



OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO ACOPLAMENTO DO CONJUNTO COM A CARÇA NA CONSTRUÇÃO DE UM PNEU

RUI FERNANDO DE BARROS LEÃO

Setembro de 2018

OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO ACOPLAMENTO DO CONJUNTO COM A CARÇA NA CONSTRUÇÃO DE UM PNEU

Rui Fernando Barros Leão

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS NO ACOPLAMENTO DO CONJUNTO COM A CARÇAÇA NA CONSTRUÇÃO DE UM PNEU

Rui Fernando Barros Leão
1130167

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Professor Doutor Manuel Pereira Lopes.

2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

A realização de um estudo desta proporção é um desafio enorme para qualquer pessoa. Isto porque, é necessário uma enorme dedicação e trabalho para chegar ao objetivo pretendido.

Não posso deixar de mencionar quem me apoiou, e foi peça fundamental para que esta etapa muito importante da minha vida fosse alcançada da forma que ambicionei.

Os meus pais, sendo estes o grande pilar que suportou todo o meu suor desde que comecei a ler e a escrever até ao término desta fase, um muito obrigado do fundo do coração. Abdicaram de muito na vida para me proporcionarem uma ótima educação e me tornar no homem que sou. Nunca me faltou nada, sempre me motivaram e ensinaram a dar o meu máximo e nunca cruzar os braços.

À minha irmã, ao meu cunhado, sobrinhos e noiva, são as restantes pessoas que sempre me deram força, motivaram e que sempre estiveram presentes em todas as boas e más fases desta etapa, adoro-vos.

Ao meu orientador organizacional e atual chefe do Departamento de Uniformidade Eng.º Ricardo Ferrão, sempre com ambição de inovar e mostrar que estamos presentes para trazer coisas novas, é a pessoa mais importante para mim na empresa. Foi quem escolheu o tema e nunca cruzou os braços, o apoio foi sempre constante até ao alcance dos objetivos. Como tal, um enorme obrigado por tudo o que tem feito por mim dentro deste mundo que é a Continental Mabor e, por me tornar no profissional que sou hoje. À minha restante equipa de Uniformidade, que sendo tremendamente complicado conciliar as tarefas diárias e resolver os problemas que temos diariamente no chão de fábrica, sempre me deram a “mão” e suporte para que eu tivesse tempo para realizar os testes e os estudos para este projeto.

Agradeço ao meu orientador académico Prof. Doutor Manuel Pereira Lopes por todo o acompanhamento e suporte na execução desta dissertação e pela disponibilidade que demonstrou durante esta etapa.

O Eng.º Vítor Faria (Engenharia) e o Sr. Deolindo Oliveira (departamento de assistência técnica à produção) foram também um grande pilar na concretização deste trabalho. Ambos me deram um enorme suporte no entendimento dos processos e das programações das máquinas de construção e, posteriormente no alinhamento de ideias e melhorias programadas para o futuro deste processo (acoplamento do conjunto com a carcaça).

Obrigado é uma palavra insignificativa para agradecer tudo o que vocês têm feito,
Mãe e Pai

PALAVRAS CHAVE

Parâmetros de receita, uniformidade de um pneu, complexidade, insuflação ineficiente da carcaça, desenho de experiências.

RESUMO

O presente trabalho realizado na Continental Mabor, Indústria de Pneus S.A, na Direção da Qualidade, no Departamento de Uniformidade, revela um problema do dia-a-dia durante o processo produtivo de um pneu, que afeta diretamente a sua uniformidade. A insuflação ineficiente das carcaças no momento em que é acoplado o conjunto, é um fator crítico na construção de um pneu, mas que, no entanto, nunca foi estudado o seu efeito sistemático na fábrica de Lousado, nomeadamente, para a nova geração de máquinas de construção. Como tal, com o aumento do tamanho e da sua complexidade, problemas novos começam a ganhar importância e a ser tema de discussão.

Foi proposto então um caso real para esta dissertação, no qual ao longo dos últimos tempos foram realizados vários estudos de parâmetros de receitas de máquinas existentes, cujo objetivo primordial visa minimizar os problemas de não uniformidade de um pneu durante o seu processo produtivo de construção.

Houve a necessidade de perceber todo o processo produtivo e proceder à criação ao longo do tempo de uma biblioteca de análises e testes.

Para formulação do problema, efetuaram-se estudos de forma a analisar a influência dos materiais, das várias máquinas de construção e da importância do volume do pneu. Para tal, foram utilizadas ferramentas da estatística e da engenharia da qualidade para proceder à realização de desenhos de experiências.

No final realizou-se uma aplicação em Microsoft Excel que visa ser uma ferramenta de suporte para o Departamento de Assistência Técnica à Produção (DATP) contendo as melhores receitas de pressões encontradas para cada tipo de secção de pneu. As receitas das máquinas para cada segmento de pneu serão posteriormente alteradas para as soluções otimizadas.

KEYWORDS

Recipes parameters, tire uniformity, complexity, insufficient insufflation of the carcass, Design of Experiments, Taguchi

ABSTRACT

The Present Work Held at Continental Mabor, Indústria de Pneus S.A, in the Quality Management, in the Uniformity Department, reveals a big problem during the production process of a tire, which directly affects its uniformity. The inefficient insufflation of carcasses at the time of the coupling of it with the tread package is a critical stage during the construction of a tire, nevertheless, it was never studied the impact and the systematic effect in the radial forces, in this plant, for the new generation of machines. With the increasing of the tire size and the complexity, this small problem is now a big problem.

It was proposed a real case for this thesis, in which during the last months there were realized a big amount of studies in the building machines to minimize the problems of non-uniformity of a tire during this production process step.

It was necessary to first understand all the production process and with a lot of work and focus on the goal, it was created over time a vast library of analysis and testing in the building machines, so imagining a “map” which initially was unclear and without information, at the end it will become a colorful “map” with all the points connected with each other and to get all of this database of knowledge that didn’t exist until now, it took several hours of study, training and the usage of quality tools that were really important in the statistical evaluation of the problems. Also, the experimental drawings combined with brainstorming’s and Microsoft Excel gave the body and brain for all the statistical analysis throughout this project.

To formulate the problem, studies were carried out to analyze the influence of the materials, the various construction machines and the importance of the tire volume. Statistical and quality engineering tools were used to carry out experiment drawings such as Taguchi Methods.

In the end an application was made in Microsoft Excel that aims to be a support tool for the Technical Support to Production Department (DATP) containing the best pressure recipes found for each type of tire section. All the recipes of the machines for each type of tire will be changed to the solutions found in this thesis.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas e significados

| <Termo> | <Designação> |
|--------------------|---|
| <i>Forecasting</i> | Palavra do dicionário de língua inglesa – Significado: Previsão |
| <i>Scrap</i> | Palavra do dicionário de língua inglesa – Significado: Sucata (pneu que não está dentro dos requisitos do cliente) |
| <i>KPI</i> | <i>Key Performance Indicator</i> – Indicador-chave de Desempenho |
| DATP | Departamento de Assistência Técnica à Produção |
| <i>Yield</i> | Palavra do dicionário de língua inglesa – Significado: Rendimento |
| <i>DOE</i> | <i>Design of Experiments</i> – Desenho de experiências |
| <i>AVG</i> | <i>Average</i> – Média |
| <i>Stdev</i> | <i>Standard Deviation</i> – Desvio Padrão |
| RFPP | <i>Radial Force Peak to Peak</i> – Força Radial Pico a Pico |
| RFH1 | <i>Radial Force 1st Harmonic</i> – Força Radial 1º Harmónico |
| RFH2 | <i>Radial Force 2nd Harmonic</i> – Força Radial 2º Harmónico |
| LFPP | <i>Lateral Force Peak to Peak</i> – Força Lateral Pico a Pico |
| CONY | <i>Conicity</i> – Conicidade |
| ANOVA | <i>Analyses of Variance</i> - Análise de variância |
| S/N | <i>Signal Noise Ratio</i> - Relação de Sinal de Ruído |
| CM | <i>Continental Mabor</i> |
| <i>Know-how</i> | Palavra do dicionário de língua inglesa – Significado: conhecimento |
| <i>High point</i> | Valor mais alto num range de valores |
| <i>Low Point</i> | Valor mais baixo num range de valores |
| <i>Booster</i> | Software de receitas mais atual da máquina de construção com novos parâmetros de parametrização de pressão na enformação da carcaça |

Lista de Unidades

| <Termo> | <Designação> |
|---------|---|
| daN | decaNewton (1 daN= 10 N) |
| bar | Unidade de Pressão (1 bar = 100 000 Pa) |
| rpm | Rotações por minuto |
| m/min | Metros por minuto |
| N | Newton |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 1 - NÚMERO DE EXPERIÊNCIAS NECESSÁRIAS PARA CADA TÉCNICA DE DOE (DAVIS & JOHN, 2018) | 10 |
| FIGURA 2 - FUNÇÃO QUADRÁTICA DE PERDA (TAGUCHI) (DEAN AND UNAL 1991) | 11 |
| FIGURA 3 - ÁREAS DE NEGÓCIO | 19 |
| FIGURA 4 – GRUPO CONTINENTAL NO MUNDO | 19 |
| FIGURA 5 - GRUPO CONTINENTAL EM PORTUGAL | 20 |
| FIGURA 6 – VISTA AÉREA DA CONTINENTAL MABOR | 20 |
| FIGURA 7 - 100 ANOS ATRÁS (1917), FORD – PNEU DE ARO DE MADEIRA | 22 |
| FIGURA 8 – QUÍMICOS USADOS PARA A BORRACHA | 22 |
| FIGURA 9 – CAMADAS DE MATERIAIS | 22 |
| FIGURA 10 – REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 23 |
| FIGURA 11 – REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 23 |
| FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 24 |
| FIGURA 13 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 24 |
| FIGURA 14 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 25 |
| FIGURA 15 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 25 |
| FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 25 |
| FIGURA 17 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 26 |
| FIGURA 18 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 26 |
| FIGURA 19 - REPRESENTAÇÃO NA JANTE E SECÇÃO | 27 |
| FIGURA 20 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DE UM PNEU | 27 |
| FIGURA 21 – PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS COMPOSTOS | 28 |
| FIGURA 22 – PROCESSO DE PREPARAÇÃO DOS FIOS TÊXTEIS E METÁLICOS | 28 |
| FIGURA 23 – PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UM PNEU | 29 |
| FIGURA 24 – VULCANIZAÇÃO DE UM PNEU EM VERDE | 29 |
| FIGURA 25 – PRODUTO FINAL NA CONSTRUÇÃO | 33 |
| FIGURA 26 – PNEU E OS DIFERENTES EIXOS | 34 |
| FIGURA 27 – REPRESENTAÇÃO DA FORÇA RADIAL (1º HARMÓNICO) | 34 |
| FIGURA 28 – REPRESENTAÇÃO DA FORÇA RADIAL (2º HARMÓNICO) | 35 |
| FIGURA 29 – REPRESENTAÇÃO DA FORÇA LATERAL | 35 |
| FIGURA 30 – REPRESENTAÇÃO DA CONICIDADE | 36 |
| FIGURA 31 – POSICIONAMENTO DA CARÇA NA CABEÇA DE EXPANSÃO (2º ESTÁGIO) | 36 |
| FIGURA 32 – ESTICAMENTO DA CARÇA ANTES DA INSUFLAÇÃO DO AR COMPRIMIDO | 37 |
| FIGURA 33 – INSUFLAÇÃO DA CARÇA | 37 |
| FIGURA 34 – PONTO EM QUE A CARÇA ENTRA EM CONTACTO COM O CONJUNTO | 38 |
| FIGURA 35 – CARRETLHAGEM DO PISO E FECHO FINAL DO FUSO DAS CABEÇAS | 38 |
| FIGURA 36 – REPRESENTAÇÃO DA CABEÇA DE EXPANSÃO (FORMATO REAL) | 39 |
| FIGURA 37 – FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE ACOPLAMENTO DA CARÇA COM O CONJUNTO | 40 |
| FIGURA 38 – CARÇA POUCO TENCIONADA | 44 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 39 – CARÇAÇA BEM INSUFLADA | 44 |
| FIGURA 40 – CARÇAÇA MAL ACOPLADA NO CONJUNTO | 44 |
| FIGURA 41 – BAIXA PRESSÃO | 44 |
| FIGURA 42 – DESCENTRAMENTO DA POSIÇÃO DO CONJUNTO COM A CARÇAÇA | 45 |
| FIGURA 43 – SENSOR DE PRESSÃO DENTRO DA CABEÇA DE EXPANSÃO | 49 |
| FIGURA 44 – COMUNICAÇÃO WIRELESS E LEITURA DOS RESULTADOS NO COMPUTADOR | 50 |
| FIGURA 45 – GRÁFICO COM CURVAS DE PRESSÃO OBTIDAS PELO SENSOR DE PRESSÃO | 50 |
| FIGURA 46 – REPRESENTAÇÃO DO MODEM WIRELESS E DO SENSOR DE PRESSÃO | 51 |
| FIGURA 47 - REPRESENTAÇÃO DO DESENHO DE EXPERIÊNCIAS (<i>TAGUCHI</i>) PARA A REALIZAÇÃO DO ESTUDO | 53 |
| FIGURA 48 – REPRESENTAÇÃO DA MOVIMENTAÇÃO DO FECHO DO FUSO DA CABEÇA DE EXPANSÃO | 54 |
| FIGURA 49 – CURVAS OBTIDAS COM O SENSOR DE PRESSÃO (SEM OTIMIZAÇÃO) | 55 |
| FIGURA 50 - CURVAS OBTIDAS COM O SENSOR DE PRESSÃO (COM OTIMIZAÇÃO DA RECEITA) | 56 |
| FIGURA 51 – RESULTADOS OBTIDOS APÓS AS ALTERAÇÕES EFETUADAS | 57 |
| FIGURA 52 - CURVAS OBTIDAS COM DUAS MEDIDAS DIFERENTES NA MESMA MÁQUINA COM PARÂMETROS DE RECEITA IGUAIS | 58 |
| FIGURA 53 - TESTE DE HIPÓTESES (REGRESSÃO LINEAR) – 1º TESTE | 59 |
| FIGURA 54 – HISTOGRAMA PARA COMPARAÇÃO DE MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS DOIS ENSAIOS | 59 |
| FIGURA 55 - CURVAS OBTIDAS EM MÓDULOS DIFERENTES (COM A MESMA MEDIDA E MESMO PARÂMETROS) | 60 |
| FIGURA 56 - TESTE DE HIPÓTESES (REGRESSÃO LINEAR) – 2º TESTE | 61 |
| FIGURA 57 – HISTOGRAMA DO 2º TESTE | 61 |
| FIGURA 58 - CURVAS OBTIDAS NO MESMO MÓDULO COM A MESMA MEDIDA, MAS USANDO UMA OU DUAS TELAS | 62 |
| FIGURA 59 - TESTE DE HIPÓTESES (REGRESSÃO LINEAR) – 3º TESTE | 63 |
| FIGURA 60 - HISTOGRAMA DO 3º TESTE | 63 |
| FIGURA 61 - MATRIZ L9 (<i>TAGUCHI</i>) | 64 |
| FIGURA 62 - MATRIZ L9 E A RESPOSTA (RFPP) | 64 |
| FIGURA 63 - RESPOSTA DAS MÉDIAS - RFPP | 65 |
| FIGURA 64 – RESPOSTA DO RÁCIO S/N - RFPP | 65 |
| FIGURA 65 - EFEITOS DO RÁCIO S/N DOS 3 FATORES NA RESPOSTA RFPP | 65 |
| FIGURA 66 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (<i>ANOVA</i>) - RFPP | 66 |
| FIGURA 67 - MATRIZ L9 E AS RESPOSTAS (RFH1) | 66 |
| FIGURA 68 - RESPOSTA DAS MÉDIAS - RFH1 | 66 |
| FIGURA 69 - RESPOSTA DO RÁCIO S/N - RFH1 | 66 |
| FIGURA 70 - EFEITOS DO RÁCIO S/N DOS 3 FATORES NA RESPOSTA RFH1 | 67 |
| FIGURA 71 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA (<i>ANOVA</i>) - RFH1 | 67 |
| FIGURA 72 – RESUMO DOS RESULTADOS DE VÁRIAS SECÇÕES TESTADAS (EM DAN) E OS RESPETIVOS PONTOS DE TOQUE (EM BAR), SENDO QUE QUANTO MENOR O RESULTADO DE RFH1, MELHOR. | 68 |
| FIGURA 73 - RESULTADO DA FORÇA RADIAL 1º HARMÓNICO DO CÓDIGO REDUZIDO 656 | 68 |
| FIGURA 74 - RESULTADO DA FORÇA RADIAL 1º HARMÓNICO DO CÓDIGO REDUZIDO 576 | 69 |
| FIGURA 75 - RESULTADO DA FORÇA RADIAL 1º HARMÓNICO DO CÓDIGO REDUZIDO 499 | 69 |
| FIGURA 76 – ACOPLAMENTO NÃO OTIMIZADO | 70 |

| | |
|--|----|
| FIGURA 77 - ONDA HARMÓNICA DO 1º PNEU – 0,1 BAR | 71 |
| FIGURA 78 – ONDA HARMÓNICA DO PNEU REPRESENTADA AO LONGO DE UM CÍRCULO PERFEITO | 71 |
| FIGURA 79 – CURVA OBTIDA DO 1º PNEU – 0,1 BAR | 71 |
| FIGURA 80 - RESULTADOS DOS TESTES DE REGRESSÃO EFETUADOS AOS PARÂMETROS MEDIDOS | 72 |
| FIGURA 81 – MINITAB – TESTE DE REGRESSÃO QUADRÁTICA (S27SS) | 73 |
| FIGURA 82 – CORRELAÇÃO ENTRE S27SS E A CURVA DO PNEU 0,1 BAR | 74 |
| FIGURA 83 – MINITAB – TESTE DE REGRESSÃO (SKK) | 74 |
| FIGURA 84 – CORRELAÇÃO ENTRE SKK (MM) E A CURVA DO PNEU 0,1 BAR (NEWTONS) | 75 |
| FIGURA 85 – PARÂMETRO SKK (DISTÂNCIA DA TELA ENTRE TALÕES) | 75 |
| FIGURA 86 – MINITAB – TESTE DE REGRESSÃO (S55OSS) | 76 |
| FIGURA 87 – CORRELAÇÃO ENTRE S55OSS E A CURVA DO PNEU (0,1 BAR) | 76 |
| FIGURA 88 - ONDA HARMÓNICA DO PNEU REPRESENTADA AO LONGO DE UM CÍRCULO PERFEITO | 77 |
| FIGURA 89 – ONDA HARMÓNICA DO 3º PNEU – 0,6 BAR | 77 |
| FIGURA 90 – CURVA OBTIDA DO 3º PNEU – 0,6 BAR | 77 |
| FIGURA 91 - DEMONSTRAÇÃO DO PARÂMETRO L-CAPSS E L-CAPOSS NUMA SECÇÃO DE UM PNEU | 78 |
| FIGURA 92 – MINITAB – TESTE DE REGRESSÃO (L-CAPOSS) | 78 |
| FIGURA 93 - CORRELAÇÃO L-CAPOSS COM A CURVA DO PNEU 3 (0,6 BAR) | 79 |
| FIGURA 94 - CORRELAÇÃO L-CAPSS COM A CURVA DO PNEU 3 (0,6 BAR) | 79 |
| FIGURA 95 - MINITAB – TESTE DE REGRESSÃO (L-CAPSS) | 79 |
| FIGURA 96 - DEMONSTRAÇÃO DAS MÉDIAS DOS VALORES DOS VÁRIOS PARÂMETROS AO LONGO DOS 360º DOS PNEUS (0,1 BAR, 0,4 BAR E 0,6 BAR) | 80 |
| FIGURA 97 - FIXAÇÃO DO APARELHO COM TIRA DE BORRACHA (ANTES) | 81 |
| FIGURA 98 – MELHORIA EFETUADA – APLICAÇÃO DE ÍMANES NO SENSOR DE PRESSÃO (DEPOIS) | 82 |
| FIGURA 99 - GRÁFICO (SCOPE VIEW) DIGITAL DE PRESSÃO NA MÁQUINA DE CONSTRUÇÃO | 83 |
| FIGURA 100 - EJEÇÃO DA CARÇA DA CABEÇA DE EXPANSÃO – PRESSÃO 0,5 BAR | 84 |
| FIGURA 101 - MOMENTO DA PARAGEM DO ANEL DE TRANSFERÊNCIA (PRESSÃO DESCE PARA 0,5 NO 1º SEGUNDO), SENDO QUE, A PRESSÃO CONTINUA A SUBIR (AZUL), PROVOCANDO A EJEÇÃO DA CARÇA. | 84 |
| FIGURA 102 - PARAGEM DO ANEL, COM REDUÇÃO DA PRESSÃO PARA 0,2 BAR | 85 |
| FIGURA 103 - VISUALIZAÇÃO GRÁFICA DA ALTERAÇÃO DA PRESSÃO DE SEGURANÇA PARA 0,2 BAR | 85 |
| FIGURA 104 - APLICAÇÃO DESENVOLVIDA EM EXCEL – ANÁLISE POR CÓDIGO REDUZIDO. | 87 |
| FIGURA 105 - APLICAÇÃO DESENVOLVIDA EM EXCEL – ANÁLISE POR SECÇÃO PNEU | 87 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 - RESULTADOS DA PESQUISA NO GOOGLE ACADÉMICO DURANTE OS ÚLTIMOS 20 ANOS | 14 |
| TABELA 2 – RECEITA DE PARÂMETROS (POSIÇÕES) | 39 |
| TABELA 3 - PARÂMETROS EXISTENTES NA RECEITA DA MÁQUINA (EXPANSOR) | 40 |
| TABELA 4 – ALGUMAS DAS VARIÁVEIS DE MEDIÇÃO – PNEU 0,1 BAR | 72 |
| TABELA 5 – SIGNIFICADO DOS PARÂMETROS COM P-VALUE ABAIXO DE 0,08 | 73 |

ÍNDICE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.1 | OBJETIVOS | 4 |
| 1.2 | MOTIVAÇÃO | 4 |
| 1.3 | ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO | 4 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 9 |
| 2.1 | TÉCNICAS DOE | 9 |
| 2.2 | VANTAGENS DAS TÉCNICAS DOE | 10 |
| 2.3 | TÉCNICA DOE – MÉTODO DE TAGUCHI | 11 |
| 2.4 | APLICAÇÕES DO MÉTODO DE TAGUCHI | 13 |
| 2.5 | REVISÃO DE ARTIGOS | 14 |
| 3 | DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DO PROCESSO PRODUTIVO | 19 |
| 3.1 | APRESENTAÇÃO DA EMPRESA | 19 |
| 3.2 | DESCRIÇÃO DO PRODUTO | 21 |
| 3.2.1 | BREVE HISTÓRIA DO PNEU | 21 |
| 3.2.2 | MATERIAIS | 22 |
| 3.3 | DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO | 27 |
| 3.3.1 | DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UM PNEU | 30 |
| 3.3.2 | DEFINIÇÃO DE YIELD E SCRAP | 30 |
| 4 | DESCRIÇÃO DO PROBLEMA | 33 |
| 4.1 | UNIFORMIDADE E O PROCESSO DE ACOPLAMENTO ENTRE A CARÇAÇA E O CONJUNTO | 33 |
| 4.1.1 | CABEÇA DE EXPANSÃO | 39 |
| 4.2 | PROBLEMAS DE INSUFLAÇÃO DA CARÇAÇA NA CABEÇA DE EXPANSÃO | 43 |
| 4.2.1 | MATERIAIS | 45 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 5 | DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO | 49 |
| 5.1 | MÉTODOS DE ANÁLISE | 51 |
| 5.2 | ESTUDOS A EFETUAR | 52 |
| 5.2.1 | EXPERIÊNCIAS E ANÁLISES DE RESULTADOS | 55 |
| 5.3 | ANÁLISE DO CORTE DE UM PNEU EM 23 SECÇÕES | 71 |
| 5.4 | SÍNTESE DAS MELHORIAS ALCANÇADAS | 81 |
| 5.5 | DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA EM EXCEL | 86 |
| 6 | CONCLUSÕES | 91 |
| 7 | REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS | 95 |
| 8 | ANEXOS | 101 |

INTRODUÇÃO

1.1 OBJETIVOS

1.2 MOTIVAÇÃO

1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

1 INTRODUÇÃO

Este projeto descreve todo o trabalho e estudo efetuado na Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A, no âmbito do projeto desenvolvido na empresa.

Com um grande volume de produção de pneus na atualidade por parte da Continental Mabor, e com a sua experiência obtida ao longo dos últimos anos, novos tipos de pneus entram em produção, para uso em estrada seca e molhada, com dimensões mais alargadas e com índices de velocidades superiores. Para que seja possível a construção de todos estes diferentes tipos de pneus, é necessário um desenvolvimento complexo, contando com um processo rigoroso.

A função desempenhada durante esta dissertação está enquadrada na Direção de Qualidade, mais propriamente no Departamento da Uniformidade. Este trabalho visa criar melhores condições na produção de um pneu, de forma a minimizar as vibrações e os ruídos durante o seu rolamento na estrada, indo ao encontro dos requisitos do cliente final, tanto a nível visual como a nível de uniformidade, balanceamento e geometria.

As forças radiais são irregularidades ao nível circunferencial de um pneu no qual contrariam, de certa forma, a circularidade uniforme da superfície deste (variação da força radial ao longo dos 360 graus). O tema desta dissertação está focado na construção. O processo de construção de um pneu é dividido em dois estágios. No 1º estágio (1ª máquina) é construída a carcaça (constituída por camada interna, tela, talão e parede) e no 2º estágio (2ª máquina) é primeiramente construído o conjunto (cinta metálica, cinta têxtil e piso) e, de seguida este é acoplado à carcaça anteriormente fabricada. Este acoplamento é realizado na cabeça de expansão. A sua função é, enformar a carcaça para que esteja posicionada o mais concêntrico e paralelo possível com o conjunto, no momento em que são acoplados.

Na cabeça de expansão existe um veio com orifícios para a libertação de ar comprimido e também um fuso (parafuso rosca sem fim) que fecha durante o acoplamento para aproximar ambas as paredes da carcaça, de forma a dar o formato desejado ao pneu. A pressão do ar comprimido e a velocidade do fecho do fuso são controladas por um software que está instalado no computador da máquina de construção.

Pela experiência existente na fábrica, é dito que durante a pré-enformação da carcaça na cabeça de expansão, caso a pressão e a velocidade de fecho do fuso não estejam propriamente otimizadas, pode criar uma má uniformização dos materiais ao longo dos 360 graus, criando posteriormente forças radiais na rotação do pneu.

O objetivo é estudar esta pré-enformação, ou seja, analisar e verificar se existem condições no processo para melhorar esta etapa de produção. Existem vários parâmetros no software que são possíveis de alterar e testar. Uma vez que, não existe um manual a informar quais os parâmetros ideais para cada tipo de pneu, a sequência ideal é, uma incógnita. Utilizando métodos de desenho de experiências, pretende-se encontrar os parâmetros de receita que tem mais influência na correta enformação da

carcaça. A complexidade é grande, pois existe uma enorme quantidade de materiais diferentes, em conjunto com vários tamanhos de pneus e vários parâmetros de receita.

1.1 OBJETIVOS

Pretende-se que seja estudado o processo produtivo da construção de um pneu, mais propriamente na última fase de construção, em que é realizado o acoplamento entre a carcaça e o conjunto (cinta metálica, cinta têxtil e piso), verificando a possibilidade de otimizar o processo, para que as forças radiais do pneu sejam reduzidas. Esta otimização vai estar enquadrada nos parâmetros de pressões de insuflação, velocidades de fecho e abertura, volume do pneu, materiais, com o auxílio de ferramentas de qualidade e de estatística.

1.2 MOTIVAÇÃO

A motivação para a realização deste trabalho surgiu com uma proposta por parte do meu supervisor, Eng.º Ricardo Ferrão.

Os problemas eram visíveis, e surgiu então a oportunidade de avançar com um estudo neste processo importante de construção do pneu, mais propriamente na nova geração de máquinas de construção.

Proporcionar várias soluções, de forma a melhorar a uniformidade e obter um maior rácio de pneus e aumentar a flexibilidade entre máquinas, foram algumas das motivações para o desenvolvimento deste trabalho.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. No primeiro capítulo é feita uma breve introdução ao problema proposto para estudo, aos objetivos e à razão pelo qual este tema surgiu.

No segundo capítulo é realizada a revisão bibliográfica, em que é dada ênfase às ferramentas de estatística usadas nesta dissertação, nomeadamente os métodos DOE - *Taguchi*.

No terceiro capítulo, é apresentado a empresa e posteriormente é feita uma descrição do processo produtivo, com foco na construção.

No quarto capítulo é descrito o processo do acoplamento entre a carcaça e o conjunto e de seguida, o problema em causa que levou à execução desta dissertação, também são abordadas as diferenças existentes entre as máquinas da geração antiga comparativamente às mais recentes. Por fim, é relatada a possível influência nos valores

de uniformidade dos pneus, tendo em conta a grande diversidade existente de materiais utilizados na construção do pneu.

No quinto capítulo é efetuada a formulação do problema, ou seja, são descritos os estudos a efetuar e, posteriormente, a análise de resultados. Para esta análise, são utilizados os métodos de *Taguchi* e *ANOVA* para auxiliar na tomada de decisão. No fim do capítulo é também demonstrada a ferramenta desenvolvida em Excel, que tem como objetivo final dar suporte à equipa de DATP.

Por fim, no sexto capítulo, são referidas as conclusões finais desta dissertação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TÉCNICAS DOE

2.2 VANTAGENS DAS TÉCNICAS DOE

2.3 TÉCNICA DOE – MÉTODO DE TAGUCHI

2.4 APLICAÇÕES DO MÉTODO DE TAGUCHI

2.5 REVISÃO DE ARTIGOS

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os desenhos de experiências (*DOE*) nasceram nos anos 20, através do trabalho do estatístico Sir Ronald Aylmer Fisher (Fisher, 1925). A segunda era dos estudos estatísticos começou em 1951 com o trabalho do Box e Wilson (G E P Box, 1952). Foi na década 50 que se começou a perceber a utilização dos desenhos de experiência nas indústrias, ou seja, estes pretendiam descobrir relações entre parâmetros de processo e as respostas.

O trabalho do Dr. Genichi Taguchi nos anos 80 (Taguchi & Wu, 1980), teve um impacto positivo para a evolução dos desenhos de experiências. Contribuiu com o seu método de *Taguchi* e, também, lutou para demonstrar que este podia ser um avanço importante para a melhoria da qualidade de um produto/processo.

