disponibilizada pelo fornecedor, ajuda a que o impacto causado pelo erro de medição seja menor, no entanto, foi necessário realizar ajustes na forma como se corrigem os ângulos guardados na base de dados e posterior validação dos resultados.

```

error=10*randn(16,1);

for i=1:size_harm
    data(i,2)=data(i,2)+error(i,1);
end
data_mean_angle(1,:)=data(:,2);

[harm_p,output]=converth2d(data,data_points);

plot(harm_p,output1);
to_mean(1,:)=output1;

```

Figura 4.6: Script utilizado para gerar erro aleatório entre $\pm 10^\circ$.

Para a realização deste teste recorreu-se a um *script* de Matlab, Figura 4.6. Este *script* consiste na geração de valores aleatórios na gama do valor de tolerância de leitura da MU que é de $\pm 10^\circ$.

Além disso, este *script* é realizado para um determinado número de pneus, no caso considerou-se amostra suficiente para o efeito o valor de 50 pneus.

Além da geração de valores pseudo-aleatórios ente $\pm 10^\circ$ procedeu-se também ao cálculo da média de todos estes valores e respetiva comparação com o valor original da forma de onda, conforme se pode ver na Figura 4.7.

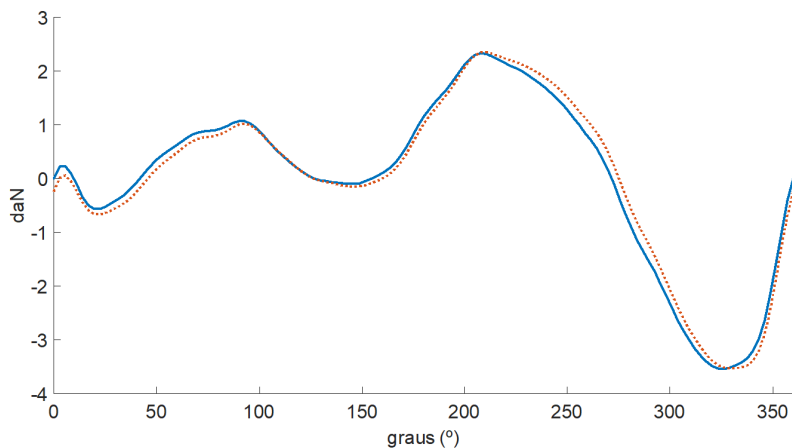


Figura 4.7: Teste de desvio de $\pm 10^\circ$ na medição das MU's.

Com este estudo conclui-se também que é recomendável que, nos pneus utilizados em análises vetoriais com valores de RFPP, e RFH1 abaixo de 2 daN, sejam efetuadas várias medições do mesmo e seja utilizada a média das medições para a realização da análise, de forma a reduzir os erros provenientes da medição do pneu.

4.4 Técnica de Separação Vetorial

Uma vez concluída a correta reconstrução da onda do pneu, procedeu-se ao estudo da técnica de separação vetorial, que passa pela separação dos efeitos sistemáticos e processos existentes na construção de um pneu. Para tal, foi necessário compreender como funcionam estas separações com recurso a uma análise vetorial.

Uma análise vetorial em teoria pode ser realizada com qualquer número de pneus desde que o mesmo seja um número primo [4]. No entanto, na prática como é exemplo da separação do processo de *Green Tire* da vulcanização, como apenas se pretende separar 2 processos é possível realizar a separação com 4 pneus. É de notar que à medida que vamos aumentando o número de pneus utilizados para realizar a análise, o número de componentes que se conseguem separar também aumenta. No caso de dois pneus, por exemplo, consegue-se separar o efeito de *Green Tire*, do efeito de vulcanização. No caso de 3 pneus já conseguimos fazer a separação do 1º estágio, 2º estágio e vulcanização. No caso de se utilizarem 5 pneus, é possível proceder à separação de 4 elementos de construção mais o efeito de vulcanização, e de igual forma para os restantes números.

No entanto, na prática isto não se verifica, no caso da separação de dois componentes, i.e. *Green Tire* e vulcanização, apenas se obtiveram resultados conclusivos realizando uma análise com quatro pneus. Também é de constatar que, para efeitos práticos, considerar mais de vinte e três pneus é um processo bastante moroso e a diferença na precisão dos resultados que se retiram destas análises já não justificam a utilização de tamanho número de pneus, além de que um pneu não é constituído por esse número de componentes.

Consideraram-se assim as seguintes separações:

- Separação dos componentes do 1º estágio, do 2º estágio e, por fim, a vulcanização;
- Separação do 1º estágio, componentes do 2º estágio e, por fim, vulcanização;
- Separação de *Green Tire* do efeito de vulcanização.

Dado que para a separação dos diferentes componentes do pneu assim como da vulcanização durante a construção do pneu, as emendas dos materiais se deslocam entre si de um pneu para o outro, seguindo uma determinada ordem, utilizou-se a formula 4.12 para o cálculo do desfasamento a considerar em graus para cada um dos componentes [4]:

$$desfasamento = \frac{360}{n_pneus} \times (pos - 1) \times step \quad (4.12)$$

onde n_pneus representa o número total de pneus utilizados na análise, pos o número do pneu no teste para o qual se quer saber o desfasamento e $step$ o valor de passo que se deu para o componente.

Para a realização de uma análise vetorial recorre-se ao *software* existente nas máquinas de construção (PU e KM) para realizar o desfasamento dos componentes de construção. Todavia é necessário proceder à marcação, com ajuda de um transferidor, da posição de vulcanização e

deslocamento do código de barras. Este último necessita de ser movido, pois para a realização de uma análise vetorial considera-se que a emenda da parede corresponde à posição zero e, uma vez que para as MU's a posição zero de leitura corresponde à posição do código de barras é necessário proceder à alteração do mesmo de forma manual, seguindo o esquema exemplo da Figura 4.9.

De forma a facilitar esta marcação manual, recorreu-se a um separador onde se marcou as diferentes posições, Figura 4.8.

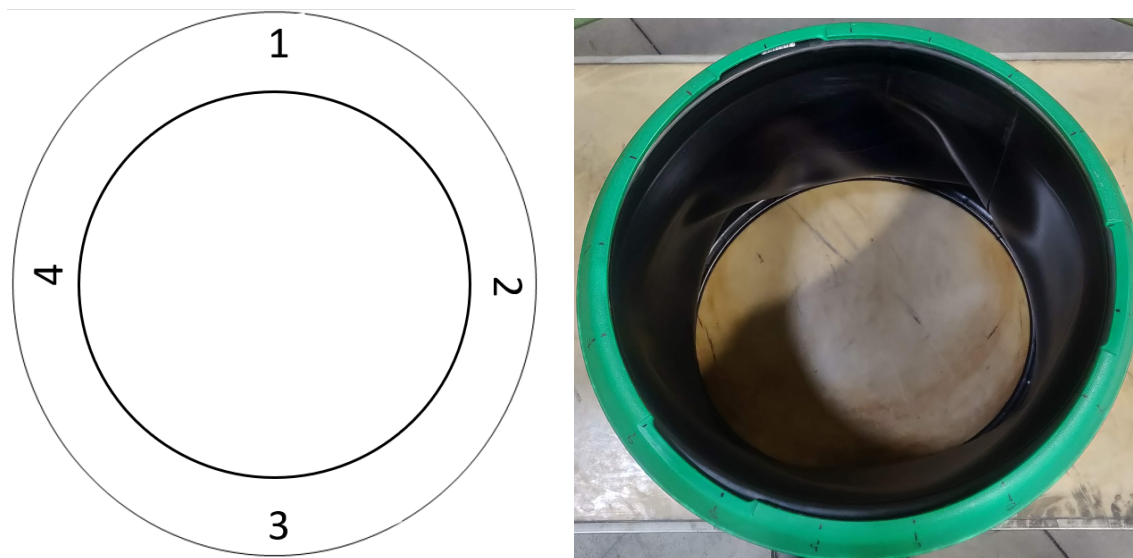


Figura 4.8: Separador criado para ajuda da colocação do código de barras e posição de vulcanização.

