



# INFLUÊNCIA DA TENSÃO NA CORDA NA PRODUÇÃO DE CAP PLY E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO

**CARLOS DIOGO MARTINS COSTA**

novembro de 2018

# INFLUÊNCIA DA TENSÃO NA CORDA NA PRODUÇÃO DE *CAP PLY* E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO

Carlos Diogo Martins Costa  
1120286

**2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



# INFLUÊNCIA DA TENSÃO NA CORDA NA PRODUÇÃO DE *CAP PLY* E OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO

Carlos Diogo Martins Costa  
1120286

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 Francisco José Gomes da Silva.

**2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

Doutor Rui Pedro Cardoso da Silva Martinho  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Orientador**

Doutor Francisco José Gomes da Silva  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Coorientador**

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho  
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

## **Arguente**

Doutora Teresa Margarida Guerra Pereira Duarte  
Professora Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



## AGRADECIMENTOS

Concluído este trabalho, que se traduz no terminar de mais um ciclo que exigiu bastante dedicação e trabalho, quero deixar o meu agradecimento...

Ao engenheiro Francisco Silva, por acreditar em mim, no meu trabalho e valor. Pela motivação transmitida, dedicação e seriedade com que trata cada aluno.

Ao engenheiro Pedro Neves, pelo enorme apoio diário e conhecimentos transmitidos. Pelo seu bom carácter e por tornar este projeto numa enorme experiência pessoal e profissional.

Ao engenheiro Rui Guedes e equipa do *tooling*, pela boa disposição, ajuda e pelo respeito com que encararam o projeto e a mim.

À equipa Continental Mabor e aos colegas de gabinete, pelo ótimo ambiente de trabalho e por me fazerem sentir um deles.

Aos meus pais e irmã, por gerarem as condições necessárias a que todo o trabalho fosse possível. Pelo suporte, compreensão e valores com os quais me educaram.

Aos meus amigos, pelos bons momentos e interesse no meu bem-estar.

À Catarina, pelo carinho e gosto com que sempre me acompanhou. Por me ouvir, compreender e apoiar em todas as situações.



## PALAVRAS CHAVE

Qualidade; Desenrolamento de cordas têxteis; Tensão de cordas têxteis; *Cap ply*; *Cap-strip*; Processo de fabrico; Otimização; Cordas partidas; Fabrico de pneus.

## RESUMO

Os conhecimentos profundos dos processos de fabrico, bem como a sua otimização, apresentam-se como fatores imprescindíveis na busca da melhor qualidade de produtos. É esta ótica de melhoria contínua que torna as empresas em organizações rentáveis e sustentáveis.

Esta dissertação apresenta um estudo de processo realizado na empresa Continental Mabor-Indústria de Pneus S.A., em parceria com o Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).

O presente documento expõe um estudo sobre as tensões de desenrolamento das cordas têxteis no processo de fabrico de *cap ply*, utilizando as máquinas chamadas de *cap-strips* para a sua produção. Este estudo determina qual a influência das tensões de desenrolamento nas propriedades físicas e de contração da corda, assim como nas propriedades do *cap ply*, nomeadamente a adesão em verde e *peel adhesion*. Para além disso, também é estudado o impacto das tensões de corda na uniformidade do pneu e no próprio processo de fabrico. Todas as conclusões retiradas têm como base a realização de experiências e execução de testes estatísticos. Com esta dissertação, concluiu-se que as tensões de desenrolamento das cordas têxteis têm algum impacto nas propriedades do *cap ply*, mas não têm qualquer influência na uniformidade do pneu.

Paralelamente ao estudo do processo, foi realizada uma tentativa de otimização do processo de fabrico, com o intuito de reduzir tempos de paragem do processo e quantidade de sucata. Esta melhoria do processo passa pela implementação de um sistema de alinhamento das cordas têxteis, com o objetivo de reduzir a quantidade de cordas partidas.



## KEYWORDS

*Quality; Unwinding of textile cords; Textile cord tension; Cap ply; Cap-strip; Manufacturing process; Optimization; Broken cords; Tire manufacturing.*

## ABSTRACT

*The deep knowledge about manufacturing processes, as well as their optimization, present themselves as indispensable factors in the search for the best product quality. It is this point of view of continuous improvement that makes companies in profitable and sustainable companies.*

*This dissertation presents a process study carried out at Continental Mabor-Indústria de Pneus S.A., in partnership with the Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP).*

*This work presents a study about unwinding tension of textile cords in the cap ply manufacturing process, using machines called cap-strips for production. This study determines the influence of unwinding tension on the physical and shrinkage properties of the cord, as well as on the properties of cap ply, namely green adhesion and peel adhesion. Furthermore, the impact of cord tension on tire uniformity and the manufacturing process itself is also studied. All conclusions are based on the performed experiments and the execution of statistical tests. With this dissertation, it was concluded that the unwinding tension of the textile cords have some impact on the cap ply properties but have no influence on the tire uniformity.*

*Parallel to the study of the process, an attempt was made to optimize the manufacturing process, to reduce downtimes and the amount of scrap. This improvement of the process involves the implementation of a system to align the textile cords, with the goal of reducing the quantity of broken cords.*



## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

### Lista de Abreviaturas

AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
ANOVA	Análise de variância
Apex	Máquina aplicadora de cunhas
CS01	Máquina <i>cap-strip</i> 1
CS02	Máquina <i>cap-strip</i> 2
CS03	Máquina <i>cap-strip</i> 3
CT	Máquina de construção de talões
DATP	Departamento de Apoio Técnico à Produção
EUA	Estados Unidos da América
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
ITA	Indústria Têxtil do Ave
KM	<i>Karkasse maschine</i>
PA 6.6	Poliamida 6.6
PET	Politereftalato de etileno
PTFE	Politetrafluoretileno
PU	<i>Prodution unit</i>
S.A.	Sociedade anónima

### Lista de Unidades

bar	bar (Unidade de pressão)
cN	Centinewton
daN	Decanewton
dtex	Densidade das cordas têxteis
g	Gramma
h	Hora
kg	Quilograma
m	Metro
min	Minuto
mm	Milímetro
N	Newton
rad	Radiano
s	Segundo
°C	Graus celsius

---

 Lista de Símbolos
 

---

$H$	Comprimento da bobina [m]
$I_G$	Momento de inércia relativamente ao eixo de rotação que passa no centro de massa G [kg·m <sup>2</sup> ]
$K$	Constante elástica da mola [N/m]
$M$	Quantidade de corda presente em cada raio da bobina [m]
$M_{corda}$	Momento provocado pela tensão na corda [N.m]
$M_{travagem}$	Momento de travagem [N.m]
$N$	Número de voltas que a corda dá em torno da bobina
$P$	Pré-carga da mola [N]
$r_1$	Raio da bobina [m]
$r_2$	Raio da superfície circular onde é aplicada a correia [m]
$s$	Espessura da corda têxtil [m]
$T$	Tensão na corda [N]
$T_2$	Força exercida pela mola [N]
$T_3$	Força exercida pela correia na extremidade conectada à estrutura da máquina [N]
$V_{linear}$	Velocidade linear da corda [m/s]
$x$	Deslocamento da mola [m]
$\alpha$	Aceleração angular da bobina [rad/s <sup>2</sup> ]
$\omega$	Velocidade angular da bobina [rad/s]
%	Porcentagem
“	Polegada
°	Grau
$\mu$	Coefficiente de atrito

---

## GLOSSÁRIO DE TERMOS

<i>Breaker</i>	Cinta metálica
<i>Cap ply</i>	Cinta têxtil em espiral
<i>Cap-strip</i>	Máquina para fabrico de <i>cap ply</i>
<i>Creel</i>	Estrutura da máquina <i>cap-strip</i> onde são colocadas e desenroladas as bobinas de corda têxtil
EPDM	Número de cordas contidas num decímetro de tecido têxtil em material calandrado
<i>Innerliner</i>	Máquina de produção de camada de borracha
Pneu em verde	Pneu construído antes da vulcanização
<i>Setup</i>	Configuração ou preparação da máquina
Tensão	O termo tensão é considerado como a força de tração medida na corda, em Newton
Tensiómetro	Aparelho eletrónico para medir a tensão das cordas



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - METODOLOGIA DE TRABALHO - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS.	29
FIGURA 2 - LAYOUT ESQUEMÁTICO DOS DIFERENTES TIPOS DE PNEUS [5].	34
FIGURA 3 - SECÇÃO DE CORTE DE UM PNEU RADIAL DE UM AUTOMÓVEL DE PASSAGEIROS [4].	35
FIGURA 4 - MÁQUINA DE ENSAIOS À CONTRACÇÃO DA CORDA TÊXTIL POR AÇÃO DO CALOR [8].	39
FIGURA 5 - CORDA COLOCADA EM GRAMPOS PARA ENSAIO DE TRAÇÃO [8].	39
FIGURA 6 - MÁQUINA DE ENSAIOS DE TRAÇÃO UTILIZADA PARA REALIZAR TESTES ÀS PROPRIEDADES FÍSICAS, ADESÃO EM VERDE E <i>PEEL ADHESION</i> [8].	40
FIGURA 7 - ESQUEMA DA AMOSTRA PARA REALIZAÇÃO DO TESTE À <i>PEEL ADHESION</i> [10].	40
FIGURA 8 - EIXOS DAS FORÇAS PRESENTES NO PNEU [4].	41
FIGURA 9 - ONDA E HARMÓNICOS RESULTANTES DOS TESTES DE UNIFORMIDADE [12].	42
FIGURA 10 - EXEMPLO DE UMA MÁQUINA DE TESTES DE UNIFORMIDADE [13].	43
FIGURA 11 - PERCENTAGEM TÍPICA DE CADA MATERIAL PRESENTE NUM PNEU, POR PESO [3].	43
FIGURA 12 - EXEMPLO DE UM TECIDO TÊXTIL PARA O REFORÇO DE PNEUS [18].	45
FIGURA 13 - CURVAS CARACTERÍSTICAS DE TENACIDADE-DEFORMAÇÃO PARA OS DIVERSOS MATERIAIS DE REFORÇO [21].	47
FIGURA 14 - TIPOS DE ENROLAMENTO DE CORDA EM BOBINAS MAIS COMUNS.	47
FIGURA 15 - BOBINA COM DUAS FLANGES [23].	48
FIGURA 16 - BOBINA COM (A) ENROLAMENTO ALEATÓRIO E (B) ENROLAMENTO PRECISO [24].	49
FIGURA 17 - DIAGRAMA DE FORÇAS PRESENTES NO PRINCÍPIO ADITIVO [23].	50
FIGURA 18 - SISTEMA DE DISCOS TENSORES DA MARCA ASCOTEX [26].	50
FIGURA 19 - PRINCÍPIO MULTIPLICATIVO DE TENSÃO COM VÁRIOS CILINDROS DE CONTACTO [23].	52
FIGURA 20 - TENSÃO NA CORDA RESPONSÁVEL POR RODAR A BOBINA [25].	54
FIGURA 21 - CONTROLADOR DE TENSÃO MECÂNICO DA MARCA TEXMER [28].	54
FIGURA 22 - ESQUEMA DE UM SISTEMA DE CONTROLO DE TENSÃO COMPUTADORIZADO DA MARCA MOLTAVO [30].	56
FIGURA 23 - DIAGRAMA DO VALOR-P OBTIDO ATRAVÉS DO MINITAB.	61
FIGURA 24 - LOGOTIPO CONTINENTAL (FONTE: INTRANET - CONTINENTAL).	65
FIGURA 25- INSTALAÇÕES DA CONTINENTAL MABOR - INDÚSTRIA DE PNEUS S.A. (FONTE: SETE – LOUSADO NEWSLETTER Nº 11/2018).	67
FIGURA 26 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE FABRICO (FONTE: CONTINENTAL MABOR).	69
FIGURA 27 - EXEMPLO DE <i>CAP PLY</i> TORCIDO.	69
FIGURA 28 - EXEMPLOS DE CORDAS PARTIDAS DURANTE O PROCESSO.	70
FIGURA 29 - <i>CAP PLY</i> COM DISTRIBUIÇÃO NÃO UNIFORME DAS CORDAS DE REFORÇO.	70
FIGURA 30 - <i>CAP PLY</i> NÃO CONFORME POR MÁ IMPREGNAÇÃO DE BORRACHA PROVOCADA POR CORDA PARTIDA.	70
FIGURA 31 - TIRA COM BOA DISTRIBUIÇÃO DE CORDAS (A) E TIRA COM MÁ DISTRIBUIÇÃO DE CORDAS (B) APÓS O ENROLAMENTO.	71
FIGURA 32 - DIAGRAMA CAUSA-EFEITO PARA O PROBLEMA DE CORDAS PARTIDAS.	76

FIGURA 33 - ILUSTRAÇÃO DE UMA CORDA EM POSIÇÃO DE MEDIDA, E O RESPECTIVO ÂNGULO COM A HORIZONTAL.	84
FIGURA 34 - DESENROLAMENTO DE BOBINA DE CORDA TÊXTIL.	86
FIGURA 35 - REPRESENTAÇÃO DAS FORÇAS PRESENTES NO DESENROLAMENTO.	86
FIGURA 36 - ESTIMATIVA DO RAIOS EM FUNÇÃO DOS METROS DE CORDA TÊXTIL DESENROLADOS.	88
FIGURA 37 - VARIAÇÃO DO MOMENTO DE INÉRCIA COM O RAIOS EXTERIOR DA BOBINA.	89
FIGURA 38 - VARIAÇÃO DA VELOCIDADE ANGULAR COM O TEMPO.	90
FIGURA 39 - VARIAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR COM O TEMPO.	90
FIGURA 40 - VARIAÇÃO DA ACELERAÇÃO ANGULAR COM O RAIOS EXTERIOR DA BOBINA.	91
FIGURA 41 - VARIAÇÃO DA TENSÃO TEÓRICA E REAL COM O RAIOS EXTERIOR DA BOBINA.	93
FIGURA 42 - VARIAÇÃO DA TENSÃO TEÓRICA E REAL COM O DESLOCAMENTO DA MOLA.	93
FIGURA 43 - VALORES DE TENSÃO DA PRIMEIRA AMOSTRA RETIRADA DA MÁQUINA CS03.	96
FIGURA 44 - MOLAS COM DIFERENTES CARACTERÍSTICAS E ESTADOS DE CONSERVAÇÃO.	97
FIGURA 45 - REPRESENTAÇÃO DOS DADOS ATÍPICOS EM RELAÇÃO AOS RESTANTES VALORES DAS AMOSTRAS.	98
FIGURA 46 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES COM A DIMINUIÇÃO DO RAIOS DA BOBINA NAS MÁQUINAS CS01 E CS03.	100
FIGURA 47 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES COM A DIMINUIÇÃO DO RAIOS DA BOBINA NA MÁQUINA CS02.	101
FIGURA 48 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES POR LINHA DO CREEL NA MÁQUINA CS01.	102
FIGURA 49 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES POR ZONA DO CREEL NA MÁQUINA CS01.	102
FIGURA 50 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES POR LINHA DO CREEL NA MÁQUINA CS02.	103
FIGURA 51 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES POR ZONA DO CREEL NA MÁQUINA CS02.	103
FIGURA 52 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES POR LINHA DO CREEL NA MÁQUINA CS03.	104
FIGURA 53 - VARIAÇÃO DAS TENSÕES POR ZONA DO CREEL NA MÁQUINA CS03.	104
FIGURA 54 - REPRESENTAÇÃO DAS POSIÇÕES DO CREEL QUE PROVOCAM MAIS TENSÃO (VERDE) E MENOS TENSÃO (AZUL).	105
FIGURA 55 - AMOSTRA DE CAP PLY COM UMA TENSÃO MÉDIA DE DESENROLAMENTO DE 14,17 N.	108
FIGURA 56 - AMOSTRA DE CAP PLY COM UMA TENSÃO MÉDIA DE DESENROLAMENTO DE 21,32 N.	108
FIGURA 57 - PLACA PERFURADA ENTRE O CREEL E O CABEÇOTE DA MÁQUINA.	121
FIGURA 58 - NOVA PLACA PERFURADA PARA ALINHAR AS CORDAS NA LARGURA.	121
FIGURA 59 - TESTE DE ALINHAMENTO DE CORDAS COM PROTÓTIPO DO SISTEMA DE ROLOS E NOVA PLACA PERFURADA.	122
FIGURA 60 - SISTEMA DE ROLOS FABRICADO E MONTADO.	125
FIGURA 61 - DIFERENÇAS DA DISTÂNCIA DOS ROLOS AO CABEÇOTE EM TESTE COM PROTÓTIPO (A) E NOS RESTANTES TESTES (B).	128

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - FUNÇÃO DE CADA COMPONENTE PRESENTE NO PNEU RADIAL (ADAPTADO [7]).	35
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DE DESEMPENHO TESTADAS NOS PNEUS [4].	38
TABELA 3 - EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE QUALIDADE [31].	57
TABELA 4 - AS SETE FERRAMENTAS BASE DA QUALIDADE (ADAPTADO [33]).	58
TABELA 5 - ALGUNS TESTES ESTATÍSTICOS UTILIZADOS PARA O ESTUDO DOS PROCESSOS DE FABRICO.	60
TABELA 6 - EMPRESAS DO GRUPO CONTINENTAL EM PORTUGAL.	66
TABELA 7 - DESCRIÇÃO DOS DEPARTAMENTOS DE PRODUÇÃO.	68
TABELA 8 - DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO DE <i>CAP PLY</i> UTILIZADO NAS <i>CAP-STRIPS</i> .	72
TABELA 9 - PARÂMETROS GERAIS DO PROCESSO DE FABRICO DE <i>CAP PLY</i> NAS <i>CAP-STRIPS</i> E ESPECIFICAÇÕES.	75
TABELA 10 - EXPLICAÇÃO DAS CAUSAS CONSIDERADAS MAIS CRÍTICAS PARA A OCORRÊNCIA DE CORDAS PARTIDAS.	77
TABELA 11 - APARELHO ELETRÓNICO DE MEDIÇÃO DE TENSÕES EM FIOS/CORDAS.	83
TABELA 12 - DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE TRAVAGEM NO DESENROLAMENTO DAS BOBINAS DE CORDA TÊXTIL.	85
TABELA 13 - CARACTERÍSTICAS DE ALGUMAS MOLAS PRESENTES NA <i>CAP-STRIP 1</i> NO <i>CREEL</i> ESQUERDO.	92
TABELA 14 - FATORES A CARACTERIZAR COM AS MEDIÇÕES DE TENSÃO.	94
TABELA 15 - PLANEAMENTO DAS MEDIÇÕES.	95
TABELA 16 - DADOS DA PRIMEIRA AMOSTRA DE TENSÃO.	96
TABELA 17 - TESTES ESTATÍSTICOS REALIZADOS PARA COMPARAÇÃO ENTRE MÁQUINAS.	97
TABELA 18 - MÉDIAS, DESVIOS PADRÃO E DISTRIBUIÇÃO DAS TENSÕES EM CADA MÁQUINA.	98
TABELA 19 - ANÁLISE DOS TESTES ESTATÍSTICOS REALIZADOS ÀS TENSÕES PRESENTES EM CADA MÁQUINA.	99
TABELA 20 - CARACTERÍSTICAS DA MOLA DE TESTE.	106
TABELA 21 - CONDIÇÕES NECESSÁRIAS PARA OBTER AS TENSÕES DE TESTE PRETENDIDAS.	107
TABELA 22 - TENSÕES NAS CORDAS UTILIZADAS PARA O ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO MATERIAL.	107
TABELA 23 - MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO RESULTANTES DAS EXPERIÊNCIAS REALIZADAS ÀS PROPRIEDADES DO MATERIAL.	109
TABELA 24 - ANÁLISE DOS TESTES ESTATÍSTICOS REALIZADOS ÀS PROPRIEDADES DO MATERIAL.	110
TABELA 25 - TESTES ESTATÍSTICOS REALIZADOS PARA COMPARAR OS PARÂMETROS DA UNIFORMIDADE.	115
TABELA 26 - MÉDIAS E DESVIOS PADRÃO DAS PROPRIEDADES DA UNIFORMIDADE ANALISADAS.	115
TABELA 27 - RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS REALIZADOS AOS PARÂMETROS DA UNIFORMIDADE.	116
TABELA 28 - RESUMO DO NÚMERO DE CORDAS PARTIDAS E PARAGENS DO PROCESSO.	119
TABELA 29 - SOLUÇÕES PARA ALINHAR AS CORDAS EM ALTURA.	121
TABELA 30 - DESCRIÇÃO DO PROJETO DO SISTEMA DE ROLOS.	124
TABELA 31 - TESTES REALIZADOS AO SISTEMA DE ALINHAMENTO DE CORDAS EM ESTUDO.	126

TABELA 32 - BALANÇO DOS OBJETIVOS INICIALMENTE PROPOSTOS.132

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>27</b>
<b>1.1</b>	<b>Contextualização .....</b>	<b>27</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>28</b>
<b>1.3</b>	<b>Metodologia utilizada.....</b>	<b>28</b>
<b>1.4</b>	<b>Estrutura da dissertação .....</b>	<b>30</b>
<b>1.5</b>	<b>Empresa de acolhimento .....</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>33</b>
<b>2.1</b>	<b>O pneu.....</b>	<b>33</b>
2.1.1	Componentes do pneu radial .....	35
2.1.2	Teste de pneus .....	37
2.1.2.1	Testes laboratoriais aos componentes têxteis .....	38
2.1.2.1.1	Contração por ação do calor .....	38
2.1.2.1.2	Propriedades à tração .....	39
2.1.2.1.3	Adesão em verde .....	40
2.1.2.1.4	Peel adhesion .....	40
2.1.2.2	Uniformidade do pneu.....	41
<b>2.2</b>	<b>O têxtil na indústria de pneus.....</b>	<b>43</b>
2.2.1	Fabrico dos reforços têxteis .....	44
2.2.2	Materiais utilizados no fabrico de reforços têxteis .....	45
2.2.3	Enrolamento de bobinas de corda têxtil .....	47
2.2.3.1	Enrolamento em paralelo .....	48
2.2.3.2	Enrolamento cruzado.....	49
2.2.4	Tensões de desenrolamento das cordas têxteis .....	50
2.2.4.1	Princípio aditivo .....	50
2.2.4.2	Princípio multiplicativo .....	51
2.2.4.3	Desenrolamento ao centro .....	52
2.2.4.3.1	Momento de desenrolamento.....	53
2.2.4.3.2	Momento de travagem .....	54
<b>2.3</b>	<b>Qualidade.....</b>	<b>56</b>
2.3.1	Ferramentas base da qualidade .....	57
2.3.2	Melhoria dos processos.....	60
<b>3</b>	<b>APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>65</b>

<b>3.1</b>	<b>Apresentação da empresa .....</b>	<b>65</b>
3.1.1	Continental AG .....	65
3.1.2	Continental Mabor .....	66
<b>3.2</b>	<b>Caracterização do problema .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3</b>	<b>Descrição do processo de fabrico de <i>cap ply</i> .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4</b>	<b>Ishikawa (causas-raiz) .....</b>	<b>75</b>
<b>3.5</b>	<b>Geração de ideias .....</b>	<b>78</b>
<b>4</b>	<b>TENSÕES DE DESENROLAMENTO.....</b>	<b>83</b>
<b>4.1</b>	<b>Aparelho de medição de tensão .....</b>	<b>83</b>
<b>4.2</b>	<b>Sistema de travagem das bobinas de corda têxtil .....</b>	<b>85</b>
4.2.1	Modelação do sistema de travagem .....	85
4.2.1.1	Redução do raio da bobina .....	87
4.2.1.2	Momento de inércia e aceleração angular .....	88
4.2.1.3	Mola de tração.....	91
4.2.1.4	Ângulo de abraçamento e coeficiente de atrito .....	92
<b>4.3</b>	<b>Caracterização das tensões de desenrolamento atuais .....</b>	<b>94</b>
4.3.1	Planeamento das medições de tensão .....	94
4.3.2	Análise das tensões de desenrolamento.....	96
4.3.2.1	Observações preliminares .....	96
4.3.2.2	Comparação das tensões entre máquinas.....	97
4.3.2.3	Variação das tensões ao longo do desenrolamento .....	100
4.3.2.4	Variação das tensões pelas posições das bobinas .....	102
<b>4.4</b>	<b>Impacto das tensões de desenrolamento no material .....</b>	<b>105</b>
4.4.1	Planeamento das experiências.....	105
4.4.1.1	Mola de teste .....	106
4.4.2	Tensões de desenrolamento obtidas .....	107
4.4.3	Recolha das amostras.....	108
4.4.4	Análise às alterações das propriedades do material .....	109
<b>4.5</b>	<b>Impacto das tensões de desenrolamento na uniformidade do pneu.....</b>	<b>114</b>
4.5.1	Análise das alterações dos parâmetros da uniformidade .....	115
<b>4.6</b>	<b>Solução a adotar no controlo de tensões no <i>creel</i>.....</b>	<b>116</b>
<b>5</b>	<b>CORDAS PARTIDAS.....</b>	<b>119</b>
<b>5.1</b>	<b>Análise da quantidade de cordas partidas .....</b>	<b>119</b>

---

5.2	Solução para o alinhamento das cordas.....	120
5.3	Conceção e fabrico do sistema de rolos .....	123
5.4	Implementação do sistema de alinhamento de cordas .....	125
5.5	Possíveis soluções de melhoria .....	127
6	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS .....	131
6.1	Conclusões.....	131
6.2	Proposta de trabalhos futuros .....	133
7	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	137
8	ANEXOS .....	143
8.1	Anexo 1 .....	145
8.2	Anexo 2 .....	147



# INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

1.2 OBJETIVOS

1.3 METODOLOGIA UTILIZADA

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

1.5 EMPRESA DE ACOLHIMENTO



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

Atualmente, o pneu é um produto avançado de engenharia, construído por diversos componentes, cada um com uma função específica e única. Além disso, não só envolve diversos compostos de borracha, como também outro tipo de materiais, tais como os reforços têxteis e metálicos. Este avanço da tecnologia no pneu permitiu melhorar aspectos como a segurança dos automóveis, a qualidade do produto e a confiança do utilizador.

Os reforços de tecido têxtil são feitos através da impregnação de um tecido ou cordas com borracha. Este reforço fornece consistência ao pneu, garantindo, assim, a estabilidade dimensional, a durabilidade do produto e que este se mantenha sob pressões internas elevadas.

O *cap ply* é um material composto por cordas têxteis e borracha, utilizado para fabricar cintas têxteis. Durante o seu processo de fabrico, nas máquinas chamadas de *cap-strips*, as cordas têxteis são desenroladas de bobinas, sendo trabalhadas sobre uma determinada tensão. Esta tensão de corda é, portanto, um parâmetro do processo de fabrico.

A progressiva evolução industrial e conseqüente aumento da exigência por parte dos clientes, cria uma necessidade crescente na melhoria da qualidade. Deste modo, a relação qualidade-preço dos produtos/serviços prestados passa a ser um fator determinante da sustentabilidade das empresas. Tal qualidade só é atingida com um conhecimento profundo dos processos de fabrico. Para isso, é necessário caracterizar cada parâmetro de fabrico, e entender o impacto que estes têm no processo e no produto. É neste ponto que as experiências nos processos e os ensaios laboratoriais são realizados, de forma a conhecer e controlar cada propriedade do material.

Numa ótica de melhoria contínua, as otimizações dos processos de fabrico são uma constante necessidade, de forma a torna-los mais rentáveis e capazes de produzir materiais com melhor qualidade. Estas otimizações podem passar por estudar os parâmetros ótimos de fabrico, mas também por melhorar as próprias máquinas. Independentemente do tipo de otimização, estas

devem ser sempre estruturadas segundo uma metodologia de resolução de problemas, apoiada pela aplicação de ferramentas da qualidade.

## 1.2 Objetivos

O trabalho desenvolvido nesta dissertação tem como principal foco entender que influência as tensões de desenrolamento das cordas têxteis têm no processo de fabrico, nas propriedades do *cap ply* e na uniformidade do pneu. Para além disso, também é pretendido melhorar a estabilidade no processo de fabrico de *cap ply*, produzido nas *cap-strips*. Deste modo, os objetivos desta dissertação passam por:

- Estudar o mecanismo responsável pelo controlo das tensões de desenrolamento, caracterizando o seu funcionamento e modelando o método de controlo;
- Caracterizar o estado atual das tensões de desenrolamento das cordas têxteis, de forma a aferir como se encontra o processo e as máquinas;
- Realizar experiências, juntamente com ensaios laboratoriais, de forma a entender qual o impacto que diferentes valores de tensão provocam nas propriedades do material, na uniformidade do pneu e no processo de fabrico;
- Caracterizar quais os problemas que podem surgir no *cap ply*, sejam estes causados por cordas partidas ou por tensões de corda têxtil irregulares;
- Analisar o problema de cordas partidas, percebendo quais as suas causas raiz;
- Desenvolver uma abordagem de resolução de problemas, de forma a tentar ultrapassar as causas que provocam a rotura das cordas, otimizando o processo.

## 1.3 Metodologia utilizada

O trabalho realizado para elaboração desta dissertação seguiu a sequência de atividades relatadas na Figura 1.

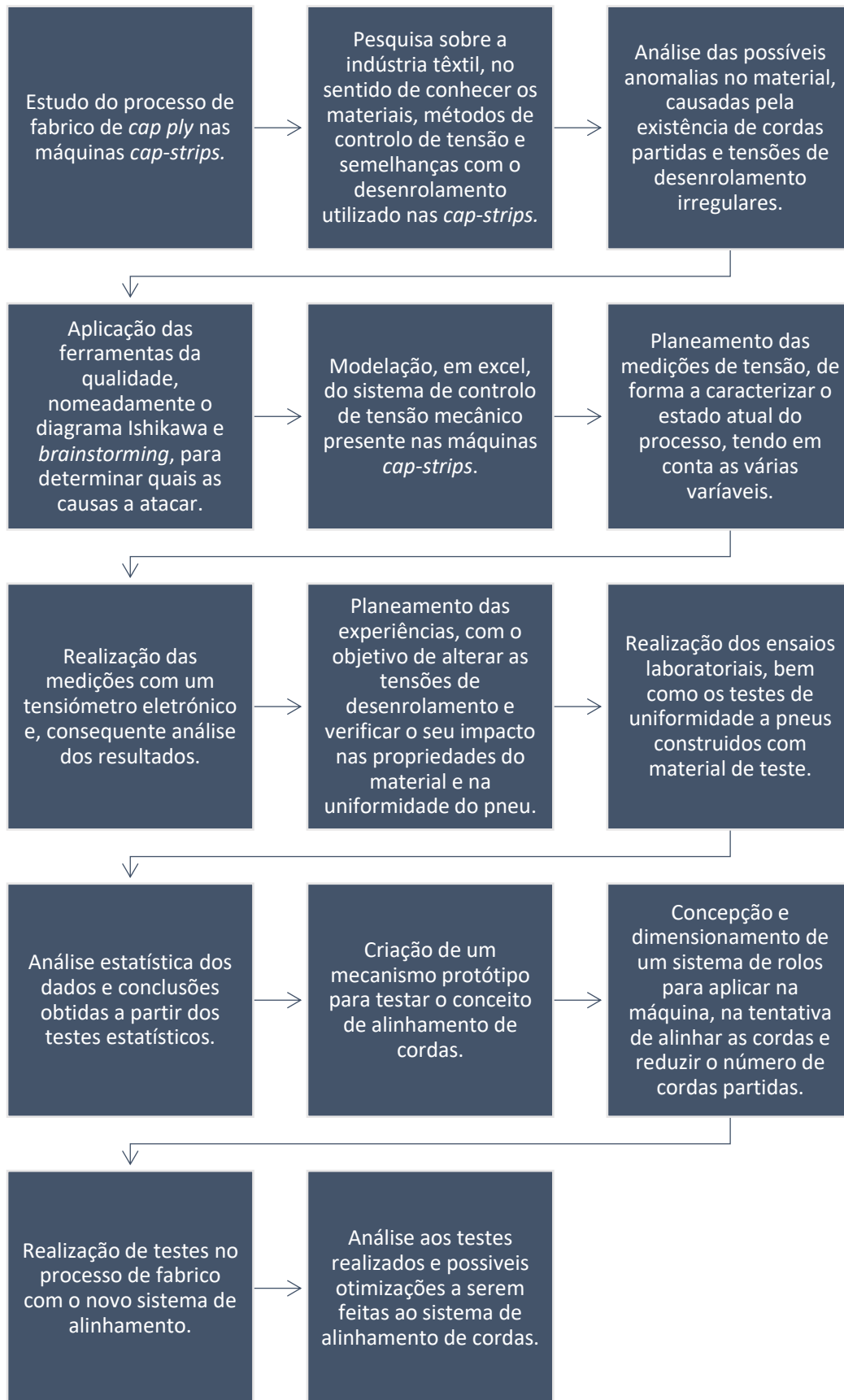


Figura 1 - Metodologia de trabalho - atividades desenvolvidas.