(Lye, 2005) refere-se ao *DOE*, como uma metodologia para aplicar sistematicamente estatísticas à experimentação. Este é desenhado por vários parâmetros (inputs) de um processo/produto, e o objetivo é examinar as razões para existir variação nas respostas (outputs) (Montgomery, 2017).

No final do século XX, o *DOE* incorporou as ferramentas de Seis Sigma (Brady & Allen, 2006). Esta tornou-se importante neste grupo, devido à sua capacidade para otimizar parâmetros de processo e ao baixo custo necessário para a sua implementação (Davis & John, 2018).

2.1 TÉCNICAS DOE

Existe um grande número de técnicas de DOE utilizadas nas indústrias. No entanto, pretende-se dar a conhecer algumas das mais conhecidas (Cavazzuti, 2013):

- Quadrado latino;
- Completamente aleatorizados;
- Fatorial completo;
- Fatorial fracionado;
- Compósito central;
- *Box-Behnken* (George E P Box & Behnken, 1960);
- *Plackett-Burman* (Plackett & Burman, 1946);
- *Taguchi* (Taguchi & Wu, 1980).

Não existe uma técnica DOE considerada como a melhor, mas a seleção desta deverá ter em conta o tipo de problema que está a ser investigado. Existem técnicas mais demoradas, mas que, no entanto, permitem obter resultados mais precisos. A menos que o número de experiências que podem ser alcançados seja alto, é importante limitar o máximo possível o número de parâmetros para reduzir o tamanho do problema e o

esforço necessário para resolvê-lo. Naturalmente, a escolha dos parâmetros a serem descartados pode ser uma questão particularmente delicada, pois poderão ser removidos parâmetros importantes do estudo. A técnica de *Plackett-Burman* permite ser utilizada como um estudo preliminar para estimar os principais parâmetros, isto porque, o número de experiências necessárias, mesmo com 9 fatores, não ultrapassa os 20 ensaios (Davis & John, 2018).

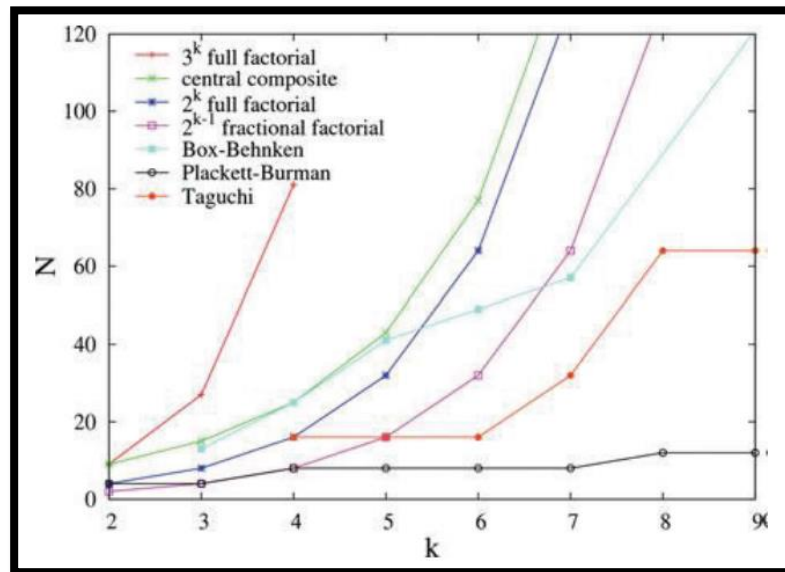


Figura 1 - Número de experiências necessárias para cada técnica de DOE (Davis & John, 2018)

2.2 VANTAGENS DAS TÉCNICAS DOE

(Czitrom, 1999) deu a conhecer algumas das vantagens que este verificou das técnicas DOE, através da sua utilização na indústria (engenharia):

- Obtenção de uma grande quantidade de informação/resultados com necessidade de poucos recursos (ensaios, tempo, custo);
- Possibilidade de calcular os efeitos de cada parâmetro com mais precisão no processo em análise;
- Verificar a interação entre parâmetros.

2.3 TÉCNICA DOE – MÉTODO DE TAGUCHI

Existe um vasto número de métodos que permitem melhorar a qualidade e a eficiência dos processos existentes nas indústrias. O planeamento de experiências de *Taguchi* é um dos melhores métodos de otimização para obter alta qualidade sem aumentar o custo (Chan, Hsu, Chang, & Hsu, 2010) (Tsai, 2011).

Esta ferramenta foi introduzida por Dr. Genichi Taguchi no Japão, sendo que, o maior objetivo desta é diminuir os efeitos dos ruídos do sistema envolvente (fatores não controláveis) e, ao mesmo tempo encontrar o nível ideal para os fatores que são possíveis de controlar (Zahraee, Hatami, Bavafa, Ghafourian, & Rohani, 2014).

O método de *Taguchi* é um método eficiente para projetar processos que operam de forma consistente em várias condições. Para determinar os parâmetros ideais de processo é necessário utilizar um desenho de experiências (Aslan, Camuşcu, & Birgören, 2007).

Taguchi define qualidade como “a qualidade de um produto é definida através do tempo que este demora a ser enviado para um cliente”. Esta perda de economia está associada a desperdício de tempo e dinheiro com o retrabalho do produto, perda de recursos durante a manufatura, reclamações de clientes, entre outros (Bryne & Taguchi, 1986).

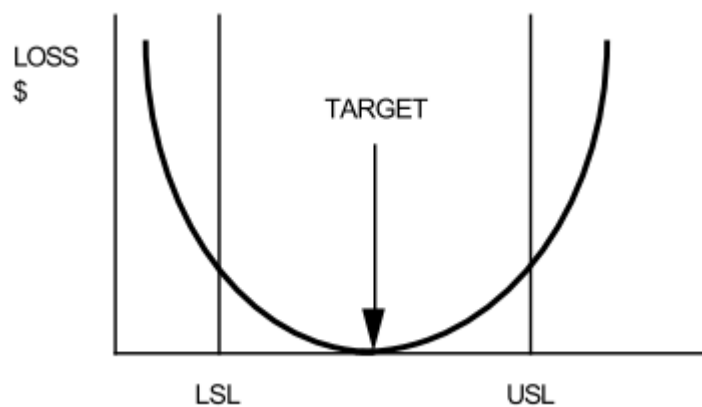


Figura 2 - Função quadrática de perda (*Taguchi*) (Dean and Unal 1991)

Na figura 2 está representado a função quadrática de perda. Quando os valores de um parâmetro se desviam do valor objetivo, então vai existir uma perda no sistema. Ou seja, aumentando a variação no processo vai criar uma instabilidade que retira qualidade ao processo. O objetivo é reduzir essa variação de forma a que o custo também seja reduzido (Di Lorenzo, 1990).

Para melhorar um produto utilizando o método de *Taguchi*, é necessário proceder à seleção dos parâmetros a estudar. O objetivo é escolher os níveis ótimos para os parâmetros que são possíveis de controlar, mesmo quando existem ruídos no sistema que causam variação. Os parâmetros de ruído não podem ser controlados, ou em alguns

casos são muito dispendiosos para os controlar. Enquanto que os parâmetros possíveis de calcular podem ser alterados facilmente (ex.: alterar valores numa receita de uma máquina, como por exemplo, velocidades e temperaturas) (Davis & John, 2018).

O que normalmente é feito quando não são utilizadas ferramentas tais como *Taguchi*, é simplesmente alterar parâmetros um a um, por tentativa erro, até encontrar uma solução melhor. No entanto, estes testes podem durar bastante tempo e até mesmo sem encontrar uma solução mais otimizada. Utilizando o método de *Taguchi*, numa experiência onde existam 13 parâmetros para estudar com 3 níveis cada, seriam apenas necessárias 27 experiências (matriz L27 – 313), no entanto, sem a utilização deste método seriam necessárias 1 594 323 experiências. O desperdício de tempo e dinheiro seria extremamente elevado e muito difícil de realizar (Dean & Unal, 1991).

Segundo Phadke (1989), Wille (1990) e (Barrado, Vega, Pardo, Grande, & Del Valle, 1996), para utilizar o método de *Taguchi* é necessário seguir os seguintes passos:

1. Determinar a característica de qualidade a otimizar (ex.: peso, velocidade, vibração de um pneu);
2. Identificar os fatores ruidosos do sistema (ex.: temperatura, desgaste);
3. Identificar os fatores controláveis;
4. Indicar os níveis de cada fator;
5. Escolher a matriz mais adaptada à quantidade de parâmetros e níveis;
6. Utilizando a matriz, proceder às experiências;
7. Analisar os dados obtidos e determinar os níveis ótimos para os parâmetros controláveis;
8. Prever o rendimento do sistema com os níveis ótimos obtidos.

Durante a etapa 7, para analisar os resultados, o método de *Taguchi* utiliza uma medida estatística de *performance* chamada de quociente de sinal de ruído (S/N). A função quadrática de perda (figura 2), o valor desta função é posteriormente transformado no rácio S/N. Este tem em consideração a média e a variação dos dados. Segundo (Bryne & Taguchi, 1986) e Phadke (1989), os três rácios do método são os seguintes:

- Quanto maior melhor (ex.: tensão de rotura);

$$\frac{S}{N} = -\log \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{y^2} \right) \quad (1)$$

- Quanto menor melhor (ex.: força radial – uniformidade);

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (2)$$

- Valor nominal (ex.: dimensão).

$$\frac{S}{N} = 10 \log \frac{\bar{y}}{s_y^2} \quad (3)$$

Independentemente da característica de qualidade escolhida (1), (2) ou (3), o fator com o valor de sinal de ruído (S/N) maior, é o mais otimizado para o rácio pretendido (Moita, 2007).

O próximo passo durante a análise de dados (etapa 7) é a aplicação da análise de variância (ANOVA).

O método da ANOVA é útil para determinar a influência de um dado fator num desenho de experiências. O método de Taguchi não consegue determinar ou julgar o efeito de um parâmetro individual no processo, para esse propósito, a análise de variância consegue calcular a significância e a contribuição desse parâmetro para o sistema a estudar (Moita, 2007) (Gopalsamy, Mondal, & Ghosh, 2009).

2.4 APLICAÇÕES DO MÉTODO DE TAGUCHI

O método de Taguchi é utilizado essencialmente nos processos de manufatura. No entanto, existe outros campos de investigação em que este é usado, tais como:

- Ciências ambientais (Daneshvar, Khataee, Rasoulifard, & Pourhassan, 2007);
- Agricultura (S. M. Tasirin, Kamarudin, Ghani, & Lee, 2007);
- Física (Wu & Chen, 2006);
- Estatística (Romero-Villafranca, Zúnica, & Romero-Zúnica, 2007);
- Gestão (Elshennawy, 2004);
- Medicina (Ng & Ng, 2006).

2.5 REVISÃO DE ARTIGOS

Procedendo à pesquisa de informação para esta dissertação, foi utilizado o Google Académico como motor de busca. Foram testadas várias palavras relacionadas o mais possível com o tópico desta tese e, de seguida, procedeu-se à pesquisa de todas as publicações existentes nas bases de dados científicas com pesquisas avançadas, apenas utilizando as palavras-chave no título durante os últimos 20 anos, não considerando citações e patentes.

Tabela 1 - Resultados da pesquisa no Google Académico durante os últimos 20 anos

| | 1998-2001 | 2002-2005 | 2006-2009 | 2010-2013 | 2014-2017 | 2018 | Total |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|-------|
| <i>Tire Uniformity</i> | 0 | 4 | 2 | 12 | 4 | 0 | 22 |
| <i>Tire Inflation Process</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Tire Shaping Process</i> | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| <i>Design of Experiments + Taguchi</i> | 7 | 7 | 15 | 25 | 58 | 6 | 118 |
| <i>Tire Shaping + Taguchi</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Na tabela 1 é demonstrado o número de artigos publicados que podem ter correlação direta com o tema desta dissertação.

Acerca do método de *Taguchi*, o desenho de experiências usado neste trabalho, é também um tópico que tem aumentado o interesse ao longo dos últimos 20 anos com um total de 118 artigos, contendo “*design of experiments + Taguchi*”. O motivo para este aumento, está na desejável otimização dos processos de manufatura, tendo em conta os baixos custos necessários para o uso do método e, a eficiência que este proporciona para os processos das várias indústrias (Davis & John, 2018).

Procedendo à pesquisa mais detalhada, de forma a encontrar um tema próximo desta dissertação, utilizou-se a palavra-chave “*Tire Shaping + Taguchi*”. Esta pesquisa não retornou resultados.

Os dois artigos encontrados com a palavra-chave “*Tire Shaping*” não têm relação direta com este tema, pois ambos são referentes ao processo de vulcanização de um pneu. O enquadramento desta tese está no processo de construção de um pneu. O primeiro artigo (Choi & Lyu, 2017) é referente a um estudo sobre o comportamento da borracha dentro de um molde antes e durante a vulcanização de um pneu. Já o segundo artigo (Fu, Wang, Zhang, Bian, & Pu, 2010) pretende verificar o efeito da vulcanização e do processo de insuflação num pneu relativamente à variação das forças radiais

(uniformidade). O objetivo dos autores é melhorar a uniformidade de um pneu com a alteração de parâmetros de receita na vulcanização.

Tendo em conta que não foi encontrado nenhum artigo enquadrado no processo de construção de um pneu juntamente com as técnicas de *Taguchi*, foi dada ênfase aos artigos mais recentes relativos aos desenhos de experiências através do método de *Taguchi*.

(Ahmad, Zafar, Ahmad, & Mohsin, 2018) descreve um estudo com base numa indústria têxtil, que tem como propósito substituir o uso de polissacarídeos pelo amido de batata na remoção de corantes reativos do efluente têxtil. O objetivo desta investigação foi analisar os melhores parâmetros do processo de descoloração quando é usado o amido de batata como coagulante. Foi escolhido como desenho de experiências, o método de *Taguchi*. Os parâmetros usados foram os seguintes: percentagem da dosagem de coagulante, temperatura e pH. Cada fator continha três níveis, ou seja, o plano experimental utilizado para este estudo foi a matriz L9. O resultado esperado no final dos ensaios era obter os parâmetros ótimos que permitiriam reduzir custos e melhorar a remoção do corante do efluente têxtil utilizando o amido de batata como coagulante. O método foi utilizado com sucesso, sendo que obtiveram os parâmetros ótimos para a percentagem da dosagem de coagulante (0,5%), temperatura (55°C) e pH (10). Foi também utilizado a análise de variância (*ANOVA*) para verificar qual o parâmetro com mais influência na remoção do corante, que neste caso foi a percentagem de dosagem do coagulante.

(Sreenivasulu & SrinivasaRao, 2018) usaram o método de *Taguchi* com sucesso, num estudo em que era pretendido otimizar parâmetros de maquinagem (processo de corte) na perfuração em ligas de alumínio 2014. A maquinagem é um processo que requer precisão e que é muito utilizado em vários tipos de indústrias, como é o caso da aeronáutica, do ramo automóvel, entre outros. Os autores recorreram aos desenhos de experiência, mais concretamente ao método de *Taguchi* de forma a reduzir os custos deste processo, diminuindo os erros e as imperfeições no final da perfuração, ou seja, aumentando a qualidade. Estes procederam ao uso da matriz ortogonal L27, de forma a conseguirem estudar cinco fatores com três níveis cada. Os fatores eram os seguintes: velocidade de corte (rpm), taxa de perfuração (mm/min), diâmetro de perfuração (mm), ângulo de perfuração (graus) e ângulo de folga (graus). Os resultados experimentais eram medidos através de três parâmetros: altura da rebarba (mm), espessura da rebarba (mm) e força de impulso (N). Após as 27 experiências, foram analisadas as respostas de sinal/ruído e também os resultados do método *ANOVA* (análise de variância). Através da resposta sinal/ruído, os autores obtiveram uma combinação de parâmetros ótimos, sendo que o ângulo de folga foi o fator mais significativo quando o objetivo era reduzir o tamanho da rebarba durante a perfuração da liga de alumínio 2014. Relativamente à análise de variância, a taxa de perfuração demonstrou ser o fator mais significativo para praticamente todas as respostas obtidas.

DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DO PROCESSO PRODUTIVO

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

3.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

3.2.1 BREVE HISTÓRIA DO PNEU

3.2.2 MATERIAIS

3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

3.3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UM PNEU

3.3.2 DEFINIÇÃO DE YIELD E SCRAP

3 DESCRIÇÃO DO PRODUTO E DO PROCESSO PRODUTIVO

Neste capítulo é realizada uma breve apresentação da empresa e do processo produtivo. É também neste capítulo que existe toda a descrição bibliográfica, onde são descritos os materiais utilizados no fabrico de um pneu, da máquina de construção utilizada, dos operadores, dos reguladores de pressão e do software da máquina de construção.

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A Continental Mabor faz parte da Continental AG, 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 os carros vencedores das 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 às nossas operações ligadas ao setor automóvel, também produzimos 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. (Mabor, 2018)



Figura 4 – Grupo Continental no Mundo



Figura 3 - Áreas de Negócio

Nos dias de hoje, a divisão de pneus da Continental tem mais de 54 mil colaboradores em mais de 24 locais diferentes, em 22 países. (Continental AG, 2018b)

Em Portugal existem cinco empresas Continental:

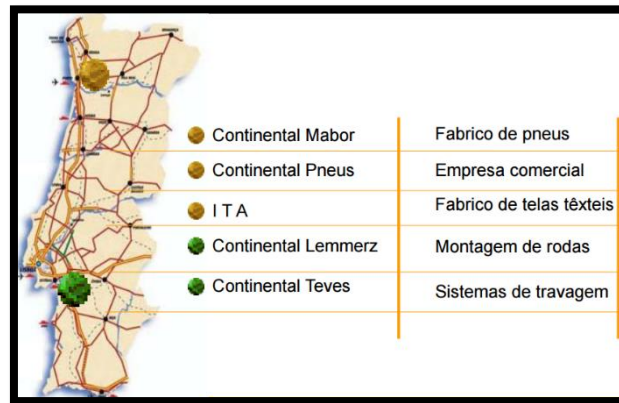


Figura 5 - Grupo Continental em Portugal

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, Cº*, 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 uma média diária de mais de 52000 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.



Figura 6 – Vista aérea da Continental Mabor

A Continental Mabor em dezembro de 2016 contava com 1901 Colaboradores no seu quadro permanente.

A Empresa registou um volume de negócios de 878,4 milhões de euros no ano de 2017, sendo que o resultado líquido andou na casa dos 211 milhões de euros. Do volume total de pneus vendidos, cerca de 98% tiveram como destino a exportação, tendo sido enviados para 67 países em todo o mundo. (Monitor, 2018)

3.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO

3.2.1 BREVE HISTÓRIA DO PNEU

A roda foi criada há mais de 5000 anos. Milhares de anos depois, a roda percorreu um longo caminho. Esta não é mais feita de madeira, no entanto, o que nunca mudou foi o fato de que ainda é uma das maiores invenções do homem.

A roda inicial era muito simples: um pedaço sólido de madeira curva. Mais tarde, o couro foi adicionado para suavizar o passeio. Com o passar do tempo, tornou-se borracha sólida que levou ao pneu de hoje, o pneu radial pneumático.

As primeiras rodas de metal ou madeira eram muito duráveis, mas não proporcionavam um passeio muito confortável. Houve então muitos indivíduos que fizeram as suas contribuições para que o pneu tenha evoluído até aos dias de hoje.

A borracha nem sempre foi tão útil quanto é hoje. A borracha inicial não mantinha a forma, sendo pegajosa em temperaturas altas e dura (pouco flexível) com temperaturas baixas.

Em 1839, Charles Goodyear foi creditado com a descoberta do processo de vulcanização. Vulcanização é o processo de aquecimento de borracha com enxofra. Isso transforma a borracha crua e pegajosa em material flexível que torna a borracha num material perfeito para pneus.

Logo depois da descoberta do processo de vulcanização, os pneus eram feitos de borracha sólida. Estes eram fortes, absorviam choques e resistiam a cortes e abrasões. Apesar de terem sido uma grande melhoria, tinham o ponto fraco de serem muito pesados e não proporcionavam uma condução suave.

O pneu pneumático é composto por borracha e é inflado com ar. Isto proporciona uma redução nas vibrações no rolamento e também uma melhoria na tração. Robert W. Thomson, engenheiro escocês foi o responsável da criação da patente do pneu inflado a ar. Esta invenção não foi um sucesso comercial devido a ser muito cedo para o seu tempo. Em 1888, John Boyd Dunlop, tornou-se no segundo inventor do pneu. Este alegou não ter conhecimento da invenção anterior do Thomson. No entanto, desta vez o pneu pneumático chamou a atenção do público, pois foi o timing perfeito devido ao grande crescimento do uso da bicicleta. Sendo que os pneus eram mais leves, proporcionavam um passeio muito mais agradável.

Nos cinquenta anos seguintes, os pneus dos veículos eram compostos por um tubo interno que continha ar comprimido e um invólucro externo. Este invólucro protegia o tubo interno e proporcionava tração ao pneu. Existiam camadas de fios de tecido

emborrachado que estavam embutidos na borracha que tinham como objetivo reforçar o invólucro. Estes eram então conhecidos como pneus de bias. Basicamente estes continham uma volta de tela (fio e borracha) diagonal desde um talão até ao outro. O primeiro pneu radial com cinta de aço surgiu na Europa em meados de 1948. Este, tem o nome de radial devido à tela ter um ângulo de 90 graus de um talão ao outro e, também porque contém um revestimento de uma cinta de tecido de aço que circunda a circunferência do pneu. As cordas das telas são feitas de nylon, rayon ou poliéster. As vantagens dos pneus radiais incluem maior vida útil do piso, melhor direção e menor resistência ao rolamento o que aumenta a longevidade do pneu. Já as desvantagens estão no preço, que é cerca de duas vezes mais caro que os pneus bias e a qualidade de condução é mais difícil. (Continental AG, 2018a)



Figura 7 - 100 anos atrás (1917), Ford – Pneu de aro de madeira

3.2.2 MATERIAIS

Um pneu moderno para carros ligeiros tem uma grande quantidade de materiais na sua composição. Descrevendo-os de seguida:

- ❖ 20 a 40 Componentes;
- ❖ 4 a 6 Camadas compostas de aço / têxtil – borracha;
- ❖ 10 a 15 Diferentes compostos de borracha;
- ❖ 15 a 20 Ingredientes por composto.



Figura 9 – Camadas de materiais



Figura 8 – Químicos usados para a borracha

Os diferentes componentes são os seguintes:

- 1) Núcleo do Talão (Carcaça);
- 2) Talão (Carcaça);
- 3) Camada interna (Carcaça);
- 4) Tela (Carcaça);
- 5) Reforço do Talão (Carcaça);
- 6) *Rimstrip* (Carcaça);
- 7) Parede Lateral (Carcaça);
- 8) Cinta metálica (Conjunto);
- 9) *Capply* (Conjunto);
- 10) Piso (Conjunto).

1. Núcleo do talão (Carcaça)

Material: Cabo de aço único disposto em forma quadrada, que terá um certo número de voltas consoante o tipo de pneu.

Função: Assegura a ligação entre o pneu e a jante.

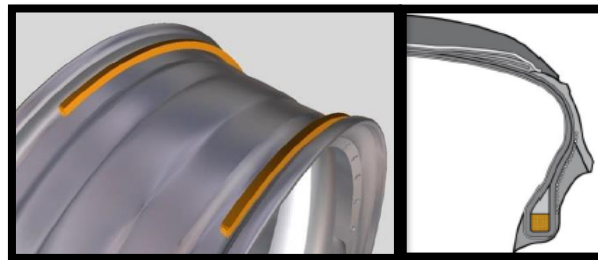


Figura 10 – Representação na jante e secção

2. Talão (Carcaça)

Material: Borracha sintética.

Função: Influencia a precisão de mudança de direção, a estabilidade de condução e o conforto de amortecimento.

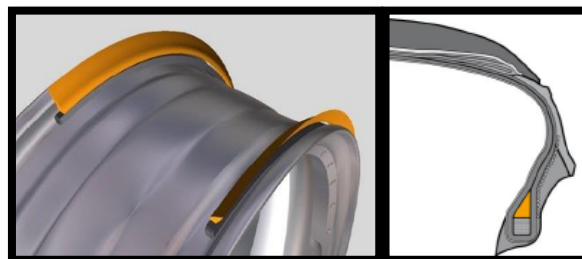


Figura 11 – Representação na jante e secção

3. Camada Interna (Carcaça)

Material: Borracha butílica.

Função: Reduz a penetração de ar e assegura a estanquidade ao ar do pneu. Influencia a durabilidade e questões de ruído, vibrações. Resiste ao stress de tensões de corte elevado em alturas muito pequenas da parede lateral.

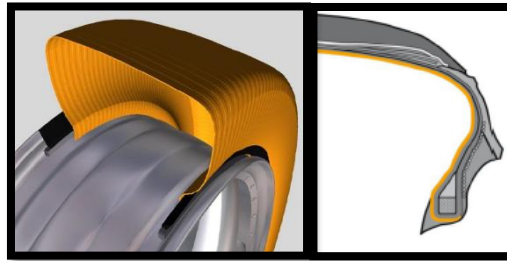


Figura 12 - Representação na jante e secção

4. Tela (Carcaça)

Material: Fios têxteis (rayon ou poliéster) cobertas por uma camada de borracha.

Função: transporta a 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.

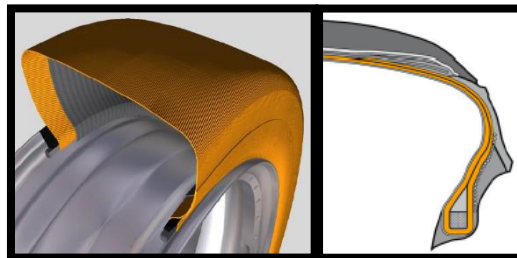


Figura 13 - Representação na jante e secção

5. Reforço do Talão (Carcaça)

Material: Fios têxteis (rayon/nylon) sobre uma camada de borracha.

Função: Endurece a área da parede lateral / talão inferior para que exista um melhor comportamento de condução e uma maior durabilidade em condução de alta velocidade.

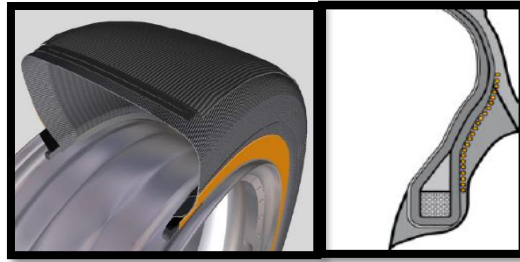


Figura 14 - Representação na jante e secção

6. *Rimstrip* (Carcaça)

Material: Borracha sintética.

Função: Garante o correto posicionamento do pneu na jante. Endurece também a área do talão inferior, especialmente como uma segunda proteção da jante.

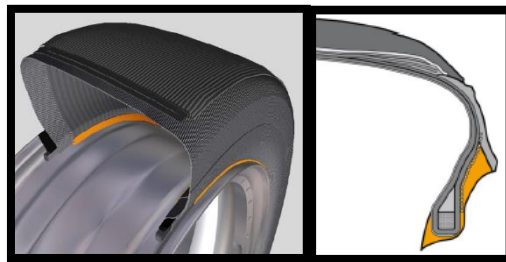


Figura 15 - Representação na jante e secção

7. Parede Lateral (Carcaça)

Material: Borracha natural.

Função: Protege a carcaça contra objetos (carga mecânica direta) e condições ambientais (tais como o Ozono (O₃)) e influencia a transmissão de forças (comportamento de condução) e resiste ao stress de tensões de corte elevado em alturas muito pequenas da parede lateral.

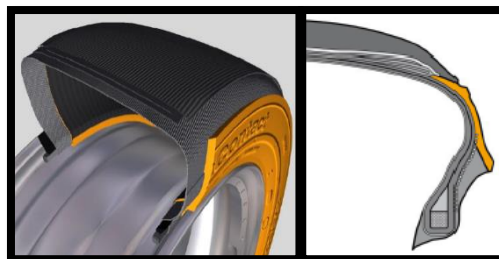


Figura 16 - Representação na jante e secção

8. Cinta Metálica (Conjunto)

Material: Fios de Aço calandrado numa camada de borracha.

Função: 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.

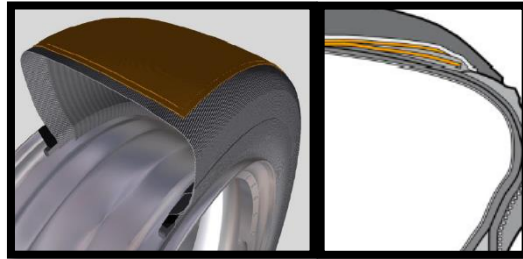


Figura 17 - Representação na jante e secção

9. Caply (Conjunto)

Material: Fios têxteis (nylon/híbrido) numa camada de borracha de 10 a 15 milímetros, com um certo número de voltas, consoante o tipo e índice de velocidade do pneu.

Função: Reduz a expansão do centro do pneu, sob condições de alta velocidade (pressão interna). Reduz também o movimento do conjunto de ambas cintas metálicas e como tal, irá trazer melhorias a nível de durabilidade aquando este esteja sujeito a altas velocidades.

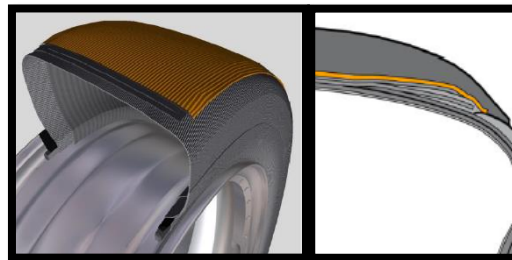


Figura 18 - Representação na jante e secção

10. Piso (Conjunto)

Material: Borracha sintética e natural. Composta por 3 tipos de compostos (camadas), a capa, a base e a *wingtip*.

Função: Composto: Influencia o desgaste, aderência, resistência ao rolamento e a condutividade elétrica.

Padrão (Pattern): Influencia a diminuição do ruído, aquaplanagem e propriedades de handling (viragem em curva).



Figura 19 - Representação na jante e secção

3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

Até chegar ao produto final, são necessárias várias etapas para que todos os componentes sejam desenvolvidos, para que posteriormente o pneu seja construído, vulcanizá-lo e por fim, inspecioná-lo e medi-lo.

Existem 5 processos: a misturação, a preparação, a construção, a vulcanização e por fim a inspeção final.

Na figura 20 encontra-se o resumo desde as matérias-primas, ao produto final para ser entregue ao cliente.