Com recurso a quatro pneus com um desfasamento calculado de 90° entre cada uma das posições de colocação do pneu no carregador que coloca o pneu na vulcanização, de forma a validar a teoria de separação, analisou-se analiticamente as necessárias equações recorrendo às propriedades trigonométricas e desprezando possíveis erros de colocação do pneu no carregador, concluindo-se, assim, que esta separação era possível segundo a equação 4.13 onde T_x representa o pneu x com $x \in 1, 2, 3, 4$.

$$T1 + T2 + T3 + T4 = 4 \cos(x) \quad (4.13)$$

em que,

$$T1 = \cos(x) + \cos\left(x - \frac{\pi}{2}\right) \quad (4.14)$$

$$T2 = \cos(x) + \cos(x - \pi) \quad (4.15)$$

$$T3 = \cos(x) + \cos\left(x - \frac{3\pi}{2}\right) \quad (4.16)$$

$$T4 = \cos(x) + \cos(x - 2\pi) \quad (4.17)$$

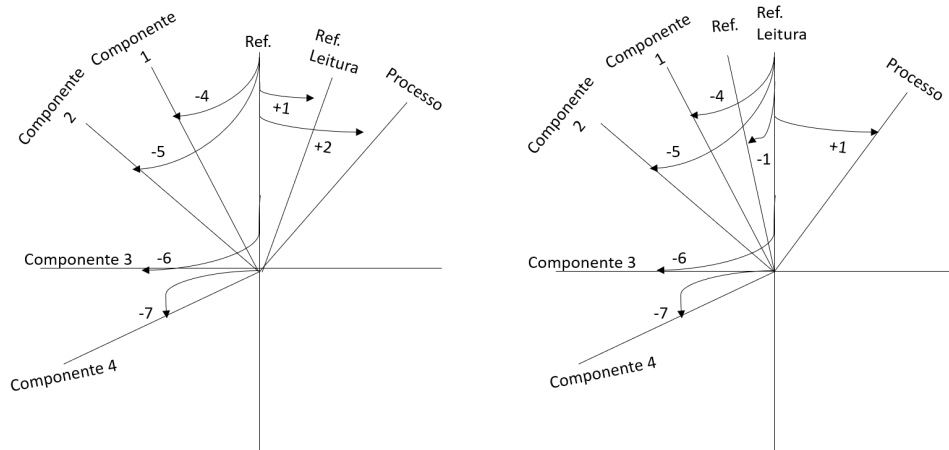


Figura 4.9: Esquema de translação código de barras em relação a parede.

Recorrendo de igual forma aos desfasamentos calculados entre cada uma das posições, é possível realizar-se uma reconstrução da onda de cada pneu, utilizando as ondas de cada um dos efeitos/processos calculados. Esta reconstrução serve para calcular a diferença do valor pico a pico da reconstrução da onda baseada na separação vs. a onda reconstruída da transformada de *Fourier*. A diferença dos valores pico a pico destas duas ondas permite identificar se existe ou não a presença de um efeito sistemático ou, com maior frequência, o grau de qualidade da análise vetorial realizada.

Capítulo 5

Metodologia e Implementação

5.1 Separação de Efeito de Vulcanização e *Green tire*

Após o estudo da bibliografia existente na Continental Mabor, relativa ao assunto análise vetorial, procedeu-se ao início da fase de trabalho relativa à separação do processo de vulcanização do *Green Tire*. Para tal, escolheu-se uma prensa na qual se vulcanizaram quatro pneus.

De forma a realizar a separação de efeitos, cada um dos quatro pneus foi vulcanizado desfasado de 90 graus em relação ao anterior, podendo assim através da soma das ondas resultantes, com a adição dos respetivos desfasamentos, obter 2 ondas, sendo uma delas o efeito de *Green Tire* e a outra o efeito de vulcanização.

Como nesta fase inicial ainda não estava desenvolvido o programa final, com a ajuda de uma folha de excel 5.1 existente na Continental Mabor, procedeu-se à análise das ondas. Aqui, surgiram os primeiros problemas, na medida em que neste ponto não existiam certezas de quais seriam as configurações de medição que cada uma das MU's teria e a escolha das mesmas era feita com base na onda final que seria de esperar. Foi também a primeira vez que se testou o *script* de *Matlab* 5.2 desenvolvido para mais tarde implementar no programa final, comparando os dados obtidos através da ferramenta já utilizada com os resultados provenientes do *script* desenvolvido.

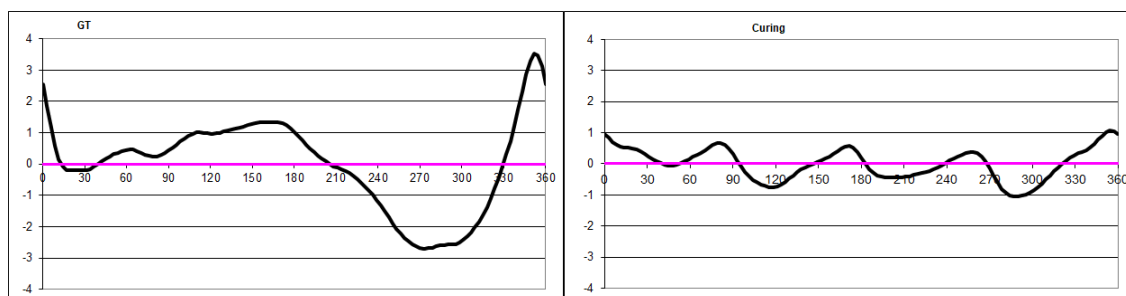


Figura 5.1: Resultados da separação do efeito de *Green Tire* do de *Curing*, com recurso à ferramenta existente na continental.

Com o desenvolvimento desta tarefa, tornou-se também evidente que o facto de apenas se vulcanizar um pneu por posição de desfasamento não seria a melhor solução para representar a

produção, assim como para minimizar os erros de colocação e de medição de cada pneu, sendo que nos restantes testes efetuados nesta etapa recorreu-se a pelo menos três pneus por posição e, na hora de se efetuar a análise, procedeu-se ao cálculo da média por posição, tentando assim minimizar os erros.