## 1.4 Estrutura da dissertação

Esta dissertação encontra-se dividida em seis capítulos.

No primeiro capítulo, é feita uma introdução ao tema, de forma a que o leitor se enquadre com os assuntos abordados. Também se esclarece os objetivos do trabalho, a sequência de atividades realizadas e qual a empresa onde foi desenvolvida toda a dissertação.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica, onde são abordados assuntos essenciais à compreensão do trabalho realizado. É feita uma abordagem ao pneu, seus constituintes e testes de controlo realizados. Reflete-se sobre a indústria têxtil, de forma a conhecer os materiais, como estes se produzem e que princípios existem para o controlo de tensão de cordas têxteis.

No terceiro capítulo, é apresentado o caso de estudo, o processo de fabrico em questão, feita uma análise detalhada das causas do problema e a orientação dada ao trabalho prático. É também apresentada a empresa de acolhimento de uma forma mais detalhada.

No capítulo 4, intitulado de tensões de desenrolamento, é onde todo o estudo relativamente às tensões é apresentado. Neste capítulo, é apresentada a modelação do sistema de controlo, caracterizado o estado atual do processo e são apresentadas as experiências realizadas, de modo a concluir qual o impacto que as tensões de desenrolamento de cordas têxteis têm nas propriedades do material e no pneu construído.

No capítulo 5 é relatada a tentativa de otimização do processo de fabrico, com o objetivo de reduzir o número de cordas partidas.

No sexto capítulo são apresentadas as conclusões de todo o trabalho realizado, assim como os possíveis trabalhos futuros.

## 1.5 Empresa de acolhimento

Todo o trabalho foi desenvolvido em ambiente industrial, na empresa Continental Mabor – Indústria de Pneus S.A., situada em Lousado, Famalicão, através de um estágio curricular realizado durante seis meses, sob a orientação tutorial do Engenheiro Pedro Neves.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O PNEU

2.2 O TÊXTIL NA INDÚSTRIA DE PNEUS

2.3 QUALIDADE



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O pneu

O pneu é uma das estruturas compósitas mais complexas e mais utilizadas nos dias de hoje. John Boyd Dunlop é o reconhecido inventor do primeiro pneu pneumático, que se destinava a equipar rodas de bicicletas. A sua patente foi registada em 1888. Em 1895, André Michelin foi a primeira pessoa a usar o pneu pneumático num automóvel, o que não mostrou durabilidade e rentabilidade. Foi então que Philip Strauss, em 1911, inventou a combinação do pneu com câmara de ar. A partir daí, os pneus puderam ser utilizados em automóveis com sucesso. Seguindo um processo evolutivo, foram criados os pneus sem câmara de ar. Estes pneus foram patenteados por Litchfield da *Goodyear Tire Company*, sendo que a sua comercialização explodiu a partir de 1954 [1].

Geometricamente, o pneu para automóveis pode ser considerado um toro [2], isto é, uma superfície de revolução gerada pela rotação de um círculo no espaço tridimensional, sobre um eixo coplanar com o círculo. Mecanicamente, o pneu é um vaso de pressão de membrana. Estruturalmente, trata-se de um material compósito de alta performance. Do ponto de vista da ciência dos materiais, o pneu é uma estrutura de borracha reforçada com cordas (têxteis e metálicas) com propriedades viscoelásticas, que é sujeito a uma deformação contínua durante o seu ciclo de vida. É segundo estas visões gerais que se baseiam as propriedades e os critérios de desempenho do pneu [3].

É no pneu onde se gera a interface de contacto entre o veículo e o solo. Assim, os pneus têm que preencher um conjunto fundamental de funções [4]:

- Fornecer capacidade de carga;
- Fornecer amortecimento ao veículo;
- Transmitir o momento de aceleração e de travagem;
- Fornecer força para curvar;
- Fornecer estabilidade dimensional;
- Resistir à abrasão;

- Gerar resposta à direção;
- Ter baixa resistência ao rolamento;
- Provocar baixos valores de ruído e vibração;
- Ser durável durante a vida útil projetada.

O pneu pode ser diferenciado quanto ao seu modo de construção. No fundo, existem três tipos de pneus (Figura 2), sendo estes os pneus de construção diagonal (*Diagonal bias*), pneus de construção radial e pneus de construção diagonal com cintas metálicas (*belted bias*).

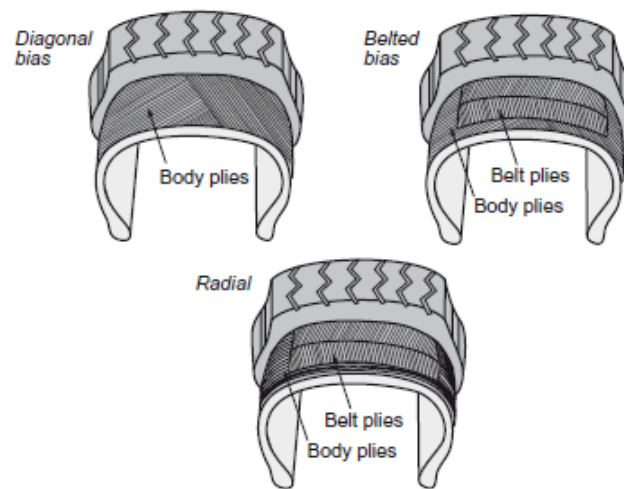


Figura 2 - Layout esquemático dos diferentes tipos de pneus [5].

Os pneus de construção diagonal ainda são utilizados em caminhões, reboques e utensílios de agricultura. Estes pneus, têm as cordas das telas têxteis estendidas de talão a talão com um ângulo inferior a 90° com a linha central do piso. Têm como vantagem a sua simples construção e a facilidade de fabrico. Por outro lado, com a deformação do pneu, ocorrem esforços de corte entre as telas têxteis, o que gera calor. O movimento do piso também resulta numa baixa resistência ao desgaste. Os pneus de construção radial, que são utilizados nos automóveis, têm as cordas da tela têxtil estendidas de talão a talão, fazendo um ângulo de 90° com a linha central do piso. Para além disso, são adicionadas cintas metálicas na zona do piso para adicionar resistência e estabilidade ao pneu. Esta construção permite uma maior deformação do pneu sobre carga, gerando menos calor. Também dá ao pneu uma resistência ao rolamento mais baixa, uma melhor performance a altas velocidades e uma maior rigidez ao piso, o que se traduz numa maior resistência ao desgaste. Têm como desvantagem a sua complexa construção, o que aumenta os custos de produção e do material [6].

### 2.1.1 Componentes do pneu radial

Um pneu é formado por uma série de componentes ou subconjuntos, cada um dos quais com uma função específica para o desempenho do produto. O típico pneu radial é composto por, aproximadamente, dezoito componentes individuais, dez ou mais compostos de borracha diferentes, uma ou duas camadas de tecido têxtil impregnado com borracha, duas cintas metálicas e os talões [3]. A Figura 3 mostra uma secção em corte de um pneu radial utilizado em veículos de passageiros, com os diversos componentes montados na sua ordem.

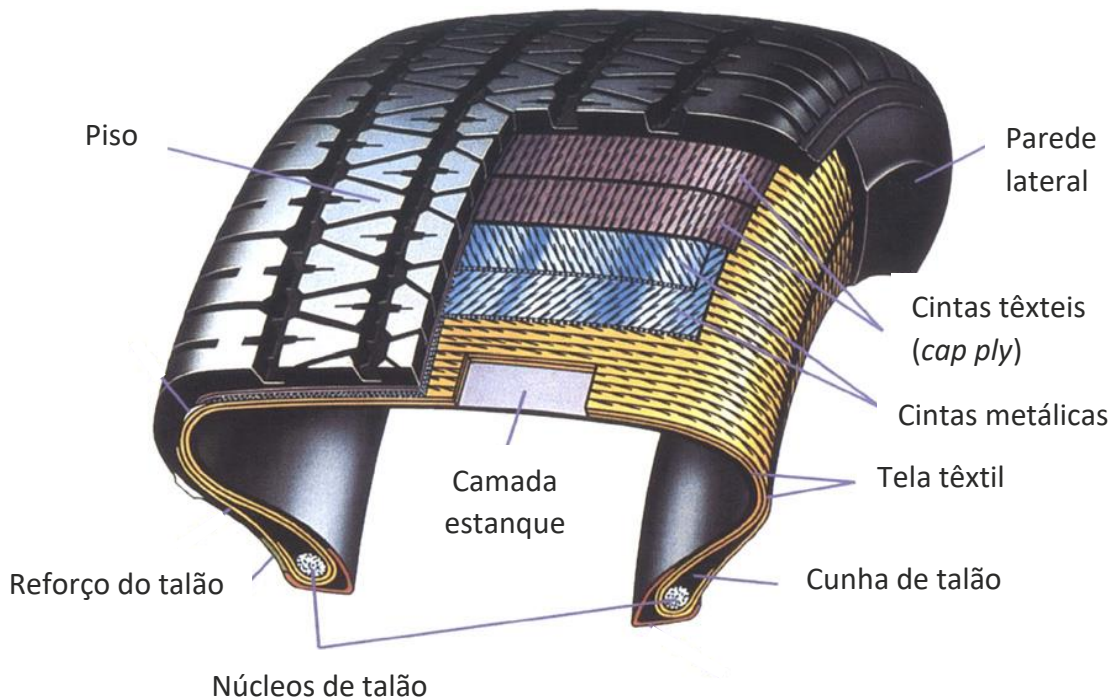


Figura 3 - Secção de corte de um pneu radial de um automóvel de passageiros [4].

Cada componente é fabricado e colocado no pneu para lhe conferir determinadas propriedades. A Tabela 1 ilustra cada componente e refere a função que cada um tem no pneu.

Tabela 1 - Função de cada componente presente no pneu radial (adaptado [7]).

Componente	Ilustração
<p><b>Camada estanque</b></p> <p>Camada de borracha que tem como função garantir a estanqueidade, armazenando o ar dentro do pneu.</p>	

---

### Tela têxtil

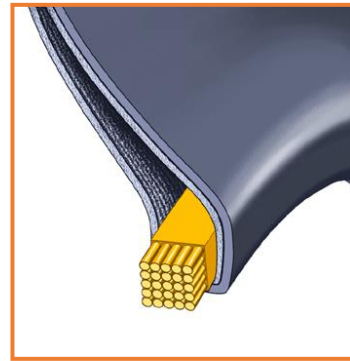
Tecido têxtil impregnado com borracha que tem a função de fornecer consistência ao pneu para este suportar elevada pressão interna.



---

### Núcleo de talão

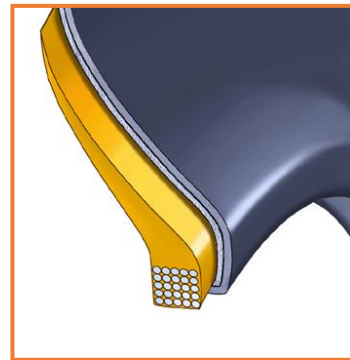
Conjunto de arames impregnados, colocados no pneu com o intuito de o fixar à jante do automóvel.



---

### Cunha de talão

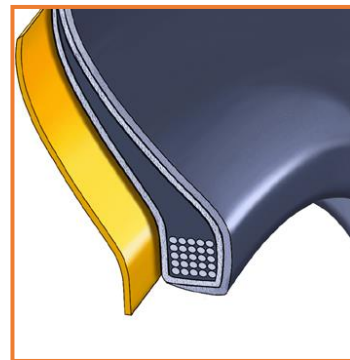
Componente fabricado em borracha, anexado ao núcleo de talão. Tem como função fornecer estabilidade direcional e delimitar a zona de flexão do pneu.



---

### Reforço de talão

Tecido têxtil impregnado com borracha colocado junto ao talão, para que este se torne mais resistente, dando mais rigidez ao pneu.



---

### Parede lateral

Camada que resulta da combinação de dois compostos de borracha, a qual tem como função proteger a carcaça do pneu e melhorar o conforto.



---

### Cintas metálicas

Cordas de aço impregnadas com borracha. Retêm a forma do pneu, dão estabilidade direcional, limitam a expansão do pneu, reduzem a resistência ao rolamento e aumentam a resistência contra danos das camadas subjacentes.



---

### Cintas têxtil (*cap ply*)

Cordas têxteis impregnadas com borracha, formando uma tira de material composto com 0,01 m de largura. Esta tira, chamada de *cap ply*, é enrolada em torno do pneu, formando uma cinta têxtil. Tem como função evitar a deformação do pneu a altas velocidades, devido às forças centrífugas geradas.



---

### Piso

Camada composta por três componentes de borracha. É o componente que está em contacto com o solo. Tem como função fornecer aderência, resistência ao rolamento, estabilidade direcional e resistência ao desgaste.



---

#### 2.1.2 Teste de pneus

Sendo os pneus desenvolvidos para cumprir determinados requisitos de serviço, estes são sujeitos a uma série de testes, de forma a avaliar e quantificar o seu desempenho. Os testes para avaliar as características do pneu podem ser desenvolvidos em laboratório ou em pista. Estas características podem ser divididas em duas categorias de desempenho, como explicitado na Tabela 2.

Tabela 2 - Características de desempenho testadas nos pneus [4].

Características mecânicas do pneu	Durabilidade do pneu
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desvio da carga de um pneu montado na vertical, capacidade de carga e classificação da carga;</li> <li>• Capacidade de direção, características da forma de curvar, e rigidez lateral e tangencial do pneu;</li> <li>• Tração e desempenho à derrapagem em piso molhado;</li> <li>• Resistência ao rolamento, o que afeta o consumo de combustível;</li> <li>• Ruído.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desgaste do piso, que abrange taxas de desgaste lentas e rápidas e a uniformidade do desgaste;</li> <li>• Resistência à fadiga da carcaça do pneu;</li> <li>• Acumulação de calor nos pneus sobre condições de carregamento dinâmico;</li> <li>• Resistência ao corte e ao rasgar do piso e paredes laterais.</li> </ul>

Existe uma imensa quantidade de pneus diferentes. Os materiais com que os seus componentes são produzidos e a própria forma de construir o pneu vão variando, de forma a que o pneu corresponda às características mecânicas e de durabilidade impostas pelo cliente.

### 2.1.2.1 Testes laboratoriais aos componentes têxteis

Para além dos testes a pneus, os diferentes componentes vão sendo testados em laboratório após serem produzidos. Estes testes traduzem-se em propriedades dos materiais, que servem para controlar o material e o processo de fabrico. Neste subcapítulo, serão enunciados os testes que se realizam aos componentes têxteis impregnados com borracha, que serão utilizados nesta dissertação.

#### 2.1.2.1.1 Contração por ação do calor

O objetivo deste teste é determinar a contração da corda em ar quente. Com isto, é possível quantificar a sensibilidade da corda têxtil a ciclos térmicos. As amostras de corda são colocadas na máquina de ensaio (Figura 4) sobre uma determinada tensão e são aquecidas com ar quente a 180° C. A densidade dos fios é escrita em tex. Um tex é o peso, em gramas, de 1000 m de filamento ou de fio, que equivale a 10 dtex. Se a corda possuir uma densidade linear até 4000 dtex, o tempo de ensaio é de 120 s, acima dessa densidade o tempo de ensaio é de 240 s [8].



Figura 4 - Máquina de ensaios à contração da corda têxtil por ação do calor [8].

Deste ensaio resultam quatro parâmetros:

- Contração (%): consiste na diminuição do comprimento inicial da amostra, causada pelo aquecimento, tempo e pré-tensão;
- Contração residual (%): consiste na diminuição do comprimento da amostra que permanece após o teste, enquanto a amostra se mantém no ambiente condicionado e é mantida a pré-tensão;
- Força de contração (cN): força resultante da alteração da temperatura, do tempo e da pré-tensão, para um comprimento constante da corda;
- Força de contração residual (cN): força residual após arrefecimento em ambiente condicionado.

#### 2.1.2.1.2 Propriedades à tração

Este teste tem como princípio determinar as propriedades à tração das cordas têxteis utilizadas como reforço. Uma amostra de corda é montada nos grampos da máquina de ensaios de tração (Figura 5). A corda é esticada a uma taxa de deformação constante até atingir a rotura. Os grampos agarram a corda sem que esta escorregue. Deste teste resultam a tensão de rotura (N), a deformação (%) para determinados valores de tensão e a deformação na rotura [8].



Figura 5 - Corda colocada em grampos para ensaio de tração [8].

### 2.1.2.1.3 Adesão em verde

Este teste consiste na determinação da força de tração estática do fio de tecido têxtil para o material calandrado de borracha não vulcanizada [9]. De um outro modo, deste ensaio resulta a força, em Newton (N), denominada de adesão em verde, necessária para separar a corda têxtil do composto de borracha não vulcanizado. Este teste é realizado numa máquina de ensaios de tração (Figura 6).



Figura 6 - Máquina de ensaios de tração utilizada para realizar testes às propriedades físicas, adesão em verde e *peel adhesion* [8].

### 2.1.2.1.4 Peel adhesion

Este método tem como principal objetivo determinar a adesão de tecidos têxteis à borracha vulcanizada. A adesão é determinada numa máquina de ensaios de tração, como a da Figura 6, e corresponde à força necessária, em Newton (N), para separar o tecido da borracha [9]. A amostra é primeiramente preparada, de seguida vulcanizada e, por fim, ensaiada. O esquema do provete está representado na Figura 7.

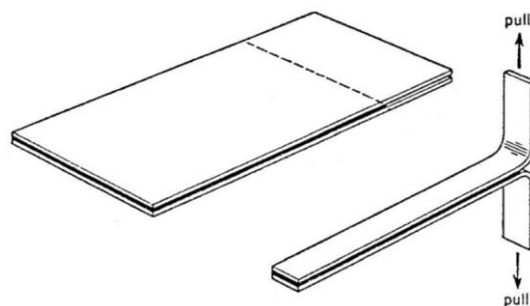


Figura 7 - Esquema da amostra para realização do teste à *peel adhesion* [10].

### 2.1.2.2 Uniformidade do pneu

A uniformidade do pneu refere-se à análise das propriedades mecânicas dinâmicas do pneu. Com isto, é analisada a aptidão do pneu rodar suavemente e livre de vibrações, de forma a cumprir as especificações do cliente. Após a inspeção visual, todos os pneus passam por linhas de verificação e controlo que, entre outras propriedades, analisam a variação da força radial, a variação da força lateral e a conicidade. Os testes de uniformidade simulam o que na realidade acontece entre o pneu e a estrada.

As forças do pneu podem ser divididas em três eixos, como ilustrado na Figura 8, sendo estes [4]:

- Força radial: Força que atua no pneu perpendicular à linha central de rotação. Força responsável por suportar o peso do veículo, associada à estética e conforto do veículo;
- Força lateral: Força que é exercida pelo pneu quando este gira sob uma carga, ao longo do eixo do pneu. Força responsável pelo controlo do veículo;
- Força tangencial: Força atuante na direção do pneu. Força que está associada ao desempenho do pneu, nomeadamente à aceleração, travagem e resistência ao rolamento.

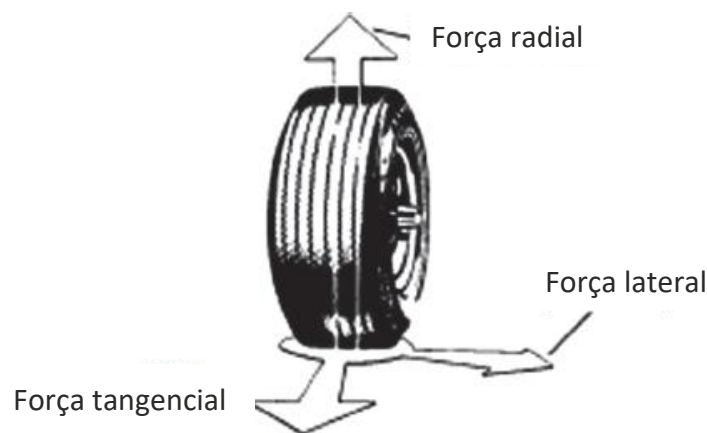


Figura 8 - Eixos das forças presentes no pneu [4].

A circunferência do pneu pode ser modelada como uma série de pequenos sistemas lineares mola amortecedor [11]. Conforme o pneu contacta com a estrada, estas molas vão sendo comprimidas e relaxadas. Num pneu perfeito, todas estas molas possuem constantes elásticas iguais, o que gera forças constantes. Contudo, os processos de fabrico geram variações no material, que se traduzem em molas com constantes elásticas diferentes. Assim, as forças provocadas pelo pneu também irão variar. A uniformidade surge como um método de análise destas variações, de modo a conseguir controlar o pneu dentro de taxas de variação aceitáveis.

Como os testes de uniformidade se realizam com o pneu pressurizado, carregado e a rodar, as variações das forças tornam-se periódicas. Estas variações podem ser ilustradas segundo uma onda complexa, que mostra as variações das forças em uma revolução do pneu. Aplicando as transformadas de Fourier, esta onda pode ser expressa segundo os múltiplos harmônicos que a constituem. Cada harmônico é definido por uma amplitude e um ângulo de fase [12]. As máquinas de testes de uniformidade aplicam as transformadas de Fourier automaticamente. A Figura 9 ilustra a forma de uma onda resultante de um teste de uniformidade e a sua decomposição em harmônicos.

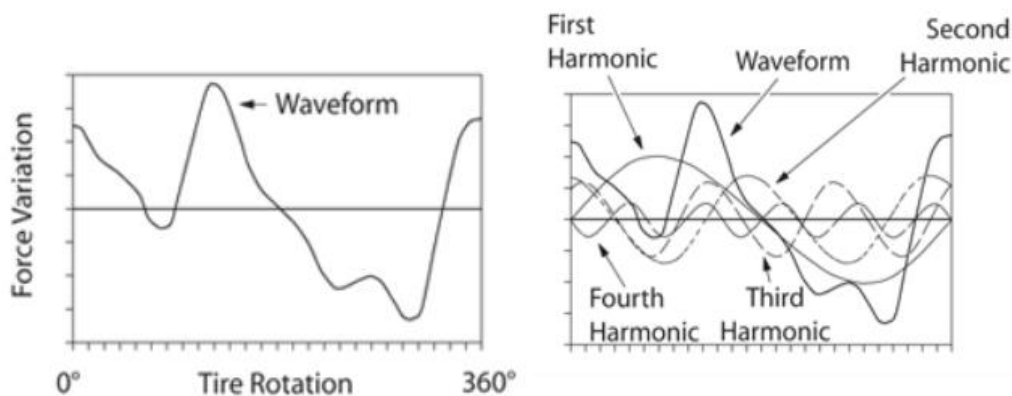


Figura 9 - Onda e harmônicos resultantes dos testes de uniformidade [12].

Através da análise dos harmônicos, é possível parametrizar vários aspetos do comportamento dinâmico do pneu. O primeiro harmônico descreve a variação da força que é exercida uma vez por cada rotação do pneu. O segundo harmônico representa a variação de força que é exercida duas vezes por cada revolução do pneu, e assim sucessivamente. Normalmente, os harmônicos estão associados a causas conhecidas, e podem ser usados para diagnosticar problemas de produção. A título de exemplo, o primeiro harmônico está associado à zona de emenda do piso. Se a amplitude deste aumentar, pode querer indicar a existência de uma sobreposição exagerada de material na zona da emenda.

Para a variação da força lateral, o parâmetro mais controlado e com mais impacto é o valor pico a pico da onda geral de variação, que traduz a variação geral da força. Para a variação da força radial, além do pico a pico, também são controladas as amplitudes do primeiro e segundo harmônico, pois são os harmônicos que geram mais perturbações na uniformidade do pneu. Contudo, existem situações em que mais harmônicos são examinados, se assim for necessário. Todas estas medições são realizadas em máquinas automatizadas, equipadas com células de carga que detetam as variações de força. A Figura 10 mostra um exemplo de uma máquina de testes de uniformidade.



Figura 10 - Exemplo de uma máquina de testes de uniformidade [13].

## 2.2 O têxtil na indústria de pneus

Como já descrito, o pneu é uma estrutura composta por borracha e materiais de reforço. Os materiais de reforço utilizados são, principalmente, cordas têxteis, cordas de aço e cabos de aço. Estes materiais são responsáveis por suportar a maior parte da carga estrutural dos automóveis e devem exibir excelente estabilidade dimensional, assim como possuir ótimas propriedades à tração e à fadiga. Pela Figura 11 é possível entender a percentagem, em peso, que cada material ocupa no fabrico de um pneu típico.

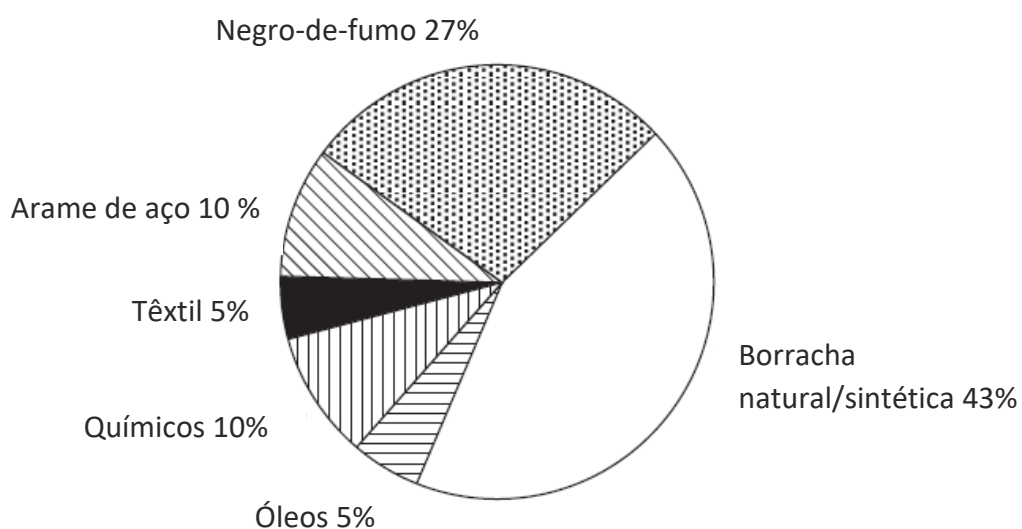


Figura 11 - Percentagem típica de cada material presente num pneu, por peso [3].

Embora o têxtil represente uma pequena percentagem do peso total do pneu, a sua contribuição para o desempenho geral do pneu é significativamente alta [3].

O têxtil está presente no pneu sob a forma de cordas ou tecidos. A diferença é que nos tecidos, as cordas (urdidura) são cruzadas por fios (trama), de forma a que as cordas mantenham o seu espaçamento entre elas. As cordas têxteis de reforço têm as seguintes funções [6]:

- Manter a durabilidade do pneu contra impactos;
- Suportar a carga de inércia e conter o ar pressurizado no interior do pneu;
- Conferir rigidez ao pneu para a aceleração, a travagem e o curvar;
- Conferir estabilidade dimensional.

### 2.2.1 Fabrico dos reforços têxteis

Todos os têxteis usados nos pneus são especialmente preparados e processados para construir, quer os tecidos, quer as cordas. A fabricação dessas estruturas é baseada em várias transformações, nomeadamente [14, 15]:

**Processo de fiação:** a fibra é transformada em fio. Este processo pode ser realizado de cinco maneiras diferentes: usando o método húmido, seco, fundido, gel ou dispersão, e esta escolha depende das características do material.

**Processo de torção:** dois ou mais fios são torcidos individualmente na direção “Z” sendo, de seguida, torcidos juntos na direção “S”. Deste modo, dois ou mais fios torcidos formam uma corda. A torção dos fios tem como propósito prevenir a quebra dos filamentos, conferir maior resistência a danos por abrasão, melhorar a resistência à fadiga e melhorar a operacionalidade do processo de fabrico seguinte [8]. O nível de torção dado às cordas é parte fundamental da sua modelação, uma vez que tem impacto direto nas propriedades mecânicas das cordas. Aytaç *et al.* [16, 17] estudou o efeito do nível de torção das cordas têxteis nas suas propriedades mecânicas e no seu desempenho. Conclui que níveis mais elevados de torção provocam uma diminuição da força de rotura e na rigidez, mas aumentam a deformação de rotura e a energia de rotura absorvida. Também é conveniente referir que níveis mais elevados de torção aumentam o custo da corda têxtil por metro, uma vez que são necessários mais metros de fio para produzir o mesmo número de metros de corda, do que com níveis de torção mais baixos.

**Processo de tecelagem:** um conjunto elevado de cordas é transformado em tecido. Neste processo ocorre um entrelaçamento entre as cordas de urdidura (longitudinais) e as de trama (transversais). São as cordas de urdidura que são responsáveis pelo reforço dos componentes

produzidos com tecido têxtil. A Figura 12 mostra um exemplo de um tecido. No caso de se fabricar cordas e não tecidos, este processo não se realiza, passando as cordas diretamente para o processo seguinte.

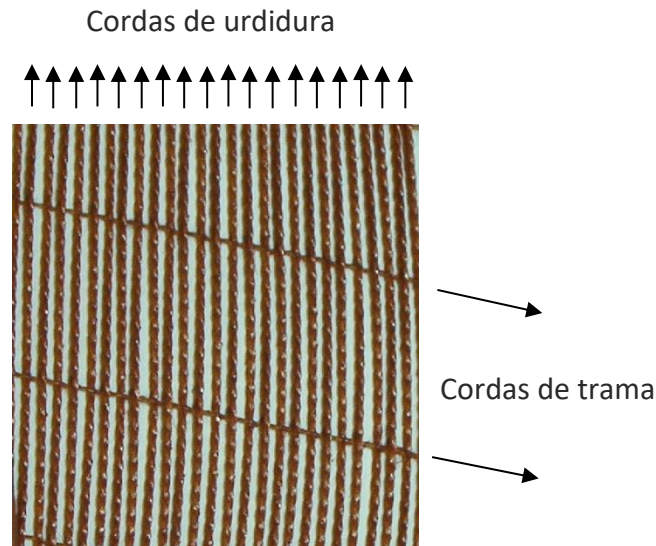


Figura 12 - Exemplo de um tecido têxtil para o reforço de pneus [18].

**Processo de imersão:** o tecido final é emergido num banho e depois é exposto a um tratamento térmico. Este processo tem como objetivo dotar o tecido com determinadas propriedades que, mais tarde, permitam uma boa adesão entre o tecido e a borracha.

### 2.2.2 Materiais utilizados no fabrico de reforços têxteis

Os materiais têxteis mais utilizados na indústria de pneus são a poliamida (*nylon*<sup>®</sup>), o poliéster, a aramida e o *rayon* [8].

As poliamidas estão entre os primeiros polímeros sintéticos usados em aplicações de fibra e podem ser classificados em poliamidas aromáticas ou poliamidas alifáticas. Este último grupo pode ser designado como PA-x ou PA-x.y, onde x e y representam o número de átomos de carbono entre os átomos de azoto, respetivamente. A PA6.6 é a mais utilizada na indústria de pneus e é produzida a partir de hexametilenodiamina e ácido adípico, enquanto a PA6 é sintetizada pela polimerização por abertura de anel da  $\epsilon$ -caprolactama. A PA6.6 é um fio sintético de alta deformação, baixo módulo, resistente à fadiga e aderente. Devido a estas características, assim como ao seu típico comportamento de contração a quente, torna este material indicado para o fabrico de *cap ply* [19, 20].

Os poliésteres compõem a maior quantidade de polímero totalmente sintético produzido no mundo e a maioria são compostos por politereftalato de etileno (PET), que é feito de ácido tereftálico e etilenoglicol. O seu uso mais comum na indústria dos pneus é no fabrico de telas

para construir carcaças de pneus. O PET tem como vantagens a boa resistência mecânica, boa durabilidade e alto módulo, combinado com baixa contração a frio. Não é recomendado para aplicações de altas cargas, altas velocidades e altas temperaturas [19].

O *rayon* trata-se de uma celulose purificada, quimicamente convertida num composto solúvel. A matéria prima da celulose pode ser originária do algodão, ou mais comumente da madeira. Esta solução é passada através de uma fiara para formar filamentos macios que são, então, convertidos ou regenerados em celulose quase pura. Devido à reconversão do composto solúvel em celulose, o *rayon* é referido como uma fibra de celulose regenerada. Geralmente, é resistente ao calor até 150°C, mas perde as suas características quando exposto a tensões prolongadas e/ou a temperaturas mais elevadas, decompondo-se a 210°C. Também apresenta boas propriedades de adesão à borracha e boa rigidez. O uso do *rayon* tem vindo a diminuir, pois requer elevados custos de produção, tornando-se uma desvantagem do material [8, 20].