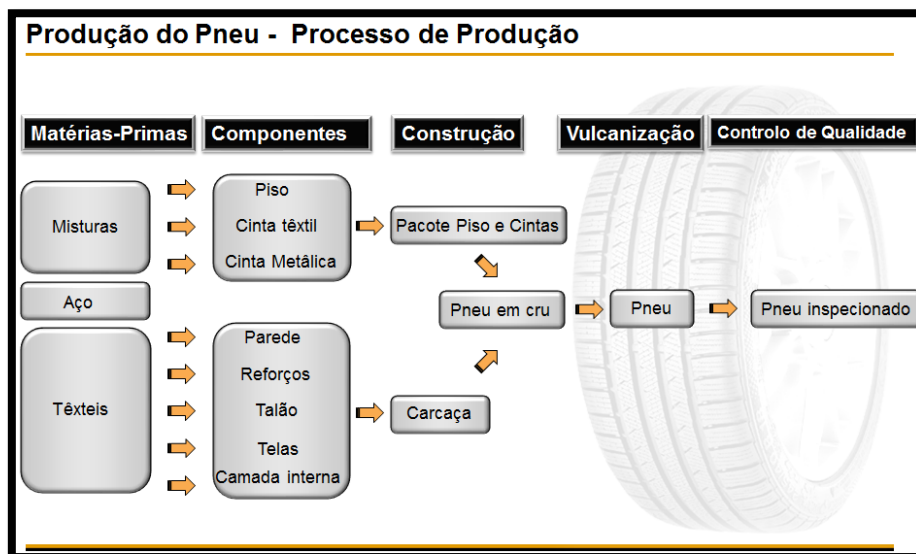


Figura 20 – Processo de Produção de um Pneu

A primeira etapa, é a misturação. É neste ponto que são misturados todos os químicos juntamente com a borracha, para que no final tenhamos a borracha pronta para juntar aos restantes componentes do pneu.

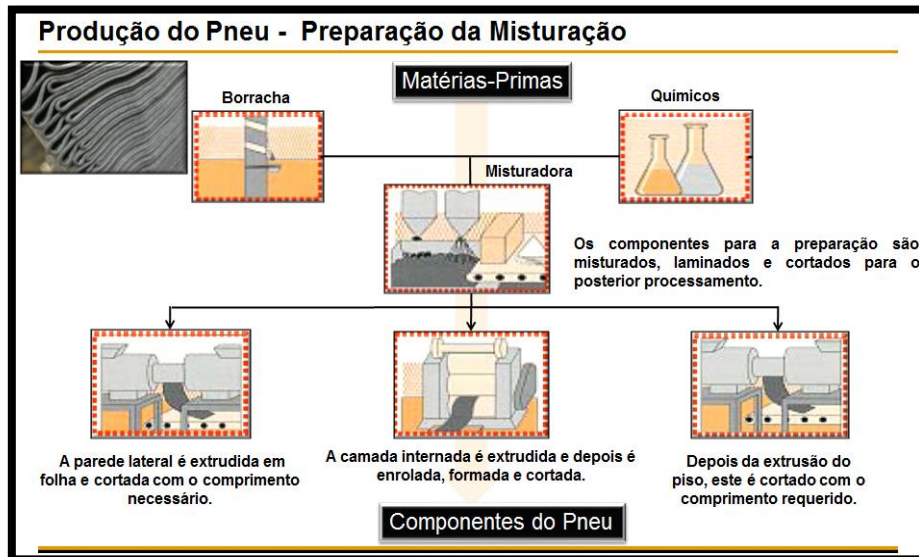


Figura 21 – Processo de produção dos compostos

O segundo passo está na preparação têxtil / aço, onde se junta a borracha com a corda têxtil/aço para que no final se tenha componentes como a cinta metálica, *caply*, tela, entre outros.

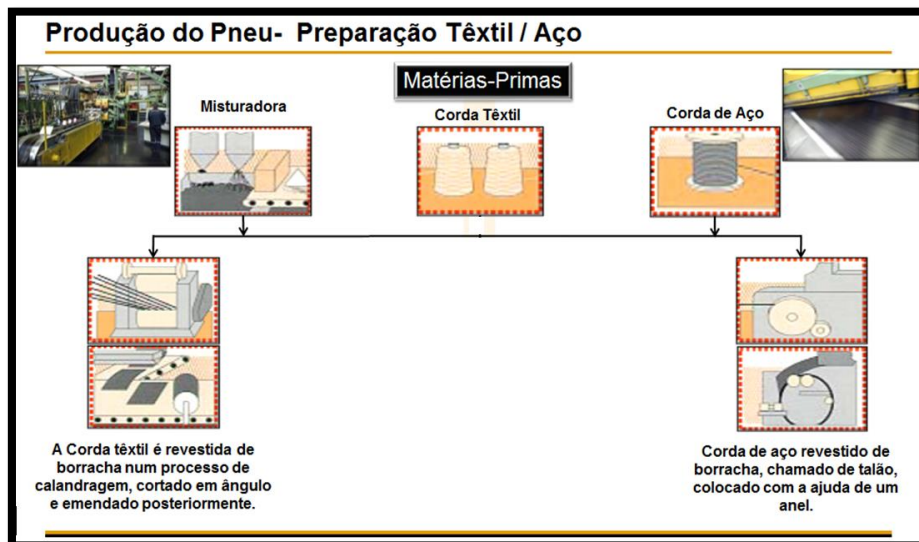


Figura 22 – Processo de preparação dos fios têxteis e metálicos

A construção é a terceira etapa. Depois de todos os componentes prontos, estes são transportados para a área da construção para no final se obter o pneu em verde. Para tal, este passa por duas máquinas de construção. A primeira máquina produz a carcaça

(camada interna, tela, talão e parede) e a segunda produz o conjunto (cinta metálica, cinta têxtil e piso) e, por fim é nesta segunda máquina que é feito o acoplamento da carcaça com o conjunto. Neste ponto, o estudo irá ser mais aprofundado posteriormente.

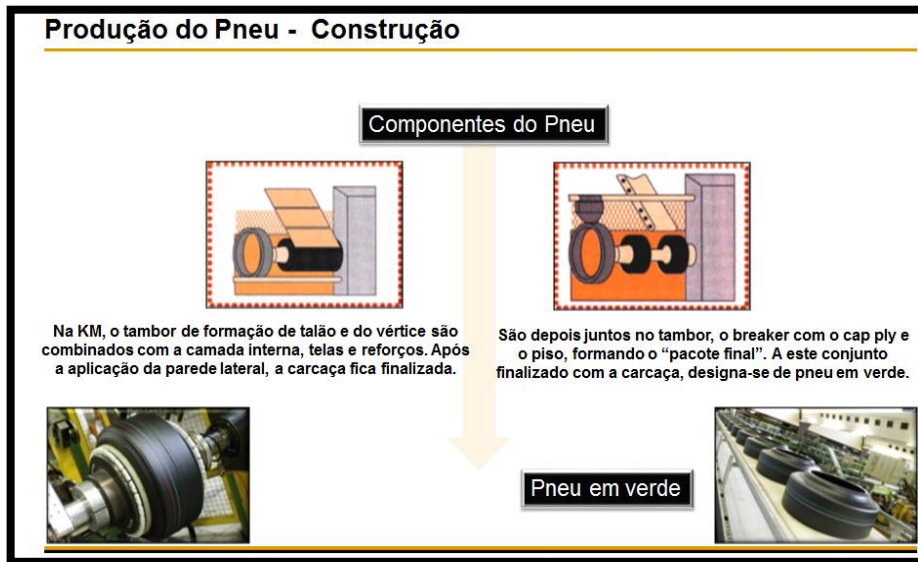


Figura 23 – Processo de construção de um pneu

Segue-se a quarta fase. O pneu em verde dirige-se para a Vulcanização, onde entra na cavidade da prensa e é vulcanizado.

Por fim, e não menos importante, a sua inspeção. Esta inspeção é bastante rigorosa, passando por vários equipamentos de medição e vários inspetores, a fim de, eliminar todas as hipóteses de seguir para o cliente um pneu com imperfeições.

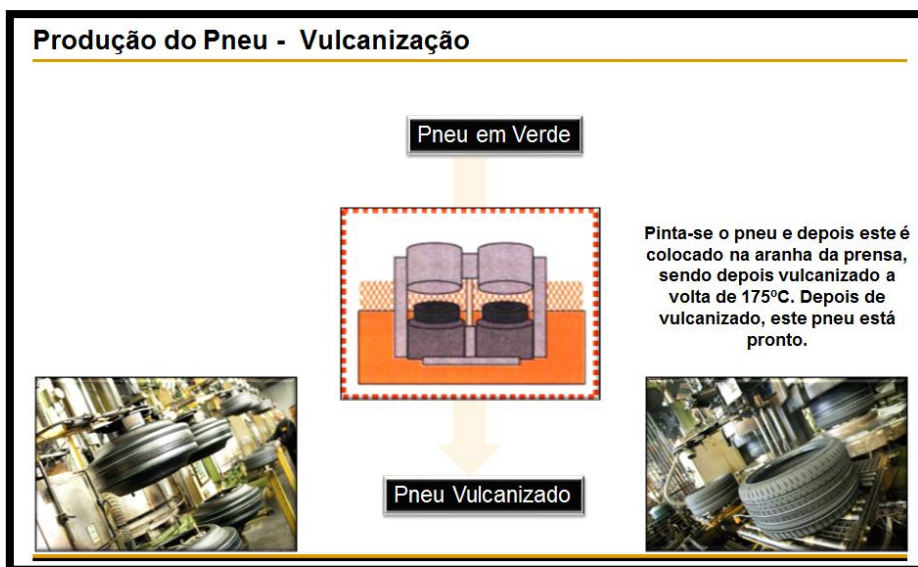


Figura 24 – Vulcanização de um pneu em verde

3.3.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE UM PNEU

É nesta fase que se irá dar mais ênfase. É importante perceber todos os detalhes da máquina de construção, os seus componentes, o seu funcionamento e todos os parâmetros que irão ser estudados. À máquina propriamente dita, é dado o nome de módulo, isto porque é o conjunto de duas máquinas e cada uma destas máquinas tem as devidas funções. A primeira máquina é responsável por proceder ao fabrico da carcaça, que é composta por:

- 1) Núcleo do Talão (*Bead Core*)
- 2) Talão (*Apex*)
- 3) Camada interna (*Innerliner*)
- 4) Tela (*Carcass Ply*)
- 5) Reforço do Talão (*Bead Reinforcement*)
- 6) *Rimstrip*
- 7) Parede Lateral (*Sidewall*)

A esta primeira fase dá-se o nome de 1º estágio.

Estando a carcaça completa, a mesma é transportada por passadeiras para a segunda máquina, onde estamos perante o 2º estágio. É neste ponto que será construído o conjunto, ou seja, a união da cinta metálica, *caply* e piso. O conjunto é realizado no lado esquerdo da máquina, num tambor giratório. Posteriormente, este irá ser transportado através de um anel de transferência, para o lado direito da máquina no qual contém a cabeça de expansão e onde é colocada a carcaça. A carcaça irá pré-enformar acoplado posteriormente com o conjunto.

3.3.2 DEFINIÇÃO DE YIELD E SCRAP

Um *Scrap* é um pneu não conforme, que não teve uma correta construção, vulcanização ou no qual foi encontrado algum problema ao longo do seu percurso de fabrico. Ou seja, o pneu não se encontra com os requisitos mínimos estabelecidos para ser enviado para o cliente.

O *Yield* é um cálculo que é efetuado para verificar a taxa de sucesso dos pneus que foram medidos ao longo do dia. Ou seja, é o número de pneus que foram fabricados num dia e, no qual passaram em todos os testes finais. Este número é dividido pelo número total de pneus que foram produzidos nesse dia (multiplicando este valor por 100, para que o valor final seja em percentagem).

$$Yield = \frac{\text{Pneus medidos dentro dos limites do cliente}}{\text{Todos os pneus medidos}} \times 100 \quad (5)$$

Ambos os termos (*Yield* e *Scrap*) são *KPI's* de Qualidade que acabam por ser uma base de comparação entre resultados bons ou menos favoráveis diários, mensais e anuais.

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

4.1 UNIFORMIDADE E O PROCESSO DE ACOPLAMENTO ENTRE A CARÇA E O CONJUNTO

4.1.1 CABEÇA DE EXPANSÃO

4.2 PROBLEMAS DE INSUFLAÇÃO DA CARÇA NA CABEÇA DE EXPANSÃO

4.2.1 MATERIAIS

4 DESCRICHÃO DO PROBLEMA

4.1 UNIFORMIDADE E O PROCESSO DE ACOPLAMENTO ENTRE A CARÇAÇA E O CONJUNTO

Antes de se avançar para a explicaçáo do processo de acoplamento e do problema, irá ser dada uma explicaçáo e uma introduçáo  uniformidade, de forma a compreender em que sentido este processo  importante e possivelmente prejudicial na uniformidade de um pneu.

- **Fatores com influência na uniformidade de um pneu**
 - Circularidade de um pneu;
 - Distribuiçáo de massas em todo o perímetro do pneu;
 - Variaçáo das forças radiais e laterais exercidas pelo pneu quando o mesmo está submetido a uma determinada carga;
 - Simetria de um pneu em relaçáo aos seus eixos (y e z).

- ❖ Forças Radiais – RFPP, RFH1, RFH2, RFH3...;
- ❖ Forças Laterais – LFPP e LFH1...;
- ❖ Conicidade.

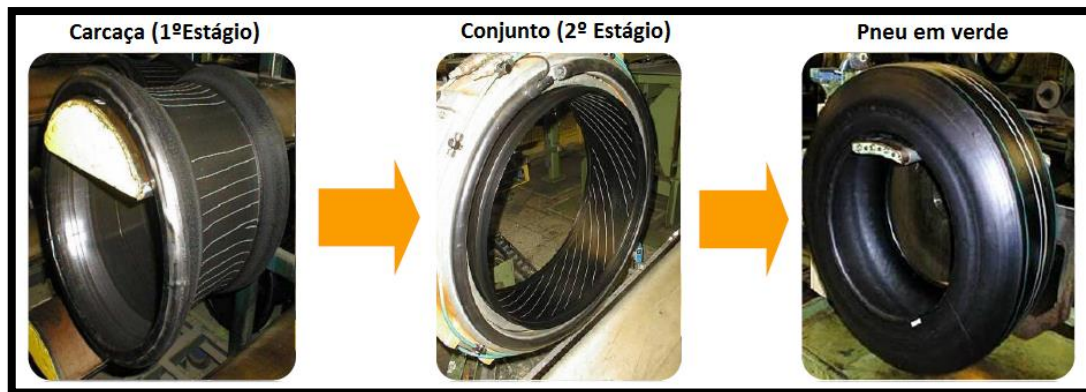


Figura 25 – Produto final na Construçáo

• **Variação das forças**



O pneu estabelece o contacto entre o veículo e a estrada, suportando a sua carga e, quando em movimento, gera forças que podem ter várias direções:

- **Direção perpendicular (Z)** – Força Radial (RFPP, RFH1, RFH2...);
- **Direção lateral (Y)** – Força Lateral (LFPP, LFH1...);
- **Direção de rotação (X)** – Sentido de movimentação.

Figura 26 – Pneu e os diferentes eixos

Um pneu é constituído por diversos tipos de materiais e estruturas. O material e a falta de homogeneidade das várias partes podem dar origem à variação das forças. Esta variação vai-se refletir diretamente no comportamento do veículo: ruído, vibrações e desvios laterais

• **Força Radial**

A força radial é exercida pelo pneu em relação à força que a estrada exerce sobre o mesmo. Durante a rotação do pneu, ocorrem muitas variações na intensidade dessa força em função das imperfeições do pneu. A amplitude dessas ondas é chamado de RFPP (*Radial Force Peak to Peak* – Forças Radiais de Pico a Pico).

A RFH1 (*Radial Force Harmonic 1st*) é calculada através da variação da força radial. É uma onda sinusoidal onde a amplitude é sempre inferior à variação pico a pico.

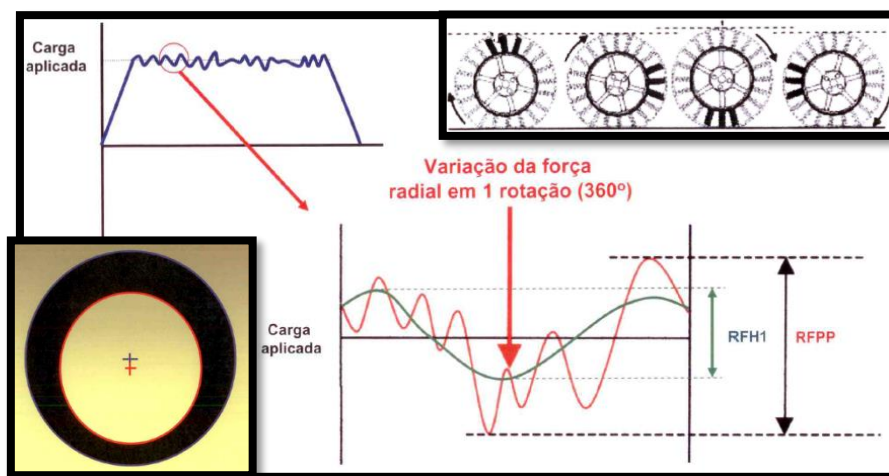


Figura 27 – Representação da Força Radial (1º Harmónico)

A RFH2 (*Radial Force Harmonic 2nd*) é um problema que gera um pneu com formato oval, ou seja, numa rotação de 360 graus de um pneu, este contém duas excitações ao longo do pneu.

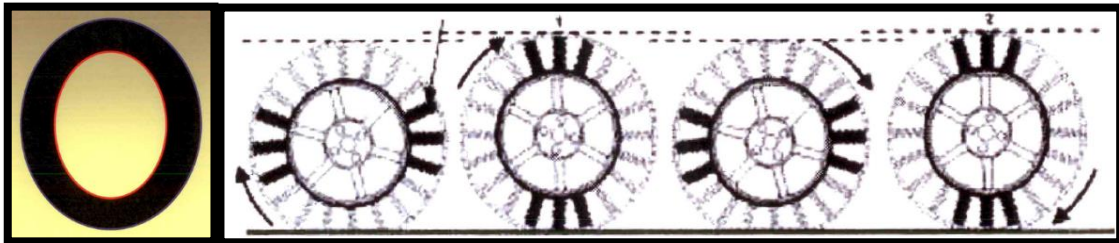


Figura 28 – Representação da Força Radial (2º Harmónico)

A LFPP (*Lateral Force Peak to Peak*) é uma força lateral que é exercida pelo pneu na superfície de contacto (estrada), na direção do eixo de rotação do pneu. Denomina-se também pela amplitude da variação da força lateral exercida pelo pneu sobre a superfície de contacto (estrada), durante a rotação do mesmo.

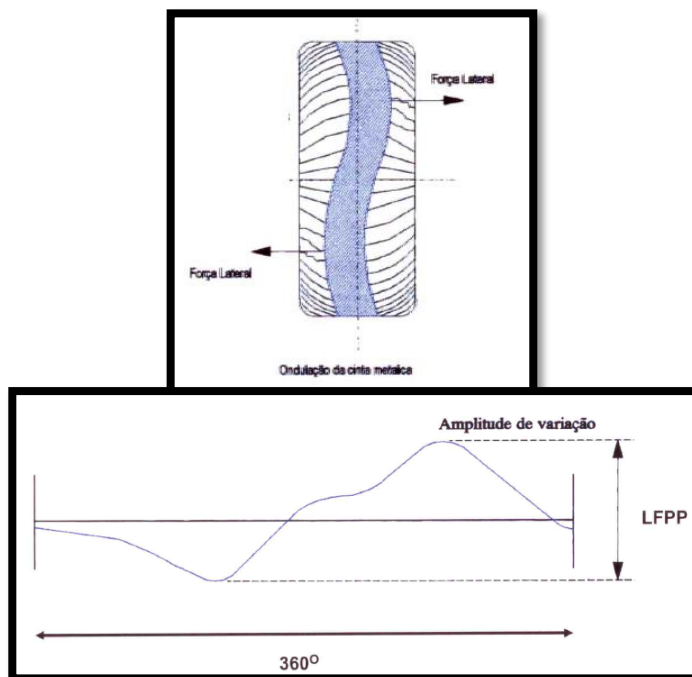


Figura 29 – Representação da Força Lateral

A conicidade é definida pelo cálculo em função da diferença das duas forças laterais do pneu (medidas nos dois sentidos de rotação).

Quando ambos os lados do pneu não são iguais, este fica com um formato de um cone (quando é insuflado com ar), daí o termo conicidade.

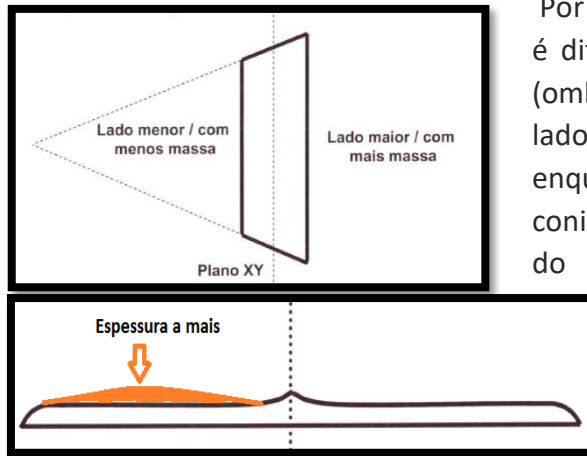


Figura 30 – Representação da Conicidade

Por outras palavras, a espessura do conjunto é diferente entre o lado esquerdo e direito (ombros), ou seja, contendo mais massa do lado positivo, temos conicidade positiva, enquanto que do lado negativo, temos conicidade negativa. Para além da espessura do conjunto, podemos destacar outros problemas que alteram a conicidade de um pneu:

- Mau centramento dos materiais;
- Diferenças de tensão de *caply*;

Já referido anteriormente, no processo de construção, é no tambor que é fabricado o conjunto, em que consiste na entrada de duas cintas metálicas, o tambor gira e é aplicado o *caply*, gira novamente e é aplicado o piso. O anel de transferência movimenta-se para a esquerda com o objetivo de segurar no conjunto e transportá-lo para o lado direito, para a cabeça de expansão. Entretanto, é colocada na cabeça de expansão, a carcaça. É definida a posição inicial, ou seja, a abertura necessária para que a carcaça fique bem assente.

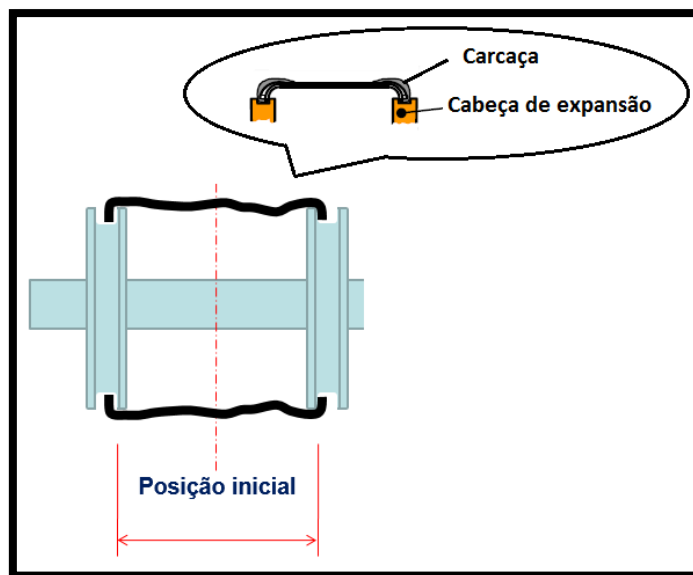


Figura 31 – Posicionamento da carcaça na cabeça de expansão (2º Estágio)

De seguida, é então transportado o conjunto para cima da carcaça. É efetuada a abertura do fuso (de forma a que as cabeças fiquem mais distantes), para que a carcaça fique bem tencionada.

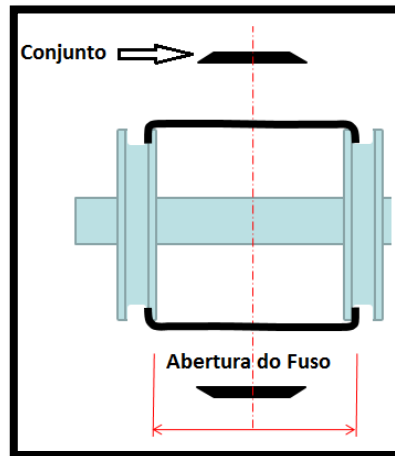


Figura 32 – Esticamento da carcaça antes da insuflação do ar comprimido

Agora que ambos, a carcaça e o conjunto, estão prontos para o seu acoplamento, é dado início a este processo.

No veio central da cabeça de expansão, existem 4 entradas de ar comprimido. A partir dos valores de receita, os parâmetros definidos vão dizer ao sistema qual o fluxo de ar comprimido que é necessário para esta etapa. Coordenadamente com o anel de transferência, o fuso vai começar a fechar também com uma velocidade (m/min) estabelecida para definir a forma redonda pretendida.

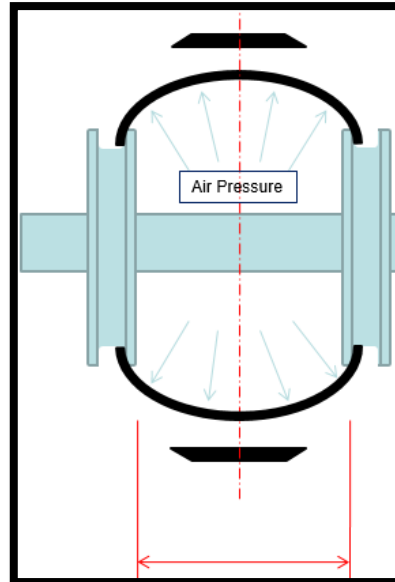


Figura 33 – Insuflação da carcaça

Durante esta última fase, a carcaça irá alterar a sua forma, ficando com um formato tipo elipse. É neste momento que a carcaça toca no conjunto (mais propriamente a tela com a cinta metálica).

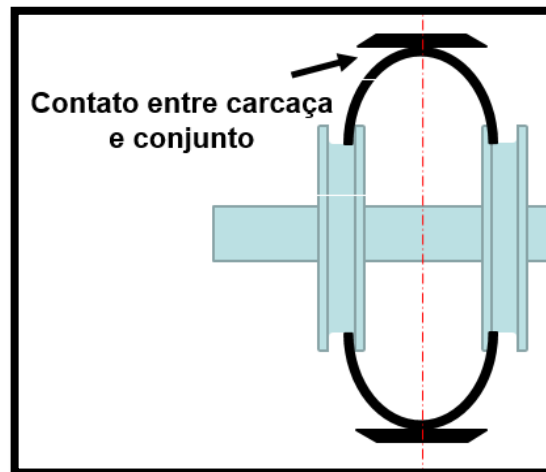


Figura 34 – Ponto em que a carcaça entra em contacto com o conjunto

Durante este contacto, a pressão interna continua a aumentar, tal como o fuso, que continua a fechar. Estas duas variáveis (pressão interna e velocidade de fecho de fuso) serão analisadas mais detalhadamente no próximo capítulo.

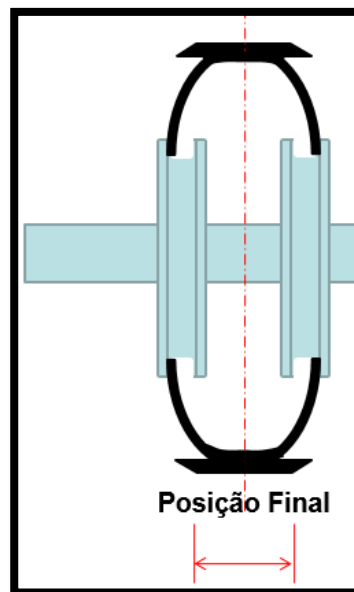


Figura 35 – Carretilhagem do piso e fecho final do fuso das cabeças

Na figura 35, podemos visualizar o formato final do pneu em verde depois desta união carcaça/conjunto.

4.1.1 CABEÇA DE EXPANSÃO

A cabeça de expansão é composta por um veio, duas “cabeças” e orifícios para entrada de ar comprimido.



Figura 36 – Representação da cabeça de expansão (formato real)

A carcaça é colocada automaticamente por um carregador de carcaças, sendo que as cabeças irão ajustar com a abertura predefinida para o pneu a fabricar.

Existem 4 posições (parametrizáveis) durante o processo de expansão, exemplificadas nas figuras 31, 32, 33, 34 e 35. As parametrizações destas posições estão a cargo do DATP (Departamento de Assistência Técnica à Produção).

| Legenda | | |
|---------|--|----|
| 1 | Posição inicial do expansor | mm |
| 2 | Posição de alongamento | mm |
| 3 | Posição de Pré-enformação | mm |
| 4 | Posição do expansor para carretilhagem | mm |

Tabela 2 – Receita de parâmetros (posições)

Para otimizar este processo de acoplamento, é fundamental perceber ao detalhe todo o processo em questão. Foi necessário estudar todas as movimentações e tempos de ciclo, de forma a perceber quando é que o fuso fecha ou abre, quando entra em funcionamento cada um dos parâmetros que se pretende alterar e qual a sua utilidade para todo este processo.

Na receita da máquina existem cerca de 20 parâmetros. Na página seguinte está representado um diagrama de forma a organizar o processo de acoplamento entre a carcaça e o conjunto. Desta forma, é possível perceber quando é que cada parâmetro é ativado e o tempo que está em funcionamento.