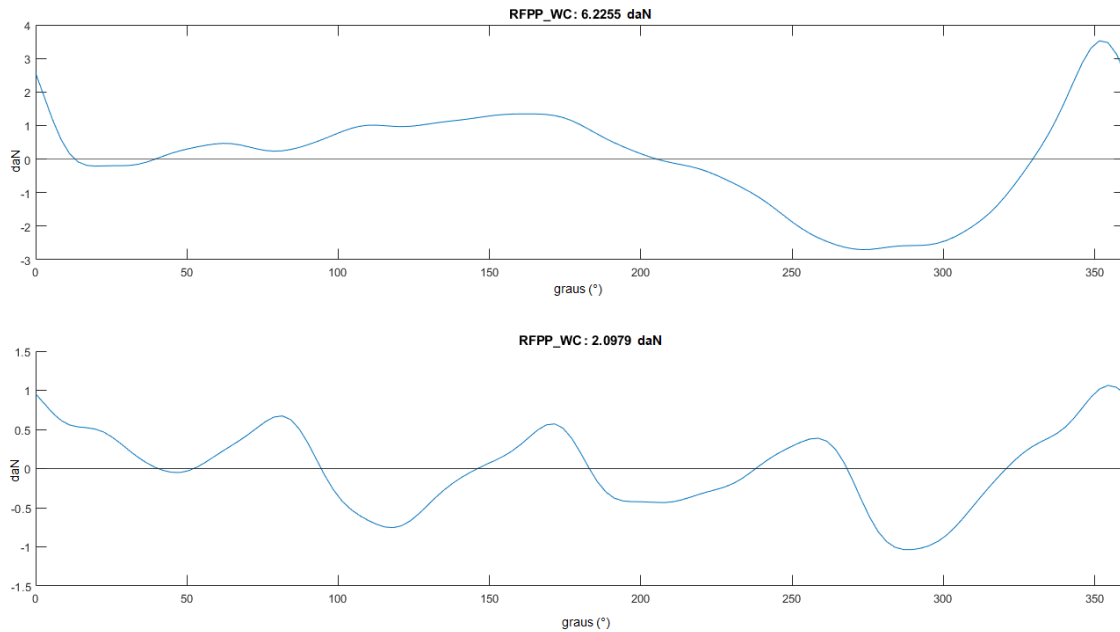


Figura 5.2: Resultados da separação de efeito de *Green Tire* do de *Curing*, com recurso ao *script* de *Matlab*.

5.1.1 Spot Automático

A rotina de reconstrução de onda através do projeto *spot* automático é aquela que maior impacto terá no ambiente de produção, uma vez que esta irá permitir ao utilizador, para além de uma otimização da posição de vulcanização, através das análises das médias de RFPP, RFH1 e RFH2, realizar a respetiva separação do *Green Tire* da vulcanização sem que seja necessária a sua deslocação à vulcanização assim como à área final para efetuar a medição dos pneus, uma vez que estes recorrem ao processo normal de produção. No entanto, uma vez mais, devem ser recolhidos mais que um pneu por posição, de forma a tentar eliminar quaisquer erros de colocação dos pneus no carregador.

Esta ferramenta é essencial para ajudar a descobrir se, por exemplo, o valor elevado de qualquer umas das forças radiais se deve a um impacto da prensa, ou se esse efeito provém do módulo de construção, ajudando assim que sejam tomadas medidas corretivas na área devida.

A rotina depende da utilização das caixas de *spot* que indicam ao operador qual a posição na qual deve alinhar o código de barras no carregador. Existem na fábrica vários tipos de carregadores, podendo estes ser, por exemplo, triplos ou simples, ou mesmo de 4 ou 6 braços para o suporte do *Green Tire*.

O estudo do impacto do erro, assim como a sugestão da utilização de vários pneus por posição de vulcanização, terá um grande impacto para que sejam obtidos melhores resultados com este projeto, já que o operador pode não colocar o pneu exatamente na posição pretendida, mas ligeiramente deslocado da posição ideal.

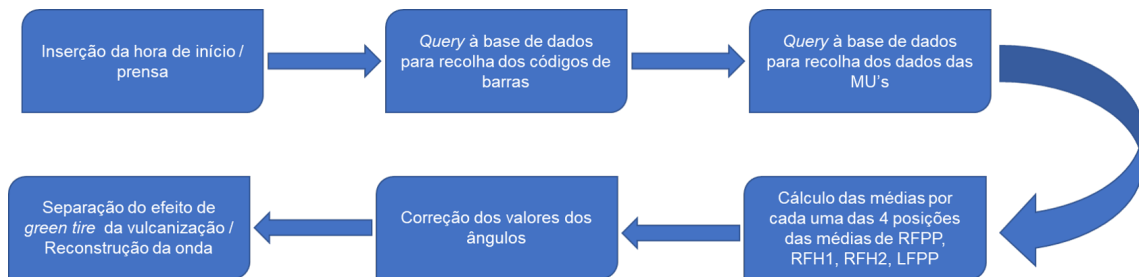


Figura 5.3: Sequência de funcionamento da rotina de *spot* automático.

O modo de funcionamento desta rotina, conforme se pode ver na Figura 5.3, implica que o operador insira a hora de início da análise para que o programa calcule as horas que deve utilizar para efetuar uma *query* à base de dados de vulcanização, organizando de seguida os dados pela respetiva posição, conforme podemos ver na Figura 5.4. A obtenção dos dados para cálculo das ondas, assim como a sua reconstrução e separação, segue os mesmos procedimentos que já foram vistos anteriormente nas secções anteriores.

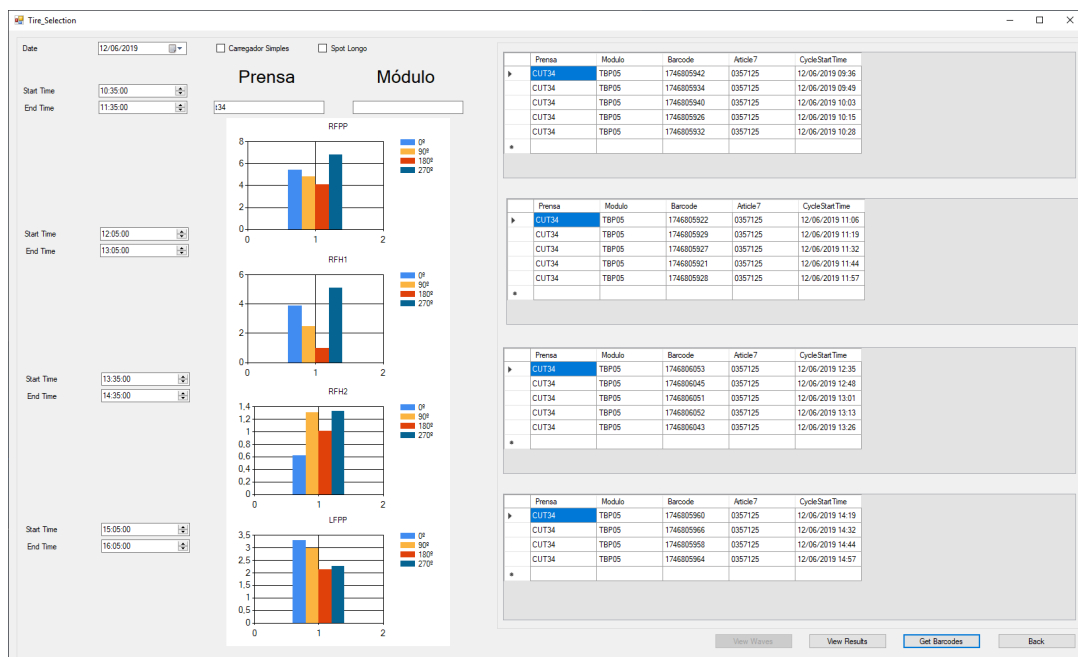


Figura 5.4: Painel do programa desenvolvido, onde este disponibilizam os códigos de barras por posição.