A aramida, também conhecida como poli-p-fenileno tereftalamida, deriva de 1,4-fenilenodiamina e ácido tereftálico. O material comercial mais comum é designado por Kevlar, e é usado em diversas aplicações, como pneus, cabos de fibra ótica, coletes à prova de bala, entre outros. Este material apresenta elevado módulo, elevada rigidez, sendo o material com maior rigidez de todos os materiais apresentados. Em contrapartida, apresenta uma baixa deformação. Este material é utilizado quando é necessário um produto com uma rigidez específica alta (uma relação entre a rigidez e o peso alta), como no caso dos pneus de alta velocidade. Quando a aramida é utilizada em múltiplas camadas, provoca inconvenientes, devido à sua baixa deformação, pois impede que a camada externa se ajuste à curvatura, colocando as camadas internas em compressão. Isto leva à ocorrência de falhas prematuras na camada interior, devido à baixa resistência à fadiga da aramida, quando sujeita à compressão [8, 20].

Para além dos materiais descritos, é estabelecido o conceito de cordas híbridas na indústria de pneus. Uma corda híbrida consiste na combinação de dois ou mais tipos diferentes de fios torcidos juntos. A corda híbrida mais usada é constituída por aramida com PA6.6 (*nylon*®). A aramida é dotada de alta tenacidade, alto módulo, baixa deformação e termicamente estável (sem contração), enquanto PA6.6 possui alta deformação, baixo módulo e é altamente resistente à fadiga. Em conclusão, da combinação desses dois diferentes fios sintéticos resulta uma corda com uma gama diversificada de propriedades mecânicas, que se podem encaixar perfeitamente em determinados requisitos de produto. Para além disso, pode levar a um desempenho similar de uma corda convencional, mas com menor custo [14].

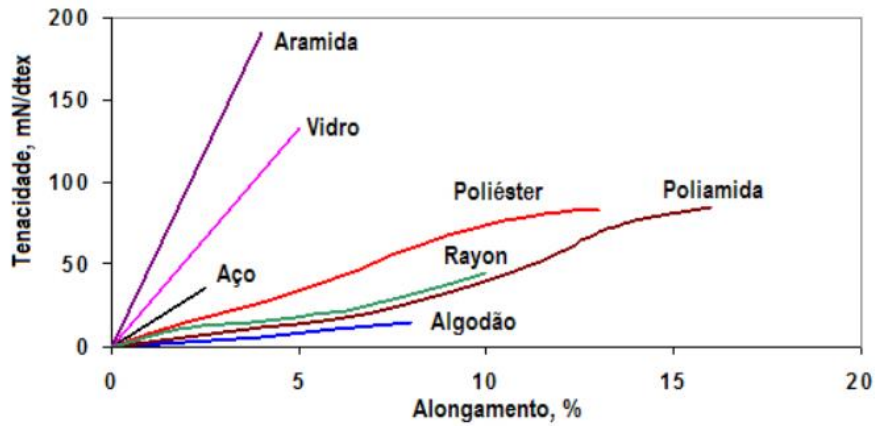


Figura 13 - Curvas características de tenacidade-deformação para os diversos materiais de reforço [21].

A tenacidade é o mesmo que referir tensão específica. Pela análise da Figura 13, é possível comparar a resistência e deformação que caracteriza cada material têxtil, e compara-los com outros materiais de reforço como o aço e a fibra de vidro. Assim, mediante as condições de trabalho que o pneu estará sujeito, os reforços têxteis são escolhidos de forma a fornecer ao pneu as características desejadas.

### 2.2.3 Enrolamento de bobinas de corda têxtil

Após a produção das cordas têxteis, estas precisam de ser enroladas em bobinas, para serem armazenadas e utilizadas pelas fábricas de fabrico de pneus. A Figura 14 expõe os tipos de enrolamento de corda em bobinas mais utilizados pela indústria têxtil.

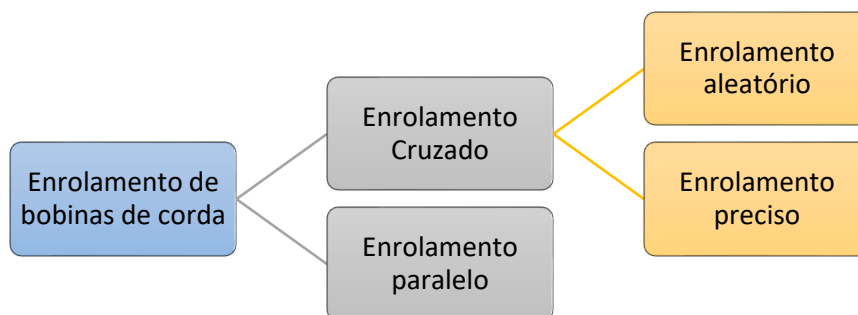


Figura 14 - Tipos de enrolamento de corda em bobinas mais comuns.

### 2.2.3.1 Enrolamento em paralelo

O enrolamento paralelo necessita de uma bobina com duas flanges, como ilustrado na Figura 15. Neste enrolamento, as voltas de corda em torno da bobina ficam quase em paralelo umas em relação às outras. As flanges são necessárias para segurar as voltas das extremidades pois, sem elas, a corda desmoronava. Este tipo de enrolamento tem como inconveniente uma inércia de desenrolamento mais elevada que os outros métodos, devido às maiores dimensões e maior peso da bobina. Este método é utilizado em fios que não formam um rolo de enrolamento cruzado estável, como fios de monofilamento [22].

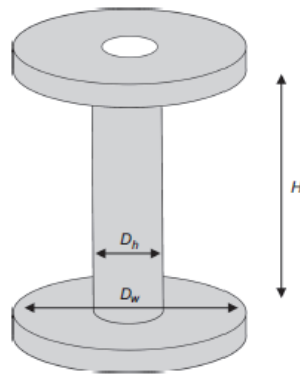


Figura 15 - Bobina com duas flanges [23].

Como se trata de um enrolamento em paralelo, as cordas ficaram encostadas umas às outras ao longo do comprimento  $H$  da bobina. Assim, é possível calcular o número de voltas que a corda dá em torno da bobina pela equação (2.1).

$$N = \frac{H}{s} \quad (2.1)$$

Onde:

$N$  : número de voltas que a corda dá em torno da bobina;

$H$  : comprimento da bobina [m];

$s$  : espessura da corda têxtil [m].

Deste modo, pode-se calcular a quantidade de metros de corda presente em cada raio da bobina pela equação (2.2).

$$M = N \times P \quad (2.2)$$

Onde:

$M$  : quantidade de corda presentes em cada raio da bobina [m];

$P$  : perímetro da bobina para cada raio de corda [m].

O perímetro pode ser calculado pela equação (2.3).

$$P = 2 \times \pi \times r_i \quad (2.3)$$

Onde:

$r_i$  : raio da bobina [m].

Ao longo do desenrolamento da bobina, o raio desta vai diminuindo. Como o enrolamento é paralelo e as cordas ficam sobrepostas ao longo do diâmetro  $D_w$  da bobina, sempre que existe uma redução de diâmetro, essa redução tem o valor da espessura da corda. Se para cada redução de diâmetro se calcular a quantidade de metros de corda correspondente a esse raio, somando todos esses metros de corda, obtém-se o número de metros de corda total presentes na bobina.

### 2.2.3.2 Enrolamento cruzado

Para construir uma bobina de corda com enrolamento cruzado, o tubo de suporte requerido é, normalmente, cilíndrico. A corda é enrolada no suporte em forma de hélice, que reverte o sentido nas extremidades.

No enrolamento cruzado aleatório, o ângulo de enrolamento é constante. No enrolamento cruzado preciso, o ângulo de enrolamento diminui, mas o número de voltas que a corda dá em torno da bobine, enquanto esta vai aumentando o seu diâmetro, é constante. A diferença dos dois enrolamentos em relação ao ângulo de enrolamento pode ser vista na Figura 16. Com isto, o enrolamento preciso produz bobinas de corda com densidades maiores (assim como o enrolamento paralelo) e com melhores propriedades de desenrolamento da corda, mas trata-se de um processo de enrolamento mais complexo de atingir e controlar [22].

Para fabrico de *cap ply*, as bobinas de corda têm um enrolamento cruzado preciso.

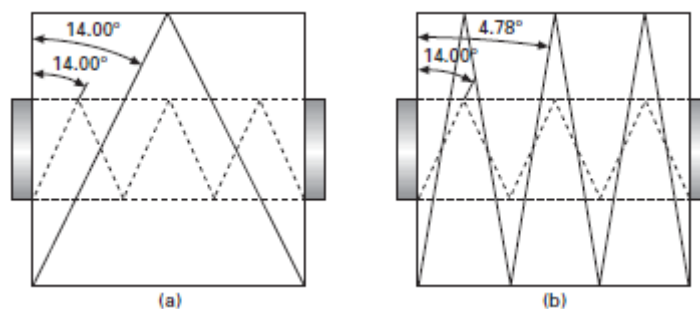


Figura 16 - Bobina com (a) enrolamento aleatório e (b) enrolamento preciso [24].

### 2.2.4 Tensões de desenrolamento das cordas têxteis

No processamento de qualquer material têxtil, a tensão representa um dos parâmetros mais importantes. No processo de tecelagem, por exemplo, a tensão nos fios é um parâmetro essencial e inerente ao formato do pano, tecnicamente chamado de tecido, assim como uma propriedade ligada à eficiência dos teares e à qualidade dos tecidos. Por este motivo, as tensões nos fios são mais importantes de controlar que a tensão das fibras ou do tecido, sendo mantidas dentro de determinados intervalos [25].

Durante o fabrico de componentes para pneus com reforço têxtil, também existe a necessidade das cordas, ao serem desenroladas das bobinas, serem tensionadas. Sem tensão, estas iriam cair da sua posição de enrolamento nas bobinas, fazendo com que estas cordas partissem. Para além disso, a existência de tensão provoca uma estabilidade no desenrolamento e ao longo do percurso que as cordas têm de percorrer durante todo o processo de fabrico.

#### 2.2.4.1 Princípio aditivo

O aparelho mais utilizado para aplicação deste princípio são os discos tensores. Neste tipo de tensionamento, as cordas passam entre duas superfícies que são comprimidas uma contra a outra. A força de atrito gerada entre as superfícies e as cordas, gera um aumento da tensão na corda [23]. A Figura 18 representa um exemplo de um sistema de discos tensores e a Figura 17, o diagrama das forças presentes no travão.

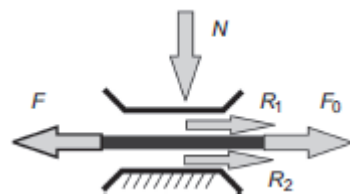


Figura 17 - Diagrama de forças presentes no princípio aditivo [23].

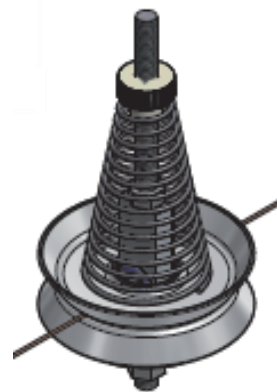


Figura 18 - Sistema de discos tensores da marca Ascotex [26].

A tensão de saída do travão pode ser calculada pela equação (2.4):

$$F = 2 \times \mu \times N + F_0 \quad (2.4)$$

Onde:

$F$  : Tensão da corda após o travão[N];

$\mu$  : Coeficiente de atrito entre as superfícies e a corda;

$N$  : Força normal provocada por pesos ou forças de molas [N];

$F_0$  : Tensão da corda antes do travão[N].

Este método tem o inconveniente de poder alterar a torção das cordas, uma vez que esta torção pode ficar presa à entrada dos discos [22]. Como já analisado, a torção tem bastante influência nas propriedades da corda. Para além disso, este acumular de torção à entrada do travão, pode provocar a queda da corda dos discos.

#### 2.2.4.2 Princípio multiplicativo

Outro método para aplicar força de atrito à corda é manter o deslizamento desta em torno de um ou vários cilindros. De acordo com a equação do atrito entre superfícies circulares, também conhecida como a fórmula Euler-Eytelwein [23], a tensão depois do cilindro pode ser calculada por (2.5):

$$F = F_0 \times e^{\mu \times \alpha} \quad (2.5)$$

Onde:

$\alpha$  : Ângulo de abraçamento entre a corda e a superfície circular [rad].

Enquanto no princípio aditivo à tensão  $F_0$  se soma uma força de atrito, no princípio multiplicativo multiplica-se uma variável que depende do coeficiente de atrito e do ângulo de abraçamento. O mecanismo mais utilizado para gerar tensão na corda segundo este princípio, é ilustrado na Figura 19. Este travão é composto por vários cilindros, uns fixos e outros móveis. Com isto, é possível variar o ângulo  $\alpha$ , aumentando ou diminuindo a tensão dada à corda por fricção. Para calcular a tensão de saída da corda, basta fazer o somatório de todos os ângulos de abraçamento e utilizar a equação (2.5).

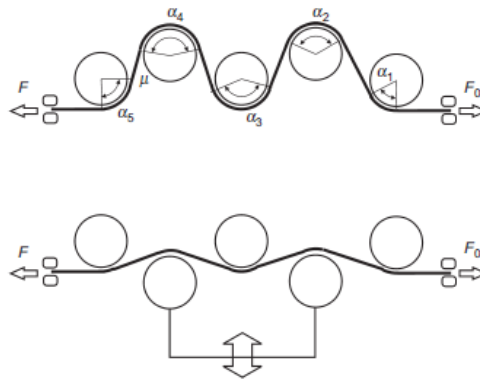


Figura 19 - Princípio multiplicativo de tensão com vários cilindros de contacto [23].

### 2.2.4.3 Desenrolamento ao centro

Enquanto os métodos anteriores geram tensão por fricção direta entre as cordas e outras superfícies, os desenrolamentos ao centro produzem e controlam tensões de desenrolamento por aplicação de momentos de travagem.

O desenrolamento da corda acontece de forma tangencial, pela rotação da bobina em torno de um eixo fixo, eixo este que é coincidente com o centro de massa da bobina. Por este motivo, o movimento de rotação da bobina pode ser descrito pela segunda lei de Newton aplicada à rotação, segundo a equação (2.6):

$$\sum M_G = I_G \times \alpha \quad (2.6)$$

Onde:

$\sum M_G$  : somatório dos momentos no centro de massa G [N·m];

$I_G$  : momento de inércia relativamente ao eixo de rotação que passa no centro de massa G [kg·m<sup>2</sup>];

$\alpha$  : aceleração angular da bobina [rad/s<sup>2</sup>].

A geometria da bobina pode ser considerada como um tubo circular de paredes grossas. O momento de inércia pode ser calculado pela equação (2.7):

$$I = \frac{1}{2} \times m \times (r^2 - r_{final}^2) \quad (2.7)$$

Onde:

$I$  : Momento de inércia da bobina [kg·m<sup>2</sup>];

$m$  : massa da bobina [kg];

$r$  : raio exterior da bobina [m];

$r_{final}$  : raio interior da bobina [m].

A aceleração angular é a derivada da velocidade angular em função do tempo. Calculando a velocidade angular ao longo do tempo de desenrolamento, gerando uma função, é possível calcular a aceleração angular derivando essa função. Como neste tipo de processos a velocidade linear da corda é constante, e para cada tempo de desenrolamento corresponde um determinado raio da bobina, é possível calcular a velocidade angular pela equação (2.8):

$$v_{linear} = \omega \times r \Leftrightarrow \omega = \frac{v_{linear}}{r} \quad (2.8)$$

Onde:

$v_{linear}$  : velocidade linear da corda (m/s);

$\omega$  : velocidade angular da bobina (rad/s).

#### 2.2.4.3.1 *Momento de desenrolamento*

A tensão presente na corda é a responsável pelo desenrolamento da bobina. Como a corda tem que fazer girar a bobina, a corda é submetida a altas variações de tensão. No início do desenrolamento, uma alta tensão é imposta à corda para superar o atrito entre a bobina e o seu suporte, bem como superar o efeito da inércia estacionária da bobina. Estes dois fatores podem variar entre os materiais, pois dependem do peso do pacote. Depois de a bobina começa a rodar, a tensão diminui. Quando, por algum motivo, o desenrolamento de corda é interrompido de repente, esta não para de imediato, devido à sua inércia, o que causa uma redução significativa na tensão da corda. Este sistema não é, portanto, muito adequado para desenrolamentos de altas velocidades [25].

A Figura 20 representa esquematicamente a tensão na corda, que provoca o momento de desenrolamento. Este momento pode ser calculado pela equação (2.9):

$$M_{corda} = T \times r \quad (2.9)$$

Onde:

$M_{corda}$  : Momento provocado pela tensão na corda [N·m];

$T$  : Tensão na corda têxtil [N];

$r$  : Raio da bobina de corda têxtil [m].

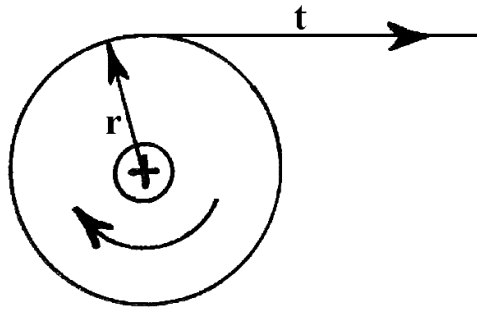


Figura 20 - Tensão na corda responsável por rodar a bobina [25].

#### 2.2.4.3.2 *Momento de travagem*

Existem vários mecanismos de controlo de tensão, responsáveis por gerar o momento de travagem. Com o desenvolvimento da tecnologia das máquinas, os sistemas de controlo de tensão sofreram, até agora, três fases de desenvolvimento, isto é, controlador de tensão mecânico, elétrico e computadorizado [27].

Um controlador de tensão mecânica manipula a tensão através de uma estrutura mecânica. O controlador de tensão compensatória é um exemplo. É um controlador de tensão compensatório automaticamente balanceado, cujo momento de travagem depende do atrito entre uma correia e o tambor onde a bobina de corda é colocada. O ajuste do momento de travagem é realizado pela manipulação do tamanho da deformação de uma mola, que está conectada a uma das extremidades da correia. Estes tipos de controladores são simples e fáceis de fabricar, mas a sua precisão de controlo é baixa e sua capacidade de rebobinagem é fraca.

A Figura 21 mostra um exemplo de um controlador de tensão mecânico.



Figura 21 - Controlador de tensão mecânico da marca Texmer [28].

Nestes sistemas mecânicos, é possível calcular o momento de travagem ( $M_{travagem}$ ) que ele provoca, pela equação (2.10):

$$M_{travagem} = (T_3 - T_2) \times r_2 \quad (2.10)$$

Onde:

$T_2$  : Força exercida pela mola [N];

$T_3$  : Força exercida pela correia na extremidade conectada à estrutura [N];

$r_2$  : Raio da superfície circular onde é aplicada a correia [m].

A força exercida pela mola pode ser calculada pela equação (2.11):

$$T_2 = P + k \times x \quad (2.11)$$

Onde:

$P$  : pré-carga existente na mola provocada pelo seu processo de fabrico [N];

$k$  : constante elástica da mola [N/m];

$x$  : deslocamento da mola [m].

Sabendo como obter o valor da força da mola, é possível calcular a força exercida pela correia na extremidade fixa à estrutura pela equação (2.5) descrita no capítulo 2.2.4.2. Durur *et al.* [29], estudou o enrolamento cruzado de bobinas de fio. Também calculou o momento de travagem da bobina a ser enrolada da forma descrita neste capítulo, mas a força exercida na correia de travagem não era provocada por uma mola, mas sim por uma massa com um peso definido.

Na década de 1970, surgiu o controlador de tensão elétrica, que geralmente usa um transdutor de tensão para realizar a deteção em tempo real da tensão dos fios ou cordas, e depois realimentar o resultado de volta ao controlador. O controlador compara o valor pré-definido e o valor de realimentação da tensão, ajusta o valor e envia um sinal de controlo que, após amplificado, aciona um motor elétrico ligado ao fuso, onde se encontra a bobina de corda, e uma embraiagem eletromagnética, limitando a tensão do fio dentro de um determinado intervalo. Este tipo de controlador possui uma forte capacidade de rebobinagem, no qual a tensão pode ser ajustada automaticamente e a sua precisão de controlo é maior do que num controlador de tensão mecânica. No entanto, como o circuito artificial pode ser perturbado pelo ambiente, a tensão na corda está sujeita a flutuações.

Com o desenvolvimento da tecnologia eletrônica, surgem os microprocessadores. Deste modo, o controlador de tensão computadorizado passou a ser utilizado. O microprocessador torna-se o núcleo do sistema de controlo e, portanto, reduz o número de circuitos do sistema eletrónico, o que simplifica bastante o sistema, melhora a sua confiabilidade e possibilita a aplicação de métodos avançados de controlo. Um controlador de tensão computadorizado pode trabalhar sozinho ou estar conectado e comunicar com um servidor. Assim, a tensão do fio pode ser gravada, exibida e ajustada automaticamente. Neste sistema de controlo, existem bastantes alternativas para a aplicação do momento de travagem. Em vez da utilização de um motor elétrico e uma embraiagem, é possível utilizar, por exemplo, um travão pneumático e um sensor que lê o momento real aplicado. Os sensores ultrassônicos podem substituir os transdutores de tensão, determinando qual a tensão presente na corda através da leitura do raio da bobina, aplicando a equação (2.9) [30]. Estes sistemas de controlo de tensão são muito utilizados na indústria de filmes de polímeros, e está ilustrado o seu esquema de funcionamento na Figura 22.

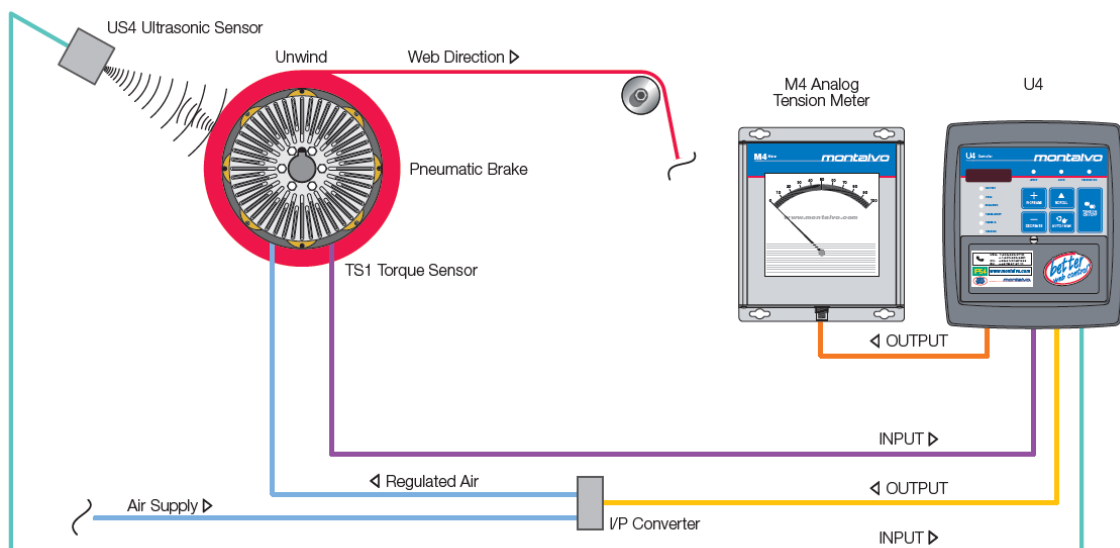


Figura 22 - Esquema de um sistema de controlo de tensão computadorizado da marca Moltavo [30].

### 2.3 Qualidade

A qualidade é uma meta possível de medição e não apenas uma definição vaga daquilo que é bom. Roldão *et al.* [31], compilou uma série de definições possíveis de qualidade, segundo o ponto de vista de vários autores. “Deming define qualidade como um grau previsível de uniformidade e confiança ao mais baixo custo e adaptado às necessidades do mercado, considerando ainda que a qualidade se fabrica e não se inspeciona. Philip Crosby considera que a qualidade é um processo dinâmico e não um programa em que o único padrão de desempenho

é o “zero defeitos”. Kaoru Ishikawa considera que é necessária a satisfação do cliente (interno e externo), de modo a que as suas expectativas sejam atingidas ou excedidas, com base numa melhoria contínua do processo. Juran define qualidade como a adequação ao uso ou propósito, preferindo essa definição à de conformidade com a especificação”.

Embora o conceito de qualidade faça parte da vida das pessoas há muito tempo, apenas recentemente passou a ser considerada como uma função importante da gestão das empresas. Tendo, no início, um carácter meramente corretivo, nos dias de hoje, as atividades relacionadas com a qualidade passaram a ser vistas como essenciais às estratégias empresariais. Tudo isto devido ao aumento da concorrência e da internacionalização dos mercados, o que origina a necessidade das empresas se otimizarem, gerando produtos com melhor relação custo/qualidade. A Tabela 3 apresenta a evolução do conceito de qualidade.

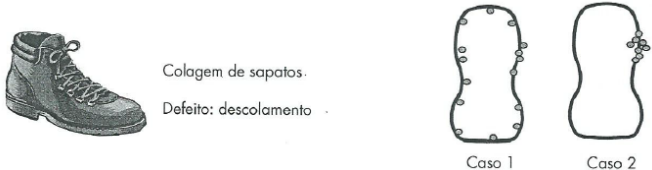
Tabela 3 - Evolução do conceito de qualidade [31].

Conceito antigo	Conceito moderno
A qualidade é da responsabilidade do departamento de controlo da qualidade.	A qualidade é da responsabilidade de todos
Visão defensiva da qualidade: impedir que saiam produtos defeituosos.	Visão ofensiva da qualidade: é um fator de competitividade; necessidade de ultrapassar a concorrência.
O conceito qualidade aplica-se aos produtos.	O conceito qualidade e os princípios da melhoria contínua aplicam-se aos produtos, aos serviços e à organização.

### 2.3.1 Ferramentas base da qualidade

De forma a tornar a qualidade em algo prático e não em algo tão empírico, existem ferramentas que auxiliam os grupos de trabalho e as empresas na resolução de problemas e na melhoria contínua. Estas ferramentas são responsáveis por estruturar ideias. Sem elas, não é possível a aplicação dos métodos de gestão da qualidade. Sousa *et al.* [32], aplicou estas ferramentas da qualidade, assim como ferramentas de controlo estatístico do processo, para detetar fontes de variação do processo, com o objetivo de melhorar o processo de fabrico e aumentar o número de peças produzidas em conformidade. Neste capítulo, serão apresentadas as sete ferramentas base, que se encontram descritas na Tabela 4.

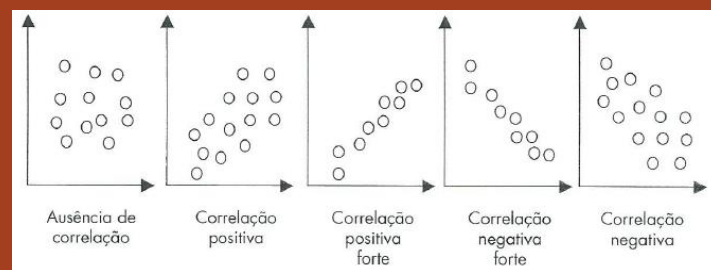
Tabela 4 - As sete ferramentas base da qualidade (adaptado [33]).

Ferramentas base da qualidade	Descrição
<p><b>Folha de registos</b></p>	<p>Todas as ações de melhoria devem basear-se em dados quantificados, se possível. As folhas de registo têm como objetivo a recolha desses dados. Estas facilitam e documentam a recolha de informação nos postos de trabalho. Devem ser fáceis de utilizar pelo operador, assim como de fácil leitura e armazenamento.</p>
<p><b>Diagrama de concentração de defeitos</b></p>	<p>Pode dizer-se que este diagrama desempenha também a função de folha de registo, mas com a função de evidenciar pontos fracos no produto. Cada vez que se detetar uma falha, coloca-se uma marca no esquema do produto a assinalar o lugar da sua ocorrência.</p> <div style="text-align: center;">  <p>Colagem de sapatos. Defeito: descolamento</p> <p>Caso 1      Caso 2</p> </div>
<p><b>Histograma</b></p>	<p>Permite representar os dados sob a forma gráfica, tendo como função ilustrar as variações. A altura de cada barra é proporcional à frequência de ocorrência de valores. Permite perceber qual a distribuição dos dados, assim como o descentramento da média dos valores do valor de referência.</p>
<p><b>Diagrama Causa e efeito</b></p>	<p>Também conhecido como diagrama Ishikawa (o seu inventor) ou por diagrama de espinha de peixe, tem como função identificar a origem/causas de um problema. Este diagrama elabora-se geralmente na sequência de uma sessão de <i>brainstorming</i>, que consiste numa sessão de grupos multidisciplinares, em que o objetivo é fomentar a criatividade e recolher o máximo de ideias possível sobre o assunto analisado. As causas para o problema dividem-se,</p>

normalmente pelos 5 Ms: mão de obra, meio ambiente, método, máquina e matéria prima.

### Diagrama de correlação

O diagrama de correlações é outra ferramenta conhecida, mas muito pouco utilizada, que permite saber se duas variáveis evoluem em conjunto. Este diagrama representa-se por um gráfico, em que cada eixo representa uma variável. Cada ponto no gráfico representa uma medição. Através da tendência da nuvem de pontos, é possível descrever que tipo de correlação existe.

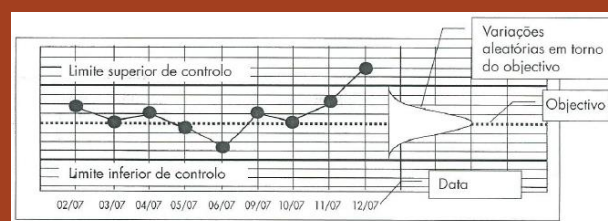


### Diagrama de Pareto

Esta ferramenta gráfica permite classificar os dados, ordenando-os por ordem decrescente de frequência, hierarquizando os factos. A sua construção é simples, bastando ordenar as causas por frequência.

### Cartas de controlo

Tem como função controlar o processo, através da análise estatística dos dados. O princípio base consiste em considerar que todos os sistemas estão submetidos a um comportamento aleatório, cuja distribuição segue a lei normal. Enquanto as variações do processo estiverem contidas dentro dos limites estatísticos normais, não é necessário desencadear qualquer ação. Quando as variações forem superiores a algum daqueles limites, considera-se que o processo deixou de estar sob controlo e que é oportuno intervir.



### 2.3.2 Melhoria dos processos

Para aumentar a qualidade da conformidade e, conseqüentemente, a qualidade dos produtos fabricados, é necessário um conhecimento profundo dos processos de fabrico. É neste ponto que a análise estatística tem um grande impacto. A estatística é utilizada para caracterizar, otimizar e controlar os processos porque, através de pequenas amostras, permite conhecer toda a população, que é o processo.

Existem métodos como o desenho de experiências e o método de Taguchi, que são utilizados para caracterizar e otimizar o processo como um todo, tendo em conta os vários parâmetros de fabrico. Estes métodos não serão abordados nesta dissertação, uma vez que não se aplicam quando se estuda apenas um parâmetro de fabrico isolado.

De forma a caracterizar os processos, são utilizados testes estatísticos, que relacionam amostras e permitem retirar conclusões sobre o processo. Estas conclusões evidenciam o real comportamento do processo, e com este conhecimento, é possível atingir melhorias significativas na qualidade dos produtos. A Tabela 5 resume os testes estatísticos utilizados nesta dissertação.

Tabela 5 - Alguns testes estatísticos utilizados para o estudo dos processos de fabrico.

Teste estatístico	Explicação
<b>Teste t student</b>	Teste de hipóteses utilizado para determinar se as médias de duas amostras independentes diferem entre si. Neste teste, a hipótese nula diz que a diferença entre as médias é zero, ou igual a uma diferença hipotética. A hipótese alternativa diz que a diferença das médias é diferente, menor ou maior que zero ou que a diferença hipotética. A hipótese alternativa é escolhida conforme o que se pretende do teste [34].
<b>ANOVA</b>	Método estatístico utilizado para interpretação de dados experimentais. Esta metodologia não analisa diretamente os dados, apenas determina a variabilidade (variância) dos mesmos. O propósito da aplicação desta técnica baseia-se em decompor a variabilidade total dos dados, medida através da soma dos quadrados dos desvios em relação ao valor da média, em contribuições de cada fator e do erro nos dados [35]. A ANOVA pode ser utilizada em experiências que

apenas possuem um fator (um parâmetro de processo) para vários fatores de saída (propriedades do material a analisar).

### Teste do desvio padrão

Este teste tem como objetivo determinar se a variabilidade de duas ou mais amostras independentes difere significativamente. Como o desvio padrão é a raiz quadrada da variância, um teste de hipóteses que compara desvios padrão, é equivalente a um teste de hipóteses que compara variâncias. Para comparar o desvio padrão de duas amostras, utiliza-se o teste de Bonett. Para comparar o desvio padrão entre várias amostras, utiliza-se o procedimento de comparações múltiplas [36].