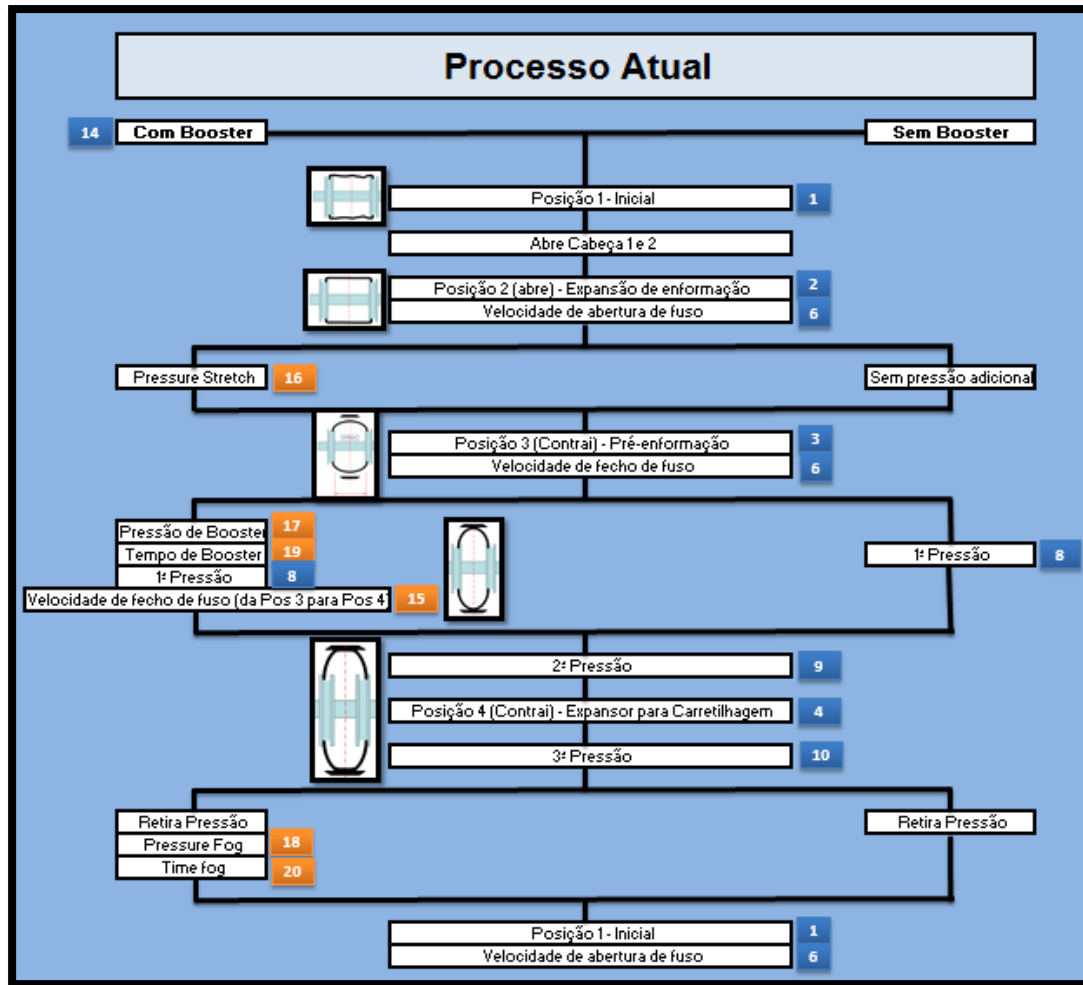


Figura 37 – Fluxograma do processo de acoplamento da carcaça com o conjunto

Tabela 3 - Parâmetros existentes na receita da máquina (expansor)

| Legenda | | |
|---------|--|-------|
| 1 | Posição inicial do expansor | mm |
| 2 | Posição de alongamento | mm |
| 3 | Posição de Pré-enformação | mm |
| 4 | Posição do expansor para carretilhagem | mm |
| 5 | Posição Recolher Pneus | mm |
| 6 | Velocidade abrir/fechar fuso | m/min |
| 7 | Velocidade Rotação para carretilhagem | m/min |
| 8 | Pressão Pré-extensão : 1ª Pressão | bar |
| 9 | Pressão de Extensão : 2ª Pressão | bar |
| 10 | Pressão de carretilhagem : 3ª Pressão | bar |
| 11 | Posição código de barras | ° |
| 12 | Rotation carcass setting | ° |
| 13 | Rotation carcass spreading | ° |
| 14 | Ativação de função "Booster" ON/OFF | 0/1 |
| 15 | Speed Pre-Shaping spindling | m/min |
| 16 | Pressure Stretch | bar |
| 17 | Pressure Boost | bar |
| 18 | Pressure Fog | bar |
| 19 | Boost time | seg |
| 20 | Time Fog | seg |

A tabela 3 expõe todos os parâmetros possíveis de alterar na receita da medida a produzir.

Os parâmetros n.º 5, 11, 12 e 13 (parâmetros a negrito) não estão associados ao tema em questão. Os primeiros 4 parâmetros já foram explicados no capítulo anterior.

Vai-se proceder à explicação dos restantes parâmetros (do 6 ao 10 e do 14 ao 20).

- **Parâmetro 6** – Velocidade abrir/fechar fuso (m/min)

Alteração da velocidade do fuso (em metros por minuto) de todas as movimentações. As cabeças do expansor, irão aproximar-se mais ou menos à velocidade programada.

- **Parâmetro 7** – Velocidade de rotação para Carretilhagem (m/min)

Alteração da velocidade de rotação das cabeças, fazendo com que o pneu gire mais ou menos rápido na última fase do acoplamento da carcaça com o conjunto, quando se encontra a carretilhar o piso.

- **Parâmetro 8** – Pressão Pré-Enformação (1ª Pressão) (bar)

Aqui, é definida a pressão a que o fluxo de ar tem que entrar dentro da cabeça de expansão, quando o anel de transferência se distanciar do tambor, onde é fabricado o conjunto até à cabeça de expansão.

- **Parâmetro 9** – Pressão de Enformação (2ª Pressão) (bar)

Na programação da máquina, quando o anel de transferência já se encontra em cima da cabeça de expansão, esta é dada a ordem para a pressão interna alterar da 1ª Pressão para a 2ª Pressão, juntamente com a passagem da posição 2 até à posição 4.

- **Parâmetro 10** – Pressão de Carretilhagem (3ª Pressão) (bar)

À chegada da posição 4, o anel de transferência desloca-se novamente para fora da cabeça de expansão e é dada ordem para passar da 2ª Pressão para a 3ª Pressão, de forma a dar continuidade ao ciclo e carretilhar o piso .

- **Parâmetro 14** – Ativação de função “*Booster*” ON/OFF (0/1)

Esta função serve simplesmente para ativar ou desativar as funcionalidades de *booster*, (de seguida será abordado o assunto com mais pormenor).

Ativando esta opção, os parâmetros 15, 16, 17, 18, 19 e 20 ficam ativos e desbloqueados.

- **Parâmetro 15** – Velocidade de fecho de fuso (Pré-enformação) (m/min)

Este parâmetro é basicamente igual ao parâmetro 6, no entanto este apenas é aplicado no momento em que o anel de transferência chega à cabeça de expansão e é dada a ordem para passar da 1ª Pressão para a 2ª Pressão. É neste ponto que, podemos personalizar a velocidade apenas deste fecho.

- **Parâmetro 16** – Pressão de alongamento (bar)

Alteração da pressão interna dentro da cabeça de expansão (quando a carcaça já se encontra na posição 2 - alongamento) e antes do anel de transferência arrancar do tambor, durante os primeiros 2 segundos.

- **Parâmetro 17** – Pressão de *boost* (bar)

O *boost* é uma pressão, que quando esta se encontra ativa, sobrepõe a 1ª Pressão, 2ª Pressão e 3ª Pressão, dependendo do tempo que for dado ao parâmetro 19. Normalmente é dado 1 ou 2 segundos, ou seja, a 1ª Pressão nem sequer é ativada nestes casos, pois é sobreposta pelo tempo todo pela pressão de *boost*. Acabando a pressão de *boost*, é dada continuidade ao processo, com a entrada da 2ª pressão e por fim a 3ª pressão.

- **Parâmetro 18** – Pressão de limpeza (fog) (bar)

No momento em que o pneu está construído e vai ser removido da cabeça de expansão, no caso de, a humidade do local estar alta, associando com os grandes níveis de pressão dentro da cabeça de expansão, pode levar a que o vapor saia de forma brusca, parando os sensores de segurança (próximos da cabeça de expansão). Este parâmetro permite injetar uma quantidade de ar com uma determinada pressão definida, durante um tempo especificado no parâmetro 20.

- **Parâmetro 19** – Tempo de *boost* (seg)

Este parâmetro é ativado juntamente com a pressão de *boost* (parâmetro 17), ou seja, esta pressão vai ser injetada na cabeça de expansão durante o tempo aqui especificado.

- **Parâmetro 20** – Tempo de limpeza (fog) (seg)

Parâmetro ativado juntamente com a pressão de limpeza (fog). A pressão de limpeza (parâmetro 18) estará ativada durante o tempo que é programado neste parâmetro.

4.2 PROBLEMAS DE INSUFLAÇÃO DA CARÇA NA CABEÇA DE EXPANSÃO

A borracha usada no fabrico de um pneu é um polímero do tipo elástico. Este material é difícil de estudar, pois é fácil de existir deformação (devido a alterações de temperatura) ou esticamentos (problemas ocorrentes durante o processo de preparação do material)(Charles E. Ophardt, 2003). O acoplamento do conjunto/carça é parte de um processo em que se altera as pressões do fluxo de ar comprimido e a velocidade de fecho do fuso (alteração do volume interno da carça), fazendo com que este polímero esteja perante diferentes forças e temperaturas, criando variações na largura e comprimento dos materiais (Manuel Morato Gomes, 2008).

Após um *brainstorming* com o Sr. Deolindo (DATP) e o Eng. Vítor Faria (Engenharia Construção), foram identificados fatores que podem contribuir negativamente ou positivamente para as forças radiais de um pneu. A começar pelo tipo de material utilizado em cada constituinte (ex.: tela, talão, composto piso), o número de telas usadas, a sua sobreposição e a altura da secção do pneu. Estes e outros fatores podem ter influência durante o acoplamento do conjunto/carça.

Relativamente às novas máquinas de construção, havia uma constante objeção quanto aos maus resultados a nível de forças radiais nos pneus comparativamente às máquinas mais antigas. O programa da máquina era diferente, as válvulas de pressão também eram diferentes e sendo assim, havia uma necessidade de otimizar os parâmetros de receita destas novas máquinas.

As receitas programadas pelo DATP para as novas máquinas eram exatamente as mesmas que as máquinas antigas, levando a que as carças não fossem tensionadas no acoplamento com o conjunto com a pressão correta. Nas receitas das novas máquinas, existiam parâmetros que não eram utilizados/otimizados e constatou-se que, havia pouco *know-how* relativamente à programação destas novas receitas.

Após vários testes, verificou-se que a pressão interna que a carça continha no momento do acoplamento na cabeça de expansão era insuficiente para que os materiais expandissem homoganeamente durante a união carça/conjunto. Isto iria provocar uma grande quantidade de forças radiais ao longo do pneu, pois os materiais constituintes da carça ficavam mal distribuídos no conjunto.

Nas figuras 38 e 39, são demonstradas as diferenças entre uma carcaça com pouca pressão interna, onde os materiais estão mal tensionados e uma carcaça com pressão suficiente e com os materiais uniformes para a correta expansão. (Conti Machinery, 2014)

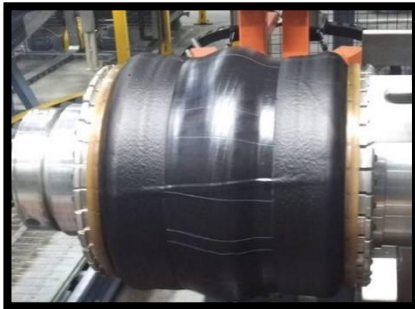


Figura 38 – Carcaça pouco tensionada



Figura 39 – Carcaça bem insuflada

A carcaça não pode nem ter muita pressão, nem pouca pressão, existindo então uma zona na curva de pressão ideal no momento em que a carcaça toque no conjunto. Especialistas da área, dizem que a pressão de toque deverá ser superior a 0,4 bar e inferior a 0,75 bar. (Parker, 2011)

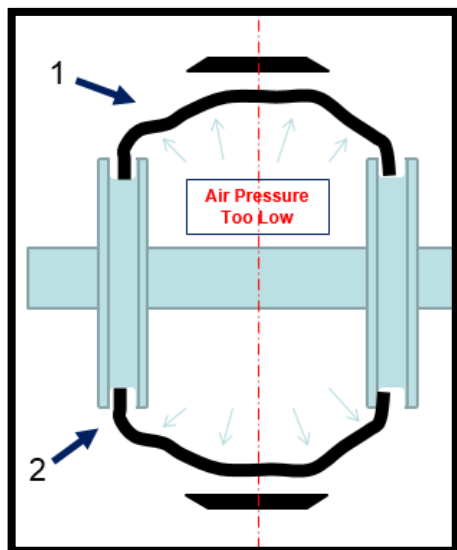


Figura 41 – Baixa pressão

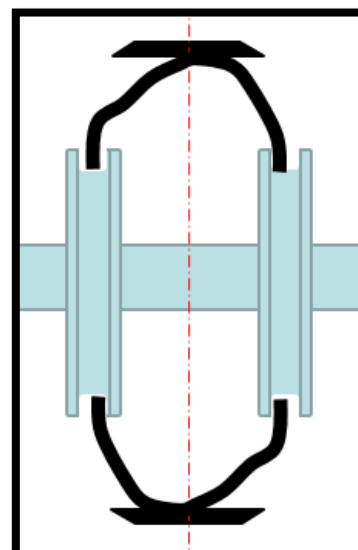


Figura 40 – Carcaça mal acoplada no conjunto

As figuras 40 e 41 retratam o exemplo de um caso que acontece na prática. A tensão na carcaça estando diretamente proporcional à pressão dentro da cabeça de expansão, é adquirida pela velocidade com que as cabeças fecham juntamente com o rácio de fluxo de ar a entrar na cabeça. Esta vai provocar uma baixa pressão de ar interna dentro da carcaça, levando a um mau acoplamento do conjunto com a carcaça, provocando problemas de forças radiais no pneu.

O talão não fica bem assente nas cabeças, provocando um descentramento da posição do conjunto em relação à carcaça.

Este pneu consequentemente terá problemas de uniformidade, nomeadamente forças radiais e forças laterais.

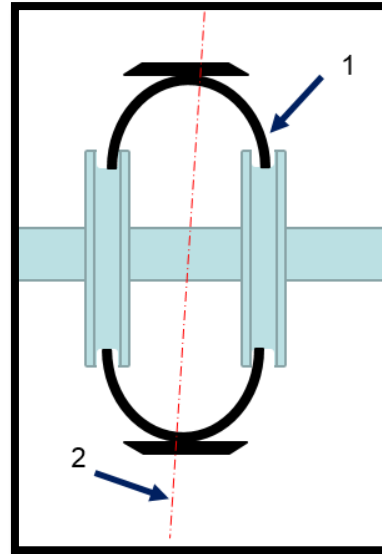


Figura 42 – Descentramento da posição do conjunto com a carcaça

4.2.1 MATERIAIS

O pneu é normalmente constituído por mais de 10 tipos de componentes (capítulo 2.2). No entanto, os únicos componentes importantes no acoplamento da carcaça/conjunto são os da carcaça.

- 1) Núcleo do Talão (Bead Core)
- 2) Talão (Apex)
- 3) Camada interna (Innerliner)
- 4) Tela (Carcass Ply)
- 5) Reforço do Talão (Bead Reinforcement)
- 6) Rimstrip
- 7) Parede Lateral (Sidewall)

Ao existir uma grande quantidade de materiais diferentes, isto leva a que exista um aumento da complexidade do processo. Para não falar que existem medidas de pneus que contém duas telas, em vez de apenas uma (tradicional), um exemplo são, os pneus para jipe que tem um índice de carga alto.

DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

5.1 MÉTODOS DE ANÁLISE

5.2 ESTUDOS A EFETUAR

5.2.1 EXPERIÊNCIAS E ANÁLISES DE RESULTADOS

5.3 ANÁLISE DO CORTE DE UM PNEU EM 23 SECÇÕES

5.4 SÍNTESE DAS MELHORIAS ALCANÇADAS

5.5 DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA EM EXCEL

5 DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO E IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO

Após a revisão bibliográfica, de todas as explicações de componentes, parâmetros e máquinas, esta é a fase prática, onde se discutem os ensaios realizados e os resultados obtidos.

Definiu-se o que estudar, os objetivos, perceber o funcionamento da programação associada à máquina, o processo atual e como estudar este problema.

A segunda tarefa baseou-se na procura de ajuda por parte dos técnicos responsáveis pelo processo de construção e programação das máquinas. Foi necessário escolher uma máquina (*Fast Lane*) para realizar os ensaios e uma medida de pneu “piloto”.

Para estudar a pressão dentro da cabeça de expansão, foi utilizado um aparelho que permite medir a pressão no expansor na máquina de construção (2º estágio).

As receitas de pressões e velocidades que estão programadas pelos técnicos de processo são ajustadas, tendo em conta a experiência destes, e comparadas com receitas de fábricas semelhantes. No entanto, não existe conhecimento de estudos realizados na otimização e programação dos parâmetros existentes nas novas máquinas de construção. Contudo, quando é ativado o modo “*booster*”, os parâmetros utilizados são sempre os mesmos, independentemente do pneu a construir.

O aparelho para a medição da pressão é dividido em duas peças, um recetor e um sensor de medição de pressão que é colocado dentro da carcaça, na cabeça de expansão. Este mede diretamente a pressão interna de todo o ciclo de enformação.

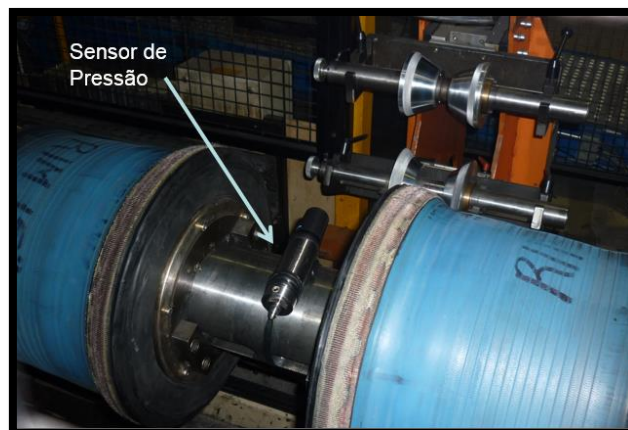


Figura 43 – Sensor de pressão dentro da cabeça de expansão

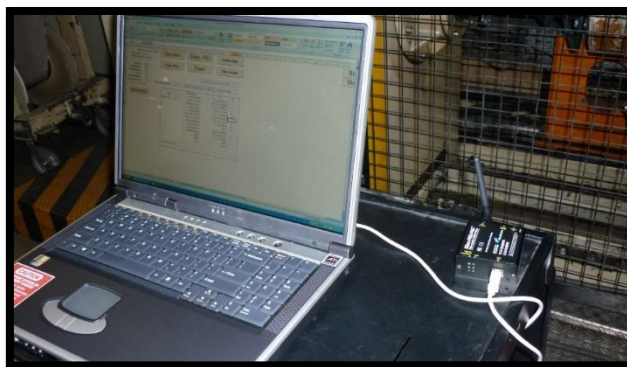


Figura 44 – Comunicação wireless e leitura dos resultados no computador

Este sensor comunica com um modem wireless que se encontra ligado a um portátil (figura 44) e neste portátil existe um programa desenvolvido em Microsoft Office Excel que obtém os dados provenientes do aparelho para a posterior análise. No final, o objetivo é obter gráficos de medição de pressão vs. tempo. É possível ver o exemplo de um gráfico deste género na figura 45.

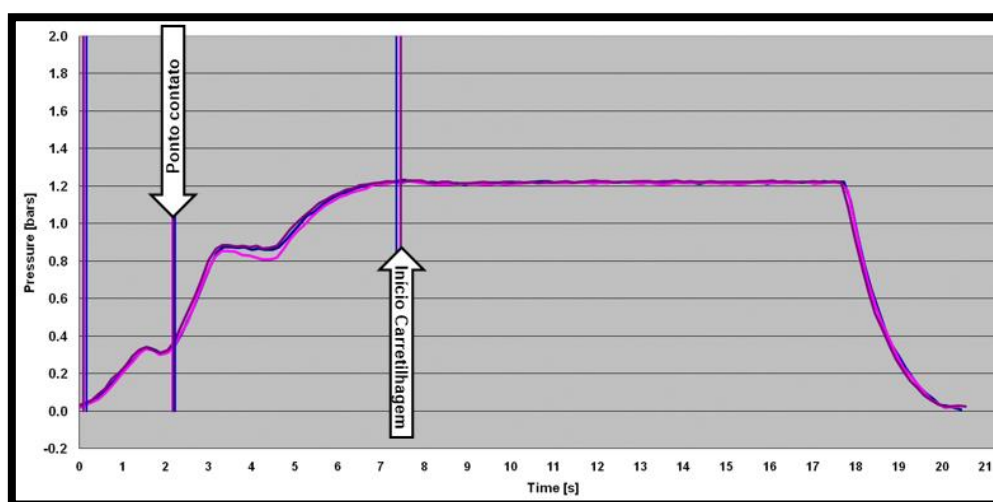


Figura 45 – Gráfico com curvas de pressão obtidas pelo sensor de pressão

É possível traçar retas durante a medição do ciclo através de um botão existente no programa. O objetivo é anotar situações importantes durante o ciclo de enformação do pneu. Cada linha é um pneu medido, representas por diferentes cores diferentes. O objetivo é verificar a repetibilidade da máquina na transferência de ar comprimido por cada segundo do processo de acoplamento.

Com o clique de um botão no momento em que se verifica que a tela toca na cinta metálica, é traçado uma linha no gráfico. Na figura 45, o ponto de contacto foi aos 2,3 segundos sensivelmente, a 0,38 bar de pressão.

5.1 MÉTODOS DE ANÁLISE

Ao longo deste capítulo são realizados inúmeros ensaios, uns mais simples e outros mais complexos. Hoje em dia, existe uma enorme quantidade de métodos e modelos de estudo que irão provar estatisticamente se os resultados obtidos são ou não significativos para o objetivo final do projeto.

O Minitab é um software que torna estas análises mais rápidas, eficientes e, com grandes níveis de confiança nos resultados obtidos. Sempre que possível, usou-se esta ferramenta para as análises de estatística. Os vários métodos usados foram os seguintes:

- ❖ DOE (Desenho de experiências) – utilizando métodos de *Taguchi* e ANOVA;
- ❖ Estatística – Regressão linear e quadrática;
- ❖ Testes de hipótese – Testes T e Testes F.
- ❖ Ferramentas da Qualidade – Histogramas, Séries temporais;



Figura 46 – Representação do modem wireless e do sensor de pressão

As medições dos pneus, nomeadamente dos valores das forças radiais dos ensaios efetuados, são sempre obtidas através das máquinas de uniformidade, que medem os valores de uniformidade dos pneus e enviam posteriormente os dados para o servidor (base de dados).

5.2 ESTUDOS A EFETUAR

Após a realização do *brainstorming* (anexo 1) os pontos escolhidos para a realização de experiências foram os seguintes:

1. Influência do ponto de contacto (entre a carcaça e o conjunto);
2. Influência da velocidade do fecho do fuso da cabeça de expansão;
3. Influência da utilização de diferentes materiais (paredes e telas);
4. Influência das máquinas de construção;
5. Influência da tensão aplicada aquando da aplicação de uma ou mais telas no pneu;

De seguida, efetuaram-se vários estudos para perceber quais destes pontos eram significativos para esta fase do processo.

1º TESTE: Influência dos materiais na pressão interna da carcaça

Através dos gráficos de pressão obtidos pelo aparelho é possível avaliar e perceber se a pressão programada na receita é suficiente, se o volume interno do pneu é grande ou pequeno, se foi utilizada uma velocidade reduzida (ex.: 1,5m/min) ou muito rápida (ex.: 5m/min) e como tal, é a partir destes gráficos que se avança para o 2º teste.

Requisitos e condições para o ensaio:

- Utilização de uma máquina de construção;
- Construção efetuada apenas por um operador;
- Escolher duas medidas com a mesma secção (ex.:215/55 R18);
- Pneus tem que ter materiais de tela e parede diferentes;
- Parâmetros de máquina iguais;
- Retirar curvas de análise para cada uma das medidas;
- Comparar as curvas de análise.

O objetivo final deste teste é verificar se existe influência na expansão da carcaça quando são utilizados diferentes materiais, nomeadamente a tela e a parede.

2º TESTE: Diferença de pressões com a mesma receita e tipo de pneu em máquinas diferentes

O objetivo deste teste é verificar se os pneus construídos na máquina 1 com os mesmos parâmetros de pressão e velocidade que a máquina 2, possuem o mesmo tipo de gráfico ou verificar se ambos os pontos de contacto e declive de reta (para verificar velocidades de fecho de fuso) são ou não iguais.

3º TESTE: Influência da utilização de duas telas em relação a uma tela

O objetivo deste teste, é verificar se utilizando duas telas, o caudal de ar necessário para obter a mesma pressão dentro da carcaça é a mesma, do que se utilizasse apenas uma tela. Teoricamente, um pneu com uma camada de material, ao ser aplicado uma segunda camada, deveria ficar com mais resistência (aumento da tensão interna), como tal, seria necessária uma maior pressão interna na carcaça para conseguir expandir mais rapidamente.

Para a realização deste ensaio, também é necessário seguir um procedimento:

- Utilização de uma máquina de construção;
- Construção efetuada apenas por um operador;
- Escolher um tipo de pneu que contenha duas telas;
- Retirar uma curva de análise para um pneu de duas telas;
- Pedir ao operador para construir uma carcaça sem aplicar a segunda tela;
- Retirar outra curva de análise para o pneu com apenas uma tela;
- Comparar as curvas de análise.

4º TESTE: Ponto de contacto vs. Velocidade de fecho vs. Ponto de Cartilhagem

Neste 4º teste, com o método de *Taguchi* é pretendido verificar a existência de parâmetros ótimos de forma a reduzir os valores de uniformidade, mais propriamente os radiais (RFH1). De seguida, com a utilização da *ANOVA*, irá ser analisado se algum dos parâmetros estudados são estatisticamente significativos neste processo de acoplamento. Após o *brainstorming* (demonstrado no anexo 1) e utilizando o método de *Taguchi*, utilizou-se uma matriz L9, com 3 fatores e 3 níveis com o auxílio do programa Minitab.

| ↓ | C1 | C2 | C3 |
|---|-------------|-------------|-------|
| | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed |
| 1 | 0,2 | 0,9 | 1,5 |
| 2 | 0,2 | 1,1 | 3,0 |
| 3 | 0,2 | 1,4 | 4,5 |
| 4 | 0,4 | 0,9 | 3,0 |
| 5 | 0,4 | 1,1 | 4,5 |
| 6 | 0,4 | 1,4 | 1,5 |
| 7 | 0,6 | 0,9 | 4,5 |
| 8 | 0,6 | 1,1 | 1,5 |
| 9 | 0,6 | 1,4 | 3,0 |

Figura 47 - Representação do desenho de experiências (TAGUCHI) para a realização do estudo

Os parâmetros a estudar juntamente com os vários níveis são os seguintes:

- **Ponto de contacto** (Ponto em que a carcaça toca no conjunto) – em bar
 1. 0,2 bar;
 2. 0,4 bar;
 3. 0,6 bar.
- **Ponto de Cartilhagem** (Ponto em que as cartilhas começam a cartilhar o conjunto) – em bar
 1. 0,9 bar;
 2. 1,1 bar;
 3. 1,4 bar.
- **Velocidade** (fecho do fuso da cabeça de expansão – figura 48) – em m/min
 1. 1,5 m/min;
 2. 3 m/min;
 3. 4,5 m/min.

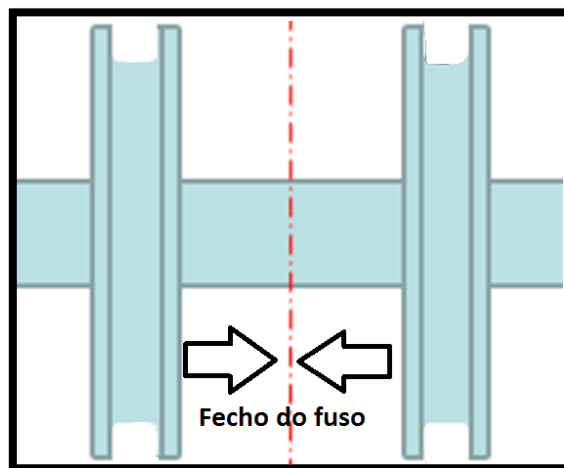


Figura 48 – Representação da movimentação do fecho do fuso da cabeça de expansão

Este teste terá que ser realizado com as seguintes condições e limitada a cada um dos pontos:

- Utilização de uma máquina de construção;
- Construção efetuada por um operador;
- Efetuar os 9 ensaios com pelo menos 10 pneus cada;
- Vulcanizar todos os pneus na mesma cavidade (prensa) e o pneu tem que entrar sempre na mesma posição (reduzir variação nos resultados e uniformidade das forças);
- Análise de resultados somente numa máquina de uniformidade.

Todas estas condições têm que ser respeitadas de forma a eliminar ao máximo todos os “ruidos” que envolvem o sistema. O objetivo é descobrir o melhor ponto de contacto juntamente com a melhor velocidade de fecho de fuso para cada tipo de medida de pneu (exemplo: 205/55 R16) como condição de sinal ruído “menor é melhor” para valores de RFH1 (radiais).

5.2.1 EXPERIÊNCIAS E ANÁLISES DE RESULTADOS

Antes de avançar para a prática das experiências é importante explicar como se analisa um gráfico de pressões, saber onde é dada a ordem para ativar a 1ª pressão (ou pressão de *boost*), a 2ª pressão, entre outros.

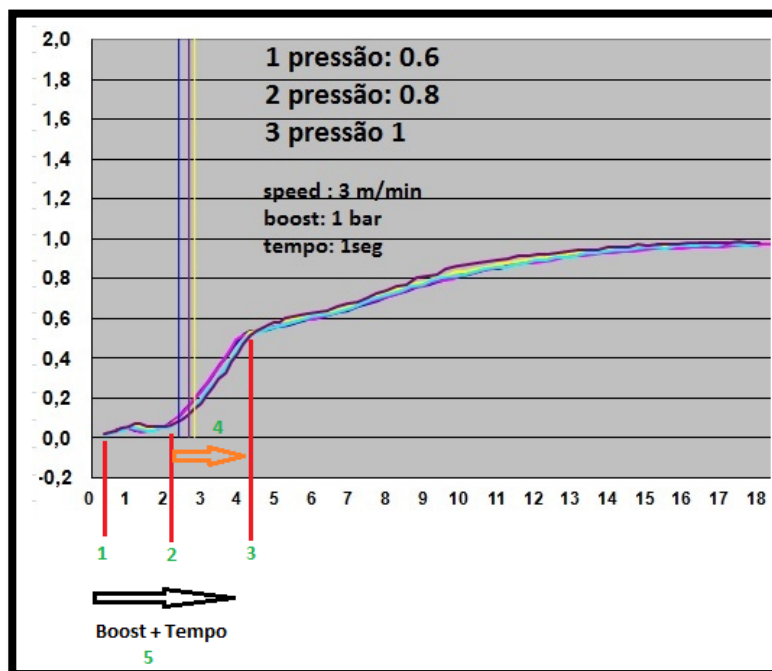


Figura 49 – Curvas obtidas com o sensor de pressão (sem otimização)

Na figura 49, está representado um gráfico de pressões. O eixo do X representa o tempo (segundos) e no eixo do Y a pressão (bar) interna dentro da carcaça. As linhas verticais marcam o ponto de contacto entre a carcaça e o conjunto e, cada cor de linha simboliza um pneu construído. Este gráfico foi obtido através dos parâmetros acima descritos. No ponto (1), é ativada a 1ª pressão, só depois do conjunto ser agarrado pelo anel de transferência. Quando este já se encontrar a meio do seu percurso até à cabeça de expansão, é contabilizada a contagem e a entrada de pressão. O ponto (2), é o momento em que é desativada a 1ª pressão e ativada a 2ª pressão. Em conjunto com esta ativação, também é ativado ao mesmo tempo o parâmetro velocidade (4), que faz com que o fuso feche a uma velocidade de 3 m/min (neste caso). Do ponto (2) ao (3), a pressão aumenta, pois está-se perante a entrada de ar comprimido em conjunto com a compressão da

carcaça (fecho do fuso). Durante esta fase, existe o ponto de contacto entre a carcaça e o conjunto (que neste caso foi de 0,17 bar). No ponto (3), o anel de transferência larga o conjunto e entra a 3ª pressão para dar início à carretilhagem do pneu, homogeneizando mais corretamente a união da carcaça com o conjunto. A pressão e o tempo de *boost* (5) são opcionais, no entanto, quando são necessários na produção do pneu, estes funcionam como uma priorização e sobreposição das restantes pressões, dependendo do parâmetro tempo e dos segundos definidos.