Esta rotina funciona de forma diferente das restantes, uma vez que para a recolha do código de barras na posição correta os dados deverão ser ligados a uma posição em específico. Para a identificação da posição que o operador deve colocar o pneu, recorre-se a um microcontrolador,

onde corre um código cíclico responsável por através de um código de cores indicar qual a posição. Cada ciclo tem um tempo pré determinado tempo que pode variar caso se pretenda realizar uma análise curta, 4 a 5 pneus por posição, ou uma análise longa, a qual dura o total de 6 horas, sendo assim retirado um maior número de pneus por posição de vulcanização, tentando assim uma maior precisão na análise.

Após a obtenção dos dados, a rotina calcula as médias dos parâmetros de RFPP, RFH1, RFH2 e LFPP para todas as posições e cria quatro gráficos de barras, onde cada barra corresponde a uma posição, ou seja, a primeira corresponde à posição 0° , a segunda à posição 90° , a terceira à posição 180° e por fim a quarta à posição 270° . Através destes gráficos, o utilizador pode rapidamente inferir qual será a melhor posição para a qual todos os pneus devem ser vulcanizados, tentando assim melhorar o *yield* de construção através do uso do *low point* do efeito de vulcanização para a redução do *high point* existente no pneu, tornando assim, com a soma das duas ondas, uma onda final mais suave.

O utilizador pode também optar por visualizar o efeito de *Green Tire* e de vulcanização (Figura 5.5) para além de poder otimizar ainda melhor a junção destes dois efeitos, pode ainda utilizar esta separação para, caso se verifique algum problema em concreto com um artigo no qual se esteja a realizar *spot*, tentar perceber se o problema está no *Green Tire* ou se o problema se encontra na prensa, sendo que neste último caso será efetuado um pedido à engenharia para corrigir os problemas existentes na prensa. Esta última funcionalidade permitirá ainda que sejam evitados pedidos de verificação às prensas por parte da engenharia que não sejam de maior urgência.

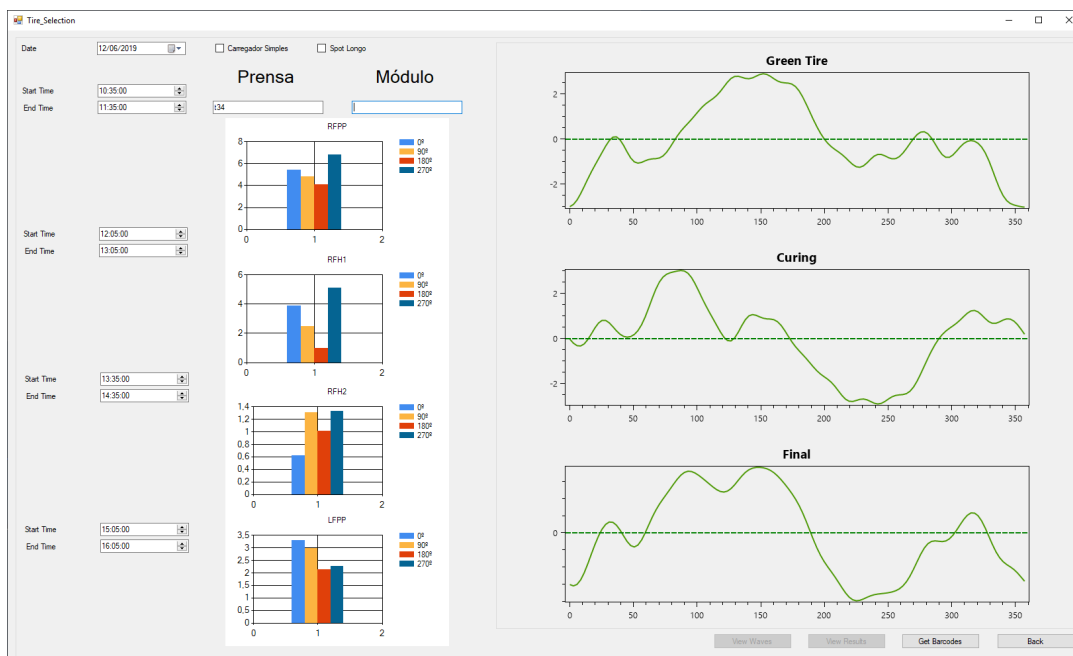


Figura 5.5: Painel do programa desenvolvido, com as ondas após separação de processos.

5.2 Separação de Efeitos na Construção do *Green Tire*

Como já foi referido na secção 4.4, na construção é mais usual fazerem-se dois tipos de separação de efeitos: a separação do 1º (e separação de componentes) do 2º estágio e da vulcanização; a separação do 2º (e separação de componentes) do 1º estágio e da vulcanização. Para isso, necessita-se de um número maior de pneus do que na separação da vulcanização do *Green Tire*.

No caso da separação de componentes do 1º ou 2º estágios estas podem ser realizadas com 17 ou 23 pneus. Uma vez que a realização deste tipo de análises por vezes leva a que sejam construídos pneus de *scrap*, pneus que não podem ser vendidos por não cumprirem os requisitos mínimos de qualidade, e dado que a análise com 17 pneus é suficiente para separar os componentes que mais problemas podem causar na uniformidade do pneu, como por exemplo: reforço da parede, parede, *breakers*, *CapPly* e piso, após comparação dos resultados para 17 pneus com uma análise de 23 pneus, durante o resto da análise de resultados utilizaram-se apenas 17 pneus, de forma a evitar possíveis *scraps* desnecessários.

No caso da separação de efeito na máquina de construção do conjunto, 2º estágio (PU), para além de se realizar a separação dos componentes do 1º estágio, também se realizou a separação do efeito dos diferentes tambores, tendo assim sido construídos 17 pneus no tambor 1 e 17 pneus no tambor 2.

Dado que em produção normal a construção na PU é efetuada nos dois tambores de forma intercalada, torna-se necessário otimizar a população de *Green Tires*, para tal realiza-se a média de um pneu do tambor 1 com um pneu do tambor 2 por posição de desfasamento calculado, tentando assim representar a produção normal.

Quanto ao desfasamento dos componentes na PU, a mesma é feita conforme se pode ver na Figura 5.6.

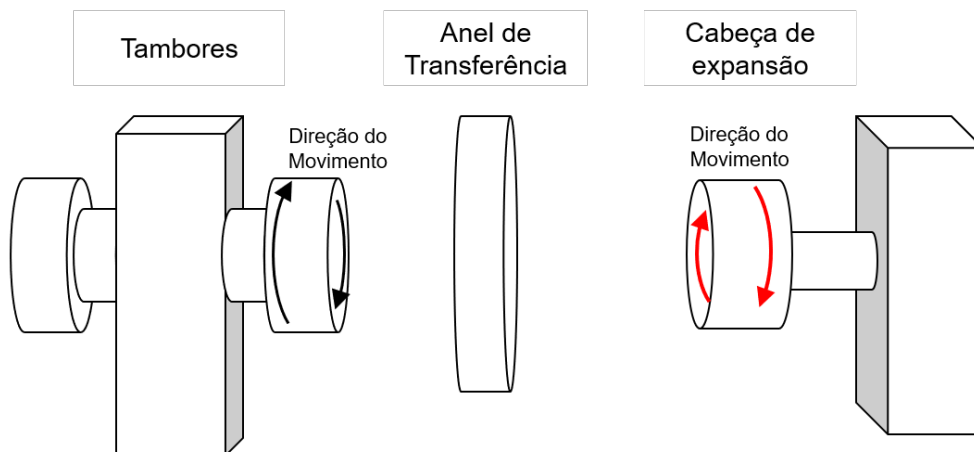


Figura 5.6: Representação da rotação dos componentes na máquina de construção do conjunto (PU).