A forma de concluir estes testes e avaliar se existe ou não diferenças significativas entre as amostras, passa por comparar o valor-p com o nível de significância. O valor-p é calculado através da estatística de teste e se for superior ao nível de significância (normalmente de 5%), então é possível concluir que as amostras não diferem. Esta diferença pode ser de médias ou desvios padrão, dependendo do teste realizado.

O Minitab é um programa estatístico utilizado para a realização destes testes, assim como para outras áreas da qualidade. Ao colocar os dados das amostras no programa, e escolher o teste pretendido, este realiza os testes automaticamente e gera um relatório resumo, onde evidencia as conclusões do teste. A principal conclusão passa pela comparação do valor-p com o nível de significância.

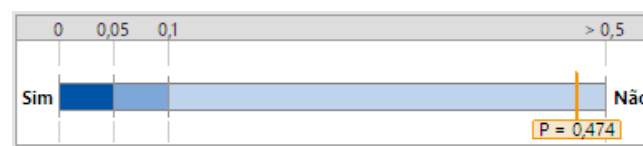


Figura 23 - Diagrama do valor-p obtido através do Minitab.

A Figura 23 ilustra um exemplo de um diagrama do valor-p retirado de um teste estatístico. Analisando a figura, é possível entender que não existe diferenças significativas entre as amostras, uma vez que o valor-p (0,474) é superior ao nível de significância (0,05).



# APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

3.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

3.3 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE FABRICO DE *CAP PLY*

3.4 ISHIKAWA (CAUSAS-RAIZ)

3.5 GERAÇÃO DE IDEIAS



## 3 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

### 3.1 Apresentação da empresa

#### 3.1.1 Continental AG

A Continental foi fundada em Hannover (Alemanha) no ano 1871. Nesta altura, a sua produção centrava-se em produtos suaves de borracha, tecidos emborrachados, e pneus maciços para carruagens e bicicletas. Em 1898, a empresa inaugura a sua produção de pneus de piso liso para automóveis, iniciando assim a evolução do pneu até aos dias de hoje. A Continental acompanhou sempre a evolução da indústria automóvel, de forma a manter elevados requisitos de qualidade. Neste sentido, em 1904, a Continental foi pioneira no desenvolvimento e produção de pneus para automóveis com desenho de piso, e no ano seguinte surge a produção de pneus antiderrapantes para neve. Três anos mais tarde, inventou a jante desmontável para automóveis ligeiros, facilitando em tempo e esforço a sua substituição. Foi em 1960 que se iniciou a produção em série de pneus automóveis. Em 2007, a Continental adquire a Siemens VDO Automotive AG e avança para os cinco maiores fornecedores mundiais da indústria automóvel, desenvolvendo ao mesmo tempo a sua posição na Europa, América do Norte e Ásia.

Para além dos pneus, 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 operações ligadas ao setor automóvel, também produz maquinaria para a indústria mineira, de mobiliário e impressão, para além de máquinas para as suas próprias linhas de produção. A Continental tem, neste momento, 220.130 colaboradores em cinco divisões: Chassis e Segurança, "Powertrain", Interior, Pneus e ContiTech. Estão presentes em 56 países e em cerca de 427 locais diferentes.

De momento, o grupo Continental possui cinco empresas em Portugal (Tabela 6).



Figura 24 - Logotipo Continental (Fonte: Intranet - Continental).

Tabela 6 - Empresas do grupo Continental em Portugal.

<b>Continental em Portugal</b>	
<b>Continental Mabor – Indústria de pneus S.A.</b>	Fabrico de pneus para veículos de passageiros.
<b>Continental Pneus Portugal S.A.</b>	Comercialização dos pneus produzidos pela Continental.
<b>Indústria Têxtil do Ave S.A. (ITA)</b>	Fabrico de produtos têxteis para a indústria de pneus.
<b>Continental Teves Portugal – Sistemas de travagem, Lda.</b>	Produção e montagem de travões para fabricantes de automóveis.
<b>Continental Lemmerz Portugal – Componentes para Automóveis, Lda.</b>	Montagem de rodas (jante e pneu) para veículos produzidos na AutoEuropa.

### 3.1.2 Continental Mabor

A Mabor – Manufatura Nacional de Borracha, S.A. (Figura 25), foi a primeira fábrica de pneus em Portugal. Iniciou o seu exercício em 1946, com assistência técnica concedida pela General Tire, sediada na cidade de Ohio (E.U.A.). Em dezembro de 1989, nasceu a Continental Mabor, que resultou da união de duas empresas de renome na manufatura da borracha, a Mabor, a nível nacional, e a Continental AG., de dimensão mundial. A empresa situa-se na localidade de Lousado, Vila Nova de Famalicão.

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 5.000 pneus/dia em 1990, em 1996 foram atingidos os 21.000 pneus/dia.

A Continental Mabor inclui, no seu portfólio, pneus destinados a veículos ligeiros e SUVs, pneus de alta performance, pneus ContiSeal (capacidade de resistir a perfurações) e pneus ContiSilent (baixos índices de ruído). A sua gama de fabrico inclui pneus de jante 14" até 22", para variados modelos e marcas de carros. A fábrica portuguesa produz atualmente uma média diária de 56.000 pneus, ganhando por diversas vezes o prémio “Quality Awards” (melhor fábrica a nível de qualidade do grupo Continental na divisão de pneus). Mais de 98% da sua produção destina-se à exportação. Neste momento, a Continental Mabor conta com cerca de 2.000 colaboradores nos quadros permanentes da empresa.



Figura 25- Instalações da Continental Mabor - Indústria de pneus S.A. (Fonte: SETE – Lousado Newsletter nº 11/2018).

A Continental Mabor é considerada líder entre todas as outras fábricas constituintes da Continental AG na divisão de pneus. A empresa tem como visão ser **LIDER**:

- Lousado eficiente, onde se mantém o intuito de continuarem a fazer mais e melhor;
- Inovação e antecipação das necessidades dos clientes;
- Desenvolver produtos de alta tecnologia;
- Excelência no conhecimento e nos processos;
- Rentável de forma sustentável.

A empresa tem como missão:

- Crescer, criando valor e rentabilidade sustentada, trabalhando **uns pelos outros**;
- Ter a **confiança** dos clientes nos serviços e produtos de tecnologia avançada;
- Ser reconhecidos pela eficiência, qualidade, flexibilidade, inovação e **paixão por vencer**;
- Promover a excelência de colaboradores qualificados, motivados e com **liberdade para agir**.

### Processo produtivo

Na Continental Mabor, o sistema produtivo encontra-se subdividido em cinco departamentos de produção. Esta divisão está diretamente relacionada com os componentes e diferentes fases da produção do pneu. Paralelamente a estes cinco departamentos, existe o Departamento de Apoio Técnico à Produção – DATP. Este departamento é responsável por todos os processos de fabrico e por todas as ferramentas e moldes utilizados na produção. Esta dissertação foi desenvolvida juntamente com técnicos do DATP, responsáveis pelos processos de preparação a frio. A Tabela 7 descreve a função dos cinco departamentos de produção.

Tabela 7 - Descrição dos departamentos de produção.

Departamento de produção	Descrição
Misturação	Produção dos vários tipos de compostos utilizados no pneu. Estes compostos são utilizados na preparação dos diversos componentes do pneu. As principais máquinas são os misturadores de borracha.
Preparação	Dividida em dois subdepartamentos: preparação a frio e a quente. A preparação a frio é composta por calandras, <i>innerliners</i> , <i>cap-strips</i> e máquinas de corte, dando origem aos seguintes componentes: tela têxtil, <i>breaker</i> (cinta metálica), <i>cap ply</i> (cinta têxtil enrolada) e camada estanque. A preparação a quente é constituída por extrusoras, <i>CT's</i> e <i>Apex's</i> , que dão origem aos seguintes componentes: talões, paredes de reforço e pisos.
Construção	Receção dos subprodutos produzidos na preparação e construção do “pneu em verde” (pneu já construído antes de ser vulcanizado). Os módulos de construção são compostos por duas máquinas, sendo estas as <i>Karkasse Maschine</i> (KM) e as <i>Production Unit</i> (PU). Nas máquinas KM é construída a carcaça do pneu, que é constituída por camada estanque, tela têxtil, talões e paredes de reforço. As máquinas PU anexam à carcaça já construída os <i>breakers</i> , tiras de <i>cap ply</i> e o piso.
Vulcanização	Vulcanização do “pneu em verde”. O pneu é colocado em prensas e é sujeito a altas pressões e temperaturas. Estes ciclos de pressão e temperatura são responsáveis pela cura da borracha, conferindo a forma e propriedades finais do pneu.
Inspeção final	Inspeção visual dos pneus a 100%, seguido por testes de uniformidade, geometria e balanceamento.  Nesta fase, são também realizadas marcações no pneu, especificadas pelos clientes com o objetivo de facilitar a montagem do pneu na jante.

A Figura 26 apresenta o fluxograma do processo produtivo, onde estão englobados os cinco departamentos de produção anteriormente descritos. No anexo 1, é apresentado o fluxograma do processo num maior formato para melhor leitura.

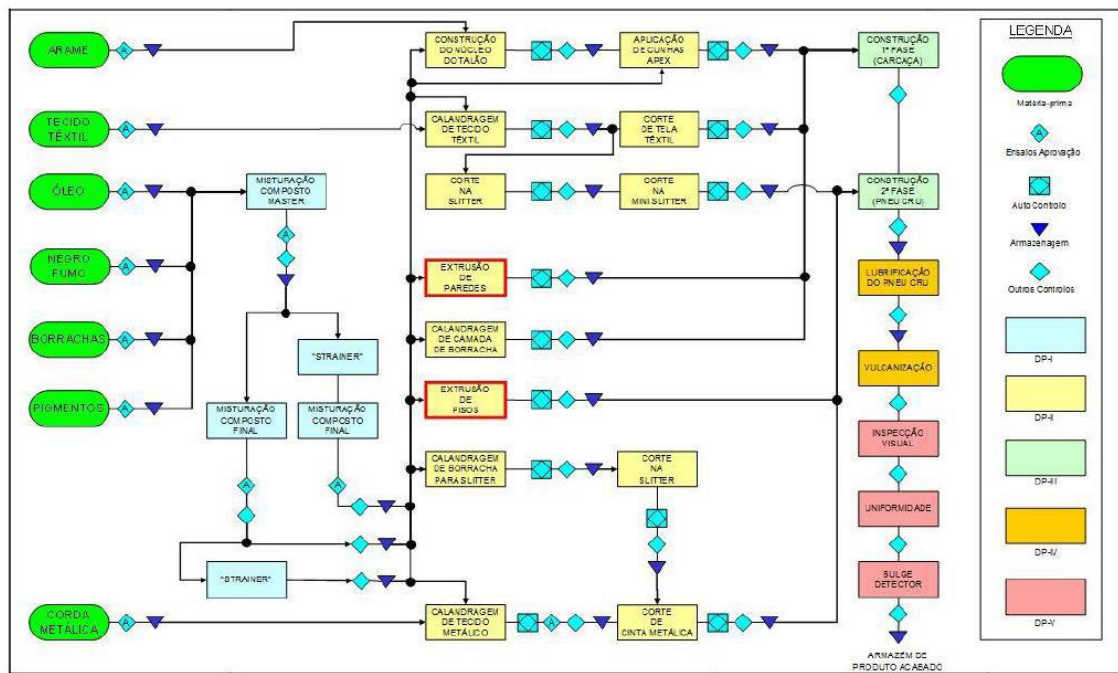


Figura 26 - Fluxograma do processo de fabrico (Fonte: Continental Mabor).

### 3.2 Caracterização do problema

O problema proposto consiste em analisar o impacto que a tensão de desenrolamento das cordas têxteis tem no fabrico de um componente, ou seja, avaliar se a tensão provocada nas cordas têxteis tem influência nas propriedades, quer do componente, quer do pneu. Pretende-se ainda avaliar possíveis melhorias ao processo, de forma a reduzir o número de cordas partidas.

Quando as tensões são diferentes nas cordas de uma tira de *cap ply*, esta pode torcer e não ficar plana, como se pretende. Este efeito impossibilita a aplicação do *cap ply* no pneu, nas máquinas de construção. A Figura 27 ilustra um exemplo de *cap ply* torcido.



Figura 27 - Exemplo de *cap ply* torcido.

A quebra de uma corda obriga à paragem do processo produtivo, pois é necessário abrir o cabeçote da máquina, abrir a fieira e repor a corda ou cordas partidas. Esta paragem gera desperdícios, quer em *scrap* (1,5 kg a 2 kg) quer em tempo de paragem de produção (10 a 15 minutos). A Figura 28 apresenta exemplos de cordas partidas.

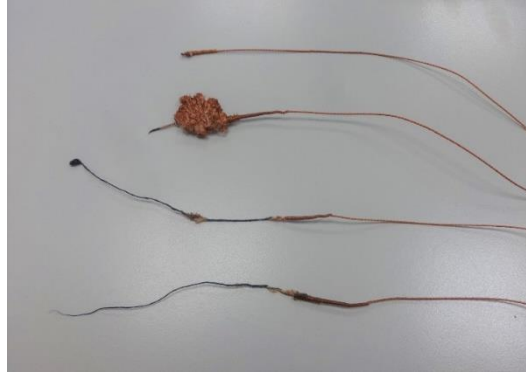


Figura 28 - Exemplos de cordas partidas durante o processo.

É desejável uma distribuição uniforme das cordas nas tiras de *cap ply*. Em algumas situações, as cordas não têm um espaçamento igual entre elas, ficando umas mais juntas e outras mais afastadas. Este fenómeno é originado pela falta de uma corda na tira de *cap ply*. A Figura 29 mostra uma tira de *cap ply* com sete cordas em vez de oito, onde se percebe a existência de uma distribuição não uniforme das cordas.

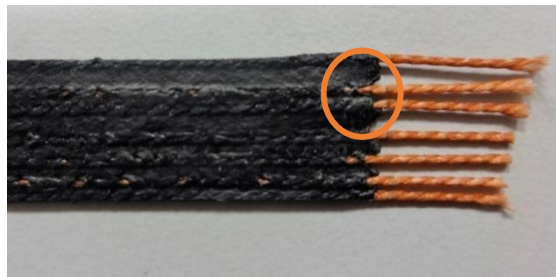


Figura 29 - *Cap ply* com distribuição não uniforme das cordas de reforço.

Para além da distribuição não uniforme das cordas, uma corda partida pode provocar uma não correta impregnação das restantes cordas. A Figura 30 ilustra a má impregnação da tira de *cap ply* provocada por uma corda partida.



Figura 30 - *Cap ply* não conforme por má impregnação de borracha provocada por corda partida.

A distribuição não uniforme e a má impregnação das cordas provocam problemas no enrolamento do material, nas estações de enrolamento da *cap-strip*, ou no desenrolamento do material nas máquinas de construção de pneus. A Figura 31 apresenta duas tiras de *cap ply* retiradas de duas bobinas distintas depois de enroladas. A tira da esquerda apresenta uma boa impregnação e uma boa distribuição das cordas. A tira da direita apresenta uma má distribuição das cordas causada pela má impregnação da tira da Figura 30.

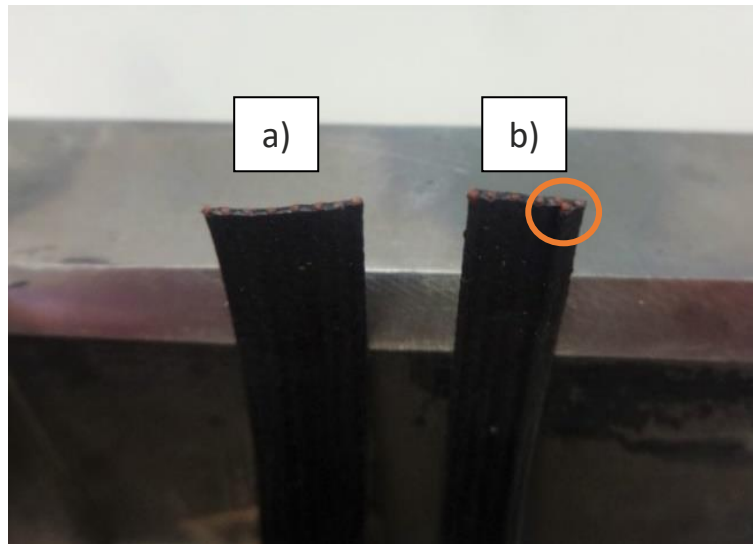


Figura 31 - Tira com boa distribuição de cordas (a) e tira com má distribuição de cordas (b) após o enrolamento.



### 3.3 Descrição do processo de fabrico de *cap ply*

O componente *cap ply* pode ser fabricado de duas formas distintas:

- Calandragem do tecido e posterior corte das tiras nas *slitters* e *mini-slitters*;
- Tiras produzidas nas máquinas chamadas de *cap-strips*.

Neste projeto, o processo de fabrico estudado é o que produz *cap ply* através das *cap-strips*. Enquanto o fabrico de *cap ply* por tecido calandrado na calandra e posterior corte na *slitter* e *mini-slitter* tem a necessidade de passar por três máquinas diferentes, o fabrico de *cap ply* nas *cap-strips* é totalmente conseguido apenas nesta máquina. A Tabela 8 ilustra e descreve o processo de fabrico utilizado nas *cap-strips*.

Tabela 8 - Descrição do processo de fabrico de *cap ply* utilizado nas *cap-strips*.

Ilustração	Descrição
	<p><b>Creel:</b> zona onde as bobinas de corda têxtil são posicionadas e desenroladas. As bobinas de corda são adquiridas do fornecedor com um ângulo de enrolamento constante e com um enrolamento paralelo. É no <i>creel</i> que se controlam as tensões de desenrolamento dadas às cordas, através de um sistema mecânico correia/tambor.</p>
	<p>Após o <i>creel</i> carregado segundo uma determinada ordem, que depende do material a fabricar, as cordas são enfiadas na <b>placa perfurada</b>. Esta tem como função alinhar as cordas entre o <i>creel</i> e o cabeçote, de modo que as cordas tenham uma distribuição mais uniforme à entrada da fieira.</p>
	<p>Após a passagem das cordas pela <b>placa perfurada</b>, estas são enfiadas na <b>fieira</b>. A fieira é uma ferramenta que difere consoante o material a ser produzido. É composta por furos onde passam as cordas têxteis, e por ranhuras onde entra a borracha para a impregnação das cordas.</p>



O **cabeçote** é o componente da máquina onde se encontra acoplada a fieira. Aqui, as cordas são impregnadas com borracha, dando origem às tiras de *cap ply*. A máquina produz, no máximo, dezasseis tiras de componente.



A **extrusora** está conectada lateralmente ao cabeçote. Esta é alimentada através das mesas de composto, aquece e força a borracha a entrar para o cabeçote, que por sua vez entra na fieira e cobre as cordas têxteis.



Após saírem do cabeçote, as tiras de *cap ply* passam pelo **circuito de refrigeração**, onde circula um fluido frio (água). Este circuito tem como objetivo arrefecer o composto que se encontra quente após a impregnação das cordas. As tiras saem da estação de refrigeração com temperatura a rondar os 20°C.



Após o arrefecimento, as tiras de *cap ply* passam para a **secção de enrolamento**. Cada tira é enrolada em bobinas individuais, segundo uma determinada tensão de enrolamento. No final do enrolamento, cada bobina possui cerca de 2.500 m de *cap ply*.



Quando as bobinas atingem a metragem de *cap ply* desejada, são retiradas das posições de enrolamento e transferidas para o **carro de transporte**. Estes carros são depois transportados para a construção (máquinas PU), para aplicação do material no pneu.

A Tabela 9 resume os parâmetros gerais do processo de fabrico de *cap ply* para os dois materiais mais utilizados, nomeadamente a velocidade de produção, que corresponde à velocidade linear com que as cordas são desenroladas, a pressão do módulo hidráulico e a pressão da extrusora. A Tabela 9 também apresenta as duas especificações mais controladas do *cap ply*, sendo estas o número de cordas por tira (EPDM) e a espessura da tira.

Tabela 9 - Parâmetros gerais do processo de fabrico de *cap ply* nas *cap-strips* e especificações.

Corda	EPDM	Espessura da tira de <i>cap ply</i> (mm)	Velocidade de produção (m/min)	Pressão do módulo hidráulico (bar)	Pressão da extrusora (bar)
<b>Nylon®</b>	80 (8 cordas)	0,75	55	170	50
<b>Híbrido (aramida + nylon®)</b>	90 (9 cordas)	1,1	45	220	40

### 3.4 Ishikawa (causas-raiz)

Após a compreensão do problema proposto e a caracterização do processo de fabrico, surge a necessidade de decidir por onde se abordar o problema em questão. Por este motivo, recorreu-se a duas ferramentas da qualidade amplamente utilizadas para a resolução de problemas. São estas ferramentas o *brainstorming* e o diagrama causa-efeito/Ishikawa/espinha de peixe.

A sessão de *brainstorming* reuniu um grupo de trabalho multidisciplinar composto por dois engenheiros de processo, dois engenheiros de industrialização do produto, um inspetor de qualidade, um engenheiro de manutenção e um operador. Começou-se por definir claramente o âmbito da sessão, que consiste no problema de cordas partidas no fabrico de tiras de *cap ply* nas *cap-strips*. De seguida, procedeu-se à geração de ideias de forma indiscriminada, onde foram discutidas diversas causas para o problema em questão. Estas causas foram então associadas a cinco causas base (mão de obra, máquina, meio ambiente, material e método) de forma a facilitar a organização das ideias. Por último, cada interveniente na sessão votou na causa que lhe aparentava ser mais crítica para o problema. Desta sessão de *brainstorming* resultou um diagrama causa-efeito que esquematiza de forma esclarecedora as ideias debatidas. Na Figura 32 está representado o diagrama causa-efeito com as possíveis causas mais críticas assinaladas a vermelho.

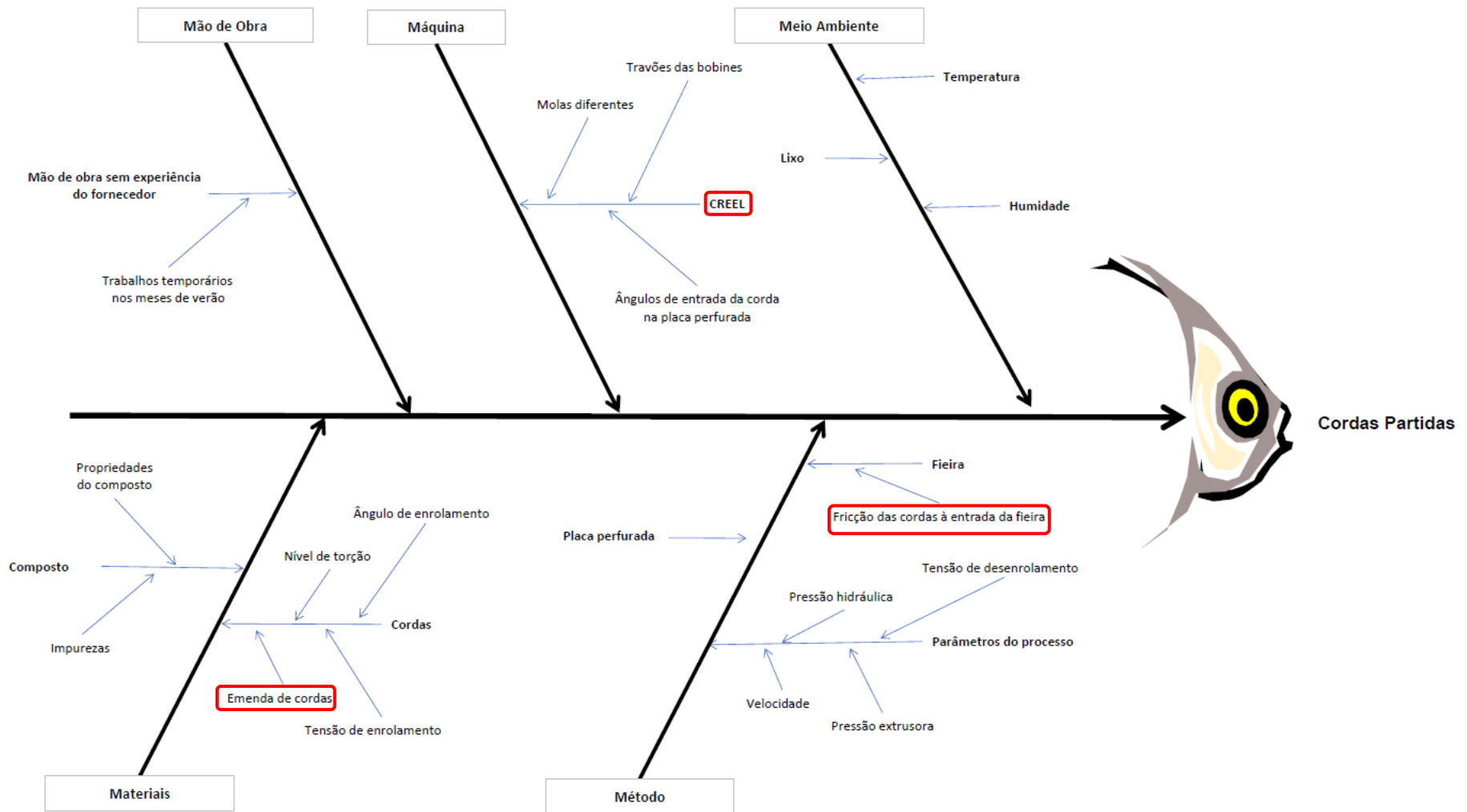


Figura 32 - Diagrama causa-efeito para o problema de cordas partidas.

As causas consideradas mais propensas a partirem cordas no fabrico de *cap ply* são as emendas de cordas, a fricção das cordas à entrada da fieira e o *creel* (Tabela 10).

Tabela 10 - Explicação das causas consideradas mais críticas para a ocorrência de cordas partidas.

Causa	Explicação
Emenda nas cordas	<p>Problema detetado em algumas bobinas de corda, que remete ao fornecedor do material. Quando, no processo de enrolamento das cordas em bobinas, alguma corda parte, o fornecedor emenda essa corda partida de forma a continuar com o enrolamento até a bobina atingir a metragem desejada. O que acontece é que algumas emendas <b>umentam a espessura da corda</b> e ao passar na fieira, como possui uma espessura maior, pode partir nesta secção. Também porque se trata de uma emenda, mesmo que não aumente a espessura da corda, é sempre uma <b>zona fragilizada</b> suscetível a partir.</p>
<i>Creel</i>	<p>Zona da máquina considerada uma causa importante, uma vez que é nele que se <b>controlam as tensões</b> dadas à corda durante o seu desenrolamento. Estas tensões podem ser a causa de cordas partidas, como também de alterações às propriedades das tiras de <i>cap ply</i>. Para além deste fator, as condições em que se encontra o <i>creel</i> e como o material é desenrolado e guiado, também podem ser fatores influentes no problema.</p>
Fieira	<p>Ferramenta utilizada para guiar as cordas, dar-lhes o espaçamento correto e permitir que estas sejam impregnadas com borracha. Trata-se de uma ferramenta técnica que varia com o material a ser produzido. Os furos da fieira por onde passam as cordas possuem arestas vivas, e como as cordas entram na fieira em ângulo, existe uma <b>constante fricção</b> entre a corda e a ferramenta. Este fator pode provocar a rotura das cordas, pois se algum filamento se romper, este fica acumulado na fieira e acaba por partir a corda. Se alguma corda possuir algum tipo de imperfeição, esta fricção torna-se ainda mais crítica.</p>

### 3.5 Geração de ideias

Ponderando o problema inicialmente proposto juntamente com as principais causas de cordas partidas, procedeu-se à geração de ideias de forma a ultrapassar e resolver o problema proposto.

Como grande parte do projeto se debruça em entender o impacto que a tensão da corda de reforço tem no fabrico do componente, o *creel* das máquinas será o principal ponto a ser estudado, pois é nesta parte da máquina que são dadas e controladas as tensões nas cordas durante o desenrolamento das bobinas. Assim, irá começar-se por um estudo ao estado atual dos *creels* e às tensões presentes nas cordas, de modo a caracterizar esta parte do processo. De seguida, serão realizadas experiências de modo a entender se as tensões nas cordas alteram ou influenciam o processo de fabrico de *cap ply*, as suas propriedades físicas, bem como a uniformidade do pneu.

De forma a combater mais diretamente as cordas partidas, e de acordo com as causas analisadas anteriormente no diagrama causa-efeito, a fricção das cordas à entrada da fieira será um fator a tentar ultrapassar, para perceber se realmente são uma causa de cordas partidas. Para isso, foram pensadas duas abordagens distintas:

- Eliminar as arestas vivas à entrada da fieira, através da maquinagem das ferramentas, boleando as arestas;
- Eliminar as entradas em ângulo das cordas têxteis na fieira, fazendo com que estas entrem alinhadas com os furos da ferramenta.

A primeira abordagem, embora elimine as arestas vivas, não anula a fricção entre a fieira e as cordas, uma vez que as cordas não entram alinhadas. Como o espaçamento entre furos é muito reduzido, o raio do filete teria que ser extremamente reduzido, o que poderia não produzir efeitos práticos ao nível de redução de cordas partidas. As fieiras utilizadas para o fabrico de *cap ply* foram alvo de muita investigação, até se encontrar a forma mais correta de as fabricar, de modo a que produzissem material de qualidade. Por este motivo, retrabalhar estas ferramentas é algo crítico, sendo preferível explorar primeiro outras sugestões de melhoria.

O objetivo da segunda abordagem é eliminar a fricção entre as arestas de entrada da ferramenta e as cordas. O diâmetro dos furos é ligeiramente superior ao diâmetro das cordas têxteis. Por este motivo, ao alinhar as cordas na horizontal e na vertical (eliminar os ângulos de entrada), elimina-se a fricção. Com isto, poderá ser possível reduzir o número de cordas partidas durante o processo, ao mesmo tempo que se reduz o desgaste da fieira, aumentando a sua longevidade.

Perante a análise anterior, para além do estudo das tensões nas cordas de reforço, irá ser desenvolvida uma forma de reduzir o número de cordas partidas, através da abordagem de alinhar as cordas à entrada da fieira.



# TENSÕES DE DESENROLAMENTO

- 4.1 APARELHO DE MEDIÇÃO DE TENSÃO
- 4.2 SISTEMA DE TRAVAGEM DAS BOBINAS DE CORDA TÊXTIL
- 4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS TENSÕES DE DESENROLAMENTO ATUAIS
- 4.4 IMPACTO DAS TENSÕES DE DESENROLAMENTO NO MATERIAL
- 4.5 IMPACTO DAS TENSÕES DE DESENROLAMENTO NA UNIFORMIDADE DO PNEU
- 4.6 SOLUÇÃO A ADOTAR NO CONTROLO DE TENSÕES NO *CREEL*



## 4 TENSÕES DE DESENROLAMENTO

Neste capítulo, serão analisadas as tensões de desenrolamento presentes no processo de fabrico de *cap ply* produzidas nas *cap-strips*, caracterizando esta fase do processo produtivo. Para isto, será estudado o mecanismo que induz as tensões nas cordas têxteis e feitas diversas medições de tensões para se entender o estado do processo.

De seguida, serão realizadas experiências de forma a entender a influência das tensões nas propriedades do material, na uniformidade do pneu e no próprio processo de fabrico.

### 4.1 Aparelho de medição de tensão

O processo não tem integrado um medidor de tensão de cordas. Desta forma, terá que ser usado um tensiómetro portátil. A Tabela 11 mostra o tensiómetro utilizado para realizar todas as medições de tensões das cordas têxteis. É um aparelho de fácil uso, que se adapta a várias posições e situações de medição.

Tabela 11 - Aparelho eletrónico de medição de tensões em fios/cordas.

---

#### Tensiómetro HANDY-TENS-LC

---

Tensiómetro da marca Tensiometric

Carga máxima: 20 N

Resolução: 0,01 N



Antes de qualquer medição, o aparelho foi calibrado pelo Departamento de Metrologia da Continental Mabor com um peso de 1,0022 kg (9,82 N).

O tensiómetro está calibrado para medir a tensão na corda de forma indireta. O valor que o aparelho mede é a força resultante provocada pela tensão da corda no rolo do meio, onde se encontra a célula de carga.

Através da força resultante dada pelo aparelho, é possível conhecer a tensão real da corda, conhecendo o ângulo  $\theta$  (Figura 33).



Figura 33 - Ilustração de uma corda em posição de medida, e o respetivo ângulo com a horizontal.