Para que a curva de pressão seja alterada de forma a que, a pressão interna no ponto de contacto seja superior a 0,18 bar, como acontece na figura 50, é necessário aumentar as pressões na receita da máquina.

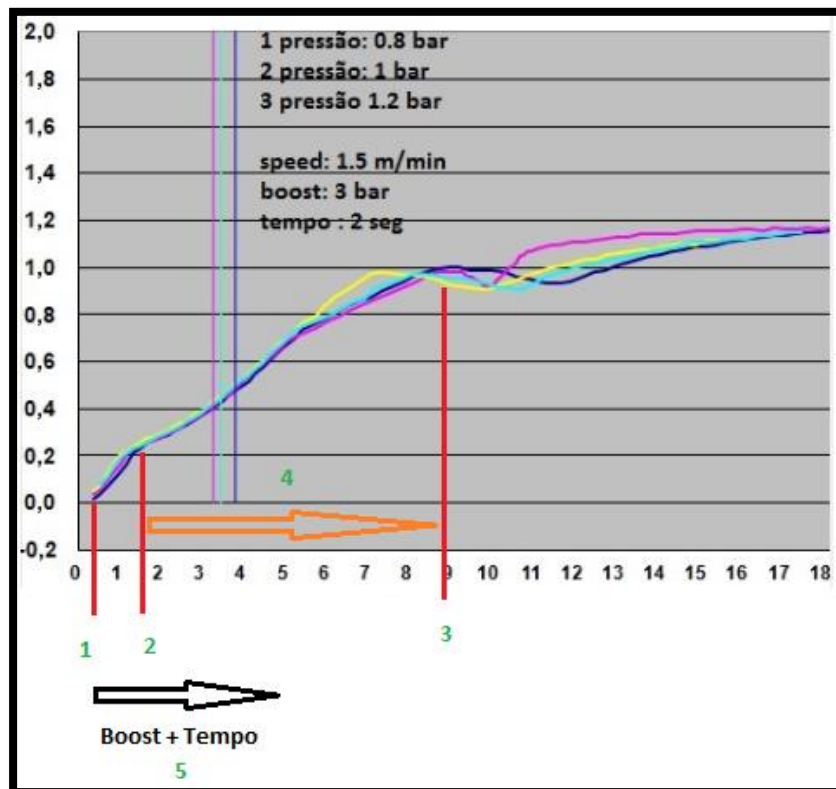


Figura 50 - Curvas obtidas com o sensor de pressão (com otimização da receita)

Apenas como experiência inicial, alteraram-se todos os parâmetros da receita, em que o objetivo era aumentar o ponto de contacto da receita inicial (0,17 bar) para verificar o impacto nos valores de radiais. Analisando o gráfico da figura 50, o ponto de contacto com o aumento de pressões, foi de 0,4 bar e o tempo entre a 2ª pressão e a 3ª pressão aumentou, devido à diminuição para metade da velocidade de fecho do fuso. A pressão de *boost* foi também aumentada, ficando ativa durante 2 segundos em vez de 1 segundo.

Antes de se avançar para os outros 4 testes, é interessante e importante perceber se a otimização de medidas ao alterar os parâmetros da receita, realmente têm impacto nesta insuficiência de insuflação.

Realizou-se um estudo com um tipo de pneu 255/60 R 18. É importante referir que, quanto menor a média e o desvio padrão melhor, e quanto maior o Yield melhor. Os resultados foram excelentes, como se pode comprovar na figura 51.

| | | RFPP | RFH1 | RFH2 | LFPP | CONY | NR PNEUS | |
|--------|-------|------|------|------|------|------|----------|-------|
| ANTES | Avg | 6,9 | 5,2 | 1,6 | 2,6 | -1,3 | 65 pneus | Yield |
| | Stdev | 2,2 | 2,3 | 0,8 | 0,7 | 1,0 | | 66% |
| DEPOIS | Avg | 5,0 | 3,5 | 1,2 | 2,5 | -0,3 | 65 pneus | Yield |
| | Stdev | 1,5 | 1,6 | 0,6 | 0,7 | 0,9 | | 97% |

Figura 51 – Resultados obtidos após as alterações efetuadas

A média dos valores de radiais (unidade: daN) reduziram em quase 2 daN, o que significa que 66% dos 65 pneus anteriormente construídos, apenas 43 estavam com valores aceitáveis. No caso dos pneus com os parâmetros alterados, de 65 pneus construídos, 63 passaram nos limites do cliente. Se esta alteração fosse realizada em produção, o processo ficaria **50% mais eficiente**. O Yield é calculado tendo em conta o número de pneus que estão dentro dos limites definidos pelo cliente, a cada variável de uniformidade.

1º TESTE: Influência dos materiais na pressão interna da carcaça

Requisitos e condições:

- Utilização de uma máquina de construção;
- Construção efetuada apenas por um operador;
- Escolher duas medidas com a mesma secção (ex:215/55 R18);
- Pneus tem que ter materiais de **tela e parede diferentes**;
- Parâmetros de máquina iguais;
- Retirar 3 curvas de análise para cada uma das medidas;
- Comparar as curvas de análise.

Resultados obtidos:

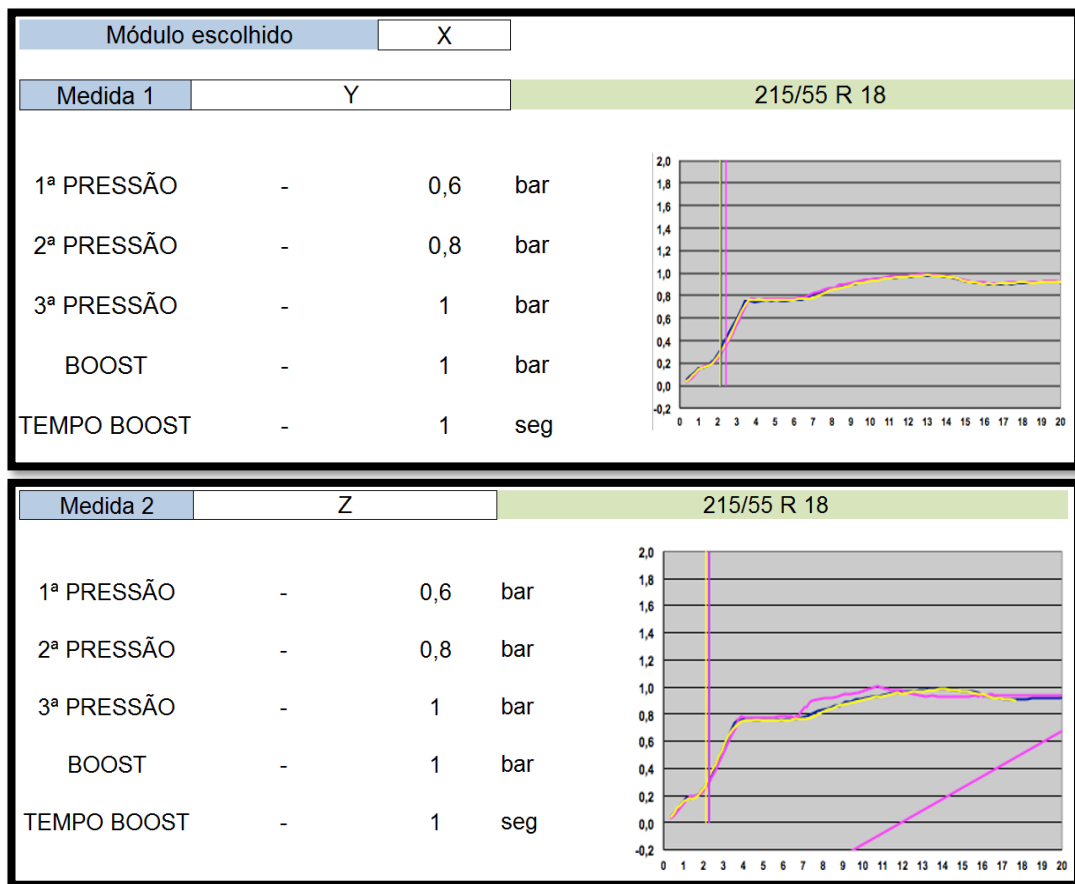


Figura 52 - Curvas obtidas com duas medidas diferentes na mesma máquina com parâmetros de receita iguais

Analisando com o programa Minitab, nomeadamente com o método de regressão linear, comparou-se a primeira curva da medida 1 e a primeira curva da medida 2, verificando-se que estatisticamente não existem diferenças significativas entre as duas medidas no mesmo módulo com pressões iguais, mas com materiais diferentes.

O p-value é 0,001, ou seja, muito inferior a 0,05 e o R^2 é quase 100%, ou seja, existe uma correlação muito forte entre Y e Z.

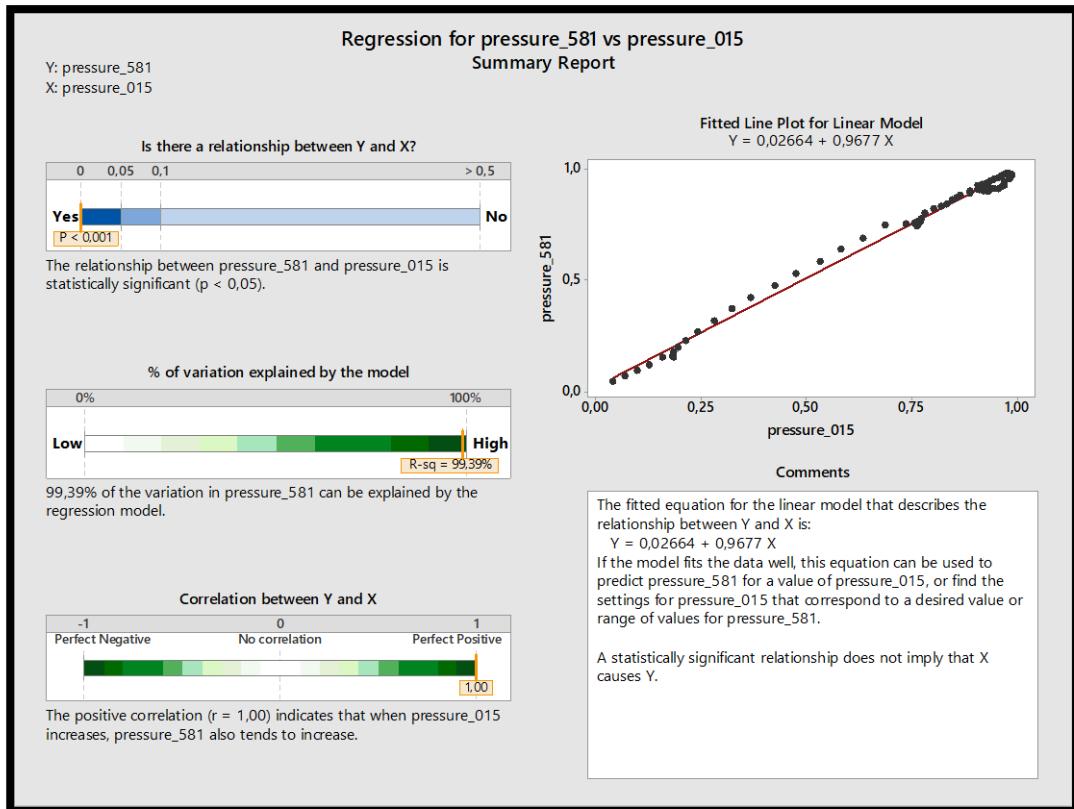


Figura 53 - Teste de hipóteses (Regressão linear) – 1º Teste

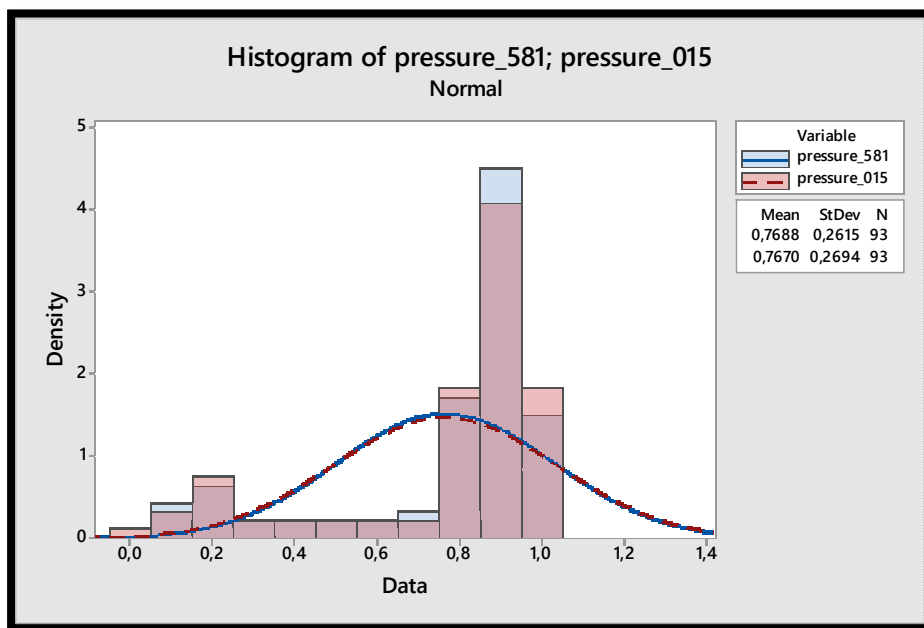


Figura 54 – Histograma para comparação de média e desvio padrão dos dois ensaios

A conclusão retirada deste 1º estudo é que a utilização de diferentes telas e/ou paredes não demonstra diferenças estatisticamente significativas na pressão interna do pneu.

2º TESTE: Diferença de pressões com a mesma receita e tipo de pneu em máquinas diferentes

“O objetivo deste teste é verificar se os pneus construídos (mesma medida) na máquina 1 com os mesmos parâmetros de pressão e velocidade que na máquina 2, possuem o mesmo tipo de gráfico, verificando se ambos os pontos de contacto e declive de reta (para verificar velocidades de fecho de fuso) são ou não iguais.”

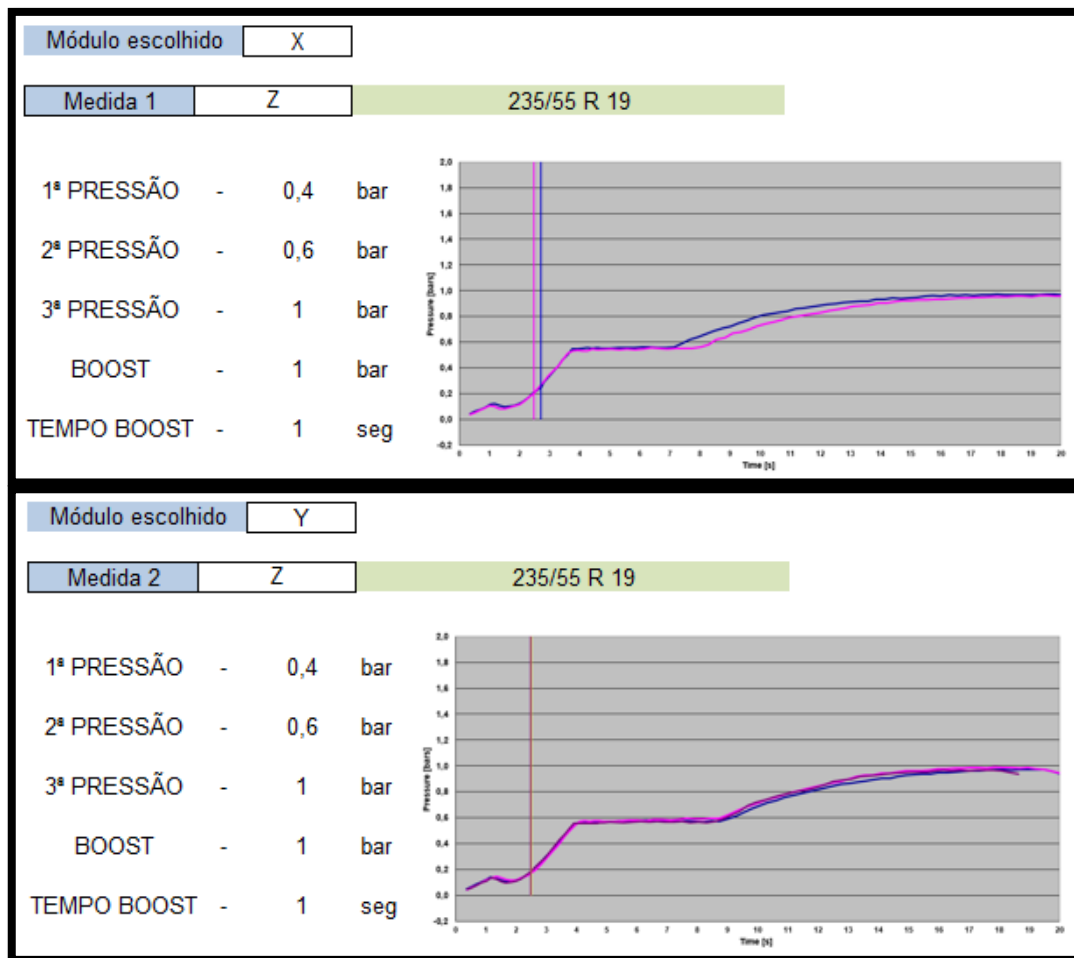


Figura 55 - Curvas obtidas em módulos diferentes (com a mesma medida e mesmo parâmetros)

Novamente através da regressão linear, concluiu-se que não existem diferenças significativas entre os módulos de construção. O p-value é de 0,001 (menor que 0,05) e o R^2 praticamente 100%.

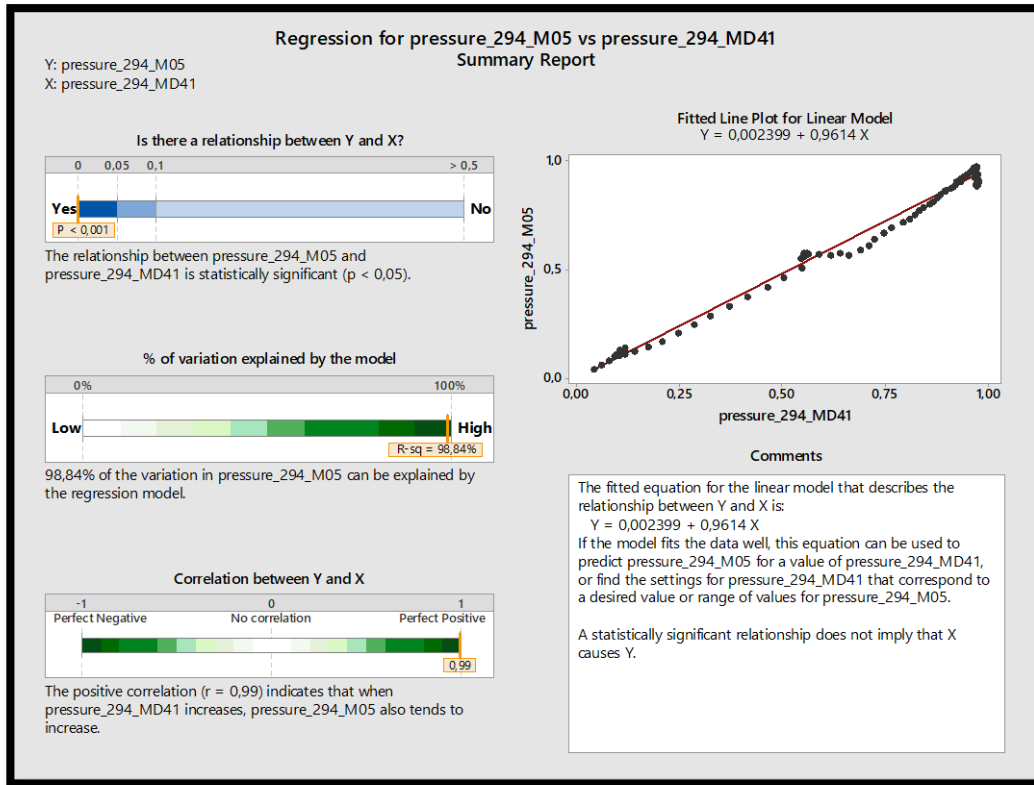


Figura 56 - Teste de hipóteses (Regressão linear) – 2º Teste

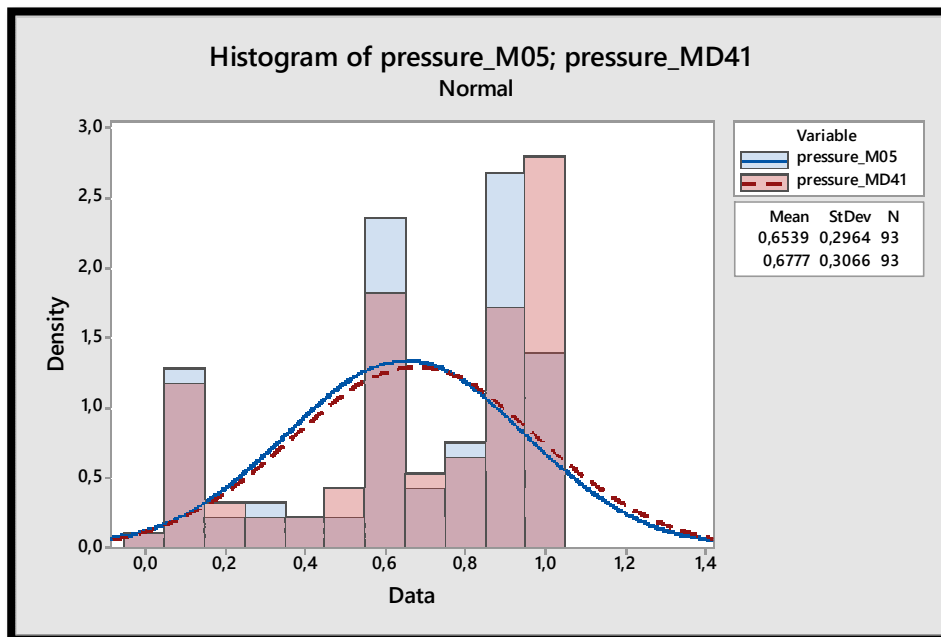


Figura 57 – Histograma do 2º teste

Após este teste é possível afirmar que, estatisticamente não existe diferenças significativas, relativamente às pressões de expansão de uma medida, caso seja construída na máquina X ou Y. Logo, podemos eliminar o fator máquina.

3º TESTE: Influência da utilização de duas telas em relação a uma tela

Procedimento para a realização deste ensaio:

- Utilização de uma máquina de construção;
- Construção efetuada apenas por um operador;
- Escolher um tipo de pneu que contenha duas telas;
- Retirar uma curva de análise para um pneu de duas telas;
- Pedir ao operador para construir uma carcaça sem aplicar a segunda tela;
- Retirar outra curva de análise para o pneu com apenas uma tela;
- Comparar as curvas de análise.

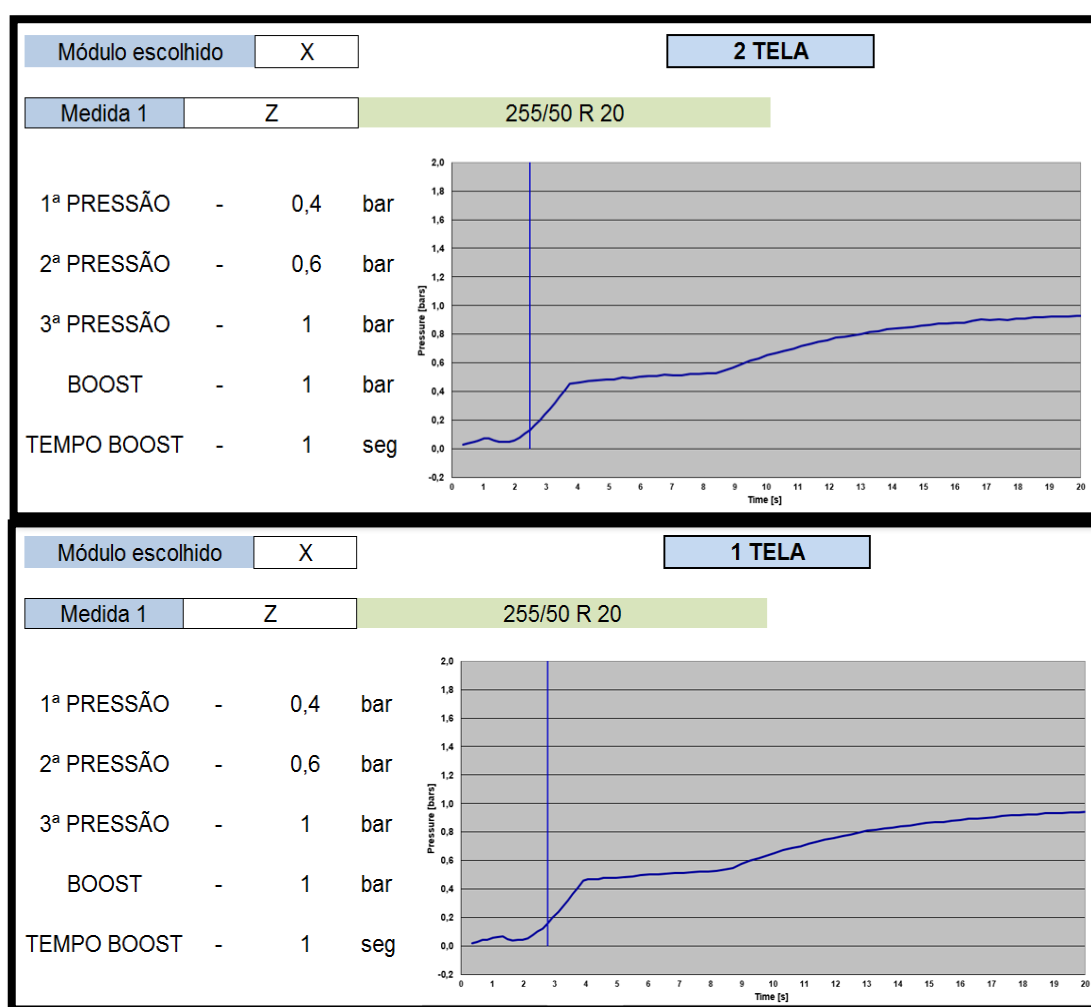


Figura 58 - Curvas obtidas no mesmo módulo com a mesma medida, mas usando uma ou duas telas

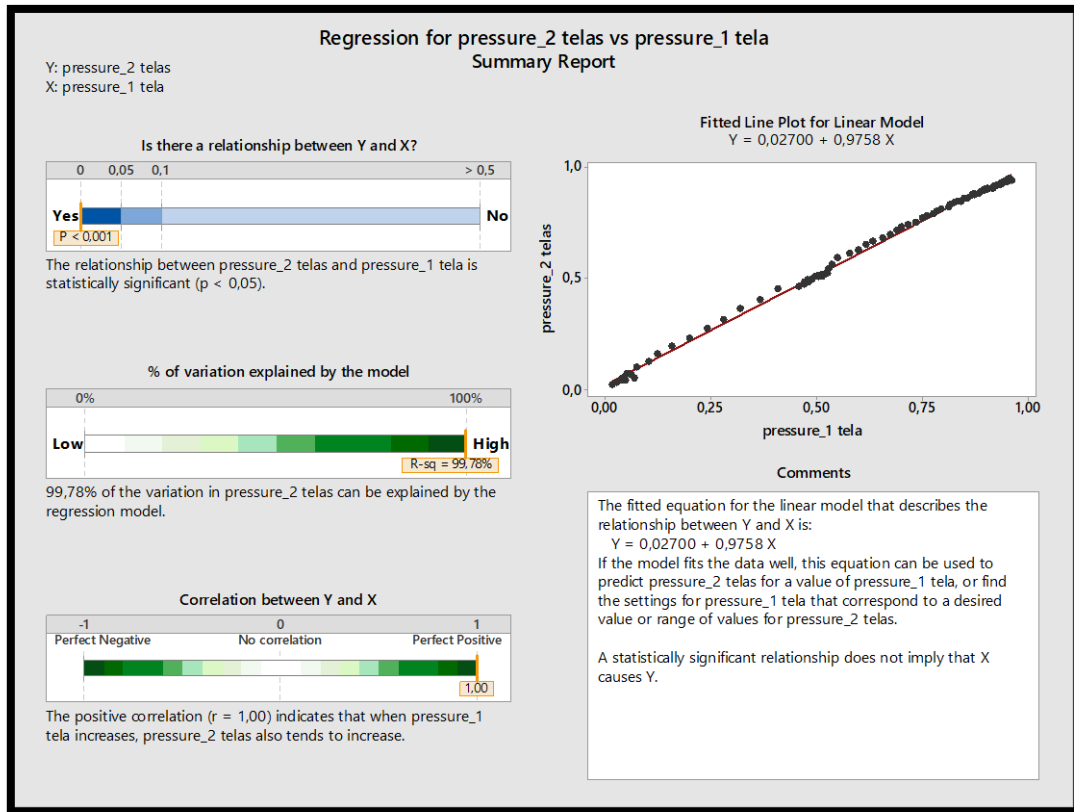


Figura 59 - Teste de hipóteses (Regressão linear) – 3º Teste

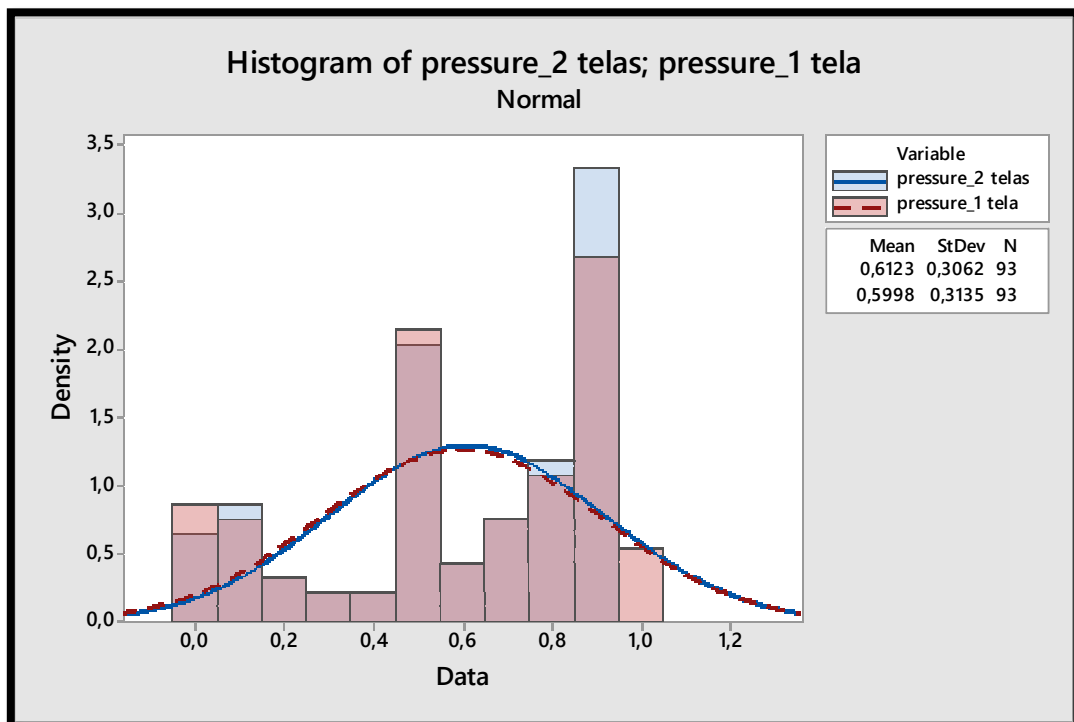


Figura 60 - Histograma do 3º Teste

O p-value é 0,001 (inferior a 0,05) e R^2 quase 100%, logo não há diferenças significativas entre ter duas ou uma tela no pneu durante a insuflação do pneu.