Esta rotação é realizada através de *software* disponível quer na PU, quer na KM. Nelas é possível escolher quais os componentes se pretende desfasar e qual o *step* que se irá dar a cada

um desses componentes, seguindo o esquema exemplo de separação da Figura 4.9, conforme já foi descrito na secção 4.4.

A rotação dos tambores (Figura 5.6) para cada um dos desfaseamentos calculados através da fórmula 4.12 permite a separação de cada um dos componentes. Já a rotação da cabeça de expansão, uma vez que é aqui que se une a carcaça com o respetivo conjunto, vai permitir a separação dos dois diferentes processos: 1º e 2º estágios.

O painel de configurações da PU e KM assemelha-se com o da Figura 5.7.

Desacoplamento ativo Pneu Único

Quantidade de pneus Primeiro pneu

Componente	Ativo	Direção
IL – Camada interior	<input type="checkbox"/>	0
Ply 1	<input type="checkbox"/>	0
Ply 2	<input type="checkbox"/>	0
SW – Sidewalls	<input type="checkbox"/>	0
RF 1 – Reforçador de talões	<input checked="" type="checkbox"/>	-5

Desacoplamento ativo Pneu Único

Quantidade de pneus Primeiro pneu

Componente	Ativo	Direção
BL	<input checked="" type="checkbox"/>	-4
BR	<input checked="" type="checkbox"/>	-5
Cinta de bobinar	<input checked="" type="checkbox"/>	-6
Piso	<input checked="" type="checkbox"/>	-7
Transferên. de pacote de tela	<input type="checkbox"/>	0

Figura 5.7: Configurações de desacoplamento na KM e PU respetivamente.

Depois de construído o pneu, este deve ser separado e colocado nos respetivos carros de transporte de forma a que a vulcanização seja efetuada na posição devida, caso contrário a separação do processo de vulcanização não irá ter os resultados esperados. Pode ver-se na Figura 5.8 o resultado final. Note-se que a posição zero para a análise vetorial é a emenda da parede e que esta está em todos os pneus na mesma posição (marcado a azul na Figura 5.8), podendo assim observar-se a rotação do código de barras, assim como da posição de vulcanização (pinta verde) à medida que se avança no número de pneu no ensaio.



Figura 5.8: Comparação das posições do código de barras e posição de vulcanização em relação à parede que é mantida fixa.

Durante a realização de todo este processo, torna-se essencial apontar qual o código de barras ao qual pertence o número de pneu do ensaio, para tal recorre-se a uma tabela conforme a Tabela 5.1 para o registo do código de barras respetivo ao número de pneu no ensaio.

Após todo este processo de construção destes pneus, é necessário efetuar a leitura das suas ondas nas MU's, guardando os valores lidos na base de dados. Seguidamente, será necessário colocar no programa desenvolvido os valores mínimo e máximo dos códigos de barras registados, de forma a que os valores sejam recolhidos da base de dados, podendo assim ser reconstruídas as suas ondas, assim como a separação de efeitos seja realizada.

Tabela 5.1: Exemplo de tabela para colocação de códigos de barras para realização de análise vetorial de 4 pneus.

Nº do Pneu no Ensaio	Código de barras	Posição código de barras	Posição vulcanização
1		1	1
2		2	3
3		3	2
4		4	4

Com todos estes dados efetua-se uma *query* à base de dados, dados estes que serão processados e objeto das devidas correções dos valores dos ângulos, Figura 5.9.

O utilizador final será também responsável pela colocação do *step* dado entre cada uma dos componentes objeto de análise, de forma a que seja calculado o devido desfasamento entre cada um destes componentes.

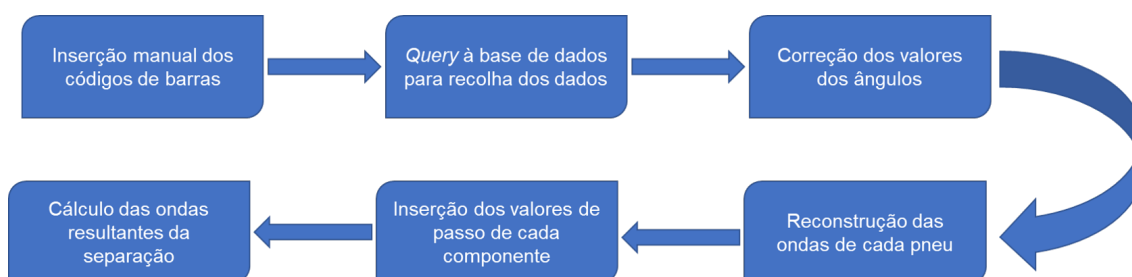


Figura 5.9: Sequência de processamento dos dados da rotina de separação de efeitos.

5.3 Análise das Ondas Finais

Uma vez que já se encontravam estabelecidas ligações às diferentes bases de dados, foi proposta a realização de uma rotina de reconstrução de ondas dos artigos em produção. Esta tem a vantagem do utilizador poder gerar ondas para um determinado artigo, podendo ou não optar por limitar a busca de códigos de barras na base de dados de construção a um módulo ou prensa em específico. Após a recolha dos códigos de barras perante as restrições aplicadas pelo utilizador, a rotina irá fazer recolher os dados para reconstrução de cada um dos pneus.

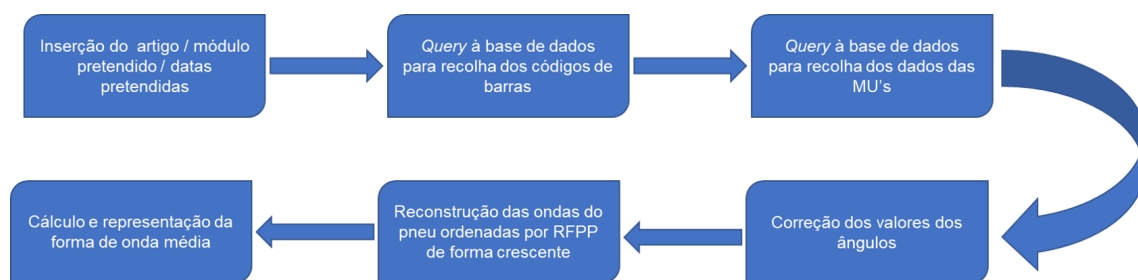


Figura 5.10: Sequência de funcionamento da rotina de visualização de ondas por artigo/módulo/data de construção.