Para descobrir qual o valor do ângulo  $\theta$ , colocou-se no aparelho uma corda em posição de medida como na Figura 33, com um peso amarrado numa das extremidades de 480 g, o que corresponde a uma tensão na corda de 4,70 N. Para este valor, a tensão resultante lida no aparelho foi de 0,62 N. Fazendo o equilíbrio de forças no eixo vertical, o ângulo pode ser calculado pela equação (4.1).

$$\begin{aligned}
 F_r &= 2 \times T \times \sin(\theta) \Leftrightarrow \sin(\theta) = \frac{F_r}{2 \times T} \Leftrightarrow \\
 \Leftrightarrow \sin(\theta) &= \frac{0,62}{2 \times 4,70} \Leftrightarrow \sin(\theta) = 0,06596 \Rightarrow \\
 \Rightarrow \sin^{-1}(0,06596) &= 3,76^\circ
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

Onde:

$F_r$  : tensão resultante lida pelo tensiómetro [N];

$T$  : tensão real de tração presente na corda [N].

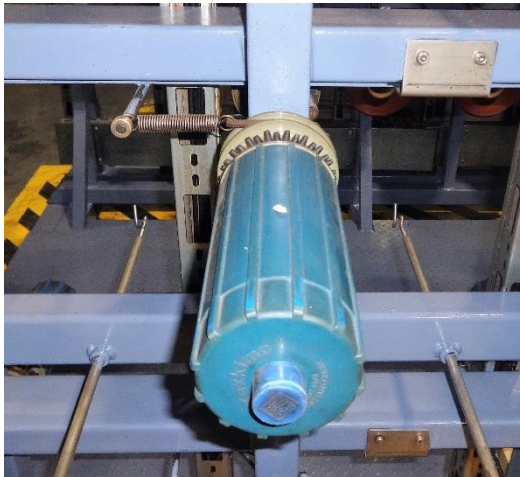
Ao longo do trabalho, todas as tensões que serão referidas correspondem à tensão real de tração na corda, fazendo sempre a conversão da tensão resultante lida pelo aparelho, através da equação (4.2)

$$T = \frac{F_r}{2 \times \sin(\theta)}
 \tag{4.2}$$

## 4.2 Sistema de travagem das bobinas de corda têxtil

Para que exista tensão nas cordas têxteis quando estas são desenroladas, é necessário um mecanismo que forneça um momento ou força de travagem à corda ou à bobina de corda. No *creel*, as bobinas são posicionadas em fusos/tambores. Cada fuso possui um mecanismo responsável por exercer um momento de travagem ao próprio fuso. Como estes rodam solidários com as bobinas de corda têxtil, este momento é transmitido também à bobina e, conseqüentemente, gera-se tensão na corda ao ser desenrolada. A Tabela 12 ilustra e descreve o sistema de travagem das bobinas.

Tabela 12 - Descrição do sistema de travagem no desenrolamento das bobinas de corda têxtil.

Descrição do funcionamento	Ilustração do sistema de travagem
<p>Sistema composto por mola de tração, correia e tambor. A travagem acontece como resultado da força de atrito entre a correia e o tambor, tal como num sistema de correia – polia. A mola exerce força numa das extremidades da correia, estando a outra extremidade fixa à estrutura da máquina. Por este motivo, a tensão na corda, ao ser desenrolada, está diretamente relacionada com a rigidez e a deformação da mola.</p>	

### 4.2.1 Modelação do sistema de travagem

A tensão com que a corda têxtil é desenrolada, segue o princípio de um sistema de desenrolamento ao centro. Por este motivo, o movimento de rotação da bobina pode ser descrito pela equação (2.6).

Existem dois momentos presentes no desenrolamento, um provocado pela tensão da corda ( $M_{\text{corda}}$ ), calculado pela equação (2.9), e outro provocado pelo sistema de travagem ( $M_{\text{travagem}}$ ), calculado pela equação (2.10). Pela análise do desenrolamento da bobina (Figura 34), é possível representar as forças responsáveis pela realização dos momentos (Figura 35).



Figura 34 - Desenrolamento de bobina de corda têxtil.

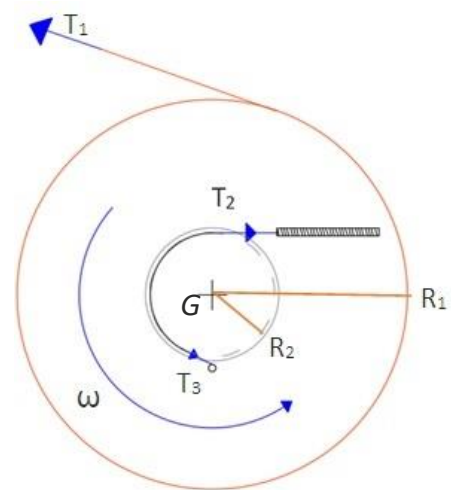


Figura 35 - Representação das forças presentes no desenrolamento.

A força  $T_1$  é a tensão existente na corda a ser desenrolada,  $T_2$  é a força realizada pela mola sobre a correia e  $T_3$  é a força na outra extremidade da correia, que está fixa à estrutura do *creel*. O sistema de travagem representa uma situação de atrito entre um elemento flexível (correia) sobre uma superfície desenvolvida em arco de circunferência (tambor). Assim,  $T_2$  e  $T_3$  podem ser calculados pelas equações (2.11) e (2.5), respetivamente.

Desenvolvendo as equações anteriores e conhecendo os parâmetros necessários para realizar os cálculos, é possível calcular a tensão na corda ao ser desenrolada pela equação (4.1). Em aplicação prática do modelo, basta desenvolver esta equação em ordem a  $x$  (deslocamento da mola) e estabelecer uma tensão de corda pretendida para o desenrolamento. Com isto, e conhecendo todos os parâmetros de cálculo, é possível saber qual o deslocamento necessário a dar à mola para atingir a tensão de corda desejada.

$$\begin{aligned}
 M_{corda} - M_{travagem} &= I \times \alpha \Leftrightarrow T_1 \times r_1 - (T_3 - T_2) \times r_2 = I \times \alpha \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow T_1 = \frac{(T_3 - T_2) \times r_2 + I \times \alpha}{r_1} \Leftrightarrow \\
 &\Leftrightarrow T_1 = \frac{[(P + k \times x) \times e^{\mu_d \times \beta} - (P + k \times x)] \times r_2 + I \times \alpha}{r_1}
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Para conseguir aplicar o modelo de controlo de travagem, é necessário conhecer os parâmetros de cálculo. Destes valores, uns são constantes e outros variam ao longo do desenrolamento completo de uma bobina de cordo têxtil. Estes parâmetros são estudados nos subcapítulos que se seguem.

#### 4.2.1.1 Redução do raio da bobina

O raio exterior da bobina de corda têxtil ( $r_1$ ) é um parâmetro com bastante influência no desenrolamento e na variação da tensão na corda. Isto porque está diretamente ligado ao momento de inércia, à aceleração angular e ao momento que a tensão de corda provoca no desenrolamento. À medida que a corda vai sendo desenrolada, o raio da bobina vai diminuindo.

Deste modo, é importante compreender como a redução do raio varia com os metros de corda já desenrolados. Para isso, serão consideradas as seguintes informações:

- Metragem de corda de uma bobina: 40.000 m;
- Espessura da corda: 0,00055 m;
- Raio inicial da bobina: 0,135 m;
- Raio final da bobina: 0,051 m;
- Largura da bobina: 0,245 m;
- A corda é enrolada no fornecedor com um enrolamento cruzado preciso. Para este estudo, será considerado um enrolamento paralelo, de forma a simplificar a estimativa do raio em função da metragem de corda.

Efetuada os cálculos enunciados no capítulo 2.2.3.1 (que correspondem às equações (2.1) até à (2.3)) em Microsoft Excel®, acumulando os metros de corda desenrolados em cada raio da bobina, é possível desenvolver uma função da variação do raio em função da metragem.

Com esta função, é praticável uma futura aplicação nas máquinas deste modelo em malha aberta, estimando o raio através do contador de metros de material fabricado existente no automático das máquinas. Assim, o raio exterior calculado através do contador das máquinas será utilizado para o cálculo do momento provocado pela corda, do momento de inércia e da aceleração angular, permitindo a aplicação do modelo de controlo do sistema de travagem. Tal aplicação é possível uma vez que, no início, todas as bobinas têm o mesmo diâmetro.

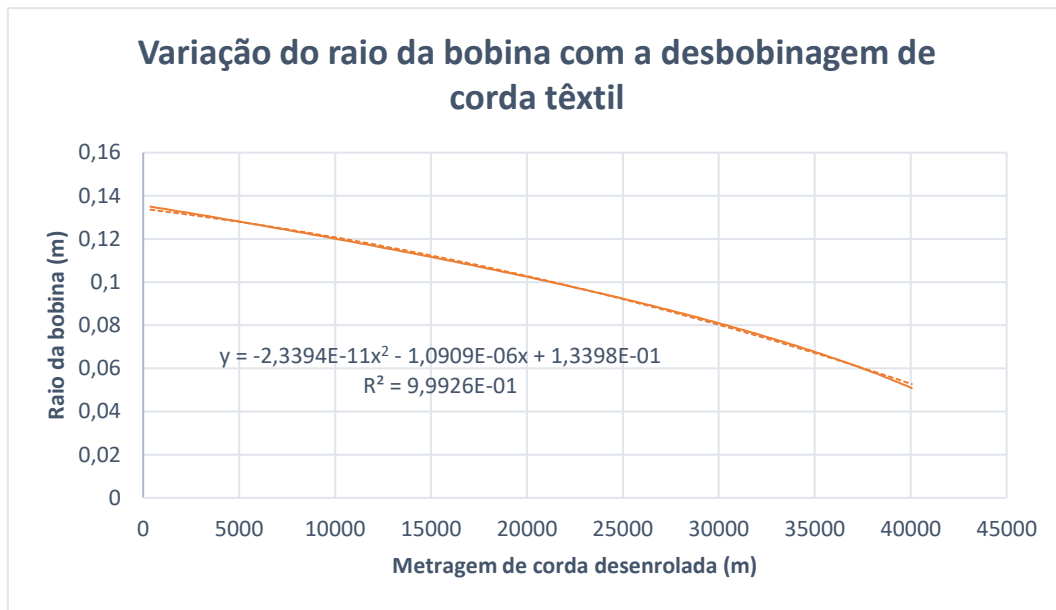


Figura 36 - Estimativa do raio em função dos metros de corda têxtil desenrolados.

A estimativa do raio em função da metragem de corda apresentada na Figura 36 mostrou representar a realidade, uma vez que corresponde às medições do raio das bobinas de corda têxtil realizadas nas máquinas para diferentes comprimentos de corda desenrolada.

#### 4.2.1.2 *Momento de inércia e aceleração angular*

O momento de inércia está para o movimento de rotação como a massa está para o movimento de translação. O desenrolamento acontece pela rotação da bobina, que vai aumentando a sua velocidade de rotação uma vez que a velocidade linear da corda é constante e o raio vai diminuindo. Assim, e como o modelo do sistema de travagem consiste na aplicação da 2ª lei de Newton para a rotação, é necessário estudar o momento de inércia e a aceleração angular da bobina de corda têxtil. Para tal, serão considerados os seguintes dados:

- Velocidade linear de desenrolamento: 0,92 m/s (aprox. 55 m/min);
- Tempo total para desenrolar 40.000 m de corda sem paragens: 43.636 s (aprox. 12,12 h);
- Peso da bobina com 40.000 m de corda: 8,45 kg;

A geometria da bobina pode ser considerada como um tubo circular de paredes grossas. O momento de inércia pode ser calculado pela equação (2.7).

É possível representar a variação do momento de inércia com o raio exterior da bobina calculando o momento para cada raio exterior (Figura 37). Assim, consegue-se obter a inércia instantânea para cada momento do desenrolamento.

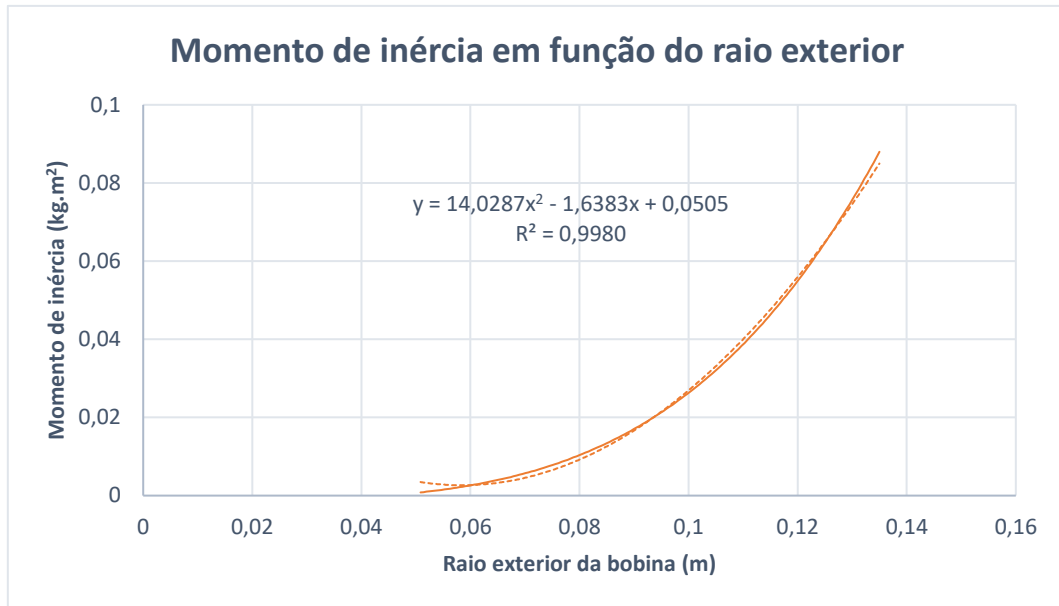


Figura 37 - Variação do momento de inércia com o raio exterior da bobina.

Relativamente à aceleração angular, é sabido que a derivada da velocidade em função do tempo corresponde à aceleração. Então, se se caracterizar a velocidade angular da bobina ao longo do tempo, é possível caracterizar a aceleração angular. A velocidade angular pode ser calculada pela equação (2.8).

Sabendo o tempo necessário para o desenrolamento completo da bobina e o número de reduções que o raio exterior sofre, é possível ter uma estimativa do tempo para cada redução de raio. Assim, juntamente com a velocidade angular para cada raio exterior, pode-se caracterizar a variação da velocidade angular em função do tempo pela Figura 38. Da derivada da função da Figura 38 resulta a aceleração angular em função do tempo (Figura 39).

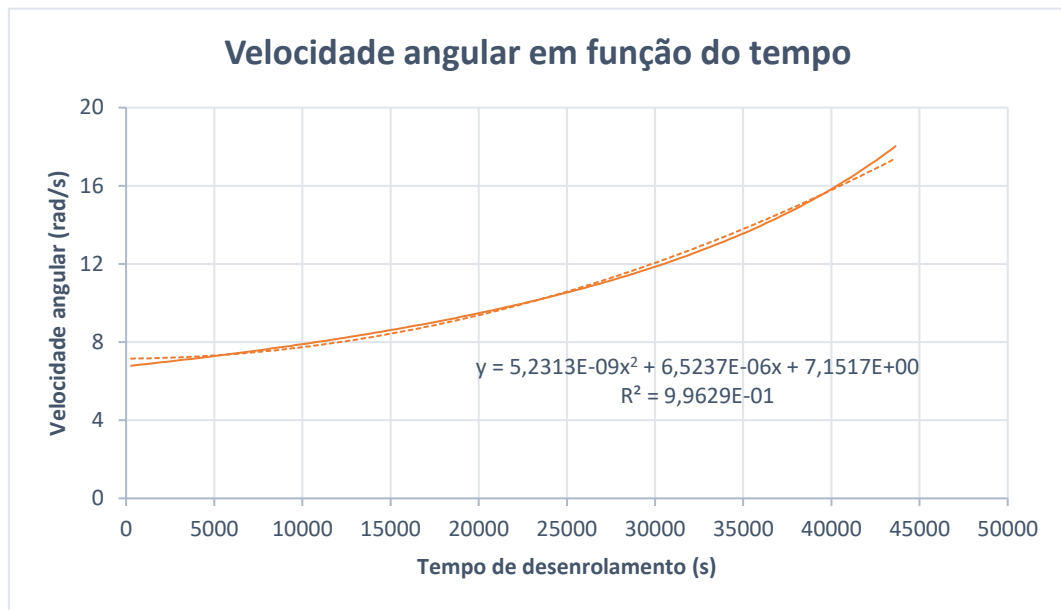


Figura 38 - Variação da velocidade angular com o tempo.

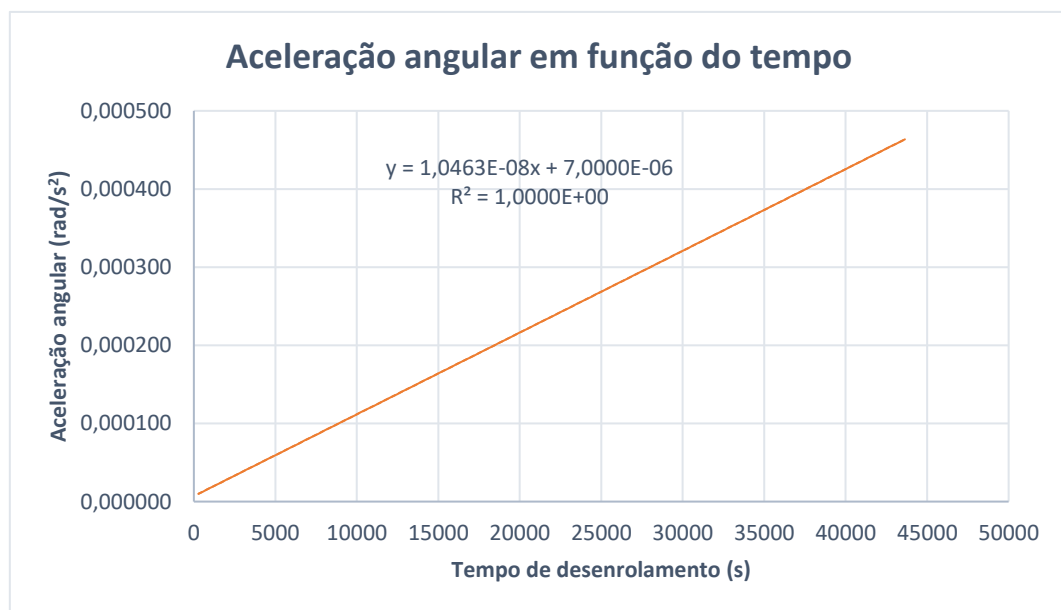


Figura 39 - Variação da aceleração angular com o tempo.

Tal como o momento de inércia é calculado em função do raio exterior pela Figura 37, existe a necessidade de determinar a aceleração angular em função do raio exterior. Analogamente à estimativa da velocidade angular, sabendo que determinado tempo de desenrolamento corresponde a um determinado raio exterior, é possível representar a variação da aceleração angular em função do raio (Figura 40).

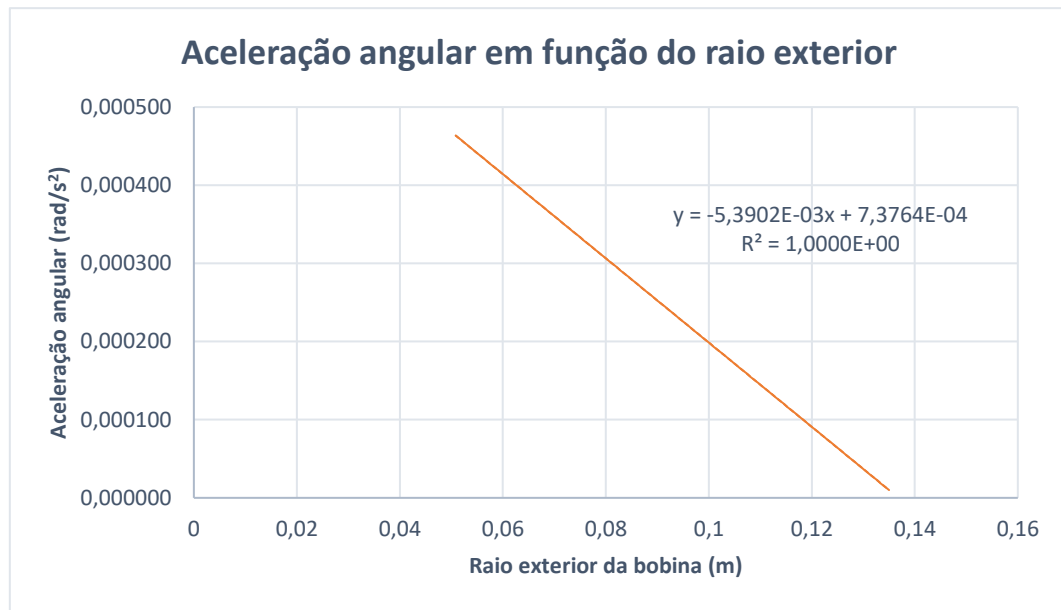


Figura 40 - Variação da aceleração angular com o raio exterior da bobina.

É de notar que a aceleração angular varia entre valores muito baixos, isto porque a rotação da bobina demora 12,12 h para passar dos 6,79 rad/s para os 18,03 rad/s, conforme o raio exterior vai diminuindo.

Pode-se então concluir que o sistema de travagem (mola e correia) é o principal responsável pela tensão provocada na corda.

#### 4.2.1.3 Mola de tração

A mola é o componente do sistema de travagem com maior responsabilidade no que diz respeito ao controlo de tensão. Sabendo as características da mola, nomeadamente a sua constante elástica, a pré-carga proveniente do seu fabrico e o comprimento inicial, é possível controlar a tensão na corda, controlando o deslocamento da mola.

Como o raio da bobina vai diminuindo ao longo do desenrolamento, se o deslocamento da mola for constante para todo o desenrolamento, a tensão na corda aumenta, sendo máxima no fim do desenrolamento, quando o raio atinge o menor valor possível. Se se pretender uma tensão constante na corda, é necessário começar o desenrolamento com um deslocamento da mola elevado, e reduzi-lo conforme o raio da bobina vai diminuindo.

A Tabela 13 apresenta as características de algumas molas presentes nas máquinas *cap-strips*.

Tabela 13 - Características de algumas molas presentes na *cap-strip* 1 no *creel* esquerdo.

Posição	Constante elástica da mola (N/m)	Pré-carga da mola (N)	Comprimento inicial da mola (m)
Mola de substituição	108,36	1,05	0,050
P9 lado direito	135,10	1,13	0,040
P29 lado direito	346,00	6,31	0,055
P50 lado direito	286,10	0,35	0,050
P70 lado direito	284,50	0,85	0,052
P30 lado esquerdo	290,30	0,99	0,058

Observando os parâmetros das molas, percebe-se que existem molas diferentes, o que se traduz em tensões diferentes de desenrolamento para cada posição, onde estas molas estão a atuar. Para existir uma uniformidade nas tensões de desenrolamento, é necessário que as molas possuam as mesmas características.

#### 4.2.1.4 Ângulo de abraçamento e coeficiente de atrito

Para calcular a força na extremidade da correia presa à estrutura do *creel* através da equação (2.5), é necessário conhecer o ângulo de abraçamento e o coeficiente de atrito dinâmico.

O ângulo de abraçamento entre a correia e o tambor foi medido e tem o valor de  $140^\circ$ , que corresponde a 2,44 rad.

O valor do coeficiente de atrito dinâmico entre as duas superfícies não foi encontrado em nenhuma fonte bibliográfica. Uma vez conhecidas todas as variáveis do modelo proposto, é possível estimar um coeficiente de atrito dinâmico, de forma que o valor da tensão real seja coincidente com o valor teórico (calculado pelo modelo). Para tal, foram medidas tensões nas cordas têxteis durante o desenrolamento, para diferentes raios e deslocamentos das molas. A mola escolhida para esta análise foi a mola P29 lado direito (Tabela 13).

Assim, um coeficiente de atrito dinâmico de 0,35 revelou ser o que mais aproxima o valor da tensão teórica da real.

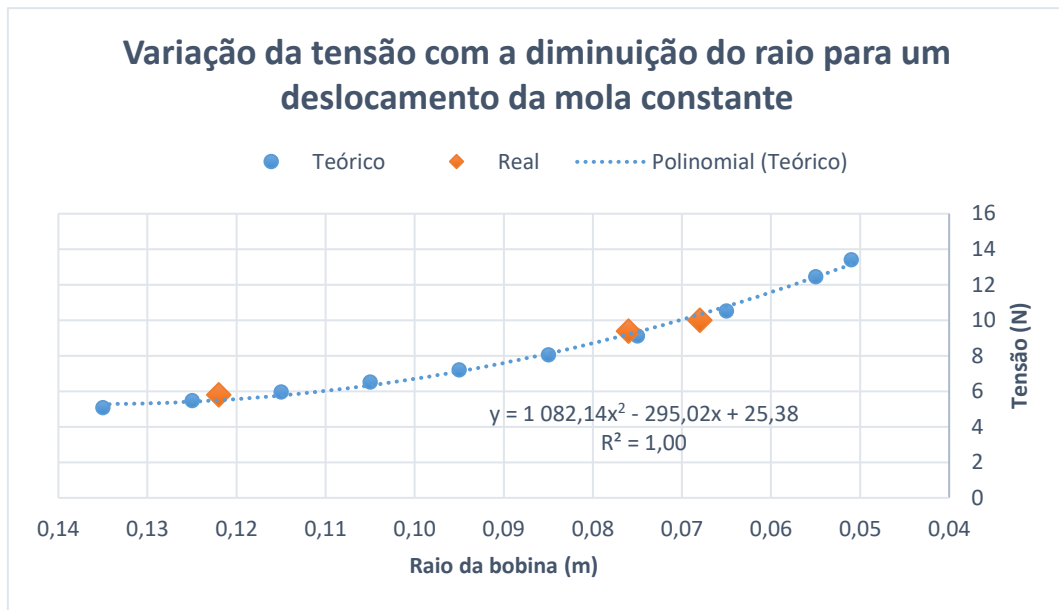


Figura 41 - Variação da tensão teórica e real com o raio exterior da bobina.

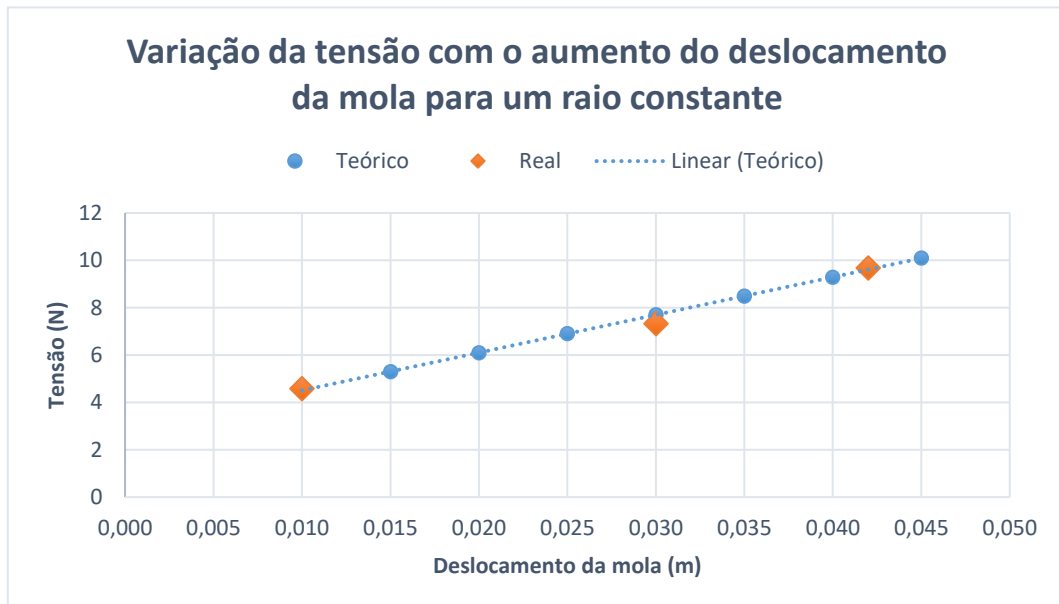


Figura 42 - Variação da tensão teórica e real com o deslocamento da mola.

Através da análise da Figura 41, percebe-se que a tensão teórica calculada pelo modelo apresentado é muito próxima à tensão real/medida no próprio desenrolamento, para diferentes raios exteriores da bobina de corda têxtil e um deslocamento da mola constante de 0,015 m. O mesmo acontece para diferentes deslocamentos da mola no mesmo raio exterior, onde a tensão teórica é bastante idêntica à tensão real (Figura 42).

Posto isto, é possível dizer que o modelo apresentado para o controlo da tensão está bem aplicado e representa, de uma forma muito próxima à realidade, o comportamento das tensões de desenrolamento.

### 4.3 Caracterização das tensões de desenrolamento atuais

#### 4.3.1 Planeamento das medições de tensão

Para caracterizar o processo de fabrico de *cap ply* nas *cap-strips*, ao nível das tensões de desenrolamento das cordas têxteis, é necessário realizar várias medições das tensões presentes nas cordas durante o fabrico do componente. Estas medições serão realizadas de forma planeada, com o objetivo de abranger os fatores descritos na Tabela 14.

Tabela 14 - Fatores a caracterizar com as medições de tensão.

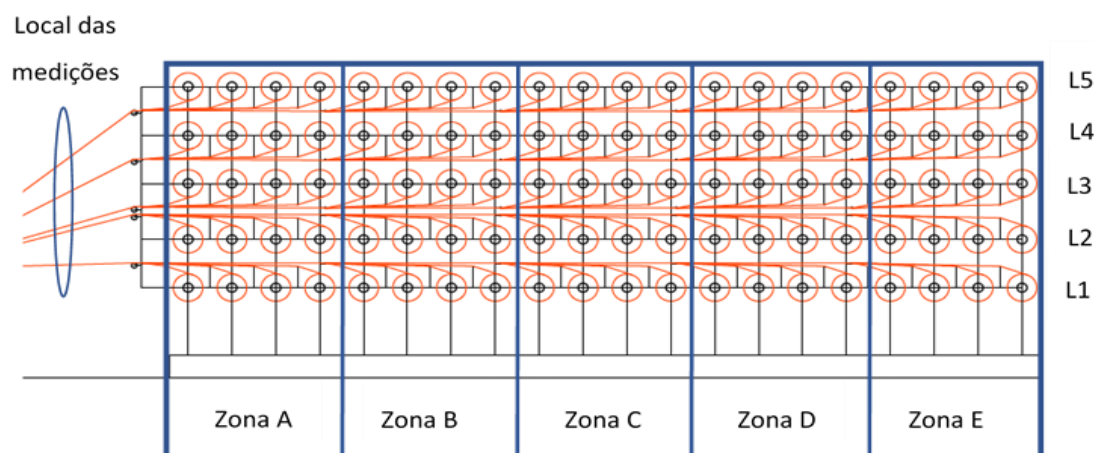
#### Máquina – Cap-Strip

Medições nas três *cap-strips* existentes, de modo a incluir na caracterização das tensões de desenrolamento o fator máquina. As medições na máquina 1 (CS01) e 3 (CS03) serão efetuadas com cordas de *nylon*<sup>®</sup> como material a ser desenrolado, enquanto na máquina 2 (CS02) o material a ser desenrolado foram cordas híbridas (aramida e *nylon*<sup>®</sup>).

#### Comprimento de corda na bobina

O desenrolamento da corda têxtil reduz o comprimento de corda presente na bobina. Esta redução de comprimento reduz o raio da bobina. Como já estudado no subcapítulo anterior, esta redução de raio tem um forte impacto na tensão presente na corda. Assim, serão efetuadas medições para diferentes intervalos de comprimento de corda nas bobinas.

#### Posição das bobinas



Cada *creel* é composto por duzentas posições, cem de cada lado, distribuídas por cinco linhas. Por este motivo, as cordas onde se medirá as tensões serão escolhidas de forma aleatória. Os materiais usados neste estudo usam as posições da linha 1 até à linha 4. O *nylon*<sup>®</sup> usa as posições da zona A até à zona D, o híbrido usa as posições da zona A até à zona E.

Tabela 15 - Planeamento das medições.

Máquina	Intervalos de metragem	Tamanho das amostras
CS01	Bobinas com 40.000 m de material, o que resulta em quatro intervalos de 10.000 m cada. Retiradas duas amostras para cada um dos quatro intervalos de comprimento.	Cada amostra é constituída por vinte e quatro medições, seis medições em cada linha do <i>creel</i> (três de cada lado do <i>creel</i> ). As posições em cada linha são escolhidas aleatoriamente.
CS02	Bobinas com 22.000 m de material, o que resulta em quatro intervalos de 5.500 m cada. Retiradas duas amostras para cada um dos quatro intervalos de comprimento.	
CS03	Bobinas com 40.000 m de material, o que resulta em quatro intervalos de 10.000 m cada. Retiradas duas amostras para cada um dos quatro intervalos de comprimento.	