4º TESTE: Ponto de contacto vs. Velocidade de fecho vs. Ponto de Cartilhagem

É neste estudo que será usado o método de *Taguchi* em conjunto com a *ANOVA*, de forma a encontrar os parâmetros ótimos no processo de acoplamento do conjunto com a carcaça.

No método de *Taguchi*, foi utilizada uma matriz L9 (figura 61). Esta matriz permite-nos estudar em apenas 9 ensaios, três parâmetros diferentes, sendo que cada parâmetro pode ter 3 níveis.

| Taguchi Orthogonal Array Design | |
|---------------------------------|---|
| L9 (3 ³) | |
| Factors: | 3 |
| Runs: | 9 |

Figura 61 - Matriz L9 (*Taguchi*)

Após a execução dos 9 ensaios, recorreu-se à aplicação Minitab para análise de dados e discussão de resultados.

As duas respostas analisadas foram o RFPP e o RFH1, em que o objetivo deste estudo é otimizar ambas as respostas, ou seja, encontrar os parâmetros ideais para que os valores de RFPP e RFH1 sejam os mais pequenos possíveis.

A primeira resposta estudada foi o RFPP:

| ↓ | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|---|-------------|-------------|-------|---------|----------|---------|
| | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed | RFPP | SNRA1 | MEAN1 |
| 1 | 0,2 | 0,9 | 1,5 | 6,63483 | -16,4366 | 6,63483 |
| 2 | 0,2 | 1,1 | 3,0 | 7,15301 | -17,0898 | 7,15301 |
| 3 | 0,2 | 1,4 | 4,5 | 6,93775 | -16,8244 | 6,93775 |
| 4 | 0,4 | 0,9 | 3,0 | 6,79430 | -16,6429 | 6,79430 |
| 5 | 0,4 | 1,1 | 4,5 | 6,31331 | -16,0051 | 6,31331 |
| 6 | 0,4 | 1,4 | 1,5 | 6,42466 | -16,1570 | 6,42466 |
| 7 | 0,6 | 0,9 | 4,5 | 6,61279 | -16,4077 | 6,61279 |
| 8 | 0,6 | 1,1 | 1,5 | 6,54997 | -16,3248 | 6,54997 |
| 9 | 0,6 | 1,4 | 3,0 | 6,44750 | -16,1878 | 6,44750 |

Figura 62 - Matriz L9 e a resposta (RFPP)

| Response Table for Means | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------|
| Level | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed |
| 1 | 6,909 | 6,681 | 6,536 |
| 2 | 6,511 | 6,672 | 6,798 |
| 3 | 6,537 | 6,603 | 6,621 |
| Delta | 0,398 | 0,077 | 0,262 |
| Rank | 1 | 3 | 2 |

Figura 63 - Resposta das Médias - RFPP

| Response Table for Signal to Noise Ratios Smaller is better | | | |
|--|-------------|-------------|--------|
| Level | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed |
| 1 | -16,78 | -16,50 | -16,31 |
| 2 | -16,27 | -16,47 | -16,64 |
| 3 | -16,31 | -16,39 | -16,41 |
| Delta | 0,52 | 0,11 | 0,33 |
| Rank | 1 | 3 | 2 |

Figura 64 – Resposta do rácio S/N - RFPP

O ponto de toque foi o fator com o delta maior, ou seja, é o parâmetro que altera mais o valor de RFPP caso seja modificado. No entanto, todos os deltas contêm valores bastante baixos, isto significa que não existem muitas variações na resposta entre os níveis utilizados.

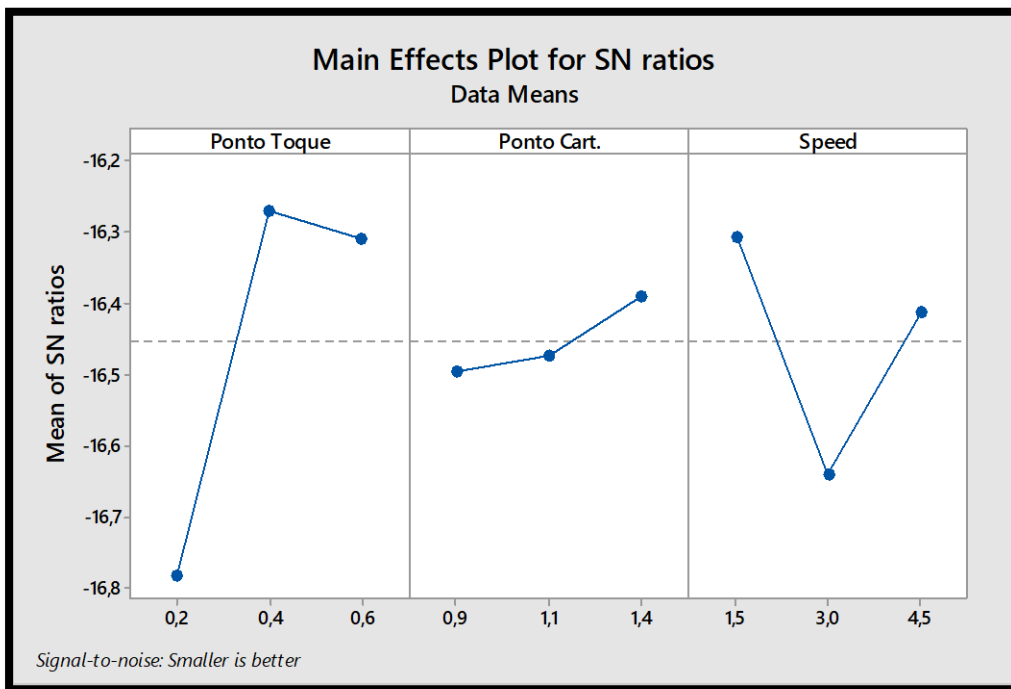


Figura 65 - Efeitos do rácio S/N dos 3 fatores na resposta RFPP

Para obter o valor mais baixo de RFPP na medida de pneu experimentada, teríamos que escolher os níveis de cada parâmetro com os valores mais altos do rácio S/N. Ou seja, para este caso em particular os melhores valores seriam os seguintes:

- **Ponto de Toque** – 0,4 bar
- **Ponto de Cartilhagem** – 1,4 bar
- **Velocidade de fecho do fuso** – 1,5m/min

No entanto, tendo em conta que o delta é baixo nos três parâmetros estudados (figura 64), isto significa que não se conseguiria melhorar com significado a resposta RFPP. Através da análise de variância (ANOVA), pretende-se analisar a significância de cada fator para a resposta final de RFPP. Na figura 66 estão representados os resultados, sendo que nenhum dos três fatores são estatisticamente significativos, pois nenhum p-value é inferior a 0,005, quando se pretende otimizar o RFPP.

| Analysis of Variance for SN ratios | | | | | | |
|------------------------------------|----|---------|---------|----------|------|-------|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Ponto Toque | 2 | 0,49430 | 0,49430 | 0,247149 | 1,84 | 0,352 |
| Ponto Cart. | 2 | 0,01871 | 0,01871 | 0,009357 | 0,07 | 0,935 |
| Speed | 2 | 0,17475 | 0,17475 | 0,087377 | 0,65 | 0,606 |
| Residual Error | 2 | 0,26897 | 0,26897 | 0,134485 | | |
| Total | 8 | 0,95673 | | | | |

Figura 66 - Análise de Variância (ANOVA) - RFPP

Relativamente à segunda resposta estudada (RFH1), os resultados foram os seguintes:

| ↓ | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 |
|---|-------------|-------------|-------|------|----------|---------|
| | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed | RFH1 | SNRA1 | MEAN1 |
| 1 | 0,2 | 0,9 | 1,5 | 3,30 | -10,3830 | 3,30483 |
| 2 | 0,2 | 1,1 | 3,0 | 3,69 | -11,3416 | 3,69045 |
| 3 | 0,2 | 1,4 | 4,5 | 4,15 | -12,3712 | 4,15488 |
| 4 | 0,4 | 0,9 | 3,0 | 3,40 | -10,6280 | 3,39937 |
| 5 | 0,4 | 1,1 | 4,5 | 3,46 | -10,7928 | 3,46449 |
| 6 | 0,4 | 1,4 | 1,5 | 3,67 | -11,3043 | 3,67465 |
| 7 | 0,6 | 0,9 | 4,5 | 2,68 | -8,5594 | 2,67898 |
| 8 | 0,6 | 1,1 | 1,5 | 2,35 | -7,4281 | 2,35184 |
| 9 | 0,6 | 1,4 | 3,0 | 3,10 | -9,8317 | 3,10161 |

Figura 67 - Matriz L9 e as respostas (RFH1)

| Response Table for Means | | | |
|--------------------------|-------------|-------------|-------|
| Level | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed |
| 1 | 3,717 | 3,128 | 3,110 |
| 2 | 3,513 | 3,169 | 3,397 |
| 3 | 2,711 | 3,644 | 3,433 |
| Delta | 1,006 | 0,516 | 0,322 |
| Rank | 1 | 2 | 3 |

Figura 68 - Resposta das médias - RFH1

| Response Table for Signal to Noise Ratios Smaller is better | | | |
|--|-------------|-------------|---------|
| Level | Ponto Toque | Ponto Cart. | Speed |
| 1 | -11,365 | -9,857 | -9,705 |
| 2 | -10,908 | -9,854 | -10,600 |
| 3 | -8,606 | -11,169 | -10,574 |
| Delta | 2,759 | 1,315 | 0,895 |
| Rank | 1 | 2 | 3 |

Figura 69 - Resposta do rácio S/N - RFH1

No caso da resposta RFH1, o ponto de toque é novamente o fator com o maior delta, no entanto, contém um delta bastante maior que no RFPP. Isto significa que, existem possibilidades de otimização.

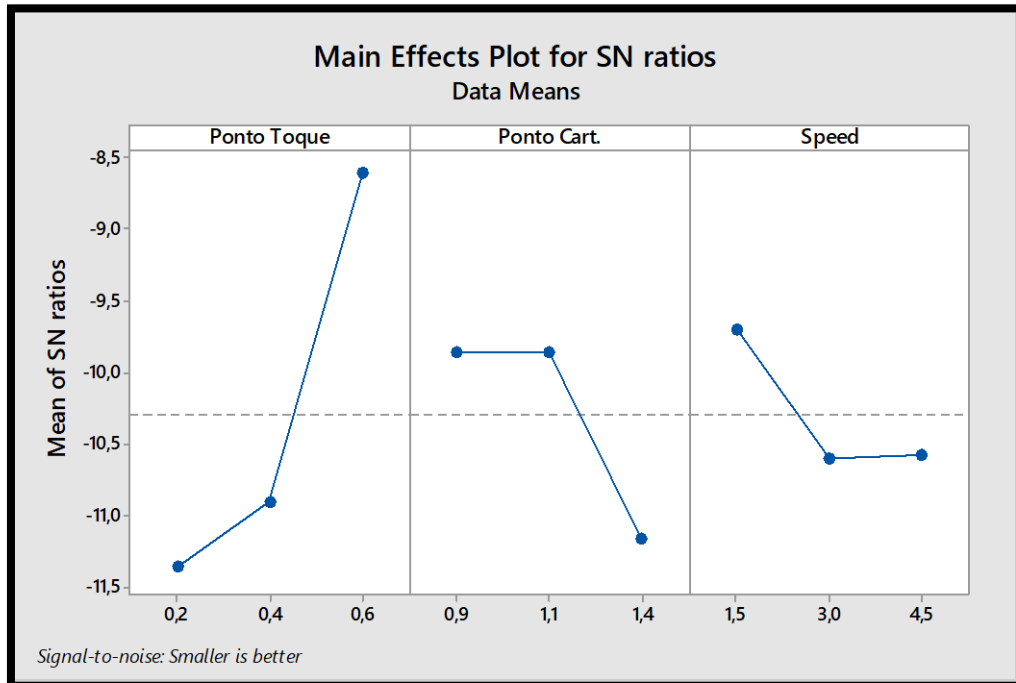


Figura 70 - Efeitos do rácio S/N dos 3 fatores na resposta RFH1

No caso da resposta RFH1, os níveis ótimos a usar seriam os seguintes:

- **Ponto de Toque** – 0,6 bar
- **Ponto de Cartilhagem** – 0,9 bar
- **Velocidade de fecho do fuso** – 1,5m/min

Relativamente à ANOVA, os resultados obtidos foram os seguintes:

| Analysis of Variance for SN ratios | | | | | | |
|------------------------------------|----|---------|---------|---------|--------|-------|
| Source | DF | Seq SS | Adj SS | Adj MS | F | P |
| Ponto Toque | 2 | 13,1188 | 13,1188 | 6,55938 | 120,35 | 0,008 |
| Ponto Cart. | 2 | 3,4511 | 3,4511 | 1,72555 | 31,66 | 0,031 |
| Speed | 2 | 1,5579 | 1,5579 | 0,77895 | 14,29 | 0,065 |
| Residual Error | 2 | 0,1090 | 0,1090 | 0,05450 | | |
| Total | 8 | 18,2368 | | | | |

Figura 71 - Análise de variância (ANOVA) - RFH1

Na resposta RFH1, o ponto de toque e o ponto de cartilhagem são os parâmetros com valores de p-value inferiores a 0,05, sendo ambos estatisticamente significativos. No entanto, o ponto de toque é o fator mais significativo (p-value de 0,008) na otimização da resposta RFH1 para esta medida de pneu.

Após a análise de ambas as respostas, os resultados comprovam que os parâmetros estudados alteram os valores de força radial de um pneu, sendo possível otimizar o processo de acoplamento do conjunto com a carcaça.

Testou-se várias secções, desde as mais pequenas como é o caso de um pneu 195/55 R15, até pneus com maior volume, como por exemplo 265/65 R17. Verificou-se ao longo dos ensaios, um padrão semelhante na maioria dos resultados. A força radial era alta, com pressão de toque baixo (0,1 bar), obtendo-se de seguida melhores valores a 0,4 bar e novamente com piores valores com pressões de toque mais altos. Na figura 72 é demonstrado um resumo das várias secções analisadas, sendo que foi utilizado uma amostra de 10 pneus em cada ensaio e, nos gráficos (figura 73, 74 e 75) a tendência verificada.

| RFH1 | | Resultado das várias secções testadas | | | | | | |
|------------------|-----|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 656 | 647 | 576 | 510 | 499 | 550 | 952 |
| | | 255/55 R19 | 255/55 R19 | 265/65 R17 | 295/30 R21 | 235/60 R18 | 235/65 R18 | 235/55 R19 |
| Pressão de toque | 0,1 | 7,6 | 8,02 | 5,7 | 3,37 | 3,17 | 10,65 | 3,8 |
| | 0,2 | | | 4,2 | | | | 2,63 |
| | 0,3 | | | | 2,97 | 1,72 | 4,57 | |
| | 0,4 | 2,75 | 5,16 | 2,3 | 2,08 | 1,91 | 4,7 | 2,34 |
| | 0,5 | | | | 2,43 | | | 2,26 |
| | 0,6 | 4,2 | 7,42 | 4,17 | | 2,65 | 4,57 | 2,38 |
| | 0,7 | | | | | 3,82 | | 3,1 |

Figura 72 – Resumo dos resultados de várias secções testadas (em daN) e os respetivos pontos de toque (em bar), sendo que quanto menor o resultado de RFH1, melhor.

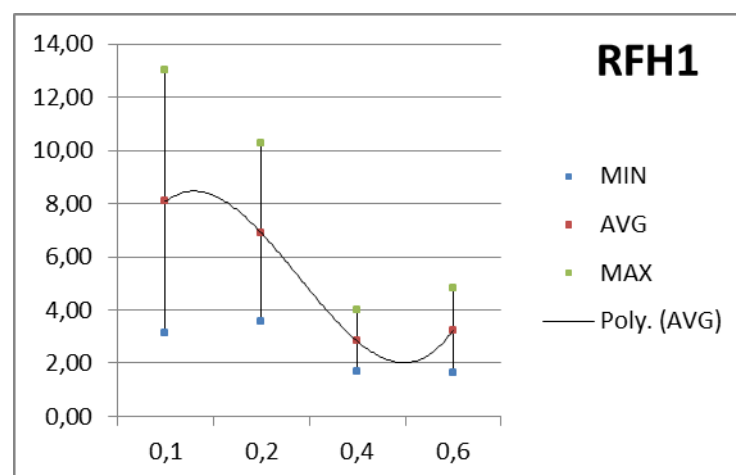


Figura 73 - Resultado da força radial 1º harmónico do código reduzido 656

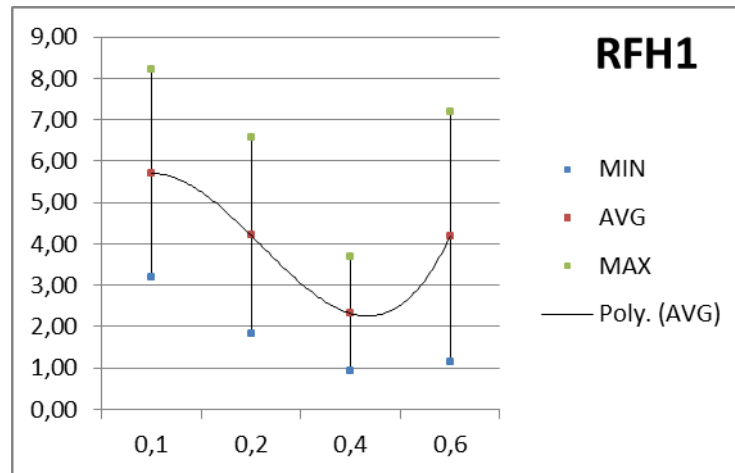


Figura 74 - Resultado da força radial 1º harmónico do código reduzido 576

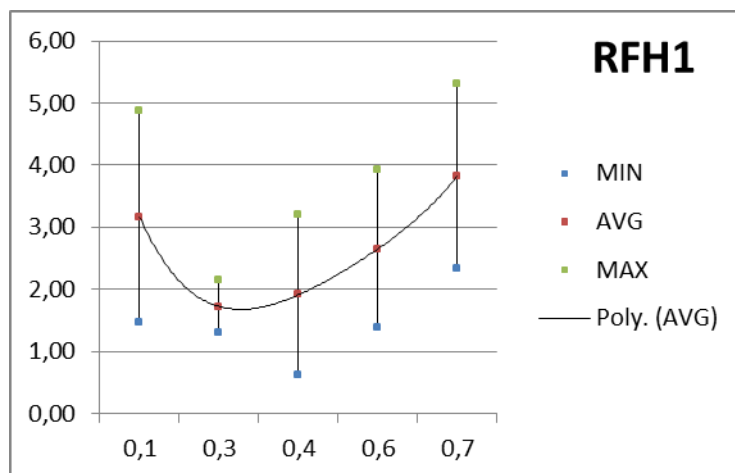


Figura 75 - Resultado da força radial 1º harmónico do código reduzido 499

Em suma, com a finalização dos testes realizados, verificou-se que:

1º TESTE: Influência dos materiais na pressão interna da carcaça

- Pneus com diferentes materiais de tela e parede, com a mesma dimensão (215/55 R18) e com a mesma parametrização de pressões demonstraram obter o mesmo gráfico de pressão (figura 52), o que leva a concluir que os **materiais não são fatores significativos para a parametrização de pressões.**

2º TESTE: Diferença de pressões com a mesma receita e tipo de pneu em máquinas diferentes

- Utilizando a mesma medida de pneu, com a mesma parametrização de pressões, mas em máquinas de construção diferentes, resultou na obtenção do mesmo gráfico de pressões (figura 55), ou seja, **as máquinas de construção, sendo do mesmo fornecedor, não representam um fator significativo para a parametrização de pressões.**

3º TESTE: Influência da utilização de duas telas em relação a uma tela

- Com a mesma medida de pneu, retirou-se uma curva de pressão com a construção do pneu apenas com uma tela, e de seguida retirou-se outra curva de pressão num pneu com duas telas. Os resultados demonstram que a **utilização de uma ou duas telas não é um fator significativo na parametrização de pressões.**

4º TESTE: Ponto de contacto vs. Velocidade de fecho vs. Ponto de Cartilhagem

- Após a utilização de métodos estatísticos de *Taguchi* e da *ANOVA*, verificou-se que para a otimização do RFPP, nenhum dos fatores estudados eram significativos. Relativamente à otimização do RFH1, o **ponto de contacto e o ponto de cartilhagem foram os fatores com p-value inferior a 0,05, ou seja, estatisticamente significativos para o processo de acoplamento.** No entanto, o ponto de contacto contém o valor de p-value mais significativo de ambos os fatores (figura 71).

Após o 4º teste, analisou-se várias secções de pneus para a verificação do ponto de toque com valores de RFH1 mais baixo (figura 72). A conclusão foi que com pressões inferiores a 0,2 bar, o valor de RFH1 piora bastante. Com valores superiores a 0,6 bar, também se verifica uma pioria do valor de RFH1, sendo que o ponto de toque de 0,4 bar contém sistematicamente os melhores valores de RFH1 para as secções testadas.

O próximo passo é desenhar uma tabela final, com todos os parâmetros otimizados para cada secção e, de seguida, compreender o motivo do valor de radial piorar quando as pressões no momento do toque são altas ou baixas.

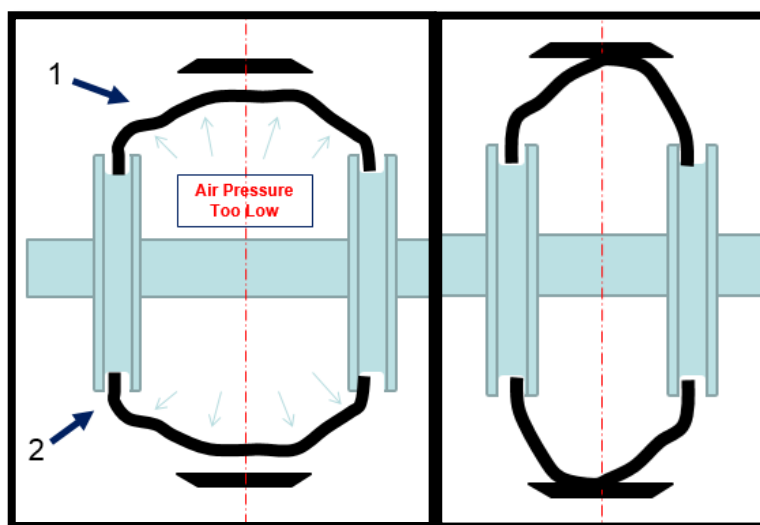


Figura 76 – Acoplamento não otimizado

5.3 ANÁLISE DO CORTE DE UM PNEU EM 23 SECÇÕES

É necessário perceber o que acontece dentro do pneu durante o acoplamento da carcaça com o conjunto e, como reagem os materiais à quantidade de pressão interna, juntamente com a compressão. Para isso, procedeu-se ao corte de 3 pneus (0,1 bar, 0,4 bar e 0,6 bar) em 23 partes para posterior análise. Ao analisar as várias seções, é medido ao longo dos 360 graus vários valores de referência desde, por exemplo, o centramento das cintas metálicas, até à distância de um talão ao outro.

Nas figuras das próximas páginas estão representadas as curvas da força radial (eixo y) e do ângulo do pneu (eixo x) dos 3 pneus. Na figura 79, a primeira linha vermelha da esquerda para a direita representa o ponto de toque e, a segunda representa o ponto em que começa a cartilhagem do piso.

O pneu com 0,1 bar obteve um valor máximo de 10,9 daN, a 0,4 bar com um valor de 5,2 daN e por fim o pneu com 0,6 bar teve um valor de 7,5 daN. Novamente estes valores seguem a tendência obtida nos ensaios anteriores, ou seja, com pouca pressão os resultados são maus, a 0,4 bar com bons resultados e com mais pressão a força radial piora novamente.

Na tabela 4, foram coloridas as linhas que contém o *highpoint* (laranja) e o *lowpoint* (azul) de cada pneu. O *highpoint* é o ponto com valor de força mais positiva, que no pneu com 0,1 bar foi de 4 daN a 290 graus. O *lowpoint* é o ponto mais baixo no gráfico, que neste caso foi de 5 daN a 320 graus (figura 77). Na figura 78 está demonstrada uma circunferência (azul) e a vermelho o pneu do teste a 0,1 bar.

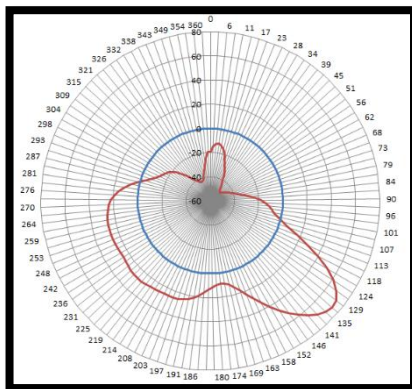


Figura 78 – Onda harmônica do pneu representada ao longo de um círculo perfeito

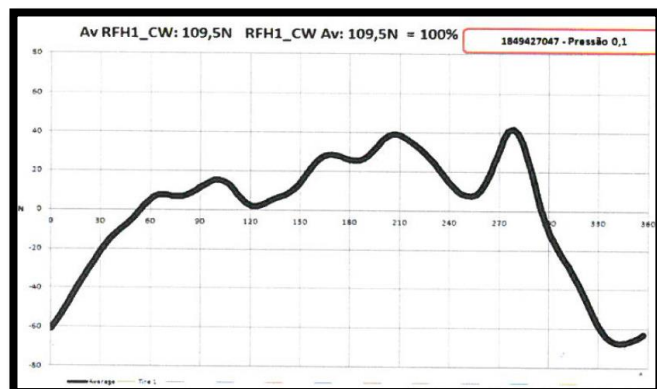


Figura 77 – Onda harmônica do 1º Pneu – 0,1 bar

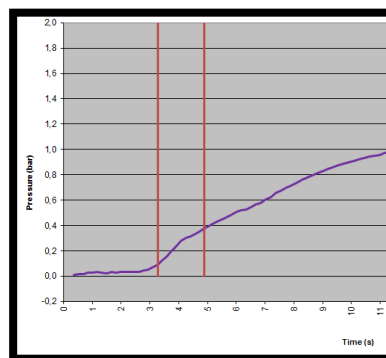


Figura 79 – Curva obtida do 1º Pneu – 0,1 bar

Tabela 4 – Algumas das variáveis de medição – Pneu 0,1 bar

| Pneu 1 | 1849427047 | 0,1 | | | high point | | | low point | |
|--------|------------|---------|--------|--------|------------|---------|--------|-----------|---------|
| angle | AS | G11 | G12 | G14OSS | G14SS | G21 | G22 | L-CAPOSS | L-CAPSS |
| 0 | 106,449 | 227,064 | -1,034 | 7,588 | 8,117 | 211,359 | -0,769 | 15,221 | 15,072 |
| 30 | 106,127 | 227,520 | -0,114 | 8,412 | 7,747 | 211,361 | -0,446 | 14,257 | 13,361 |
| 60 | 106,098 | 225,839 | -0,823 | 7,359 | 7,644 | 210,836 | -0,680 | 14,517 | 14,194 |
| 90 | 106,042 | 225,737 | -0,827 | 8,251 | 7,653 | 209,832 | -1,126 | 16,317 | 14,175 |
| 120 | 106,350 | 226,235 | -1,376 | 7,976 | 8,143 | 210,116 | -1,292 | 16,501 | 13,705 |
| 150 | 107,222 | 227,511 | -1,779 | 7,659 | 8,312 | 211,540 | -1,453 | 16,698 | 13,126 |
| 180 | 107,063 | 228,665 | -0,997 | 8,310 | 8,266 | 212,089 | -1,018 | 16,700 | 13,352 |
| 210 | 106,701 | 228,307 | -0,420 | 7,338 | 7,872 | 213,097 | -0,153 | 16,117 | 14,974 |
| 240 | 107,048 | 228,419 | -1,332 | 7,777 | 8,494 | 212,148 | -0,974 | 14,664 | 14,023 |
| 270 | 106,796 | 226,893 | -1,764 | 7,134 | 8,415 | 211,344 | -1,124 | 15,567 | 16,521 |
| 300 | 106,889 | 227,531 | -1,681 | 7,843 | 8,557 | 211,131 | -1,324 | 14,840 | 14,863 |
| 330 | 107,093 | 227,832 | -1,129 | 8,488 | 7,952 | 211,392 | -1,397 | 15,595 | 15,002 |
| 360 | 106,449 | 227,064 | -1,034 | 7,588 | 8,117 | 211,359 | -0,769 | 15,221 | 15,072 |

O próximo passo é correlacionar os parâmetros obtidos com a onda do pneu e, perceber se existe alguma correlação estatisticamente significativa, sendo que é utilizado o Minitab para a realização de regressões lineares e quadráticas.