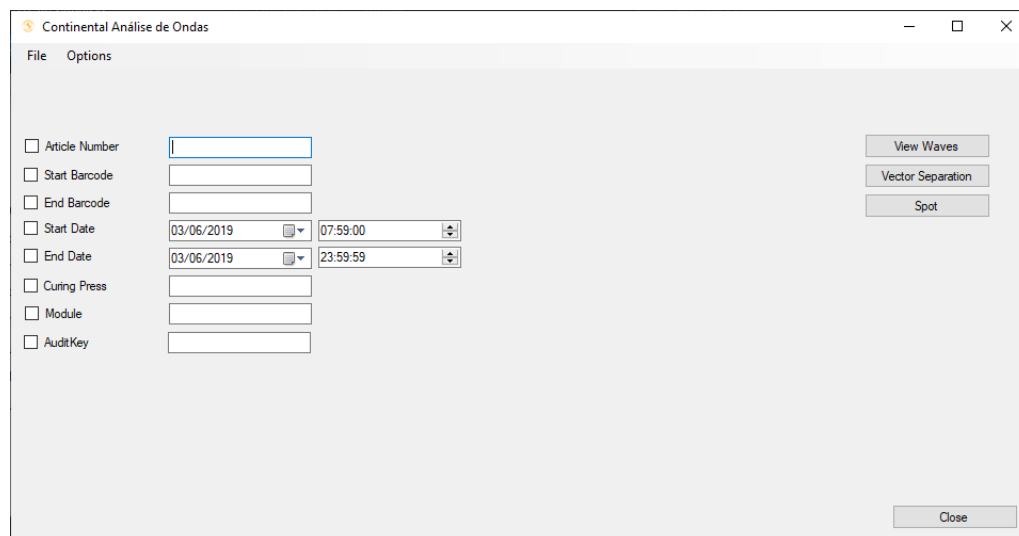


Figura 5.11: Página inicial do programa desenvolvido.

Capítulo 6

Análise de Resultados

No decorrer desta dissertação analisaram-se várias situações na produção de pneus, tentando sempre ajudar a uma melhoria do *yield* de produção através da utilização das ferramentas disponíveis. Em alguns casos, verificaram-se melhorias, no entanto, também existiram casos onde não se verificaram alterações.

6.1 Análise de Ondas Finais dos Pneus

Com a ajuda da ferramenta de análise de ondas finais, foi possível verificar que existia um pico demasiado elevado induzido a existência de um efeito sistemático no artigo 215/55 R18, conforme se pode analisar através da Figura 6.1a.

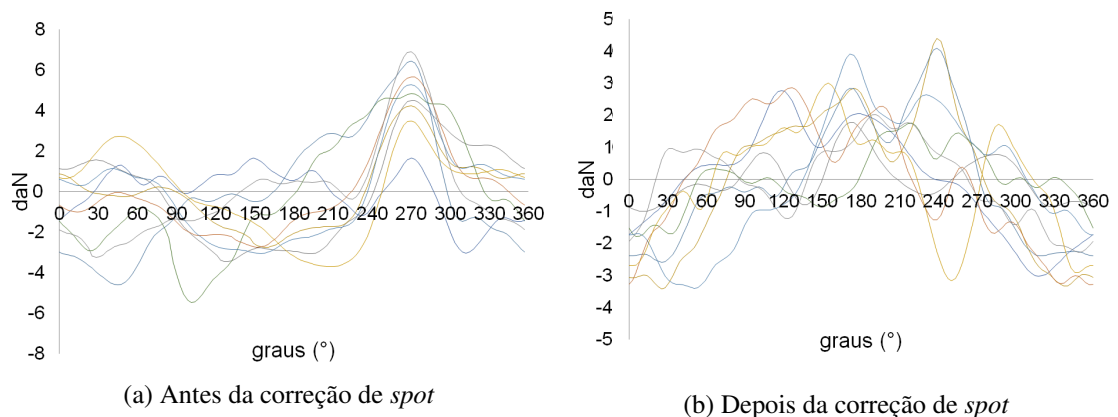


Figura 6.1: Ondas da medida 215/55 R18 antes e após correção de *spot*.

Concluiu-se que o artigo em questão tinha um RFPP bastante elevado. Este problema devia-se a uma incorreta configuração de construção e ajudou a que o utilizador pudesse rapidamente identificar onde se encontrava o problema, levando a uma correção do mesmo e posterior melhoria do *yield* desta medida.

Tabela 6.1: Média de RFPP, RFH1, RFH2 e LFPP do artigo 215/55 R18 antes e após intervenção.

(a) Antes da intervenção					(b) Após novo <i>spot</i> sugerido pela análise vetorial				
	RFPP	RFH1	RFH2	LFPP		RFPP	RFH1	RFH2	LFPP
Média	7,15	4,05	2,34	2,92	Média	5,19	3,60	1,21	2,76
Desvio Padrão	1,65	1,73	0,73	1,30	Desvio Padrão	1,35	1,46	0,54	1,08
<i>yield</i> = 92 %					<i>yield</i> = 99%				

Valores em daN

Note-se que entre a Figura 6.1a e a Figura 6.1b é bastante evidente o desaparecimento do efeito sistemático da emenda do piso (270°), não existindo assim um pico numa posição em específico.

Embora o *yield* inicial deste artigo seja de 92 %, dado que o objetivo para o *yield* diário de toda a produção é de 96%, torna-se mais que essencial esta intervenção, visto que este artigo tem elevada produção, o que implica um impacto significativo no *yield* diário.

6.2 Spot Automático

Na Continental Mabor utiliza-se o *spot* automático de forma a otimizar a onda de *Green Tire* que um determinado módulo cria na construção do pneu com o proveniente da vulcanização, podendo assim desta forma obter uma onda final mais suave e, por conseguinte, um melhor *yield* de produção nos artigos de origem.

No momento em que se realizou a presente dissertação, era necessário recorrer a um microcontrolador de forma a que fosse possível realizar *spot* de vulcanização. Este microcontrolador encontra-se dentro de uma caixa, conforme se pode visualizar na Figura 6.2, este num intervalo de tempo pré-definido alterava a luz que se encontra na caixa pela seguinte ordem: verde, vermelho, amarelo, azul.



Figura 6.2: Caixa utilizada para a realização do *spot* automático.

No caso do artigo 245/45 R18, foi realizado uma análise de *spot* de vulcanização, o qual, conforme está visível na Figura 6.3, o *spot* de vulcanização indicado é a posição 0°. Dado este resultado, foi fixada a posição no carregador de *Green Tires* e analisados os resultados conforme está disponível na tabela 6.2.

Tabela 6.2: Comparação do artigo 245/45 R18 antes e após aplicação de *spot* de vulcanização.

(a) Antes da aplicação <i>spot</i> vulcanização					(b) Após <i>spot</i> vulcanização				
	RFPP	RFH1	RFH2	LFPP		RFPP	RFH1	RFH2	LFPP
Média	6,12	4,42	2,40	3,20	Média	3,75	2,24	2,42	3,40
Desvio Padrão	2,13	3,04	0,84	0,75	Desvio Padrão	1,46	1,37	0,67	0,73
<i>yield</i> = 94 %					<i>yield</i> = 99%				

Valores em daN

Conforme se pode verificar, na amostra retirada de 50 pneus antes e após a aplicação do *spot* de vulcanização, existe uma redução no valor de RFH1, conforme se esperava e uma melhoria de *yield* de cerca de 4 %.