Perante o planeamento da Tabela 15, irão resultar as seguintes medições:

- 48 medições de tensão por intervalo de comprimento por máquina;
- 48 medições de tensão por linha por máquina;
- 192 medições de tensão por máquina;
- 576 medições de tensão no total das 3 máquinas;

### 4.3.2 Análise das tensões de desenrolamento

#### 4.3.2.1 Observações preliminares

Após o planeamento das medições de tensão, passou-se à recolha dos valores. A Figura 43 representa os valores de tensão da primeira amostra recolhida na máquina CS03 para o intervalo de comprimento de 40.000 a 30.000 m de corda nas bobinas.

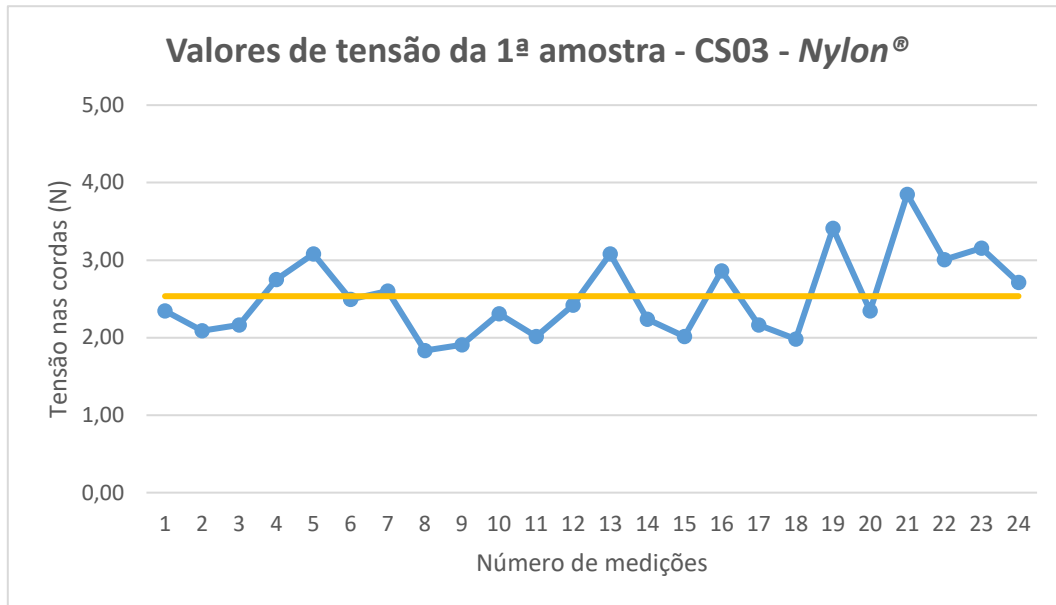


Figura 43 - Valores de tensão da primeira amostra retirada da máquina CS03.

Cada medição das vinte e quatro resulta da leitura de um valor máximo e mínimo de tensão, uma vez que o processo de desenrolamento não gera uma tensão estática e constante. A título de exemplo, a tensão de 2,35 N da medição 1, é a média dos valores lidos pelo medidor de tensão, 1,83 N e 2,86 N.

Pela análise da primeira amostra, é possível reparar na variabilidade das medições, o que mostra desde logo a existência de cordas a serem trabalhadas com valores de tensão diferentes. Esta amostra possui as características exibidas na Tabela 16.

Tabela 16 - Dados da primeira amostra de tensão.

<b>Tensão mínima (N)</b>	1,83
<b>Tensão máxima (N)</b>	3,85
<b>Tensão média (N)</b>	2,53
<b>Desvio padrão (N)</b>	0,52

Desde logo foram detetadas duas causas principais para esta variabilidade de resultados:

- Diferentes correias, o que geram diferentes coeficientes de atrito;
- Molas com diferentes características e estados de conservação (Figura 44), que juntamente com coeficientes de atrito diferentes, geram momentos de travagem diferentes.



Figura 44 - Molas com diferentes características e estados de conservação.

Assim, a análise das tensões de desenrolamento terá que ter sempre em consideração estes dois fatores, uma vez que, como já estudado na modelação do problema, são fatores com impacto direto na tensão da corda.

Também é de notar que as tensões nas cordas são extremamente baixas, quando comparadas com a tensão de rotura do material, que ronda os 150 N. Assim, é de fácil conclusão que tensões de 2,53 N não são responsáveis pela rotura das cordas durante o seu desenrolamento.

#### 4.3.2.2 Comparação das tensões entre máquinas

Após realizadas as 192 medições em cada máquina, foram efetuados testes estatísticos no programa Minitab®, de forma a comparar o processo nas três máquinas (Tabela 17).

Tabela 17 - Testes estatísticos realizados para comparação entre máquinas.

Teste	Objetivo
ANOVA com um fator	Teste que compara as três amostras em simultâneo, de modo a perceber se existem diferenças significativas entre as médias de tensão que cada máquina produz.
Teste dos desvios padrão	Teste que compara as três amostras em simultâneo, de modo a perceber se existem diferenças significativas na variabilidade das tensões que cada máquina produz.

Ambos os testes foram realizados para um nível de significância de 5%. Nos primeiros testes, verificou-se a existência de dados atípicos nas amostras das três máquinas. Estes pontos são visíveis a vermelho na Figura 45.

Como analisado anteriormente, a existência de molas diferentes gera diferentes tensões nas cordas. Estes dados atípicos derivam de casos em que as molas são consideravelmente diferentes das outras, provocando tensões nas cordas mais elevadas.

Sabendo qual a causa especial que provoca tais valores de tensão, estes são retirados e repetem-se novamente os testes.

Realizados os testes estatísticos, a Tabela 18 resume os dados e a distribuição das medições obtidas por máquina, enquanto que a Tabela 19 analisa os resultados dos testes realizados de forma a comparar as tensões presentes no desenrolamento de cada máquina.

Tabela 18 - Médias, desvios padrão e distribuição das tensões em cada máquina.

Máquina	Dados estatísticos	Distribuição dos dados
CS01	<p>Média: 3,18 N</p> <p>Desvio padrão: 0,75 N</p> <p>Mínimo: 1,69 N</p> <p>Máximo: 5,02 N</p>	
CS02	<p>Média: 3,22 N</p> <p>Desvio padrão 0,67 N:</p> <p>Mínimo: 1,83 N</p> <p>Máximo: 4,99 N</p>	

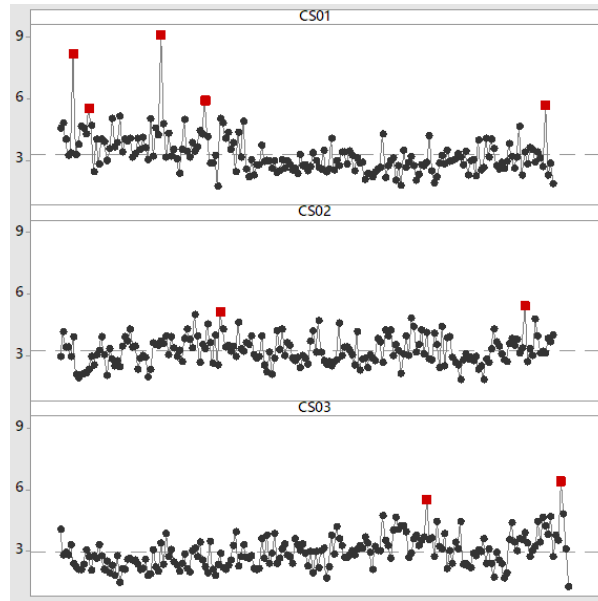


Figura 45 - Representação dos dados atípicos em relação aos restantes valores das amostras.

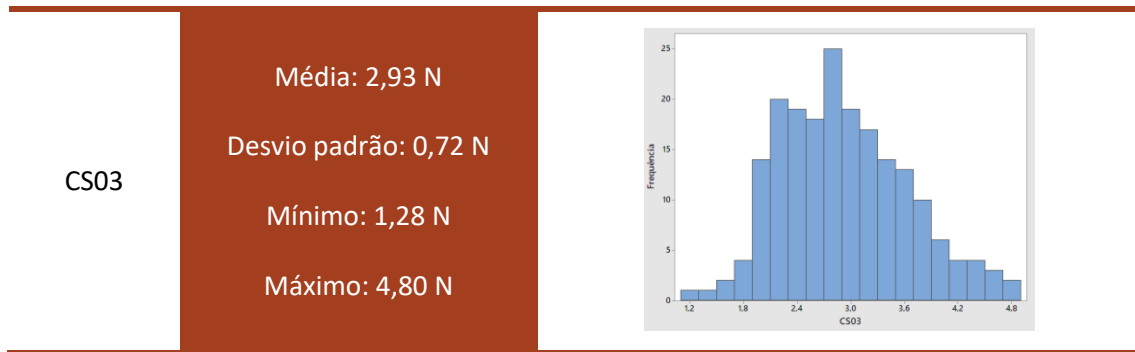
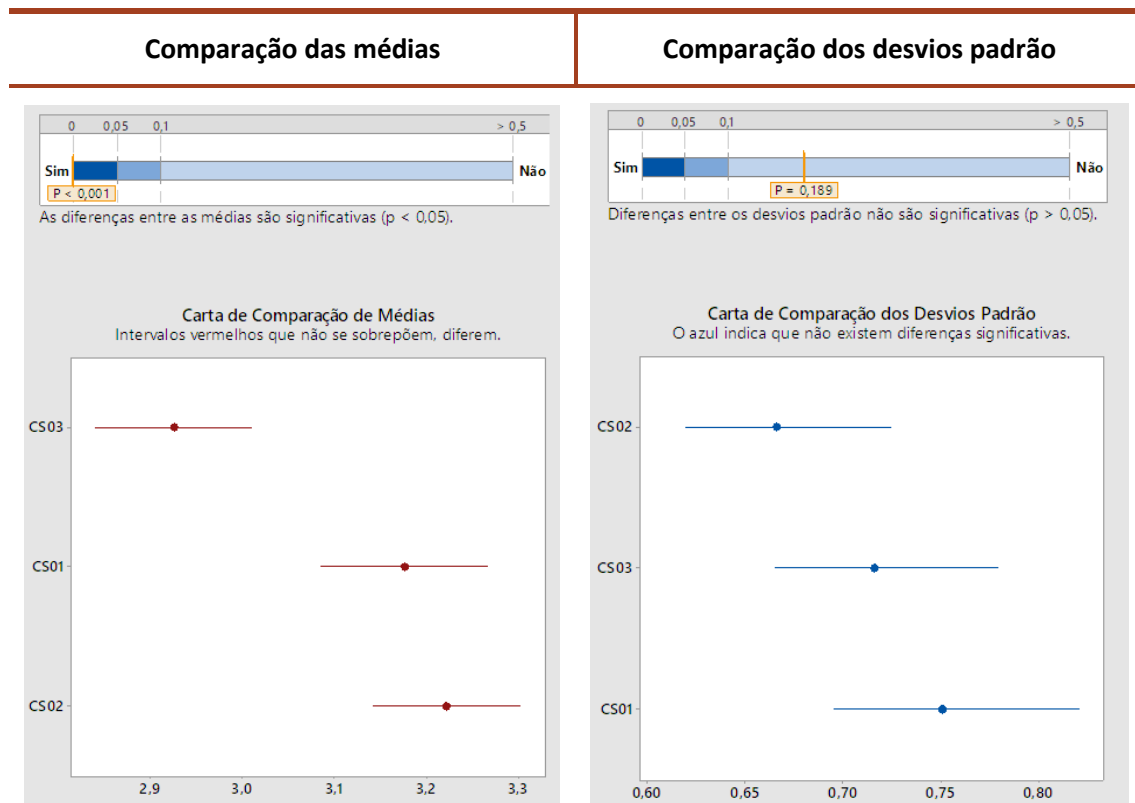


Tabela 19 - Análise dos testes estatísticos realizados às tensões presentes em cada máquina.



Não existem diferenças significativas entre a média das tensões da máquina CS01 e CS02, o que demonstra que estão a trabalhar de forma idêntica, produzindo valores de tensão nas cordas praticamente iguais. Existe diferença significativa comparando a máquina CS03 com as outras duas, concluindo, assim, que a máquina CS03 produz tensão nas cordas ligeiramente mais baixas (8% menos tensão).

Ao nível de desvios padrão, não existem diferenças significativas entre nenhuma das três máquinas. Este teste demonstra que a variabilidade das tensões de desenrolamento das cordas têxteis é praticamente a mesma nas três máquinas.

As medições na máquina CS01 foram realizadas com bobinas de corda de *nylon*<sup>®</sup> a serem desenroladas, enquanto na máquina CS02 foram utilizadas bobinas de corda híbrida. Uma vez que as tensões em ambas as máquinas não apresentaram diferenças significativas, é possível concluir que as tensões provocadas nas cordas não dependem do tipo de material, mas sim da máquina, geometria e peso das bobinas (inércia das bobinas), como visto no capítulo 4.2.1.2. Neste caso, as bobinas de corda de ambos os materiais são idênticas, quer em peso, quer na sua geometria.

#### 4.3.2.3 Variação das tensões ao longo do desenrolamento

Comparadas as máquinas em termos de tensão que cada uma produz, analisa-se agora a influência da redução do raio da bobina nas tensões de desenrolamento. A Figura 46 mostra como as tensões evoluem nas máquinas CS01 e CS03, ambas a desenrolarem *nylon*<sup>®</sup> como cordas de reforço.

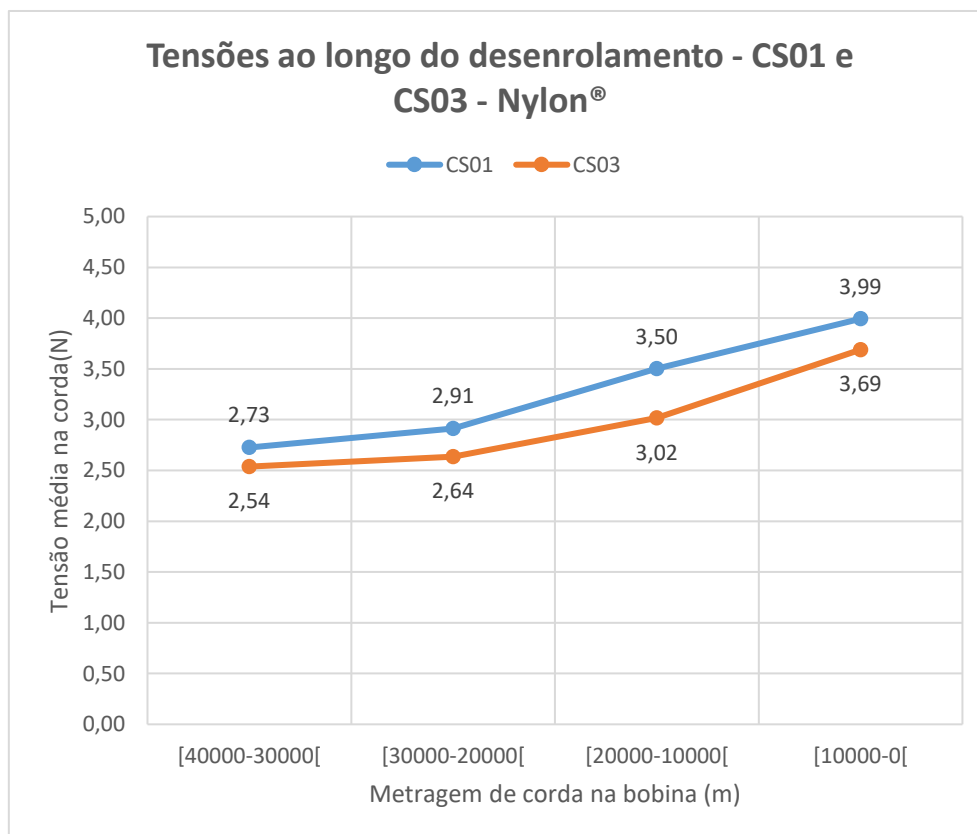


Figura 46 - Variação das tensões com a diminuição do raio da bobina nas máquinas CS01 e CS03.

Desde os primeiros metros de corda desenrolados (raio da bobina maior) até que a bobina fique com menos de 10.000 m (raio da bobina menor), a tensão aumenta em 32% na máquina CS01 e 31% na máquina CS03. Como o material é o mesmo e vem enrolado do fornecedor da mesma forma, a diminuição do raio da bobina faz aumentar a tensão na corda quase na mesma

percentagem nas duas máquinas. Isto porque o momento de travagem é constante. Como visto no capítulo anterior, a máquina CS01 produz tensões mais elevadas que a máquina CS03.

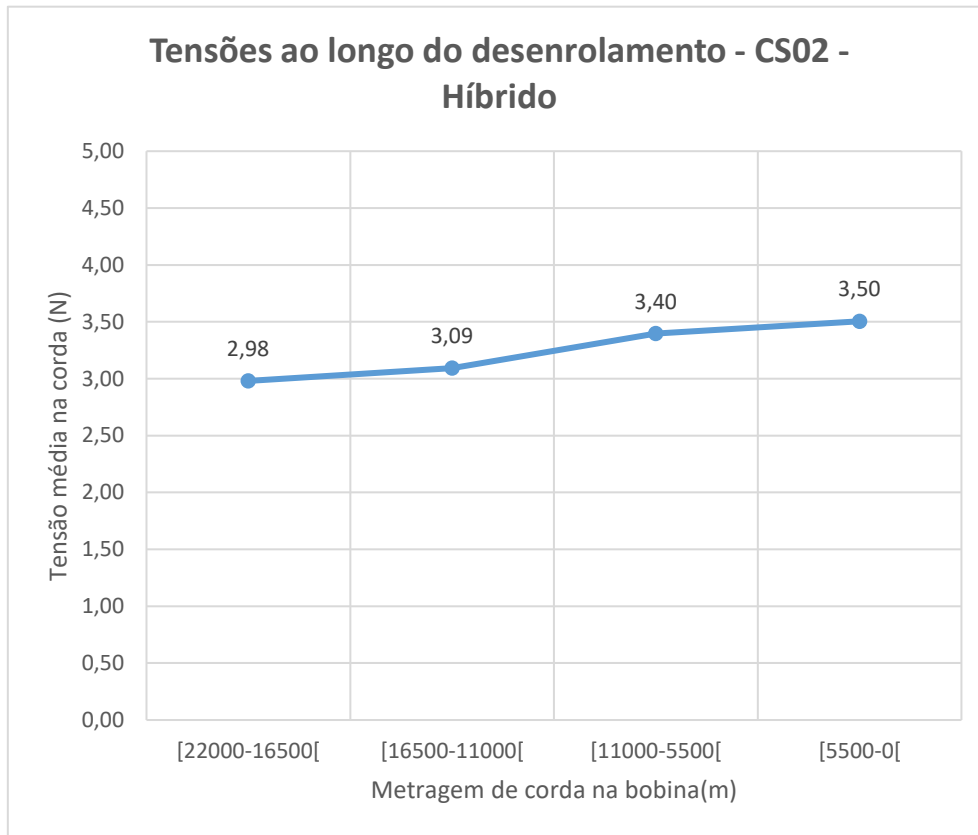


Figura 47 - Variação das tensões com a diminuição do raio da bobina na máquina CS02.

A Figura 47 representa a evolução das tensões na máquina CS02. Com a redução do raio, até a bobina de corda ficar com menos de 5.500 m de corda, as tensões subiram em média de 2,98 N para 3,50 N, o que corresponde a um aumento de 15%. Nestas medições, a influência da diminuição do raio da bobina no aumento da tensão foi cerca de metade relativamente às outras máquinas. Ou seja, o tipo de material pode não influenciar no valor alvo de tensão que a máquina produz, mas pode fazer variar a evolução que a tensão regista ao longo do desenrolamento. Para perceber se será este o motivo do menor aumento de tensão, era necessário colocar a máquina CS02 a trabalhar com cordas de *nylon*<sup>®</sup>, como as outras duas máquinas e voltar a fazer medições.

#### 4.3.2.4 Variação das tensões pelas posições das bobinas

Como referido no planeamento das medições, também serão analisadas as tensões nas cordas por zonas do *creel*, de forma a perceber quais as posições que geram mais ou menos tensão.

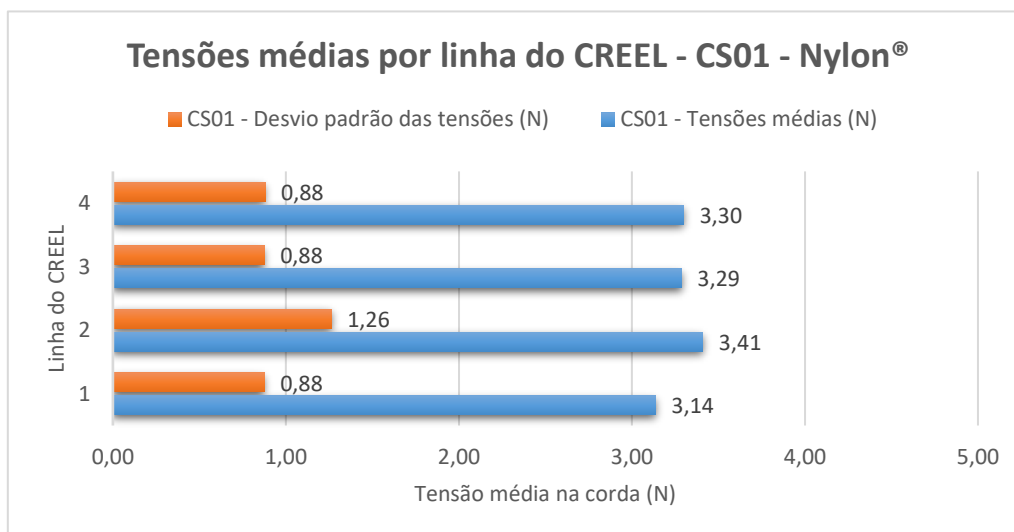


Figura 48 - Variação das tensões por linha do CREEL na máquina CS01.

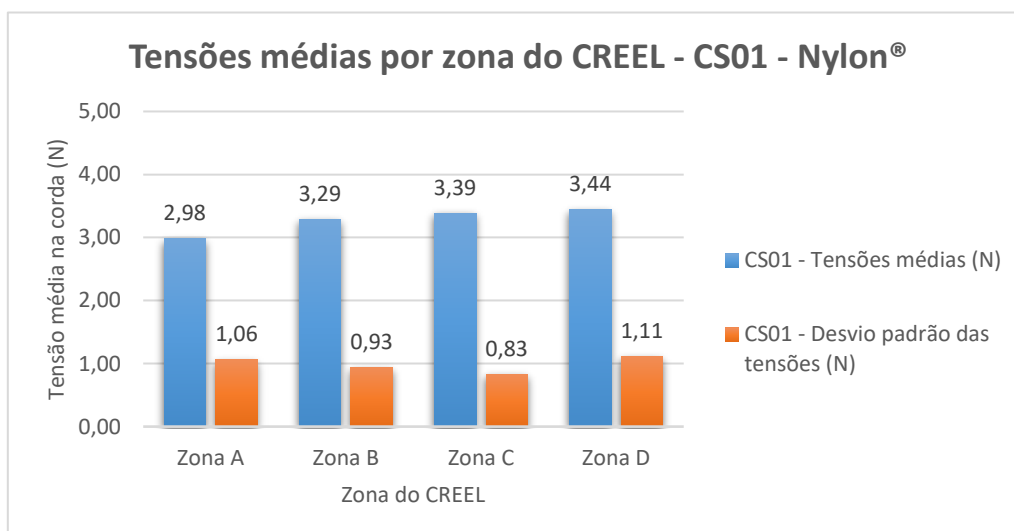


Figura 49 - Variação das tensões por zona do CREEL na máquina CS01.

Da Figura 48 e Figura 49 é possível fazer a seguinte análise:

- Em média, as tensões por linha estão bastante próximas, sendo que a linha com mais tensão é a 2 com 3,41 N, e com menos tensão é a linha 1, o que corresponde a uma diferença de 8%. A linha 2 também é a que possui um maior desvio padrão;
- Em relação às zonas das posições das bobinas, a tensão aumenta gradualmente desde a zona A (2,98 N) até à zona D (3,44 N), o que corresponde a uma variação de 13%. Ou seja, quanto mais afastadas estão as bobinas do cabeçote da máquina, maior é a tensão nessas cordas.

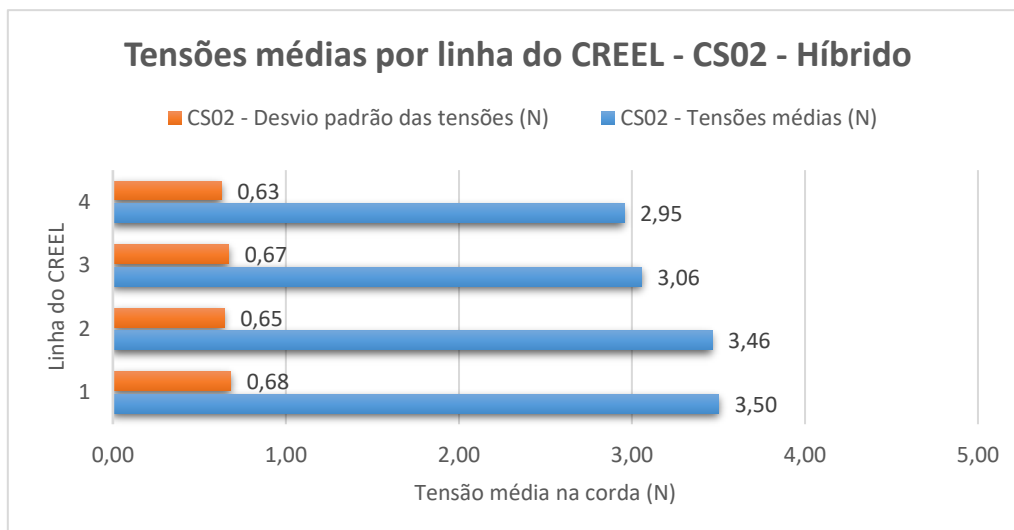


Figura 50 - Variação das tensões por linha do CREEL na máquina CS02.

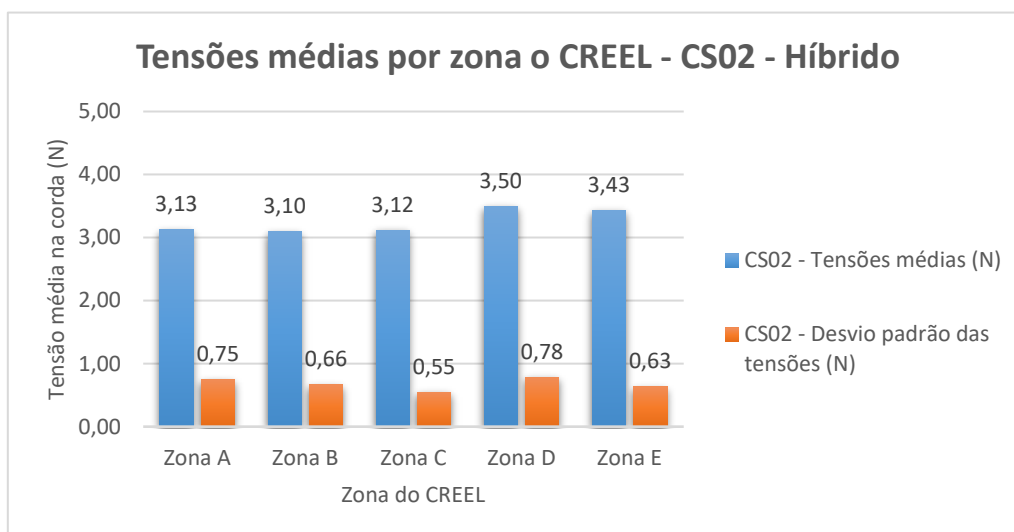


Figura 51 - Variação das tensões por zona do CREEL na máquina CS02.

Da Figura 50 e Figura 51 é possível fazer a seguinte análise:

- As tensões nas linhas 1 e 2 são praticamente as mesmas e são superiores às das linhas 3 e 4. A linha 1 é a que possui a tensão média mais elevada de 3,50 N, enquanto que a linha 4 possui a tensão média mais baixa de 2,95 N, o que corresponde a uma diferença de 16%;
- As tensões médias por zona da máquina também aumentam, na sua generalidade, com a distância das posições ao cabeçote. A zona B é a que apresenta menor tensão, com um valor de 3,10 N. A zona D é a que possui maior valor de tensão média, nomeadamente 3,50 N. A diferença entre as duas zonas é de 16%.

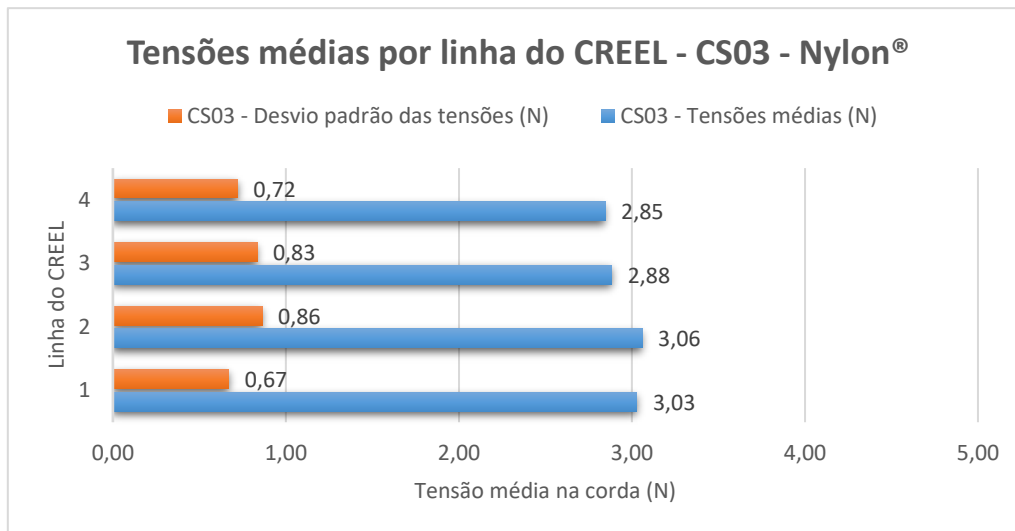


Figura 52 - Variação das tensões por linha do CREEL na máquina CS03.

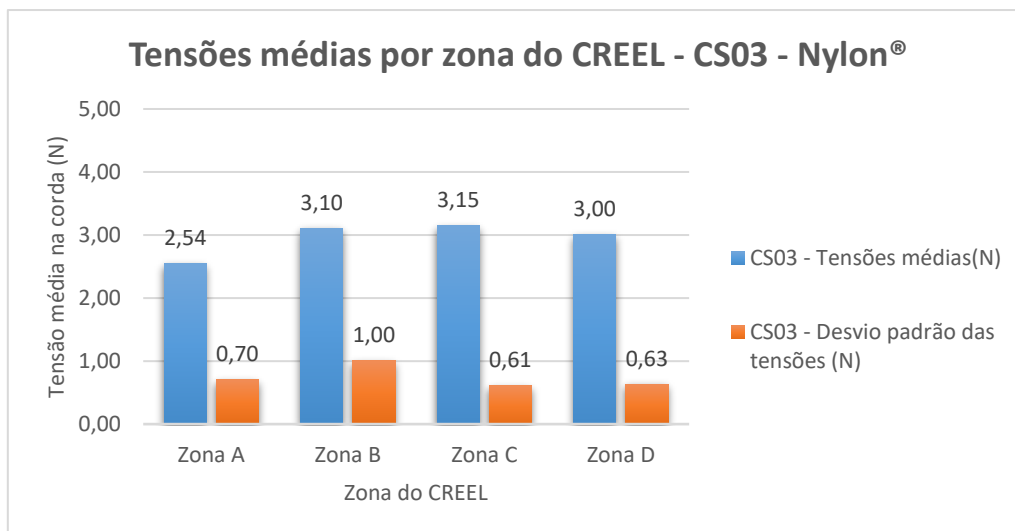


Figura 53 - Variação das tensões por zona do CREEL na máquina CS03.

Da Figura 52 e Figura 53 é possível fazer a seguinte análise:

- Assim com na máquina CS01, as tensões por linha da máquina CS03 são bastante próximas em todas as linhas. A linha 2 possui a tensão mais alta de 3,06 N. A linha 4 apresenta a tensão mais baixa de 2,85 N. A diferença entre estas duas linhas do *creel* é de 7%;
- A zona com menor tensão é a A, com uma tensão média de 2,54 N, enquanto que a zona C é a que apresenta maior tensão, no valor de 3,15 N. Destes valores resulta uma diferença de 19%. A zona A é a mais próxima do cabeçote, o que em conjunto com os valores das outras máquinas, indica que as zonas mais próximas do cabeçote geram menores tensões nas cordas.