Começando com o pneu de 0,1 bar, analisou-se as medições das variáveis obtidas e de seguida, com o suporte da ferramenta Minitab, procedeu-se ao uso de métodos de estatística, nomeadamente, regressões lineares e quadráticas, com o objetivo de identificar correlações entre as medições e os *highpoints* e *lowpoints* dos pneus cortados. Para a análise das 23 secções, teve-se em consideração 26 parâmetros de estudo. Estes parâmetros têm pontos de referência de medição. Identificou-se 5 parâmetros, com p-value abaixo de 0,005, logo estatisticamente significativos. No entanto, também se verificou parâmetros com p-value abaixo de 0,08, sendo estes considerados importantes para análise devido ao seu baixo valor de p-value.

| Type | P value | R -sq |
|-----------|---------|-------|
| S27SS | 0,001 | 75,26 |
| skk | 0,002 | 58,02 |
| S55OSS | 0,022 | 39,11 |
| skkcalSS | 0,03 | 50,57 |
| W56OSS | 0,032 | 35,42 |
| S25OSS | 0,075 | 26,01 |
| skkcalOSS | 0,079 | 25,37 |
| W56SS | 0,123 | 20,21 |
| W31OSS | 0,225 | 13,04 |
| S55SS | 0,259 | 11,43 |
| G14OSS | 0,262 | 11,28 |
| W31SS | 0,279 | 10,53 |
| L-CAPOSS | 0,317 | 9,08 |
| S25SS | 0,337 | 8,39 |
| G21 | 0,555 | 3,25 |
| G14SS | 0,627 | 2,22 |
| G12 | 0,634 | 2,13 |
| AS | 0,684 | 1,56 |
| LSD | 0,696 | 1,44 |
| L-CAPSS | 0,707 | 1,33 |
| L22SS | 0,756 | 0,91 |
| S27OSS | 0,793 | 0,65 |
| G22 | 0,842 | 0,38 |
| G11 | 0,863 | 0,28 |
| L22OSS | 0,875 | 0,24 |
| L31 | 0,98 | 0,01 |

Figura 80 – Resultados dos testes de regressão efetuados aos parâmetros medidos

Na tabela 5, estão representadas as variáveis com p-value abaixo de 0,08, com a respetiva designação.

Tabela 5 – Significado dos parâmetros com p-value abaixo de 0,08

| Tipo | Significado |
|-----------|--|
| S27SS | Espessura da parede (na zona onde contém a designação da medida). |
| skk | Distância entre o início e o fim da tela em cada lado da seção (simetria). ($Skk = skkcalSS + skkcalOSS$) |
| S55OSS | Espessura acima do núcleo do talão. |
| skkcalSS | Distância da tela no lado do talão que contém o código de barras (SS = lado do código de barras) |
| W56OSS | Espessura abaixo do núcleo do talão. |
| S25OSS | Espessura da parede (perto do início do piso). |
| skkcalOSS | Distância da tela no lado do talão oposto ao código de barras (SS = lado oposto ao código de barras) |

Ao analisar os resultados, começando pelo parâmetro S27, este foi o parâmetro estatisticamente mais significativo quando comparado a espessura da parede (na zona onde contém a designação da medida) e os valores de radiais (*highpoint* e *lowpoint*) obtidos na curva do pneu. O eixo N representa os valores de radiais (newtons) e o eixo S27SS está representado em milímetros.

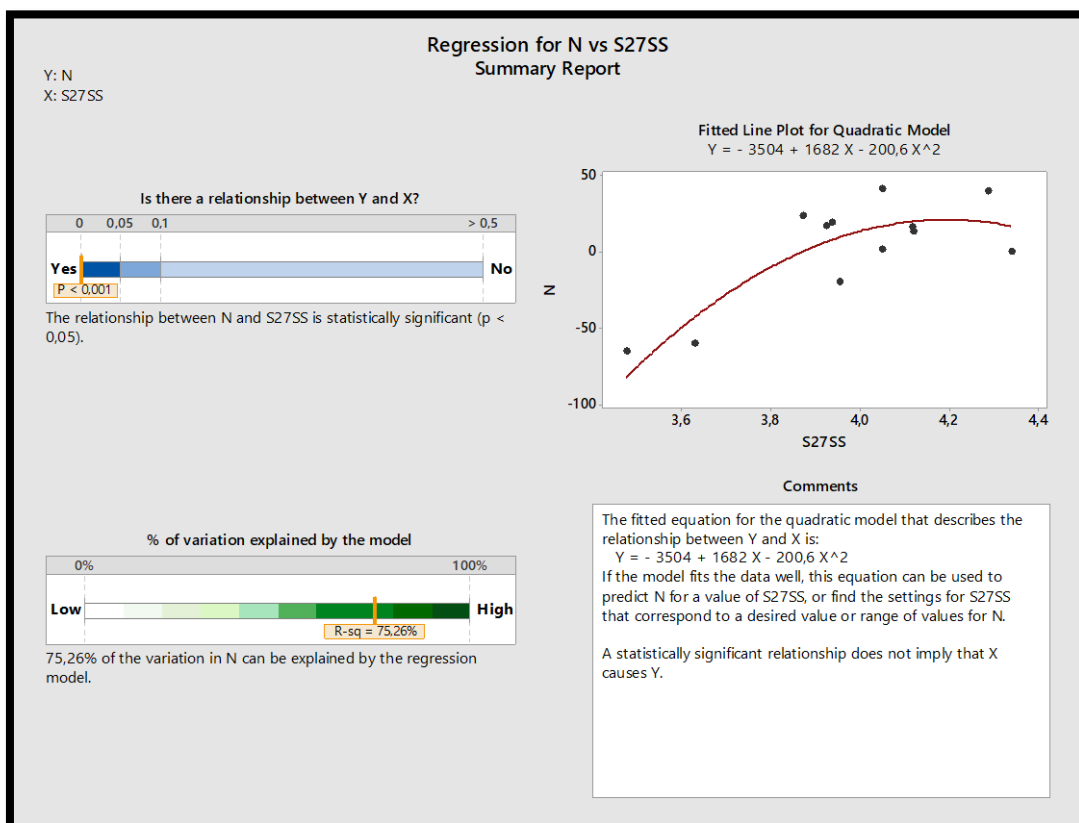


Figura 81 – Minitab – Teste de regressão quadrática (S27SS)

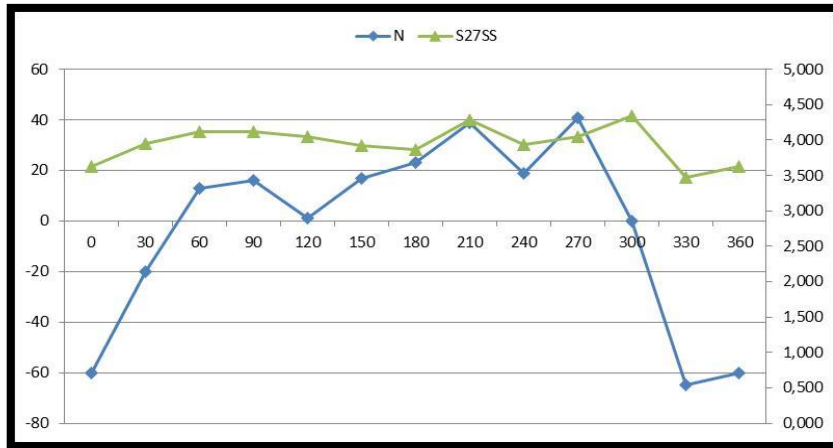


Figura 82 – Correlação entre S27SS e a curva do pneu 0,1 bar

S27 – Possível hipótese para a correlação:

- ✓ Devido à pouca pressão interna, a carcaça não vai expandir uniformemente fazendo com que a espessura de borracha (parede) ao longo do pneu varie.

Relativamente ao parâmetro skk, sendo este a distância entre o início e o fim da tela em cada lado da seção (simetria), através de uma regressão linear, verificou-se que existe uma relação entre este e a curva do pneu com ponto de toque de 0,1 bar.

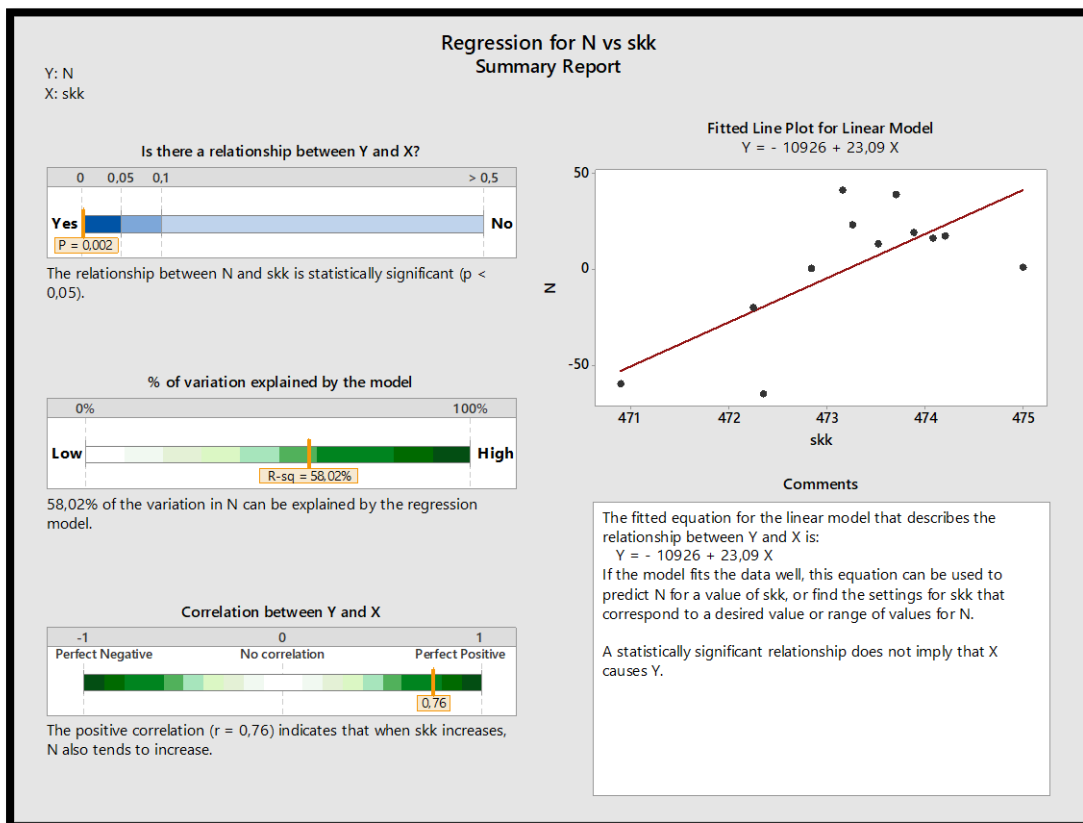


Figura 83 – Minitab – Teste de regressão (skk)

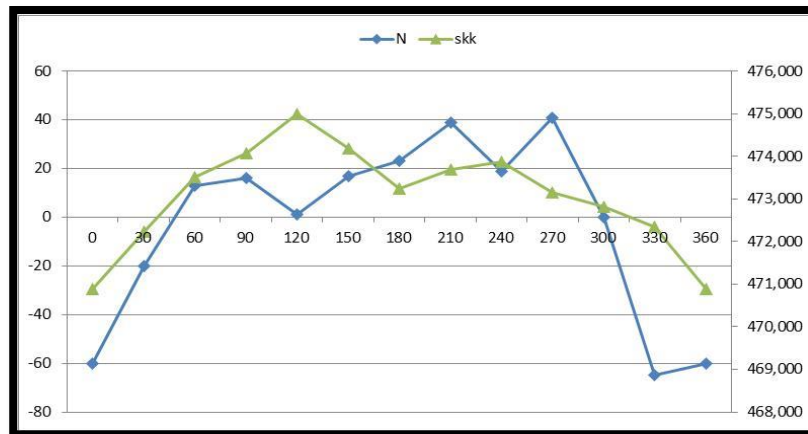


Figura 84 – Correlação entre skk (mm) e a curva do pneu 0,1 bar (newtons)



Figura 85 – Parâmetro skk (distância da tela entre talões)

skk – Possível hipótese para a correlação:

- ✓ A distância da tela entre talões tem variação ao longo dos 360 graus do pneu. Sendo que no *highpoint* a distância é maior e no *lowpoint* a distância é menor;
- ✓ A falta de pressão faz com que a carcaça não estique uniformemente todos os seus materiais, ou seja, não existe tensão suficiente na carcaça.

Relativamente ao terceiro parâmetro estatisticamente significativo, nomeadamente S55, este é medido tendo em conta a espessura acima do núcleo do talão. Os resultados da comparação estão representados na figura 86 e figura 87.

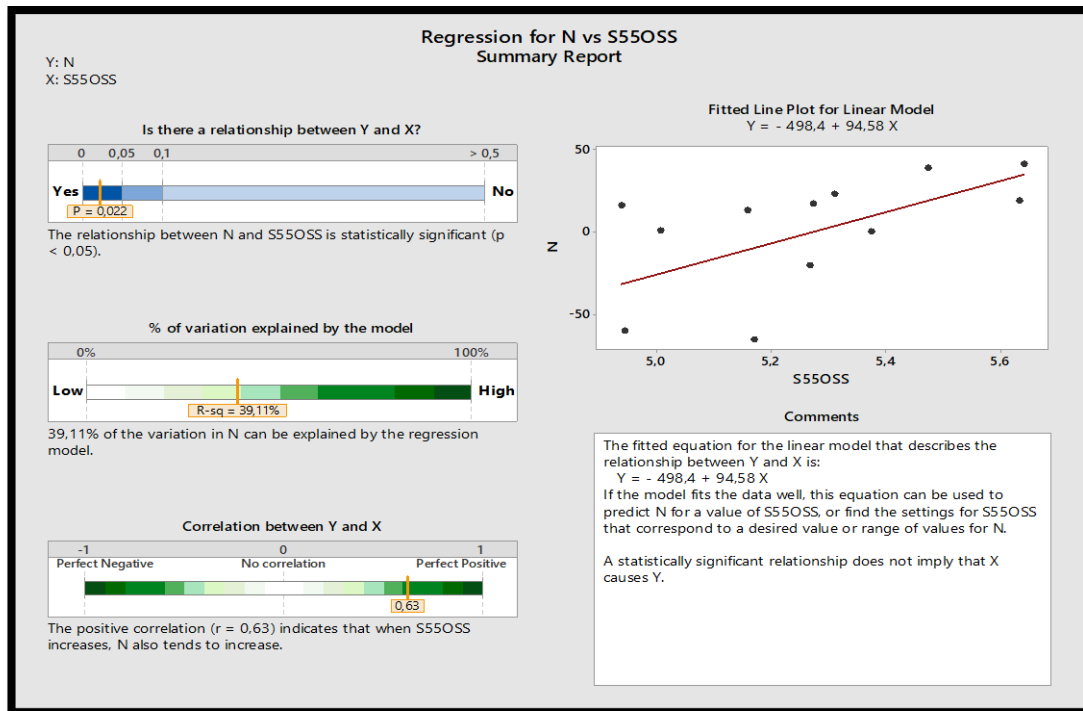


Figura 86 – Minitab – Teste de regressão (S55OSS)

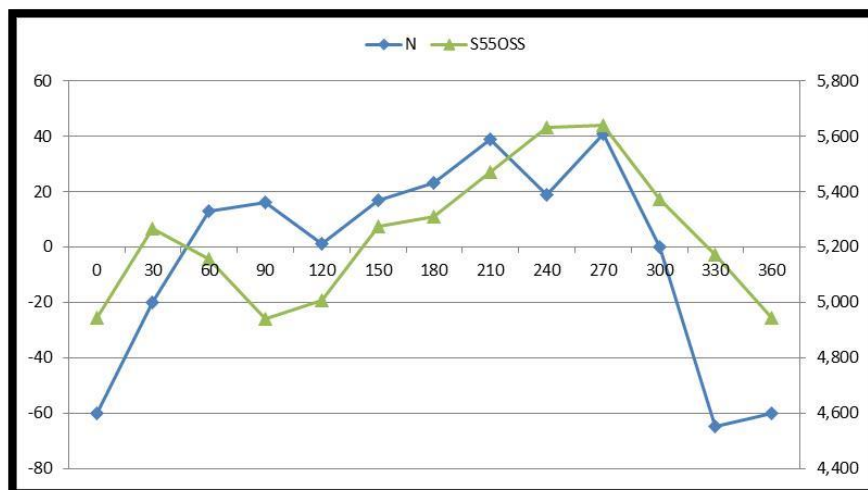


Figura 87 – Correlação entre S55OSS e a curva do pneu (0,1 bar)

S55OSS – Possível hipótese para a correlação:

- ✓ A espessura acima do núcleo do talão do lado OSS (lado oposto ao código de barras) da borracha é maior no *highpoint* e menor no *lowpoint* do pneu;
- ✓ Correlação com S27SS;
- ✓ Correlação com W56OSS.

Após a obtenção de algumas conclusões relativamente ao pneu com ponto de toque de 0,1 bar, o próximo passo é estudar o pneu com ponto de toque de 0,6 bar, de modo a perceber o motivo, para a força radial piorar em alguns casos quando este é superior ou igual a 0,6 bar.

Na figura 90, a linha vermelha mais à esquerda, representa o ponto de toque.

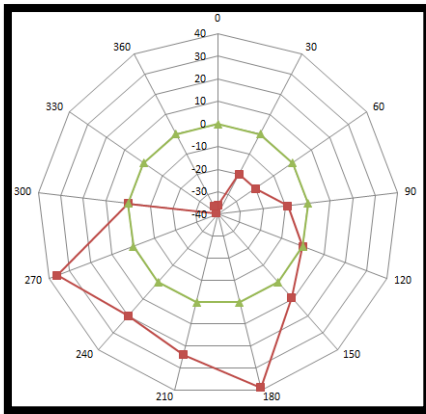


Figura 88 - Onda harmónica do pneu representada ao longo de um círculo perfeito



Figura 89 – Onda harmónica do 3º Pneu – 0,6 bar

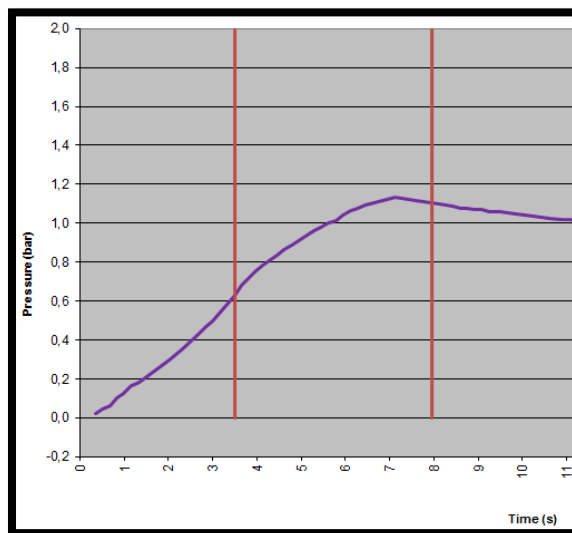


Figura 90 – Curva obtida do 3º Pneu – 0,6 bar

No caso do 3º pneu, com ponto de toque a 0,6 bar, os parâmetros com p-value inferior a 0,05 apenas foram os seguintes:

L-CAPOSS

- Medição do fim do piso, ao centro do pneu no lado oposto ao código de barras

L-CAPSS

- Medição do fim do piso, ao centro do pneu no lado do código de barras

Estes parâmetros estão exemplificados na figura 91.

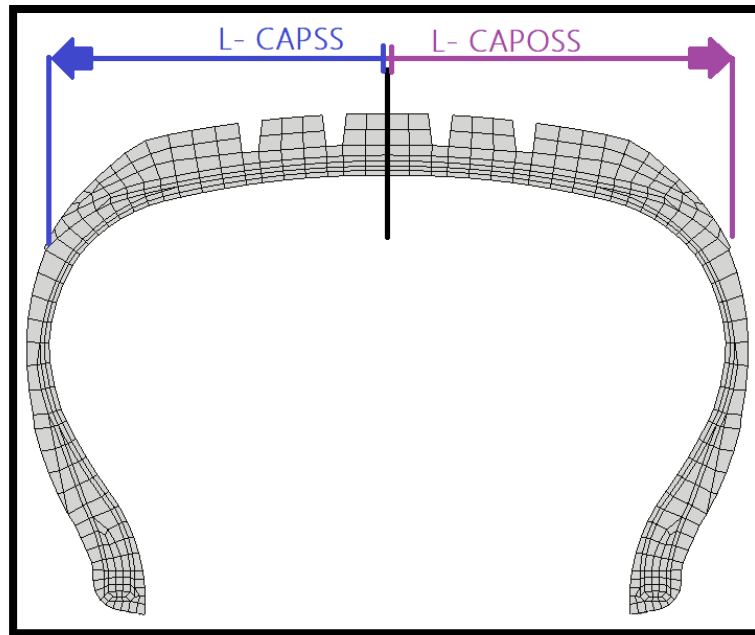


Figura 91 - Demonstração do parâmetro L-CAPSS e L-CAPOSS numa secção de um pneu

Relativamente aos resultados do estudo dos parâmetros L-CAPOSS e L-CAPSS, estes estão demonstrados da figura 92 à figura 95.

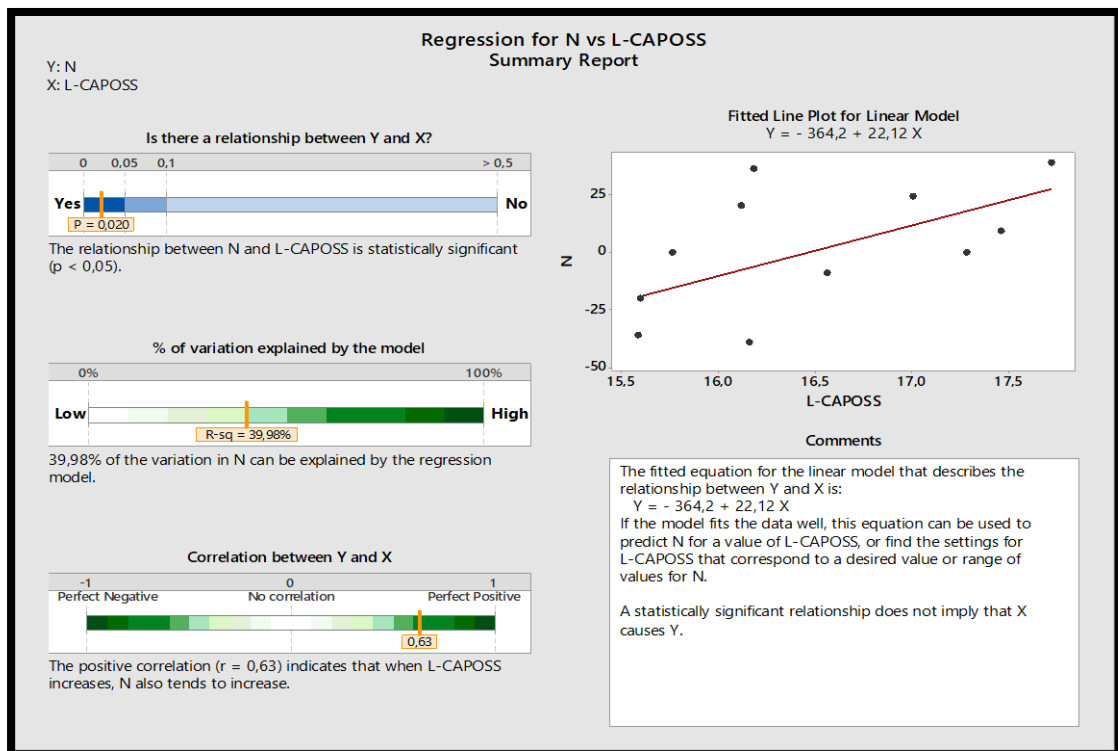


Figura 92 – Minitab – Teste de regressão (L-CAPOSS)

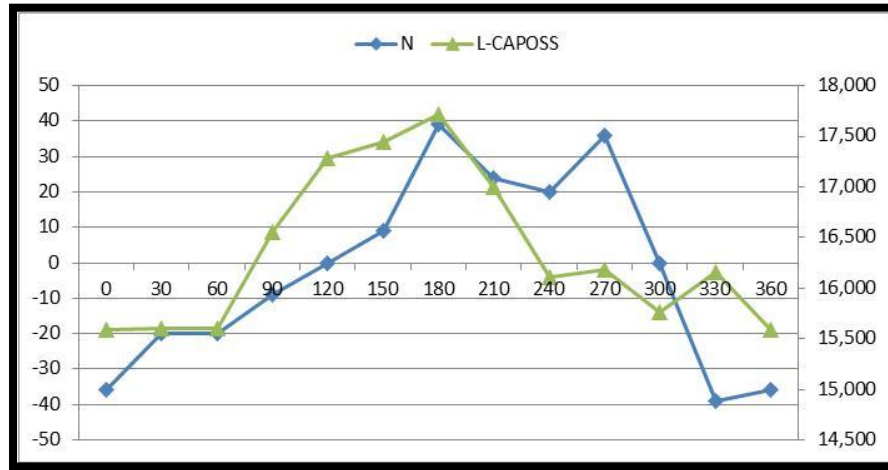


Figura 93 - Correlação L-CAPOSS com a curva do pneu 3 (0,6 bar)

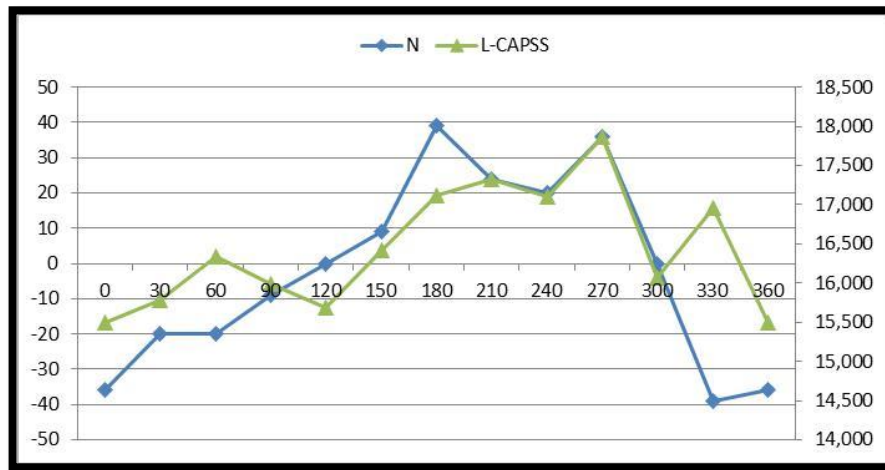


Figura 94 - Correlação L-CAPSS com a curva do pneu 3 (0,6 bar)

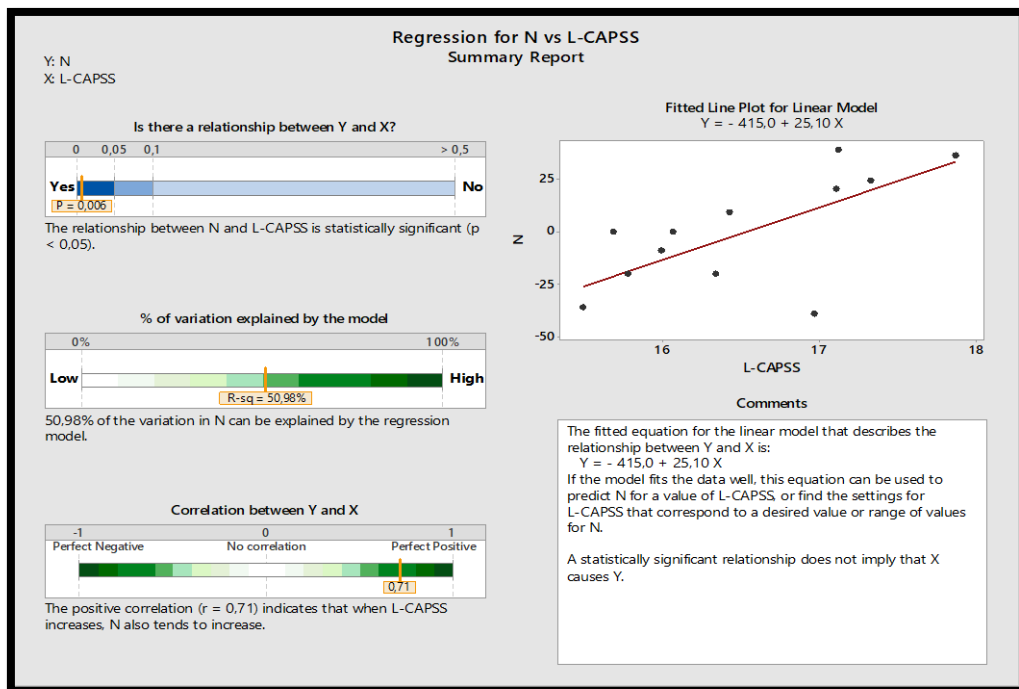


Figura 95 - Minitab – Teste de regressão (L-CAPSS)

L-CAPOSS – Possível hipótese para a correlação:

- ✓ Um dos *highpoints* do pneu a 180º acontece no ponto em que o conjunto contém um desvio lateral. (figura 93)

L-CAPSS – Possível hipótese para a correlação:

- ✓ O segundo *highpoint* acontece a 270º que é correlacionado pelo desvio do conjunto no lado oposto ao DOT. (figura 94)

Não só estes dois pontos são importantes de referir, como também se verificou que, ao aumentar a pressão, o efeito nem sempre se vê com a análise apenas de um parâmetro, mas, pode ocorrer devido à interação de vários.

Possível hipótese para a correlação – Iteração de parâmetros

- ✓ A carcaça quando está sobre excesso de pressão de insuflação e, quando toca no conjunto, o movimento é tão brusco que chega a movimentar os materiais do conjunto (cinta metálica, *capply* e piso). Esta movimentação vai criar desvios no pneu, fazendo com que aumente os radiais (RFPP, RFH1) e também os laterais (LFPP).