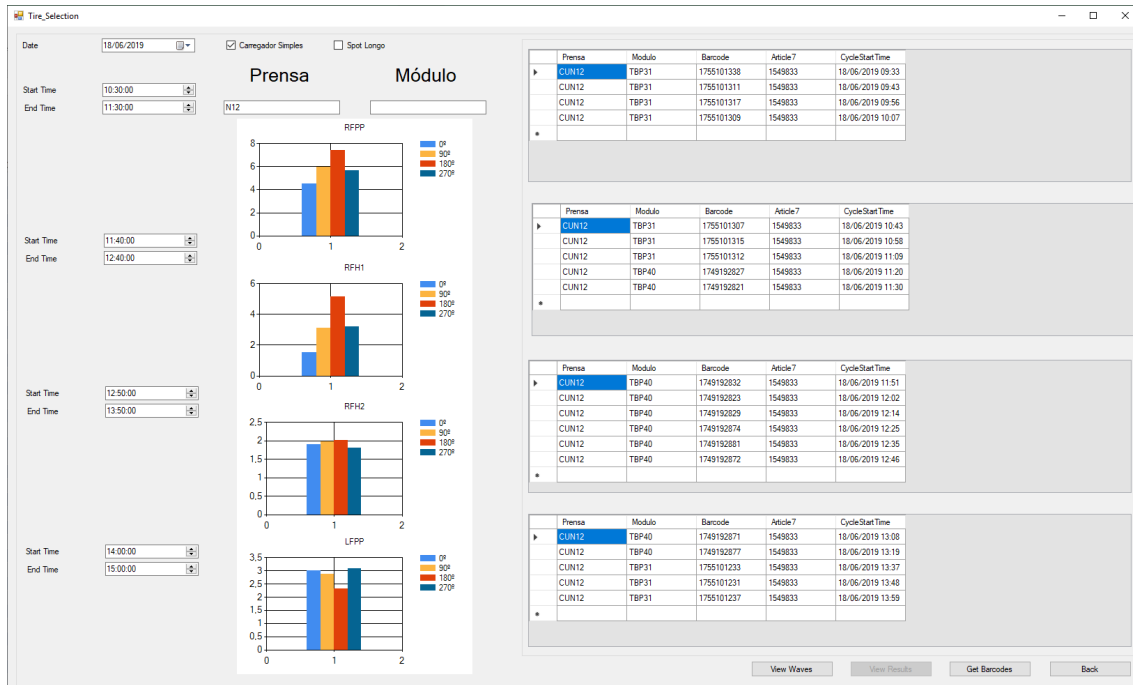


Figura 6.3: Resultado da análise de *spot* de vulcanização para a prensa N12.

6.3 Separação de Efeitos na Carcaça

Após análise das ondas finais do pneu, com ajuda da ferramenta mencionada em 6.1, concluiu-se que o artigo 285/45 R22 possuía um efeito sistemático e, devido ao facto de esta ser uma medida crítica devido às suas dimensões, realizou-se uma análise vetorial na qual se realizou a separação do 1º do 2º estágios, chegando às respetivas ondas das Figuras 6.4a e 6.4b.

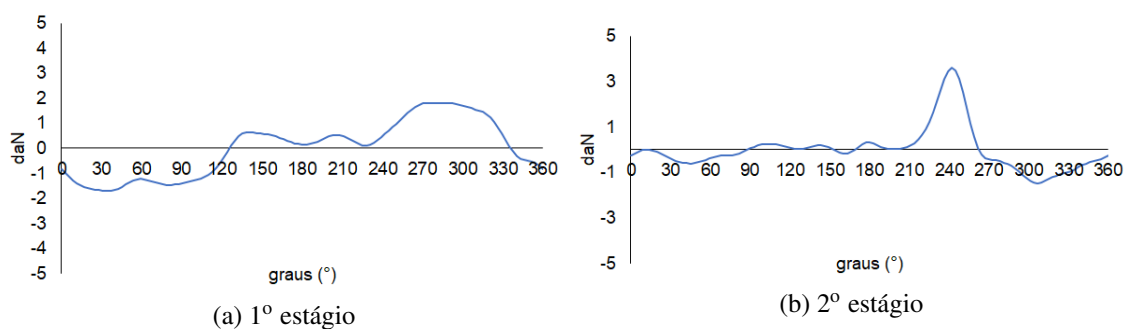


Figura 6.4: Resultado da separação dos efeitos de 1º e 2º estágios.

Através da análise das mesmas, conclui-se que é possível realizar uma otimização do 1º e 2º estágios através da rotação do 2º estágio de modo a que o seu *high point* (pico mais alto) fique na posição 0º, coincidindo assim com uma depressão existente no 1º estágio diminuindo, assim o impacto deste pico na onda final.

As diferenças no pneu em verde podem ser observadas na Figura 6.5. De forma a tornar evidente as alterações para a criação desta figura a emenda do piso, foi colocada na posição vertical, sendo assim possível observar o deslocamento do 1º estágio através do deslocamento do código de barras, uma vez que este é colocado na KM (máquina responsável pela construção da carcaça).

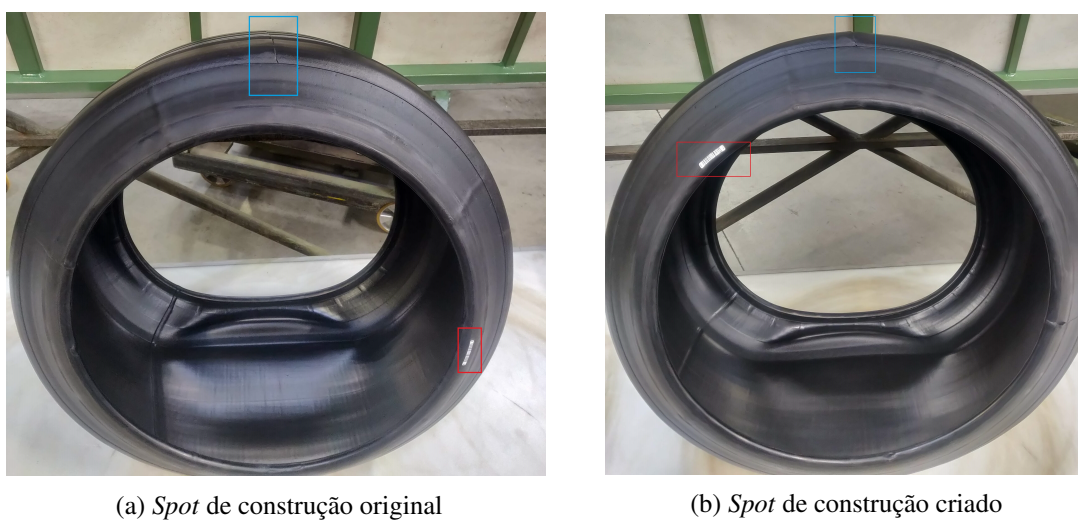


Figura 6.5: Comparação da posição da emenda do piso entre o *spot* de construção original vs. *spot* criado.

Após a análise vetorial deste artigo, procedeu-se à análise dos dados de produção. Foram selecionados 50 pneus antes da alteração de *spot* de construção (forma como se distribuem as emendas durante a construção do pneu) e realizada a média para RFPP, RFH1, RFH2 e LFPP assim como calculado o *yield* de produção.