A Figura 54 representa as posições do *creel*. A azul estão assinaladas as posições que provocam menos tensão nas cordas, e a verde as que provocam mais tensão.

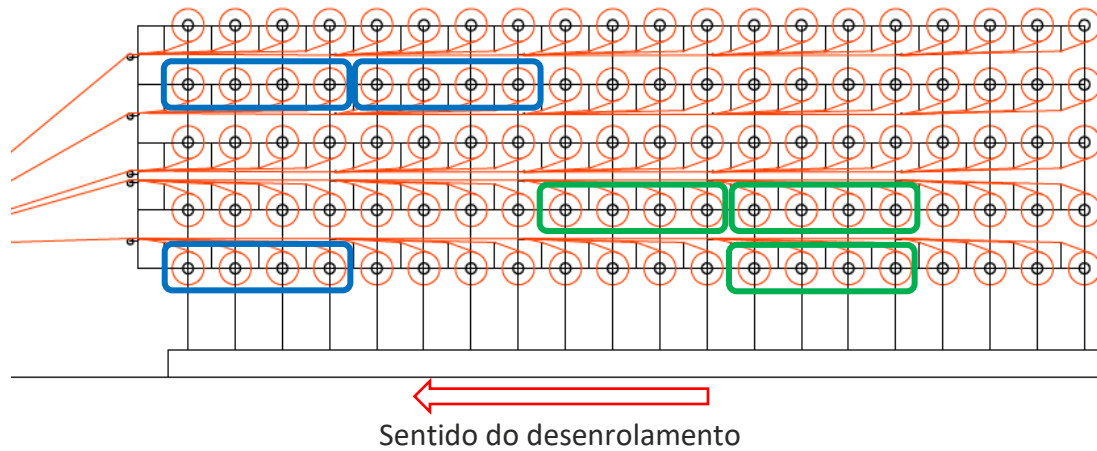


Figura 54 - Representação das posições do *creel* que provocam mais tensão (verde) e menos tensão (azul).

Com base na análise dos resultados, é possível concluir que as posições da frente do *creel* induzem menos tensão às cordas a serem desenroladas, enquanto as posições mais afastadas do cabeçote da máquina induzem mais tensão. Uma vez que existe uma grande variação de molas e de correias de travagem, não é conclusivo se estas diferenças sejam provocadas pela localização das bobinas no *creel*.

#### 4.4 Impacto das tensões de desenrolamento no material

Neste capítulo será estudado se as tensões de desenrolamento das cordas têxteis influenciam as propriedades do material. O *cap ply* estudado é o que utiliza cordas de *nylon*<sup>®</sup> como material de reforço, uma vez que é o material mais utilizado na generalidade dos pneus. A máquina utilizada para o estudo será a CS01.

##### 4.4.1 Planeamento das experiências

As propriedades do *cap ply* a serem analisadas são as seguintes:

- Adesão em verde - propriedade da tira de *cap ply*;
- *Peel adhesion* – propriedade da tira de *cap ply*;
- Resistência à tração (tensão e deformação no momento de rotura) - propriedade da corda;
- Contração 180° e contração 180° residual - propriedade da corda;
- Força de contração e força de contração residual - propriedade da corda.

Todas estas propriedades já se encontram estudadas estatisticamente para as tensões atuais de trabalho. Assim, a experiência passará por aumentar a tensão de desenrolamento das cordas e voltar a fazer os ensaios que analisam as propriedades anteriores, de modo a entender se existem alterações em algumas delas.

Assim, serão retiradas amostras para os seguintes valores de tensão:

- 6 amostras de *cap ply* com uma tensão nas cordas na ordem dos 15 N;
- 4 amostras de *cap ply* com uma tensão nas cordas na ordem dos 20 N.

É de lembrar que a máquina CS01 trabalha atualmente com tensões de desenrolamento de 3,18 N. Desenrolar cordas com 20 N de tensão significa um aumento de 6,3 vezes relativamente ao estado atual. Por este motivo, foi decidido tirar apenas quatro amostras para este valor de tensão.


Os testes estatísticos utilizados serão os mesmos que foram utilizados na comparação das tensões atuais das três máquinas.

A máquina é capaz de produzir dezasseis tiras de *cap ply* em simultâneo. As tiras utilizadas para os testes serão a 8 e a 16. De modo a verificar qual o impacto do estado das correias de travagem nas tensões das cordas, as posições das bobinas no *creel* para produzir a tira 16 irão utilizar correias já usadas e gastas, enquanto as posições para produzir a tira 8 serão equipadas com correias novas.

#### 4.4.1.1 Mola de teste

As molas presentes nas máquinas não são capazes de induzir um momento de travagem às bobinas de corda suficientemente elevado para aumentar a tensão de desenrolamento para os valores pretendidos. Por este motivo, foram adquiridas novas molas com as características apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Características da mola de teste.

Características fornecidas pelo fabricante	Ilustração da mola
Comprimento inicial: 0,09 m Constante elástica: 600 N/m Pré-carga: 5 N (aprox.)	

A Tabela 21 mostra quais as condições necessárias para atingir as tensões de teste desejadas.

Tabela 21 - Condições necessárias para obter as tensões de teste pretendidas.

Tensões de teste	Condições do processo para obter as tensões de teste
15 N	Esticar a mola de teste até atingir o comprimento de 0,125 m, quando as bobinas de corda possuírem um raio entre os 0,100 e 0,090 m.
20 N	Esticar a mola de teste até atingir o comprimento de 0,125 m, quando as bobinas de corda possuírem um raio entre os 0,065 e 0,055 m.

#### 4.4.2 Tensões de desenrolamento obtidas

A Tabela 22 apresenta as tensões médias de teste presentes nas cordas de cada tira a ser analisada. Cada tira de *cap ply* é composta por oito cordas. As tensões médias e desvios padrão resultam da medição da tensão em quatro cordas das oito, tendo sido este número considerado suficiente para definir qual a tensão global de desenrolamento das cordas em cada tira.

Tabela 22 - Tensões nas cordas utilizadas para o estudo das propriedades do material.

Amostra	Raio da bobina (m)	Tira de <i>cap ply</i>	Tensão média (N)	Desvio Padrão (N)
1	0,100	8	13,98	1,58
2	0,100	16	12,21	1,80
3	0,095	8	15,14	2,98
4	0,095	16	12,86	2,53
5	0,090	8	16,14	2,03
6	0,090	16	14,68	1,03
7	0,065	8	20,43	3,14
8	0,065	16	17,78	1,22
9	0,059	8	23,61	2,47
10	0,059	16	23,47	2,79

As amostras de 1 a 6 foram utilizadas para o primeiro nível da experiência, com uma tensão média das seis amostras de 14,17 N. As amostras de 7 a 10 foram utilizadas para o segundo nível da experiência, com uma tensão média de 21,32 N.

Analisando a Tabela 22 é possível tirar as seguintes conclusões, no que diz respeito às tensões:

- A tira 16 tem sempre menor tensão nas cordas que a tira 8, para o mesmo deslocamento da mola e o mesmo raio da bobina. As posições de desenrolamento que desenrolam as bobinas de corda para produzir a tira 16 têm correias usadas e gastas, enquanto que as posições da tira 8 têm correias novas. Assim, é possível concluir que quanto melhor o estado das correias de travagem, mais tensão estas vão induzir nas cordas;
- Com o aumento da tensão na corda, o desvio padrão das medições tende a aumentar. Isto sugere que, com este sistema de travagem mecânico, mesmo com molas iguais e correias iguais, as tensões continuam a variar de posição para posição. Esta variabilidade aumenta com o incremento da tensão de desenrolamento.

#### 4.4.3 Recolha das amostras

As amostras são recolhidas e enroladas em torno de uma bobina de cartão vazia. Depois seguem para o laboratório, onde se fazem os ensaios ao material. A Figura 55 mostra uma amostra para 14,17 N de tensão nas cordas. A Figura 56 ilustra uma amostra para 21,32 N de tensão nas cordas.



Figura 55 - Amostra de *cap ply* com uma tensão média de desenrolamento de 14,17 N.

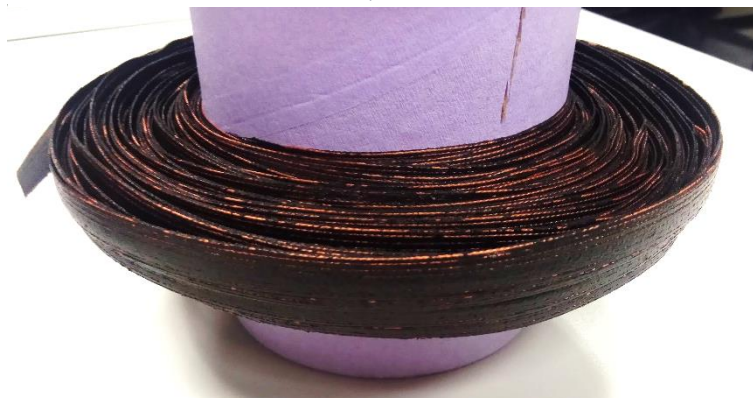


Figura 56 - Amostra de *cap ply* com uma tensão média de desenrolamento de 21,32 N.

As tiras de *cap ply* com as cordas nos valores de tensão atuais (3,18 N) apresentam uma ótima impregnação de borracha, não se vendo nenhuma corda à superfície do material. Para uma tensão média de corda de 14,17 N, já se começa a detetar pequenas falhas de borracha na tira. Quando se atinge valores de 21,32 N, as falhas de borracha na tira são nitidamente visíveis, principalmente nas extremidades da tira. Com isto, é possível concluir que o aumento da tensão para valores bastante mais altos que os atuais, piora a impregnação da borracha nas cordas, o que é mau para o processo de fabrico de *cap ply*.

#### 4.4.4 Análise às alterações das propriedades do material

No laboratório, foram aplicadas as metodologias de ensaio estipuladas pela empresa, de forma a obter os valores das sete propriedades anteriormente referidas. A Tabela 23 resume as médias e desvios padrão de todos os ensaios realizados.

Tabela 23 - Médias e desvios padrão resultantes das experiências realizadas às propriedades do material.

Propriedade	Tensão de corda	Média	Desvio padrão
Tensão de rotura	3,18 N	147,89 N	4,02 N
	14,17 N	144,00 N	1,55 N
	21,32 N	141,00 N	2,94 N
Deformação na rotura	3,18 N	21,05%	0,90%
	14,17 N	21,35%	0,73%
	21,32 N	20,25%	0,60%
Força de contração	3,18 N	517,21 cN	21,14 cN
	14,17 N	508,13 cN	6,39 cN
	21,32 N	532,28 cN	16,87 cN
Força de contração residual	3,18 N	9,64 cN	11,75 cN
	14,17 N	9,17 cN	5,09 cN
	21,32 N	19,15 cN	8,28 cN
Contração 180°	3,18 N	4,18%	0,18%
	14,17 N	4,23%	0,16%
	21,32 N	4,41%	0,34%

<b>Contração 180° residual</b>	3,18 N	1,81%	0,17%
	14,17 N	1,90%	0,12%
	21,32 N	2,11%	0,25%
<b>Adesão em verde</b>	3,18 N	24,02 N	3,08 N
	14,17 N	23,83 N	3,87 N
	21,32 N	20,75 N	3,50 N
<b>Peel adhesion</b>	3,18 N	143,63 N	8,64 N
	14,17 N	138,87 N	7,81 N
	21,32 N	155,32 N	8,43 N

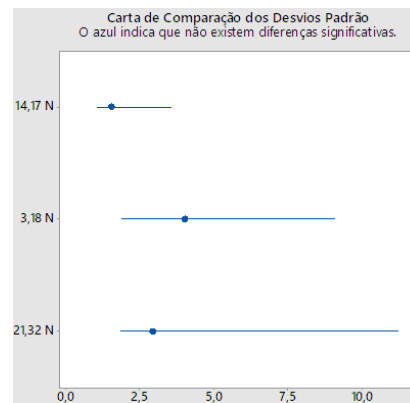
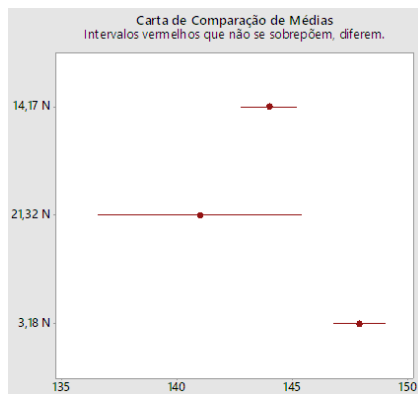
Na Tabela 24 estão presentes as análises aos testes estatísticos realizados no Minitab. Sombreado a azul, são exibidas as análises aos testes estatísticos que apresentam resultados considerados como mais relevantes.

Tabela 24 - Análise dos testes estatísticos realizados às propriedades do material.

### Teste às médias

### Teste aos desvios padrão

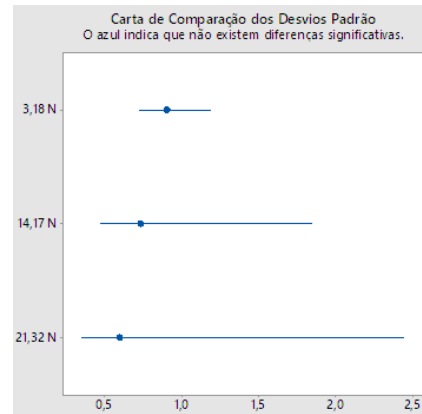
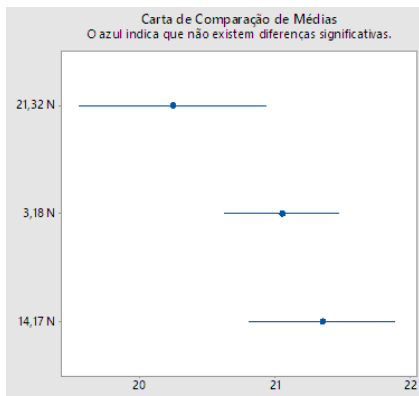
#### Tensão de rotura (N)



Diferença significativa entre as cordas desenroladas no estado atual e as desenroladas com as tensões de teste. Cordas desenroladas com mais tensão, provocam uma diminuição na tensão de rotura. Redução de 5% entre cordas com 3,18 N e 21,32 N.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

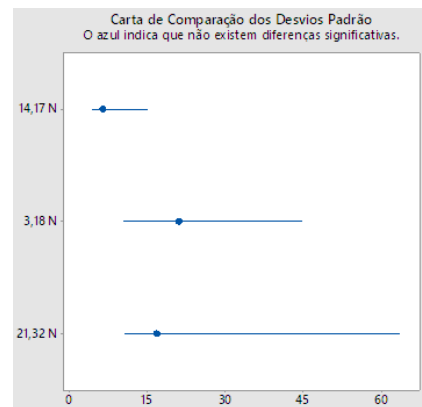
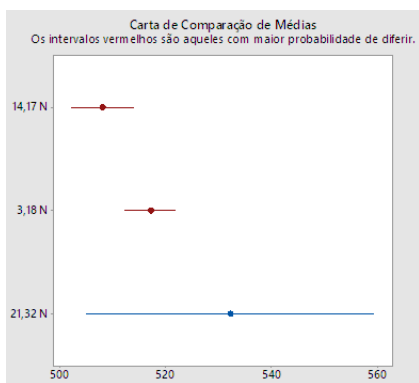
**Deformação na rotura (%)**



Não existem diferenças significativas entre as médias para os tamanhos amostrais utilizados.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

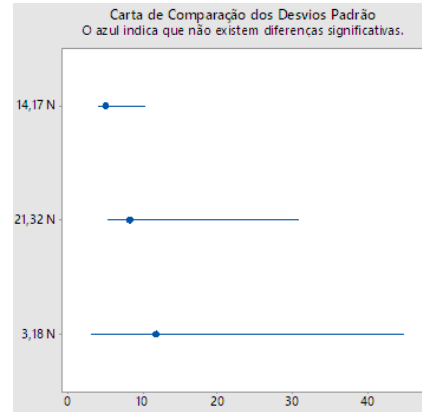
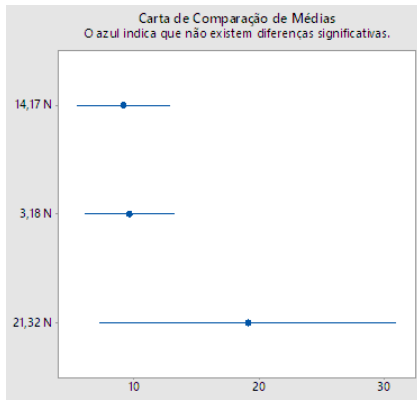
**Força de contração (cN)**



Observa-se uma diferença significativa entre as amostras com 3,18 N e 14,17 N, isto porque estes dois intervalos têm grande probabilidade de diferir. Contudo, verifica-se apenas uma redução de 2% na força de contração. Para perceber se as amostras com 21,32 N também diferem significativamente, era necessário aumentar o número de amostras.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

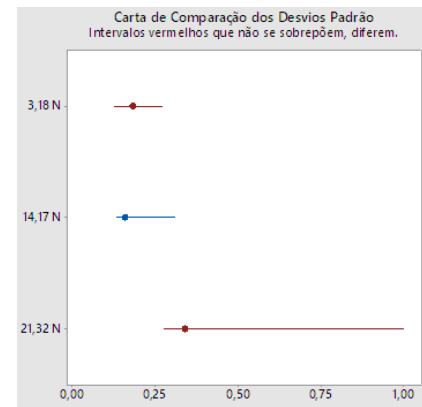
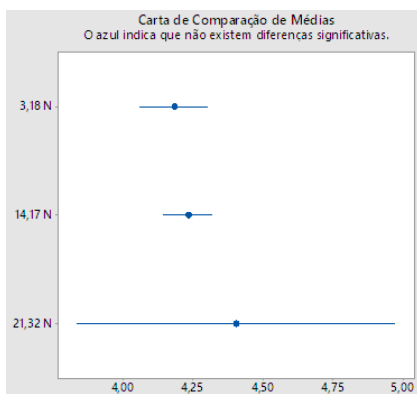
**Força de contração residual (cN)**



Não existem diferenças significativas entre as médias para os tamanhos amostrais utilizados. Existe um aumento significativo da força de contração residual das cordas com 3,18 N para as cordas com 21,32 N (aumento de 50%). Se o número de amostras para as cordas com mais tensão fosse superior, muito provavelmente esta diferença era notada no teste estatístico.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

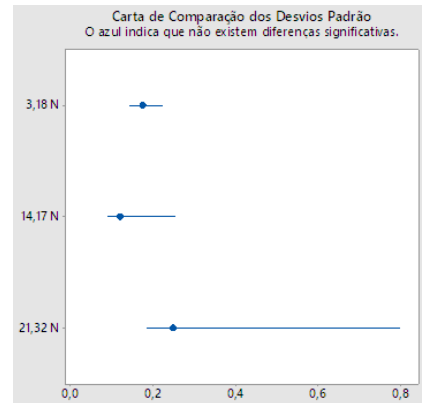
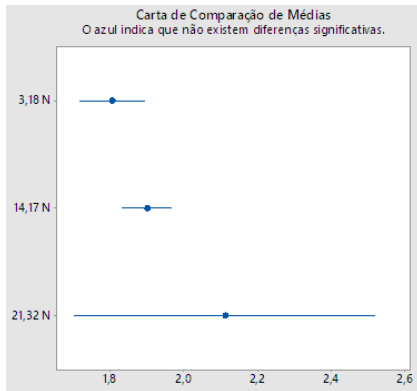
**Contração 180° (%)**



Não existem diferenças significativas entre as médias para os tamanhos amostrais utilizados.

Existem diferenças significativas entre os desvios padrão entre as amostras recolhidas no estado atual de tensão e as amostras com 21,32 N.

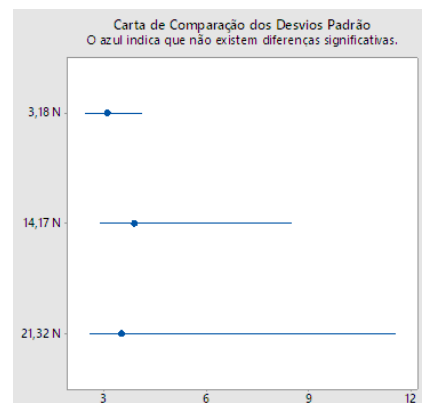
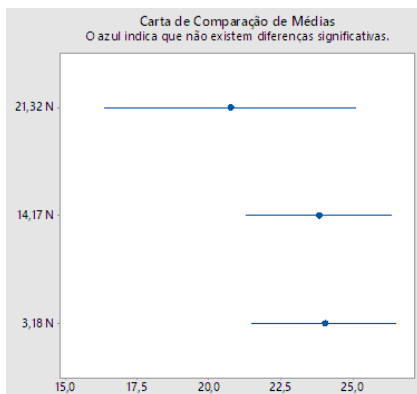
**Contração 180° residual (%)**



Não existem diferenças significativas entre as médias para os tamanhos amostrais utilizados. Existe um aumento gradual da % de contração residual conforme a tensão das amostras aumenta. Entre a tensão de 3,18 N e 21,32 N regista-se um aumento de 14%. Se o número de amostras para as cordas com mais tensão fosse superior, provavelmente diferença era notada no teste estatístico.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

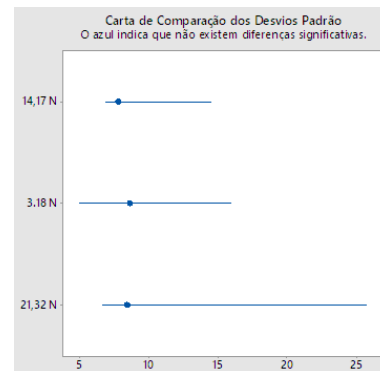
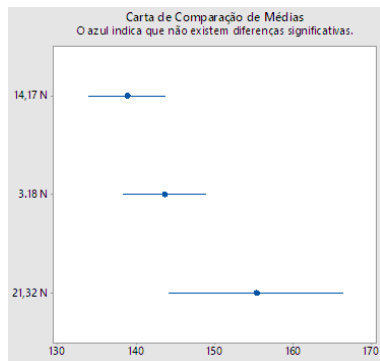
**Adesão em verde (N)**



Não existem diferenças significativas entre as médias para os tamanhos amostrais utilizados.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

### Peel adhesion (N)



Não existem diferenças significativas entre as médias para os tamanhos amostrais utilizados.

Não existem diferenças significativas entre os desvios padrão para os tamanhos amostrais utilizados.

Observando a Tabela 24, é importante enfatizar os seguintes pontos:

- As tensões de desenrolamento das cordas têm impacto na resistência à tração da corda. Verificou-se uma ligeira redução gradual da tensão de rotura em função do incremento da tensão de desenrolamento utilizada para fabricar as amostras de material;
- O aumento das tensões de desenrolamento torna o material mais sensível a ciclos térmicos, uma vez que se registou um aumento da contração residual e força de contração residual;
- As diferentes tensões de desenrolamento têm pouco impacto na variabilidade dos resultados dos ensaios, uma vez que apenas se registou uma diferença significativa ao nível dos desvios padrão para a propriedade contração 180°.

#### 4.5 Impacto das tensões de desenrolamento na uniformidade do pneu

Para entender se as tensões de desenrolamento das cordas têxteis têm alguma influência na uniformidade do pneu, foram construídos pneus com *cap ply* fabricado com tensões de corda diferentes.

Para este teste, foi escolhido um pneu com as medidas 205/65 R15, pois é um pneu que representa de boa forma a generalidade de todos os pneus para veículos ligeiros, e porque se trata de um pneu estável a nível de uniformidade, o que torna mais visível as possíveis alterações que o *cap ply* com tensão elevada possa produzir.

Foram fabricados os seguintes pneus:

- 79 pneus com *cap ply* fabricado com cordas desenroladas com as tensões atuais de 3,18 N;
- 55 pneus com *cap ply* fabricado com cordas desenroladas com a tensão média de 21,32 N;

A Tabela 25 expõe os testes estatísticos realizados aos parâmetros da uniformidade. Estes testes estatísticos foram realizados para um nível de significância de 5%.

Tabela 25 - Testes estatísticos realizados para comparar os parâmetros da uniformidade.

Teste	Objetivo
Teste <i>t student</i>	Teste que compara as duas amostras, de modo a perceber se existe diferenças significativas entre as médias dos parâmetros de controlo da uniformidade.
Teste dos desvios padrão	Teste que compara as duas amostras, de modo a perceber se existem diferenças significativas na variabilidade dos parâmetros de controlo da uniformidade.

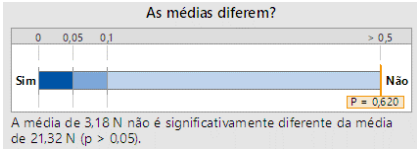
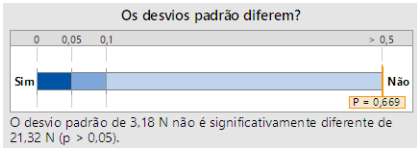
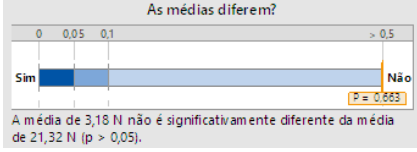
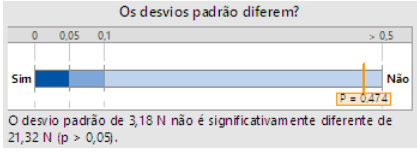
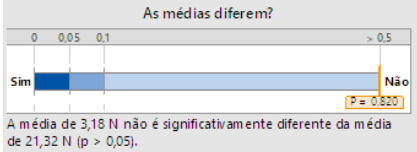
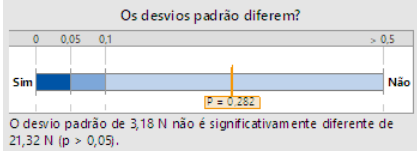
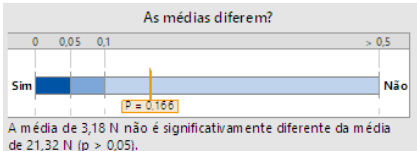
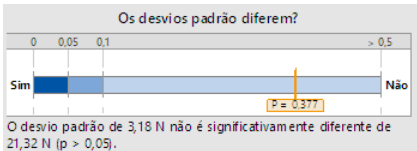
#### 4.5.1 Análise das alterações dos parâmetros da uniformidade

A Tabela 26 resume as médias e os desvios padrão das propriedades da uniformidade analisadas.

Tabela 26 - Médias e desvios padrão das propriedades da uniformidade analisadas.

Parâmetro	Tensão de corda	Média (daN)	Desvio padrão (daN)
Força radial pico a pico	3,18 N	3,64	0,81
	21,32 N	3,72	0,85
Amplitude do 1º harmónico da força radial	3,18 N	2,11	0,99
	21,32 N	2,03	0,97
Amplitude do 2º harmónico da força radial	3,18 N	1,02	0,44
	21,32 N	1,01	0,39
Força lateral pico a pico	3,18 N	2,69	0,74
	21,32 N	2,53	0,66

Tabela 27 - Resultados dos testes estatísticos realizados aos parâmetros da uniformidade.

Parâmetro	Teste às médias	Teste aos desvios padrão
<b>Força radial pico a pico</b>	 <p>As médias diferem?</p> <p>A média de 3,18 N não é significativamente diferente da média de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>	 <p>Os desvios padrão diferem?</p> <p>O desvio padrão de 3,18 N não é significativamente diferente de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>
<b>Amplitude do 1º harmónico da força radial</b>	 <p>As médias diferem?</p> <p>A média de 3,18 N não é significativamente diferente da média de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>	 <p>Os desvios padrão diferem?</p> <p>O desvio padrão de 3,18 N não é significativamente diferente de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>
<b>Amplitude do 2º harmónico da força radial</b>	 <p>As médias diferem?</p> <p>A média de 3,18 N não é significativamente diferente da média de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>	 <p>Os desvios padrão diferem?</p> <p>O desvio padrão de 3,18 N não é significativamente diferente de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>
<b>Força lateral pico a pico</b>	 <p>As médias diferem?</p> <p>A média de 3,18 N não é significativamente diferente da média de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>	 <p>Os desvios padrão diferem?</p> <p>O desvio padrão de 3,18 N não é significativamente diferente de 21,32 N (<math>p &gt; 0,05</math>).</p>

Analisando a Tabela 27, é claramente perceptível que as tensões de desenrolamento das cordas no fabrico de *cap ply* não têm qualquer influência na uniformidade do pneu, uma vez que em todos os testes realizados, não existe nenhuma diferença significativa entre as amostras.

#### 4.6 Solução a adotar no controlo de tensões no *creel*

Perante os estudos realizados nos capítulos anteriores, o controlo das tensões de desenrolamento das cordas têxteis no fabrico de *cap ply* é um fator importante do processo, mas não crítico. Isto porque, embora tenha impacto em algumas propriedades do material, não se verificam alterações a nível de uniformidade do pneu. Com isto, e tendo em conta o sistema de travagem das bobinas presentes nos *creels*, a sugestão passa por equipar todas as posições com correias em estado semelhante e com molas iguais, quer em rigidez, quer em comprimento.

As molas deverão ser mais rígidas que as atuais, isto porque as tensões nas cordas são extremamente baixas, fazendo com que as cordas andem bastante soltas, principalmente quando as bobinas estão cheias. A mola deverá ter um comprimento de 0,085 m para trabalhar num deslocamento de 0,01 m e uma rigidez na ordem dos 400 N/m, o que irá corresponder a uma tensão média na corda de 6,85 N ao longo do desenrolamento.

# CORDAS PARTIDAS

- 5.1 ANÁLISE DA QUANTIDADE DE CORDAS PARTIDAS
- 5.2 SOLUÇÃO PARA O ALINHAMENTO DAS CORDAS
- 5.3 CONCEÇÃO E FABRICO DO SISTEMA DE ROLOS
- 5.4 IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE ALINHAMENTO DE  
CORDAS
- 5.5 POSSÍVEIS SOLUÇÕES DE MELHORIA



## 5 CORDAS PARTIDAS

Como visto no capítulo 3, as cordas partidas durante o processo de fabrico de *cap ply* são um problema que se pretende reduzir. Para além do principal objetivo do projeto, que consiste no estudo das tensões de desenrolamento das cordas têxteis (capítulo 4), também serão realizadas tentativas de otimizar o processo de fabrico, tentando reduzir o número de cordas partidas. Esta otimização passará por alinhar as cordas têxteis à entrada da feira.

### 5.1 Análise da quantidade de cordas partidas

Para analisar e caracterizar quantas cordas partem durante o desenrolamento, foi colocada uma rotina no autómato da máquina que registava a informação de corda partida, sempre que tal acontecia. Ao todo, foram analisados cinquenta e sete *creels* completos com *nylon*<sup>®</sup> como corda de reforço a ser desenrolada. O *nylon*<sup>®</sup> foi o material escolhido para o estudo, pois é o material mais utilizado como corda de reforço do *cap ply*. Tendo em conta que cada *creel* é carregado com cento e vinte e oito bobinas de corda de *nylon*<sup>®</sup>, os cinquenta e sete *creels* correspondem a um total de 289.568.768 m de corda analisados.

Tabela 28 - Resumo do número de cordas partidas e paragens do processo.

		Total	Média por <i>creel</i>	Desvio padrão por <i>creel</i>
Cordas partidas	<i>Creel</i> completo	332	5,8	3,8
	[40000 - 30000[m	104	1,8	1,7
	[30000 - 20000[m	70	1,2	1,3
	[20000 - 10000[m	69	1,2	1,4
	[10000 - 1500[m	89	1,6	1,6
Paragens por cordas partidas		55	1,0	1,1
Paragens (outros motivos)		27	0,5	0,7

A Tabela 28 resume os valores das cordas partidas e das paragens do processo. Também foram analisadas as cordas partidas por intervalo de comprimento de corda na bobina. A partir dele, são de realçar os seguintes pontos:

- O desvio padrão de cordas partidas é bastante elevado (3,8), o que demonstra que existem *creels* em que não se partiram cordas, e existem outros em que se partiram dezassete cordas;
- 59% das cordas partem nos primeiros e últimos 10.000 m de corda, o que corresponde aos inícios e fins de *creel*;
- Nas paragens por outros motivos, também existe a reposição de cordas partidas. Somando estas paragens às paragens por cordas partidas, a máquina é parada, em média, 1,5 vezes por *creel*. Se a máquina tivesse que ser parada cada vez que se parte uma corda, as paragens do processo de fabrico iriam aumentar, em média, cerca de 4 vezes mais.