Avaliando vários parâmetros a partir dos dados iniciais:

| Largura da 1ª cinta metálica | | | Largura da 2ª cinta metálica | | |
|------------------------------|-----|--------|------------------------------|-----|--------|
| | G11 | mm | | G21 | mm |
| Avg | 0,1 | 227,28 | Avg | 0,1 | 211,35 |
| | 0,4 | 226,56 | | 0,4 | 209,57 |
| | 0,6 | 224,22 | | 0,6 | 208,56 |

| Largura da parede | | | Distância de talão a talão | | |
|-------------------|-------|------|----------------------------|-----|--------|
| | S25SS | mm | | skk | mm |
| Avg | 0,1 | 3,15 | Avg | 0,1 | 473,07 |
| | 0,4 | 2,91 | | 0,4 | 473,32 |
| | 0,6 | 2,61 | | 0,6 | 474,11 |

Figura 96 - Demonstração das médias dos valores dos vários parâmetros ao longo dos 360º dos pneus (0,1 bar, 0,4 bar e 0,6 bar)

A interação de todas estas condicionantes pode provocar uma alteração ao sistema em conjunto com a força de impacto da tela na cinta metálica (acoplamento da carcaça com

o conjunto), pode provocar desvios nos materiais, provocando mesmo uma deformação na carcaça.

Alguns fatores que se correlacionam com o que foi dito anteriormente:

- ✓ A largura da 1ª e a 2ª cinta metálica é menor com o aumento da pressão (G11 e G21);
- ✓ A espessura da parede diminui com o aumento da pressão (parâmetro S25);
- ✓ A distância de tela entre talões a talão aumenta (esticamento) com o aumento da pressão interna da carcaça (skk).

5.4 SÍNTESE DAS MELHORIAS ALCANÇADAS

Problema 1: Montagem e colocação de aparelho de medição no veio da cabeça de expansão

A cada ensaio que era necessário efetuar, a colocação do aparelho que realiza as medições de pressão dentro do pneu na cabeça de expansão era demorado, sendo necessário utilizar uma tira de borracha com tecido têxtil (*capply* que é utilizado na construção do pneu) para se fixar o aparelho ao veio. Quando a tira perdia adesividade, era necessário remover e voltar a aplicar outra, gerando desperdício de material e perda de tempo (ineficiência).

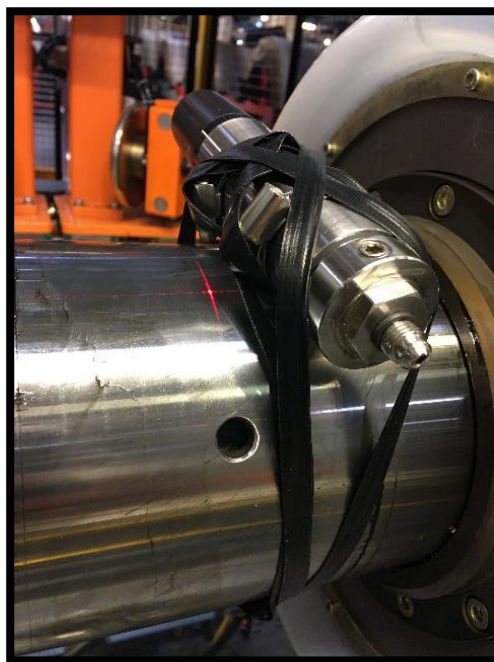


Figura 97 - Fixação do aparelho com tira de borracha (antes)

Melhoria efetuada:

Aproveitando que o veio da cabeça de expansão é de ferro, utilizou-se dois ímanes e aplicou-se no eixo do aparelho. Cada vez que é necessário efetuar uma medição, apenas basta encostar o aparelho ao veio e este fica fixo através dos ímanes.

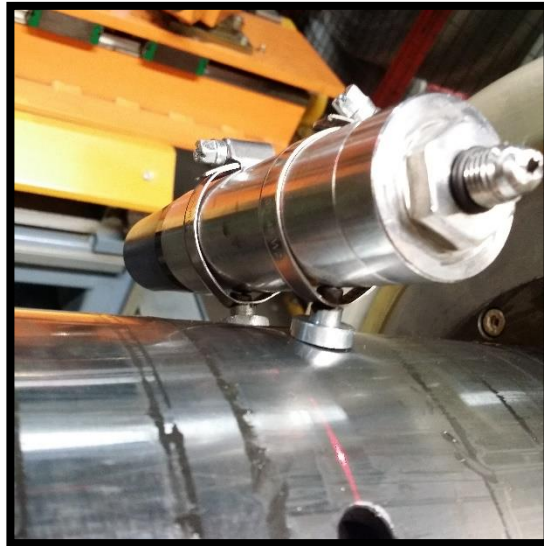


Figura 98 – Melhoria efetuada – Aplicação de ímanes no sensor de pressão (depois)

Problema 2: Necessidade de transportar constantemente o aparelho de medição (possibilidade de analisar gráfico da curva digitalmente na máquina)

Em alguns casos, sentia-se a necessidade de analisar as pressões internas da cabeça de expansão de uma medida que se encontrava em produção numa máquina, mas não se possuía no momento o aparelho e o router para a obtenção da pressão. Existia um programa no computador da máquina que permitia efetuar a leitura da pressão à saída da válvula e, no final conseguir analisar num gráfico de pressão/tempo. No entanto, estes estavam desativados e mal programados.

Melhoria efetuada:

Com a ajuda da equipa de engenharia, programou-se os gráficos de forma a se conseguir analisar todos os parâmetros importantes, tais como:

- Curva de pressão vs. tempo real (linha azul);
- Entrada de cada parâmetro de pressão (1ª, 2ª e 3ª) vs. tempo (segundos) (linha preta);

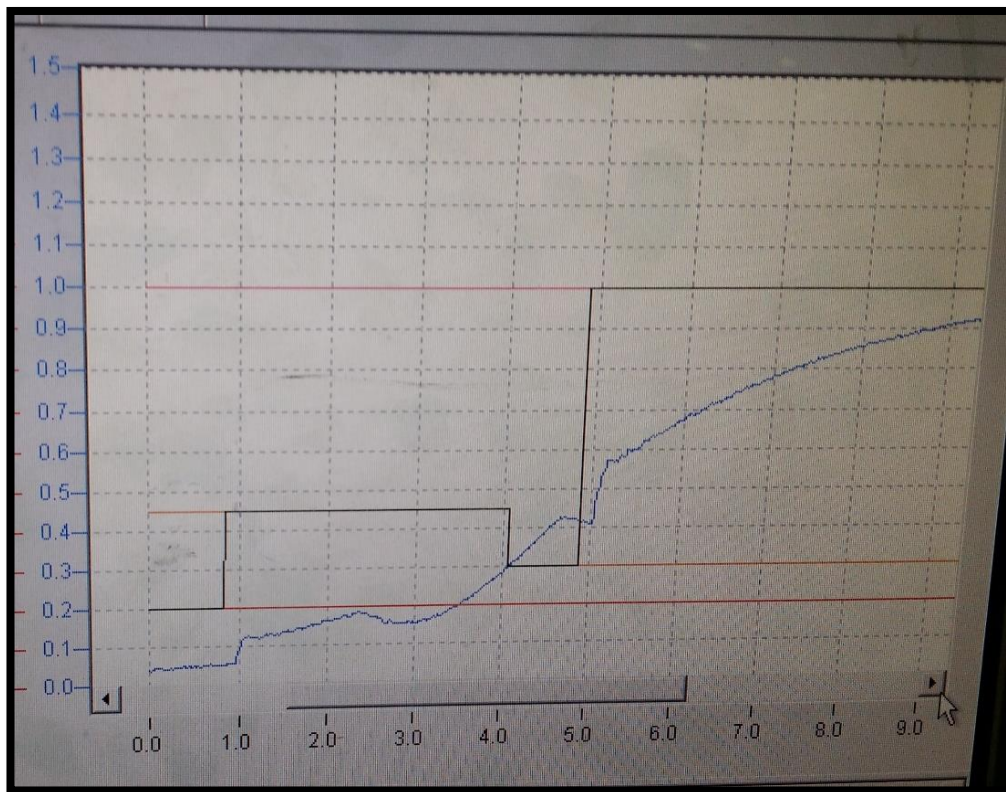


Figura 99 - Gráfico (Scope view) digital de pressão na máquina de construção

Problema 3: Paragem de emergência da máquina

Na máquina de construção, existe um grande número de sensores de segurança que detetam qualquer movimentação por parte das pessoas que se encontram à volta dessa localização. Caso seja detetado algo, estes ativam a paragem de emergência da máquina. No caso de, o anel de transferência estar a transportar o conjunto para a cabeça de expansão e a carcaça já se encontrar a meio do ciclo de pressão, com a paragem de emergência, seria ativada uma pressão de segurança de 0,5 bar, ou seja, independentemente do momento em que é dado a ordem (pelo sensor de segurança) para o anel de transferência parar, a pressão iria reduzir para 0,5 bar, estagnando neste valor, até que o operador manualmente dê ordem para o anel avançar novamente. No entanto, mesmo com 0,5 bar contínuos, em pneus de parede baixa, a pressão era em demasia, havendo a ejeção da carcaça da cabeça de expansão.

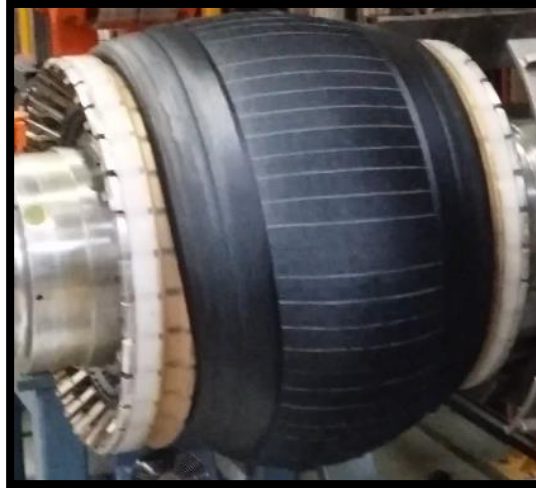


Figura 100 - Ejeção da Carça da cabeça de expansão – pressão 0,5 bar

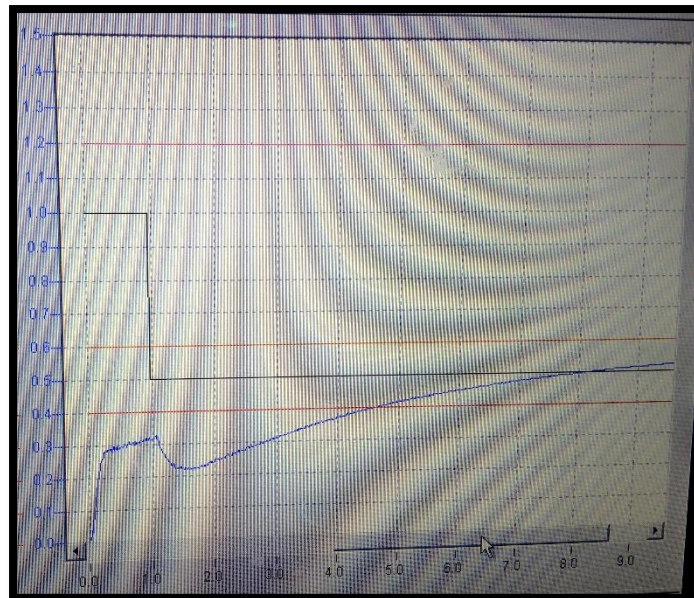


Figura 101 - Momento da paragem do anel de transferência (pressão desce para 0,5 no 1º segundo), sendo que, a pressão continua a subir (azul), provocando a ejeção da carça.

Melhoria efetuada:

Alteração da pressão de segurança de 0,5 bar para 0,2 bar. Esta redução foi suficiente para que estes problemas de ejeção de carça não acontecessem mais.

Esta melhoria reduziu o desperdício de material (carças *scrap*) e perda de tempo de produção, devido à máquina ficar parada até que seja retomado o processo.



Figura 102 - Paragem do anel, com redução da pressão para 0,2 bar

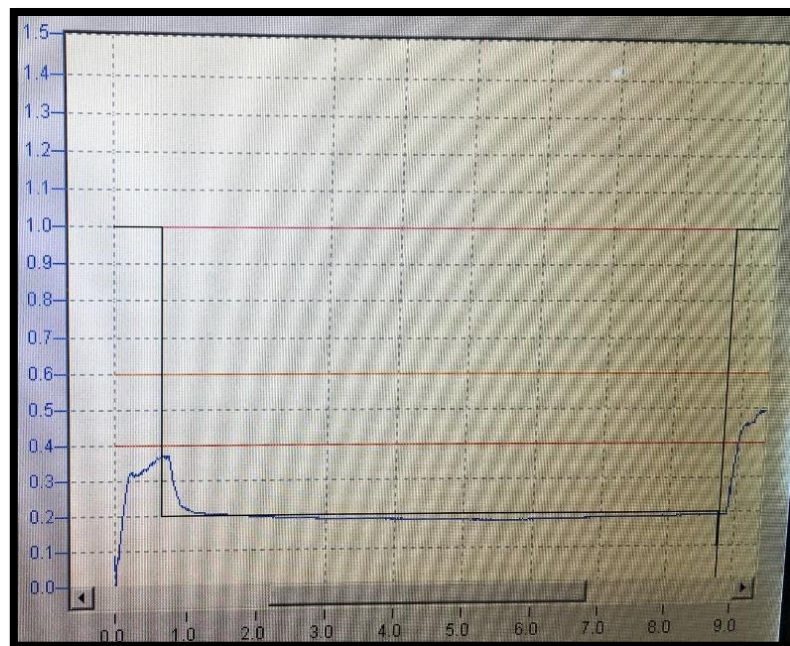


Figura 103 - Visualização gráfica da alteração da pressão de segurança para 0,2 bar

5.5 DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA EM EXCEL

Após os estudos e análises realizados, procedeu-se à implementação da solução final. Desenvolveu-se uma ferramenta em Excel, onde contém todos os parâmetros de pressões otimizadas para cada secção, sendo que a análise é efetuada através de um *template* intuitivo e fácil de usar.

As pressões foram definidas tendo em conta o fator mais importante para a melhoria das forças radiais, nomeadamente o ponto de toque. Através do caudal de ar e do volume interno da carcaça, pode-se encontrar o ponto de toque pretendido. Com o objetivo de definir o ponto de toque igual a 0,4 bar para todas as secções, definiu-se vários grupos de secções, o qual são separadas por grupos de volume de ar necessários para insuflar a carcaça (em litros). Dividiu-se em 9 grupos, sendo que estes estão separados a cada 5 litros de volume de ar. Estes começam em secções com 20 litros, até secções com 72 litros de volume interno.

O público-alvo são os membros do departamento de assistência técnica à produção (DATP) que são as pessoas responsáveis pela criação/manutenção de cada receita de pneu na construção. Para que o fluxo de edição de receitas seja facilitado e mais organizado, as novas pressões otimizadas ficarão numa base de dados de consulta fácil e rápida.

Na figura 100, está representado o *template* para a pesquisa de parâmetros. Esta pesquisa poderá ser efetuada de duas formas:

- Código reduzido (número composto por 3 ou 4 dígitos que está associada a um pneu) (figura 97);
- Secção do pneu (ex.: 245 / 45 / 20) (figura 98).

No canto inferior direito, contém uma imagem em que o objetivo desta é demonstrar a criticidade da secção selecionada, ou seja, caso o ponto de exclamação (!) estiver abaixo da linha vermelha, isto indica que a secção selecionada necessita de uma grande quantidade de volume de ar e, como tal, a probabilidade de existir altos ganhos de otimização é maior.

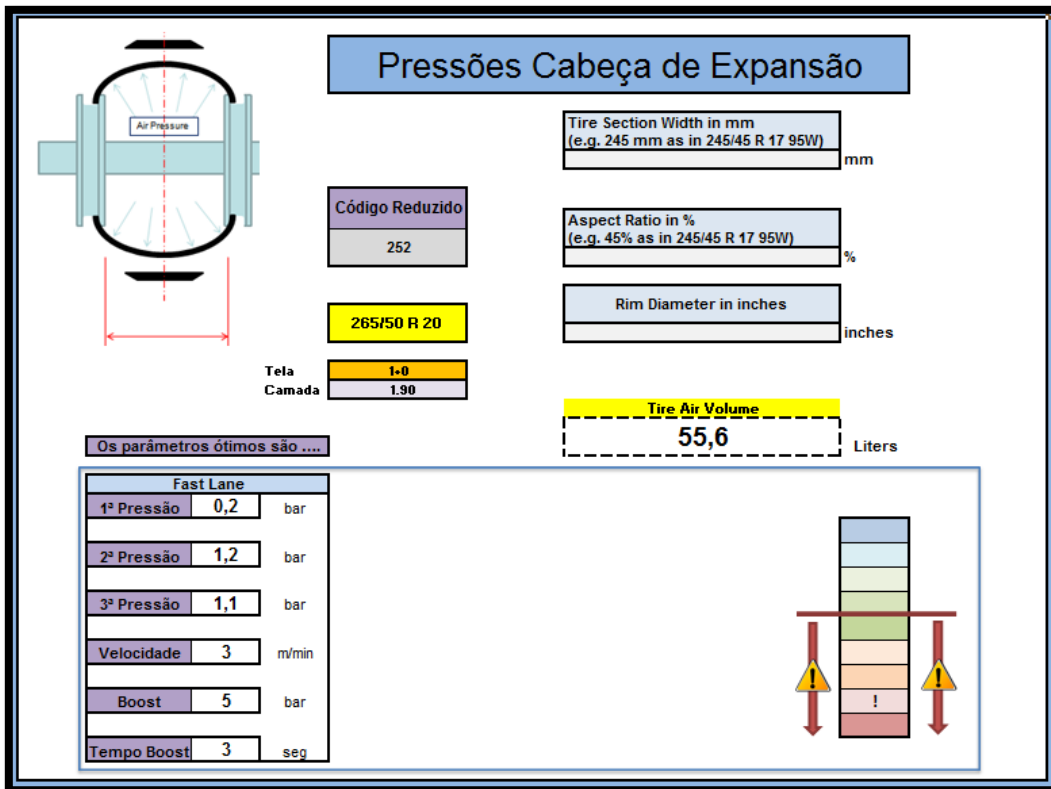


Figura 104 - Aplicação desenvolvida em Excel – Análise por código reduzido.

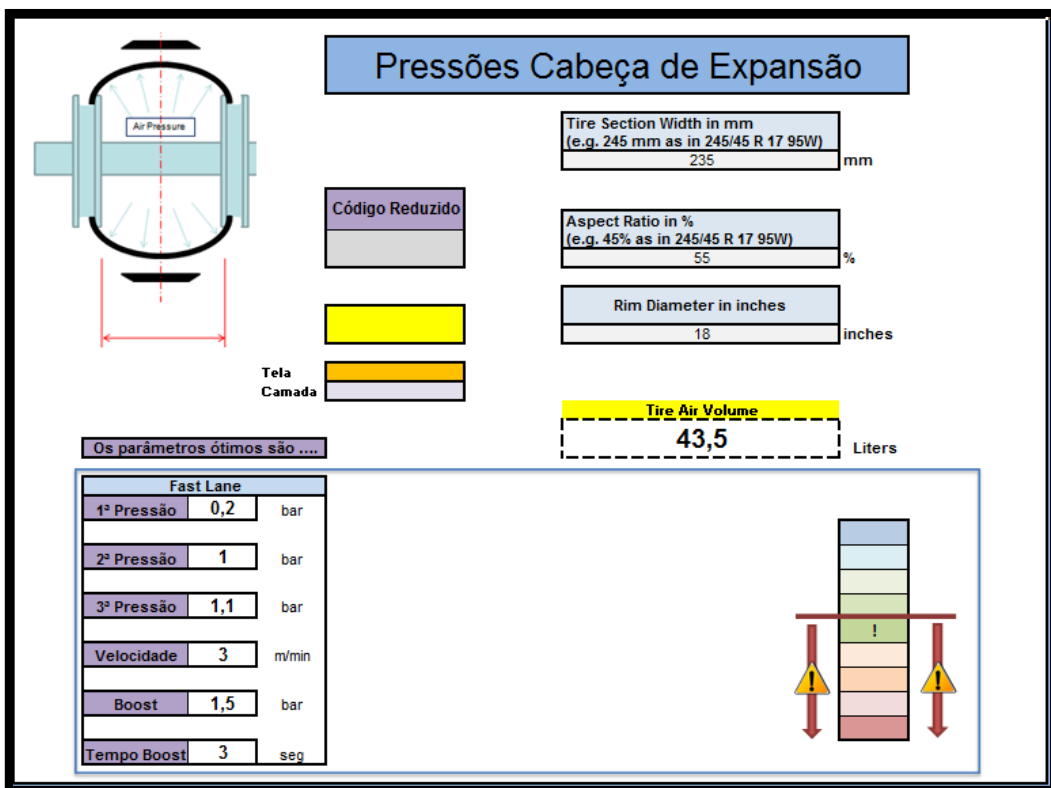


Figura 105 - Aplicação desenvolvida em Excel – Análise por secção pneu

CONCLUSÕES

6 CONCLUSÕES

O objetivo inicial pretendido foi alcançado no final do desenvolvimento deste trabalho. Foi otimizado o processo de acoplamento do conjunto com a carcaça, tendo em conta o volume do pneu. Desenvolveu-se uma ferramenta em Excel contendo todos os parâmetros críticos para o *setup* de receita (pressões) para uso diário do departamento de assistência técnica à produção, responsáveis pela criação das receitas das máquinas de construção.

Verificou-se com o *brainstorming* e através de métodos estatísticos, os fatores significativos no desenrolar do processo de acoplamento. O ponto de toque entre a carcaça e o conjunto foi o fator mais significativo, sendo que a otimização correta desta resultou em melhorias significativas nos valores de forças radiais dos pneus construídos. Verificou-se também que os pneus que necessitam de uma maior quantidade de ar no momento da insuflação da carcaça (grande volume), são os mais afetados a nível de forças radiais caso o ponto de toque não esteja propriamente otimizado. Após os testes efetuados, conclui-se que o valor ideal para a maioria dos casos é 0,4 bar.

Tendo em conta os estudos realizados, foi alcançado em várias medidas, melhorias de 50% no valor de RFH1 (comparando ponto de toque 0,1 bar vs. 0,4 bar), na otimização do processo de acoplamento. Os indicadores de desempenho de qualidade, nomeadamente o *Yield* de uniformidade e a quantidade de *Scraps*, vão ter ganhos com estas alterações. Estes ganhos podem variar, tendo em conta a quantidade de medidas de grande volume, que estão em produção e os clientes para que estes estão destinados, sendo que os limites definidos por estes, podem variar *Yield* obtido (ex.: se os limites são altos, o *Yield* vai ser de 100% independentemente da melhoria neste processo), logo, o mais correto é verificar a melhoria que se alcançou no valor de RFH1, que essa sim demonstra a otimização real para este processo, com o suporte desta dissertação.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

7 REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS

- Ahmad, S. W., Zafar, M. S., Ahmad, S., & Mohsin, M. (2018). Dye removal from textile waste water using potato starch : parametric optimization using Taguchi design of experiments, *44*(2), 26–31. <https://doi.org/10.24425/119703>
- Aslan, E., Camuşcu, N., & Birgören, B. (2007). Design optimization of cutting parameters when turning hardened AISI 4140 steel (63 HRC) with Al₂O₃+ TiCN mixed ceramic tool. *Materials and Design*, *28*(5), 1618–1622. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2006.02.006>
- Barrado, E., Vega, M., Pardo, R., Grande, P., & Del Valle, J. L. (1996). Optimisation of a purification method for metal-containing wastewater by use of a Taguchi experimental design. *Water Research*, *30*(10), 2309–2314.
- Box, G. E. P. (1952). Statistical design in the study of analytical methods. *Analyst*, *77*(921), 879–891.
- Box, G. E. P., & Behnken, D. W. (1960). Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics*, *2*(4), 455–475.
- Brady, J. E., & Allen, T. T. (2006). Six Sigma literature: a review and agenda for future research. *Quality and Reliability Engineering International*, *22*(3), 335–367.
- Cavazzuti, M. (2013). Design of experiments. In *Optimization Methods* (pp. 13–42). Springer.
- Chan, C. C., Hsu, W. C., Chang, C. C., & Hsu, C. S. (2010). Preparation and characterization of gasochromic Pt/WO₃ hydrogen sensor by using the Taguchi design method. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, *145*(2), 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2010.01.021>
- Charles E. Ophardt. (2003). Rubber Polymers. Retrieved April 27, 2018, from <http://chemistry.elmhurst.edu/vchembook/403rubber.html>
- Choi, S. H., & Lyu, M. Y. (2017). A study of rubber flow in a mold during the tire shaping process using experiment and computer simulation. *Polymer Testing*, *61*, 258–268. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.05.030>
- Conti Machinery. (2014). Shapingboost at 2nd stage.
- Continental AG. (2018a). History of the Passenger Tire | Continental. Retrieved February 26, 2018, from <http://www.continentaltire.com/content/history-passenger-tire>
- Continental AG. (2018b). Pneus de Veículos de Passageiros e Comerciais Ligeiros. Retrieved January 16, 2018, from <https://www.continental-pneus.pt/ligeiros/empresa/sobre-nós/unidades-negócio-pneus/unidades-negócio-pneus>
- Czitrom, V. (1999). One-factor-at-a-time versus designed experiments. *The American Statistician*, *53*(2), 126–131.
- Daneshvar, N., Khataee, A. R., Rasoulifard, M. H., & Pourhassan, M. (2007). Biodegradation of dye solution containing Malachite Green: Optimization of effective parameters using Taguchi method. *Journal of Hazardous Materials*, *143*(1–2), 214–219. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.016>
- Davis, R., & John, P. (2018). World ' s largest Science , Technology & Medicine Open Access book publisher Application Application of of Taguchi-Based Taguchi-Based Design Design of of Experiments Experiments for Industrial Chemical Processes. *Statistical Approahces With Emphasis on Design of Experiments Applied to Chemical Processes*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69501>
- Dean, E. B., & Unal, R. (1991). Presented at the 1991 Annual Conference of the International Society of Parametric Analysts. *Taguchi Approach To Design Optimization for Quality and Cost: An Overview*, 1–10.

- Di Lorenzo, R. A. (1990). The Monetary Loss Function—Or why we Need TQM. *Journal of Parametrics*, 10(3), 83–91. <https://doi.org/10.1080/10157891.1990.10462488>
- Elshennawy, A. K. (2004). Quality in the new age and the body of knowledge for quality engineers. *Total Quality Management & Business Excellence*, 15(5–6), 603–614.
- Fisher, R. A. (1925). *Statistical methods for research workers*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Fu, P., Wang, C. S., Zhang, D. W., Bian, H. G., & Pu, Z. (2010). Effect of Vulcanization and Shaping Process on Radial Force Variation of TBR Tire. In *Advanced Materials Research* (Vol. 87, pp. 504–508). Trans Tech Publ.
- Gopalsamy, B. M., Mondal, B., & Ghosh, S. (2009). Taguchi method and anova: An approach for process parameters optimization of hard machining while machining hardened steel. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 68(8), 686–695.
- Lye, L. M. (2005). *Tools and toys for teaching design of experiments methodology*.
- Mabor, C. (2018). O Grupo Continental. Retrieved April 25, 2018, from <http://contimaboronline/gca/?id=405>
- Manuel Morato Gomes. (2008). Introdução aos Polímeros, Elastómeros e Borrachas. Retrieved April 27, 2018, from <http://www.rubberpedia.com/borrachas/borrachas.php>
- Moita, N. (2007). Implementação do método Taguchi e análise de experiências na fase de testes de moldes para injeção de plásticos Nuno Filipe Vital Curates Moita Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.
- Monitor, A. (AFIA). (2018). Continental Mabor com 878 milhões de euros de faturação em 2017 - AFIA - Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel. Retrieved May 12, 2018, from <https://afia.pt/continental-mabor-878-milhoes-faturacao-2017/>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- Ng, E. Y. K., & Ng, W. K. (2006). Parametric study of the biopotential equation for breast tumour identification using ANOVA and Taguchi method. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44(1), 131–139. <https://doi.org/10.1007/s11517-005-0006-0>
- Parker, D. (2011). *Forming Process Optimization*.
- Plackett, R. L., & Burman, J. P. (1946). The design of optimum multifactorial experiments. *Biometrika*, 305–325.
- Romero-Villafranca, R., Zúnica, L., & Romero-Zúnica, R. (2007). Ds-optimal experimental plans for robust parameter design. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 137(4), 1488–1495.
- Solutions, S. (2013). What is Linear Regression? - Statistics Solutions. Retrieved May 6, 2018, from <http://www.statisticssolutions.com/what-is-linear-regression/>
- Sreenivasulu, R., & SrinivasaRao, C. (2018). Optimization of machining parameters during Drilling by Taguchi based Design of Experiments and Validation by Neural Network. *Brazilian Journal of Operations & Production Management*, 15(2), 294–301. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2018.v15.n2.a11>
- Taguchi, G., & Wu, Y. T. (1980). Introduction to off-line quality control, 1980. *Central Japan Quality Control Association, Nagoya, Japan*, 49–67.
- Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Ghani, J. A., & Lee, K. F. (2007). Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 695–700. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.06.030>
- Tasirin, S. M., Kamarudin, S. K., Ghani, J. A., & Lee, K. F. (2007). Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 695–700.
- Tsai, T. N. (2011). Improving the fine-pitch stencil printing capability using the Taguchi method and Taguchi fuzzy-based model. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27(4), 808–817. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2011.01.002>

- Wu, C. H., & Chen, W. S. (2006). Injection molding and injection compression molding of three-beam grating of DVD pickup lens. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 125(2), 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2005.07.025>
- Zahraee, S. M., Hatami, M., Bavafa, A. A., Ghafourian, K., & Rohani, J. M. (2014). Application of Statistical Taguchi Method to Optimize Main Elements in the Residential Buildings in Malaysia Based Energy Consumption. *Applied Mechanics and Materials*, 606, 265–269. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.606.265>
- Phadke, S. M., 1989. *Quality Engineering Using Robust Design*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Bryne, D., M. and Taguchi, S., 1986, "The Taguchi Approach to Parameter Design", ASQC Quality Congress Transactions, Anaheim, CA, p 168.
- Wille, R., 1990, "Landing Gear Weight Optimization Using Taguchi Analysis", Paper presented at the 49th Annual International Conference of Society of Allied Weight Engineers Inc, Chandler, AR.
- Taguchi, G., 1986. *Introduction to Quality Engineering*, Asian Productivity Organization (Distributed by American Supplier Institute Inc., Dearborn, MI)

ANEXOS

8 ANEXOS

Neste capítulo estão representados as tabelas, gráficos e estudos que foram realizados ao longo desta dissertação.

ANEXO 1 – Diagrama Causa-Efeito (*Brainstorming*)