Conforme podemos analisar através das Tabelas 6.3a e 6.3b, observou-se uma melhoria de 3,41 daN no RFPP, 0,99 daN no RFH1 e 1,81 daN no RFH2, levando a uma melhoria no *yield* dos 47% para os 86%. Embora estes valores ainda não estejam dentro do objetivo, com a redução do comprimento e a utilização do *spot* de vulcanização (secção 6.2), foi possível chegar aos 98%.

Tabela 6.3: Média de RFPP, RFH1, RFH2 e LFPP do artigo 285/45 R22 antes e após análise vetorial.

(a) Antes da análise vetorial					(b) Após <i>spot</i> de construção sugerido				
	RFPP	RFH1	RFH2	LFPP		RFPP	RFH1	RFH2	LFPP
Média	11,97	3,78	4,34	3,35	Média	8,56	2,79	2,53	2,91
Desvio Padrão	1,90	1,74	1,42	0,96	Desvio Padrão	2,20	1,31	1,36	1,07
<i>yield</i> = 47 %					<i>yield</i> = 86%				
(c) Após correção comprimento de piso e aplicação <i>spot</i> vulcanização									
	RFPP	RFH1	RFH2	LFPP					
Média	7,21	3,04	1,53	2,89					
Desvio Padrão	1,84	1,50	0,72	0,89					
<i>yield</i> = 98%									

Valores em daN

Capítulo 7

Conclusões e Trabalho Futuro

7.1 Discussão e Conclusões

Este projeto tinha como principais objetivos: estudo do impacto do erro de medição na reconstrução das ondas de um pneu, o desenvolvimento de uma ferramenta automática de reconstrução de formas de ondas, uniformização dos diferentes grupos de MU's e por fim separação automática com recurso ao projeto *spot* automático do efeito de *Green Tire* e vulcanização.

O primeiro objetivo foi concluído parcialmente, na medida em que não foi possível a separação do erro de medição de todo o processo de cálculo, mas foi possível estudar qual o seu impacto na medição do pneu. Já os restantes objetivos foram cumpridos e foram sugeridas algumas alterações no método de recolha de dados de forma a tentar reduzir a existência de erros de medição.

Durante a realização deste projeto concluiu-se que na construção de um pneu existe um processo bastante complexo, que também depende em grande parte da mão de obra humana, levando à uma elevada probabilidade de existir erro humano associado a cada uma destas fases de construção.

Concluiu-se também que as Máquinas de Uniformidade têm alguma dificuldade na repetibilidade de valores quando estão a recolher dados de pneus com uma onda final com um valor de pico a pico (RFPP) inferior a 2 daN, por isso, de forma a reduzir este possível erro de medição, recomenda-se que sejam efetuadas várias leituras e calculada a média das mesmas para utilização em análises vetoriais.

Um grande obstáculo no decorrer deste projeto deveu-se ao processo moroso que é todo o circuito que um pneu tem de percorrer desde que começa a ser construído até que é lido nas MU's. Numa fase inicial, de forma a tentar eliminar algum do erro humano, os pneus eram colocados por mim nas corretas posições de vulcanização e separados na área final antes de serem medidos nas MU's, sendo que algumas das vezes esses pneus não eram separados e seguiam o percurso normal tendo de ser repetida a análise.

7.2 Trabalho Futuro

Como próximos passos a desenvolver, sugere-se a integração do programa desenvolvido com a próxima fase do projeto *spot* automático que irá permitir a associação do código de barras a uma posição em específico, deixando de ser necessária a utilização do microcontrolador e também do cálculo das horas por posição.

Referências

- [1] Continental AG. O pneu. 2016.
- [2] Mário J.L. Caetano. Parâmetros de medida da uniformidade de um pneu vulcanizado, 2014. Acedido a: 03/02/2019, Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/aplicacoes/pneus/ensaios-no-fabrico-de-pneus/ensaios-de-uniformidade/>.
- [3] Collmann. Tire geometry inspection system with fixed-position laser. Acedido a: 05/02/2019, Disponível em: <http://www.collmann.com/tire-industry/tgis-fpl>.
- [4] Continental. Advanced uniformity training, 1995.
- [5] Continental. A continental mabor, 2018. Acedido a: 20/04/2019, Disponível em: <http://contimaboronline/gca/?id=38>.
- [6] Continental. O grupo continental, 2018. Acedido a: Disponível em: <http://contimaboronline/gca/?id=405>.
- [7] AGCO Automotive Corporation. Tire conicity and radial pull. Acedido a: 31/01/2019, Disponível em: http://www.agcoauto.com/content/news/p2_articleid/181.
- [8] R. Duvar, A. B. Gökbayrak, Aytekin Hasan Serkan, M. K. Güllü, O. Urhan, e S. Ertürk. Real time control of tyre profiles using computer vision approach. Em *2012 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, páginas 1–4.
- [9] Peggy Fisher. Are you seeing dots? those color-coded sidewall markings serve a purpose, 2012. Acedido a: 29/01/2019, Disponível em: <https://www.tirebusiness.com/article/20070813/ISSUE/308139967/are-you-seeing-dots-those-color-coded-sidewall-markings-serve-a-purpose>.
- [10] Clarence Hofelt. Uniformity control of cured tires. Report 0148-7191, SAE Technical Paper, 1969.
- [11] Clarence Hofelt, HD Tarpinian, e CZ Draves. Measuring tire uniformity. Report 0148-7191, SAE Technical Paper, 1965.
- [12] Benjamin Jerew. How to fix steering wheel shimmy, 2019. Acedido a: 25/01/2019, Disponível em: <https://www.thoughtco.com/how-to-fix-steering-wheel-shimmy-4154504>.
- [13] Hofmann Maschinen. Sheet-of-light laser geometry measuring systems. Acedido a: 04/02/2019, Disponível em: <https://www.hofmannmaschinen.com/en/products/tyre-testing-machines/geometry-measuring-systems>.

- [14] William David Mawby. Tire uniformity improvement through improved process harmonic resolution, 2018. US 10 , 126 , 738 B2.
- [15] William David Mawby e Jimmy Jeter. Tire uniformity through identification of process signatures, 2015. US 9,120,280 B2.
- [16] William David Mawby, Jimmy Jeter, Jonathan Sauls, e James Michael Traylor. Tire uniformity through identification of process harmonics using re-indexed partial uniformity waveforms, 2017. US 9,645,052 B2.
- [17] Alan V Oppenheim, John R Buck, e Ronald W Schafer. *Discrete-time signal processing. Vol. 2*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001.
- [18] H. Pacejka. *Tire and Vehicle Dynamics, 2nd Edition*. Elsevier Science, 2005.
- [19] H. Pacejka e I. Besselink. *Tire and Vehicle Dynamics, 3rd Edition*. Elsevier Science, 2012.
- [20] Seichter. Tire geometry. Acedido a: 04/02/2019, Disponível em: <http://www.seichter.com/index.php/en/tg-tire-geometry>.
- [21] Steven W Smith. *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. 1997.
- [22] Micro-Poise Measurement Systems. Industry terms. Acedido a: 02/02/2019, Disponível em: <https://www.micropoise.com/knowledge-center/industry-terms>.
- [23] TireRack. Tire tech: Sidewall indentations, undulations & protrusions. Acedido a: 03/02/2019, Disponível em: <https://www.tirerack.com/tires/tiretech/techpage.jsp?techid=32>.