Com a análise de cordas partidas realizada, o trabalho que se segue no restante capítulo é na tentativa de reduzir o número médio de cordas partidas (5,8), e de dar mais estabilidade ao processo.

## 5.2 Solução para o alinhamento das cordas

Alinhar as cordas à entrada da fieira não é uma tarefa fácil, uma vez que é necessário alinhar cento e vinte e oito cordas com 0,00055 m de diâmetro com os furos da fieira, que possuem um diâmetro apenas ligeiramente maior. Para além disso, o espaçamento entre os furos da fieira também é bastante reduzido, uma vez que uma tira de *cap ply* tem 0,01 m de largura e possui oito cordas de *nylon*<sup>®</sup>.

Para as cordas entrarem alinhadas na fieira, é preciso alinhá-las, quer em altura, quer em largura. O processo atual já conta com a presença de uma placa perfurada entre o *creel* e a fieira, como ilustrado na Figura 57. Embora a placa utilizada tenha como objetivo dar um certo alinhamento das cordas à saída do *creel*, esta não alinha as cordas exatamente com os furos da fieira. Para além disso, estas placas são universais para todos os materiais, enquanto as fieiras mudam consoante o material.



Figura 57 - Placa perfurada entre o *creel* e o cabeçote da máquina.

Uma vez que a máquina já possui a estrutura para suportar esta placa, a forma mais simples de alinhar as cordas na largura com os furos da fieira é desenhar e fabricar uma nova placa para cada material, de modo que o espaçamento dos furos da placa perfurada seja o mesmo dos furos da fieira correspondente a esse material. A Figura 58 mostra uma nova placa já fabricada para o material em estudo. Os furos são simétricos, apenas porque as placas atuais também possuem essa simetria. É uma placa feita em alumínio, em que nos furos são inseridos casquilhos cerâmicos, o que aumenta a resistência ao desgaste da placa.

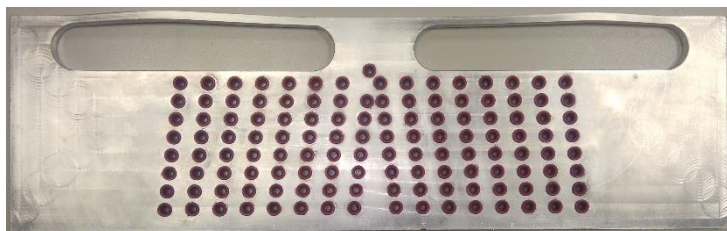


Figura 58 - Nova placa perfurada para alinhar as cordas na largura.

Contudo, é necessário ainda alinhar as cordas em altura, para que estas não entrem em ângulo na fieira. Para este efeito, foram pensadas duas abordagens distintas, apresentadas na Tabela 29.

Tabela 29 - Soluções para alinhar as cordas em altura.

Pente/pré-fieira	Sistema de rolos
<p>Conceção de uma ferramenta a colocar entre a placa perfurada e o cabeçote da máquina. As cordas seriam enfiadas nesta ferramenta e sairiam dela alinhadas com os furos da fieira.</p>	<p>Construção de uma estrutura de rolos a ser colocada entre a placa perfurada e o cabeçote da máquina. As cordas, ao passarem entre os dois rolos, serão forçadas a entrarem na fieira todas à mesma altura.</p>

A utilização de uma pré-fieira para alinhar as cordas em altura iria garantir a entrada alinhada das cordas na fieira, mas trata-se de uma solução com algumas contrapartidas. A fricção das cordas com a fieira iria deixar de acontecer, mas não iria ser eliminada, pois esta fricção passaria a acontecer na pré-fieira. Como já dito neste capítulo, o espaçamento entre cordas é bastante reduzido, o que tornaria difícil a produção de uma ferramenta que alinhasse as cordas e eliminasse esta fricção já presente no processo. Para além disto, os ajustes possíveis aquando a sua aplicação seriam reduzidos. Se fosse necessário melhorar ou alterar qualquer pormenor, seria necessário produzir outra ferramenta. O tempo de *setup* da máquina também iria aumentar, pois seria mais uma ferramenta onde era necessário enfiar cordas.

O sistema de rolos trata-se de uma solução simples, que não aumenta os tempos de *setup*, e que tem a particularidade de que se não estiver a funcionar, basta retirar os rolos, não existindo perturbação da produção. Além disso, como os rolos possuem uma superfície circular, se os seus diâmetros forem na ordem dos 0,05 m, a superfície de contacto com as cordas será considerável e não provocará uma agressiva fricção nas cordas. Os ajustes durante a implementação também são possíveis com este sistema.

Com base na análise anterior, o sistema de rolos foi o escolhido para alinhar as cordas em altura. Como se trata de um sistema simples, foi possível construir um protótipo com material existente na fábrica, com o intuito de testar o conceito sem desperdiçar muitos recursos. A Figura 59 mostra o primeiro teste realizado com o protótipo do sistema de rolos e a nova placa perfurada.



Figura 59 - Teste de alinhamento de cordas com protótipo do sistema de rolos e nova placa perfurada.

O primeiro teste realizou-se no fim de um *creel* durante 3 horas. Os rolos metálicos inicialmente rodavam livres com as cordas, mas o rodar provocava uma distorção das cordas, fazendo com que estas se torcessem umas nas outras. Chegou-se à conclusão que com os rolos bloqueados, a torção entre cordas diminuía bastante. Decidiu-se, assim, bloquear os rolos até ao fim do teste, que decorreu sem que alguma corda partisse.

Uma vez que do primeiro teste surgiram resultados aparentemente promissores, decidiu-se continuar a investir neste sistema de alinhamento.

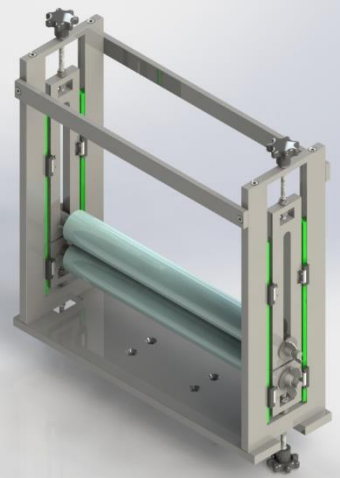
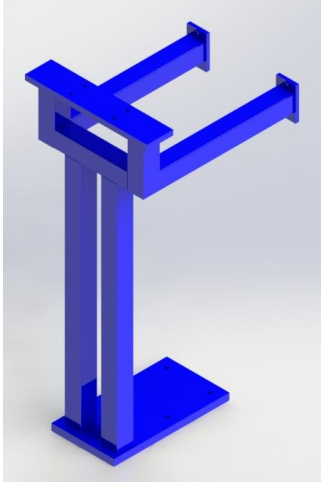
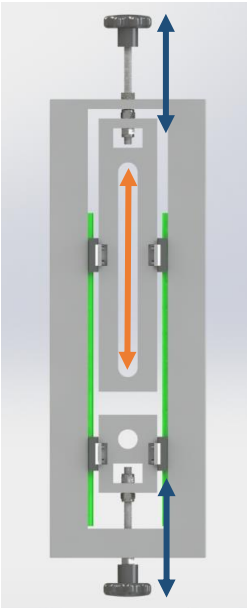
### 5.3 Conceção e fabrico do sistema de rolos

Com a placa perfurada, responsável por alinhar as cordas na largura já fabricada, resta projetar e fabricar um sistema de rolos para alinhar as cordas em altura. Para isso, o sistema de rolos tem que preencher determinados requisitos:

- Estruturalmente robusto, pois foram detetadas vibrações no sistema protótipo com o passar das cordas pelos rolos;
- Ser possível ajustar a altura de trabalho dos rolos, permitindo ajustes quer durante a montagem, quer durante a produção;
- Ser possível subir e descer os rolos de forma rápida, sem alterar a altura de trabalho dos mesmos. Assim, não são necessários ajustes sempre que se começar o *creel* novo;
- Ser um sistema manual, mas com potencial para mais tarde automatizar. Isto para não existirem entraves a nível do departamento de segurança em fases de testes do sistema.

O sistema de rolos foi projetado em *Solidworks*<sup>®</sup>, estando ilustrado e descrito na Tabela 30. No anexo 2, são apresentados os desenhos de todas as peças projetadas do sistema de rolos.

Tabela 30 - Descrição do projeto do sistema de rolos.

Descrição do sistema de rolos	Ilustração
<p>Os rolos que irão rodar e alinhar as cordas serão fabricados em PTFE, isto porque se trata de um material com características auto lubrificantes, o que irá gerar pouco atrito no contacto com as cordas. Os ajustes e alturas de trabalho dos rolos serão garantidos por um sistema de guias lineares (patins e guias). Os restantes componentes responsáveis por acoplar os rolos ao movimento linear serão fabricados em aço AISI 1045, aço bastante utilizado em elementos mecânicos.</p>	 A 3D CAD rendering of a roller assembly. It features a central horizontal roller with a light blue, textured surface. The roller is supported by a metal frame with vertical guides and adjustment screws on both sides. The entire assembly is mounted on a base plate.
<p>A estrutura de fixação será aparafusada à estrutura onde é colocada a placa perfurada, já existente na máquina. O sistema de rolos será colocado e aparafusado na parte superior da estrutura de fixação, dando a robustez pretendida a todo o mecanismo. Trata-se de uma construção soldada, em que o material utilizado para as diferentes barras será o aço S235JR, um aço estrutural comum.</p>	 A 3D CAD rendering of a blue structural frame. It consists of a vertical post, a horizontal top bar, and two side bars that connect the top bar to the post, forming a sturdy rectangular structure. The frame is designed for mounting other components.
<p>Os rolos serão montados em componentes metálicos, que por sua vez estão acoplados aos patins, permitindo o movimento linear dos rolos. Apertando e/ou desapertando os parafusos colocados nas extremidades (setas azuis), ajusta-se a altura de trabalho dos rolos, isto porque os parafusos estão presos aos componentes que suportam os rolos por porcas de bloqueio. O componente que suporta o rolo superior possui um rasgo (seta laranja) para ser possível subir e descer o rolo de forma rápida, sem alterar os ajustes de altura dados pelos parafusos.</p>	 A cross-sectional diagram of the roller adjustment mechanism. It shows a roller assembly within a housing. Two blue arrows point vertically outwards from the top and bottom of the housing, indicating the adjustment screws. A central orange arrow points upwards from the roller, indicating the vertical travel of the roller. The diagram illustrates how the roller's height can be adjusted without changing the screw settings.

A Figura 60 mostra o sistema de rolos já fabricado. O fabricante produziu o sistema com algumas alterações ao projetado, nomeadamente:

- Os componentes que inicialmente foram projetados em aço AISI 1045, foram produzidos em alumínio, da série 6063;
- Os componentes, de forma geral, foram fabricados de forma diferente do projeto, com a justificação de que, deste modo, seriam mais simples de produzir. Mas com isto, as cotas funcionais não se alteraram;
- As guias lineares foram mais curtas que o projetado, o que fez com que os patins do suporte do rolo superior fossem colocados a um nível inferior ao projetado.



Figura 60 - Sistema de rolos fabricado e montado.

Apesar das alterações ao projeto, o sistema de rolos continua a cumprir os requisitos inicialmente impostos na fase do projeto.

#### 5.4 Implementação do sistema de alinhamento de cordas

O sistema de rolos foi aplicado na máquina, mas sem ser utilizado desde logo, uma vez que se trata de um sistema de teste. Para tal, foram agendados testes no processo com este sistema e a nova placa perfurada em simultâneo. Todos os testes foram realizados com o arrancar de um novo *creel*.

A Tabela 31 relata todos os testes que foram realizados, bem como as alterações e correções efetuadas ao sistema de alinhamento de cordas, na tentativa de atingir o melhor resultado possível.

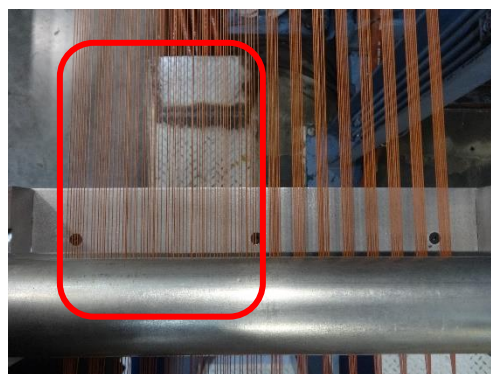
Tabela 31 - Testes realizados ao sistema de alinhamento de cordas em estudo.

**Primeiro teste – rolos PTFE e placa perfurada 1**

A distorção verificada, em que as cordas se cruzam entre elas, tinha sido associada ao facto dos rolos metálicos não estarem em bom estado ou bem alinhados. Premissa errada, uma vez que com rolos de PTFE bem acabados e bem alinhados, a distorção continuou a acontecer com estes a rodarem. Tal como no teste com o protótipo, bloqueando os rolos, a distorção diminuía. Mas, como se tratam de rolos de PTFE, estes não puderam ser bloqueados, por risco de desgaste excessivo e aparecimento de material estranho no *cap ply* produzido. Devido a tal, o número de cordas partidas nas primeiras três horas foi elevado, tendo sido o teste interrompido com o levantar dos rolos.

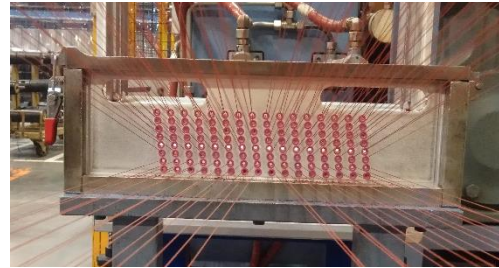
**Segundo teste – rolos metálicos e placa perfurada 1**

Foram colocados os rolos metálicos, para os poder bloquear. Assim, embora as cordas continuassem a cruzar-se entre si, acontecia com menos frequência. Como o cruzar entre cordas provocava algumas cordas partidas, o operador decidiu, passado algumas horas, levantar os rolos e produzir sem eles. Reparou-se, também, que metade das cordas não tinham o espaçamento correto entre elas (assinaladas a vermelho) quando se baixavam os rolos. A única diferença visível para tal, estava na placa perfurada, em que metade dos furos têm uma inclinação e a outra metade uma inclinação simétrica.



### Terceiro teste – rolos metálicos e placa perfurada 2

Fabricou-se uma nova placa perfurada, do mesmo material que a anterior, mas todos os furos passaram a ter a mesma inclinação, deixando a placa de ser simétrica. A inclinação dos furos corresponde à inclinação que, na placa anterior, dava o espaçamento correto entre cordas. Assim, conseguiu-se dar o espaçamento correto a todas as cordas, colocando o sistema a trabalhar mais próximo do objetivo final. Contudo, não foi possível evitar o cruzar entre cordas, o que provocou a rotura de cinco cordas. Devido a tal, os rolos foram novamente levantados, após três horas de teste.



Não foram realizados mais testes, pois o tempo de estágio terminou. Os testes foram realizados sempre com o intuito de melhorar o que correu menos bem no teste anterior, sendo necessário mais tempo de estágio e a realização de mais testes, de forma a conseguir alinhar as cordas com a feira sem problemas. Só a partir daí é que seria possível entender se o alinhamento das cordas com a feira iria reduzir o número de cordas partidas e melhorar o processo de fabrico.

#### 5.5 Possíveis soluções de melhoria

Uma vez que não foi possível realizar mais testes e melhorar o sistema de alinhamento, resta registar quais os possíveis próximos passos a dar.

Durante o teste com o protótipo do sistema de rolos, o cruzar das cordas pareceu não ocorrer com tanta frequência. Uma grande diferença entre este teste e os restantes, é a distância a que os rolos estão do cabeçote da máquina. Por imposição do departamento de engenharia, devido a possíveis mudanças que poderiam acontecer aos cilindros hidráulicos presentes no cabeçote, o sistema de rolos teve que ser recuado e ficar mais distante do cabeçote da máquina, cerca de 0,25 m mais atrás. Esta diferença pode ser observada na Figura 61.

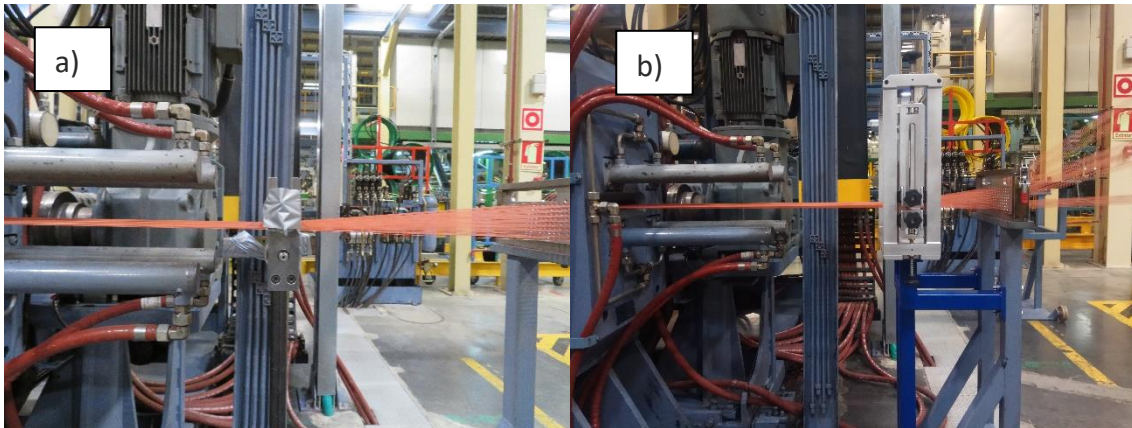


Figura 61 - Diferenças da distância dos rolos ao cabeçote em teste com protótipo (a) e nos restantes testes (b).

Para perceber se este fator tem realmente impacto no cruzar de cordas, devia-se colocar o sistema de rolos à mesma distância que se encontrava o protótipo, e realizar um novo teste.

Outra sugestão passava por reutilizar os rolos de PTFE, ranhurando um dos rolos, para assim as cordas terem uma barreira física entre elas. Deste modo, as cordas não conseguiam entrar em contacto umas com as outras, impossibilitando que estas se cruzassem. Para além disso, iria reforçar-se o correto espaçamento entre elas, já alcançado com a última placa perfurada.

# CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES

6.2 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS



## 6 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

### 6.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido nesta dissertação, realizado na Continental Mabor, pretendeu aumentar o conhecimento sobre o processo de fabrico de *cap ply* nas máquinas *cap-strips*, nomeadamente estudando qual a influência da tensão de desenrolamento das cordas têxteis nas propriedades do material e na uniformidade do pneu. Paralelamente, foi abordada uma tentativa de otimização do processo, tentando reduzir o número de cordas partidas e, conseqüentemente, reduzindo as paragens do processo e os desperdícios de material para sucata.

Atualmente, as máquinas CS01 e CS02 provocam tensões nas cordas com uma média de 3,18 N e 3,22 N, respetivamente. A diferença entre estas duas máquinas não mostrou ser significativa, mas existe uma diferença significativa comparando estas duas com a máquina CS03, que produz tensões 8% mais baixas. A redução de diâmetro da bobina de corda também mostrou ser um fator com influência nas tensões. Nas máquinas CS01 e CS03, que trabalham com cordas de *nylon*<sup>®</sup>, registou-se um aumento de cerca de 32% da tensão com a bobina de corda cheia, em comparação com a bobina nos últimos metros de corda. Na máquina CS02, este aumento foi de 15%, sendo que esta máquina estava a trabalhar com cordas híbridas. Em relação às posições do *creel*, conclui-se que todas as diferenças de tensão entre elas se devem, fundamentalmente, à existência de um número elevado de molas e correias de travagem diferentes.

Com a aquisição das molas de teste, foi possível equipar várias posições com molas e correias iguais. Com isto, foi possível concluir que, mesmo com molas iguais, as tensões continuam a variar de posição para posição, o que mostra que o sistema de controlo de tensões mecânico é de fraca precisão de controlo.

As propriedades do material que mostraram maior alteração com o aumento da tensão foram a tensão de rotura (redução de 5%), a força de contração residual (aumento de 50%) e a contração residual (aumento de 14%). Estas diferenças são entre o nível mais baixo de tensão (3,18 N) e o nível mais alto (21,32 N). Deste modo, é possível concluir que a tensão de desenrolamento pode tornar as cordas têxteis mais sensíveis a ciclos térmicos, mas para obter

valores mais precisos, era necessário fazer testes com tamanhos amostrais maiores. Para além das propriedades do material, comprovou-se que as tensões de desenrolamento das cordas têxteis não têm qualquer influência na uniformidade dos pneus. Assim, a tensão de desenrolamento mostra ser um parâmetro importante a controlar, mas não crítico, uma vez que as propriedades do *cap ply* só sofreram alterações para valores de tensão 6,3 vezes mais elevadas que as tensões de trabalho utilizadas. Estas tensões mostraram ser mais importantes de controlar em relação ao processo de fabrico em si.

O processo de otimização de cordas não foi concluído, uma vez que o estágio acabou antes de se conseguir alinhar completamente as cordas à entrada da fiação. Contudo, registaram-se melhorias contínuas no sistema de alinhamento, conforme os testes iam progredindo. Fica o registo que, em média, partem 5,8 cordas por *creel*, sendo este o indicador de melhoria a ser utilizado.

Na Tabela 32 é apresentado um balanço das respostas aos objetivos inicialmente propostos.

Tabela 32 - Balanço dos objetivos inicialmente propostos.

Objetivos	Resultados	Estado
Estudo do sistema de travagem das bobinas de corda têxtil, durante o seu desenrolamento.	Compreender a influência da mola e da correia na tensão das cordas e a modelação do sistema de travagem.	Atingido.
Caracterizar o processo de desenrolamento de cordas têxteis.	Detetar diferenças entre máquinas e entender a real influência da redução do raio das bobinas no processo.	Atingido.
Estudar o impacto das tensões de desenrolamento das cordas nas propriedades do material.	Existem alterações nas propriedades do <i>cap ply</i> com o aumento das tensões de desenrolamento, nomeadamente na contração e tensão de rotura das cordas.	Atingido.
Estudar o impacto das tensões de desenrolamento das cordas na uniformidade do pneu e no processo de fabrico.	Não existe qualquer influência das tensões de desenrolamento na uniformidade do pneu. Contudo, o aumento exagerado das tensões nas	Atingido.

	cordas provoca uma fraca impregnação da borracha.	
Otimização do processo de fabrico de <i>cap ply</i> , através da abordagem de alinhar as cordas à entrada da fieira.	Elevada dificuldade de estabilizar o alinhamento das cordas, sendo necessário mais testes para atingir o objetivo.	Não atingido.

Com a realização do estágio e respetiva dissertação, foi possível adquirir uma forte capacidade de trabalho autónomo, bem como melhorar conhecimentos técnicos e perceber qual a sua aplicabilidade no mundo industrial.

## 6.2 Proposta de trabalhos futuros

Como trabalhos futuros, é sugerida uma estratégia de otimização do processo, reduzindo o número de cordas partidas, que passe por dimensionar e projetar uma nova fieira. Embora a fieira seja uma ferramenta técnica complexa e que exigiu bastante estudo para o seu desenvolvimento, trata-se de um projeto com potencial e, em caso de resultar, com grandes retornos imediatos para a empresa. O desenvolvimento da ferramenta pode passar por repensar e dimensionar um novo sistema de furos por onde passam as cordas têxteis.



**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES  
DE INFORMAÇÃO**



## 7 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] “John Dunlop, Charles Goodyear, and the History of Tires.” [Online]. Available: <https://www.thoughtco.com/john-dunlop-charles-goodyear-tires-1991641>. [Accessed: 27-Aug-2018].
- [2] F. J. Kovac, *Tire Technology*, 4th ed. The Goodyear Tire & Rubber Company, 1973.
- [3] W. K. Westgate and J. G. Gillick, “Key technology developments in textiles for use in automotive tires,” in *Textile Advances in the Automotive Industry*, The Goodyear Tire & Rubber Company, 2008, pp. 270–297.
- [4] B. Rodgers and W. Waddell, “Tire Engineering,” in *The Science and Technology of Rubber*, 4th ed., Elsevier Inc., 2013, pp. 653–695.
- [5] J. G. Sommer, *Engineered Rubber Products*. Munich: Hanser Publishers, 2009.
- [6] B. E. Lindemuth, “An Overview of Tire Technology,” in *The Pneumatic Tire*, Dr. H. Keith Brewer, Ed. National Highway Traffic Safety Administration, 2006, pp. 1–28.
- [7] Continental AG, “Formação O Pneu.” Direção de Industrialização do Produto, 2018.
- [8] B. Rodgers and G. Burrowes, *Reinforcing Material in Rubber Products*. The Goodyear Tire & Rubber Company, 2001.
- [9] C. Maciel, “Protocolos dos métodos Continental Mabor.” Gestão da Qualidade Continental Mabor, 2018.
- [10] ASTM International, “D 1876 - 01 - Standard Test Method for Peel Resistance of Adhesives (T-Peel test).” United States of America, 2001.
- [11] J. Prins and J. L. Rover, “Tyre Characteristics and Modelling,” in *The Multibody Systems Approach to Vehicle Dynamics*, 2nd ed., Elsevier Ltd, 2015, pp. 335–450.
- [12] “Uniformidade do pneu.” [Online]. Available: <https://www.micropoise.com/knowledge-center/industry-terms>. [Accessed: 03-Sep-2018].
- [13] “Máquina de testes de uniformidade ASTEC® FX.” [Online]. Available: <https://www.micropoise.com/tire-industry/uniformity/astec-fx>. [Accessed: 03-Sep-2018].

- [14] A. Cruz, "Influence of Cord Design on Mechanical Properties of Tire Cords," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2014.
- [15] S. Adanur, *Handbook of Weaving*. Technomic Publishing Company, Inc., 2001.
- [16] A. Aytac, B. Yilmaz, and V. Deniz, "Effect of twist level on tyre cord performance," *Fibers Polym.*, vol. 10, no. 2, pp. 221–225, 2009.
- [17] A. Aytac, B. Yilmaz, and V. Deniz, "Effects of linear density and twist level on the mechanical properties of nylon® 6.6 tyre cords," *Fibers Polym.*, vol. 11, no. 2, pp. 309–315, 2010.
- [18] T. Kramer, "Formação: Materiais de reforço." Direção da Industrialização do Produto Continental AG, 2018.
- [19] S. Eichhorn, W. Eichhorn, M. Jaffe, and T. Kikutani, *Handbook of textile fibre structure*. Woodhead Publishing, 2009.
- [20] E. T. McDonel, "Tire Cords and Cord-to-Rubber Bonding," in *The Pneumatic Tire*, Dr. H. Keith Brewer, Ed. National Highway Traffic Safety Administration, 2006, pp. 80–105.
- [21] M. Caetano, "Seleção e Definição das Características de Outros Materiais." [Online]. Available: <https://www.ctborracha.com/artefactos/concepcao-e-projecto-de-artefactos-de-borracha/selecao-e-definicao-das-caracteristicas-de-outros-materiais/>. [Accessed: 06-Sep-2018].
- [22] M. Koranne, *Fundamentals of Yarn Winding*. Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2013.
- [23] Y. Kyosev, "Yarn winding operations in braiding," in *Braiding Technology for Textiles*, Woodhead Pub Ltd, 2015, pp. 231–254.
- [24] K. Gandhi, "Yarn preparation for weaving: winding," in *Woven textiles*, Woodhead Publishing Limited, 2012, pp. 35–61.
- [25] S. Neogi, *Role of Yarn Tension in Weaving*. New Delhi: Woodhead Publishing India Pvt. Ltd., 2016.
- [26] Ascotex, "Catálogo de tensores Ascotex." Ascotex Limited, Burnley, 2016.
- [27] W. Chunxiang, Y. Ruqing, W. Yongzhang, and L. Hua, "Research on a precision tension control system with a magnetic particle clutch as the actuator," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 27, no. 1–2, pp. 7–13, 2005.
- [28] TEXMER GmbH & Co. KG, "Controlador mecânico de tensão." [Online]. Available:

- <https://www.texmer.de/en/solutions-products/creel/#toggle-id-16>. [Accessed: 12-Sep-2018].
- [29] G. DURUR, "CROSS WINDING OF YARN PACKAGES," University of Leeds, 2000.
- [30] Moltavo, "Catálogo Montalvo Torque Sensing Control System." The Montalvo Corporation, Maine.
- [31] V. Roldão and J. Ribeiro, *Gestão das Operações*. Monitor, 2009.
- [32] S. Sousa, N. Rodrigues, and E. Nunes, "Application of SPC and Quality Tools for Process Improvement," *Procedia Manuf.*, vol. 11, no. June, pp. 1215–1222, 2017.
- [33] D. Duret and M. Pillet, *Qualidade na Produção*. Lidel, 2009.
- [34] Minitab, "Teste t para 2 amostras." [Online]. Available: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/2-sample-t/before-you-start/hypotheses/>. [Accessed: 15-Sep-2018].
- [35] K. Dehnad, *Quality Control, Robust Design, and the Taguchi Method*. Springer US, 2012.
- [36] Minitab, "Teste para desvios padrão (duas ou mais amostras)." Minitab Inc., 2017.



**ANEXOS**

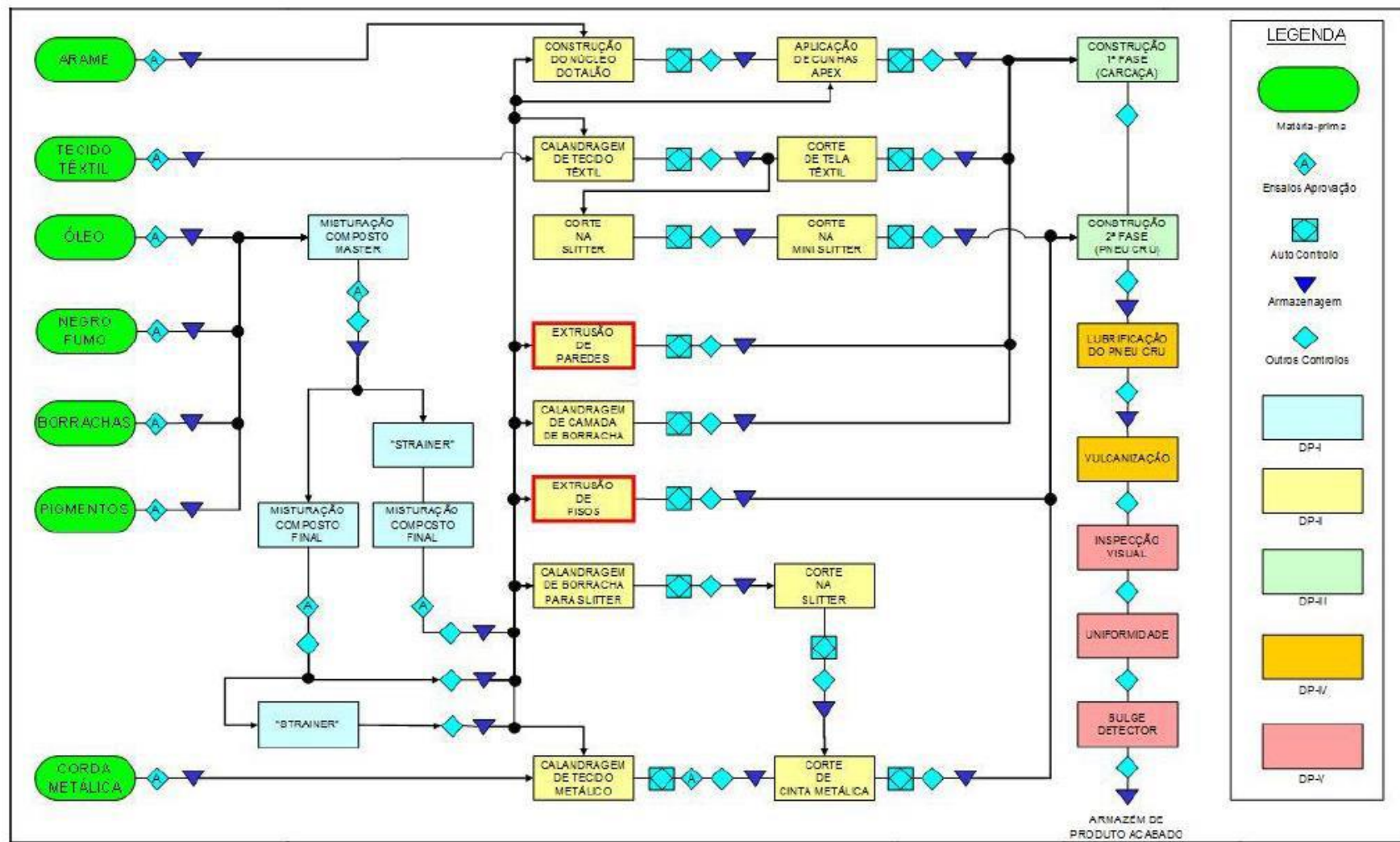


## 8 ANEXOS



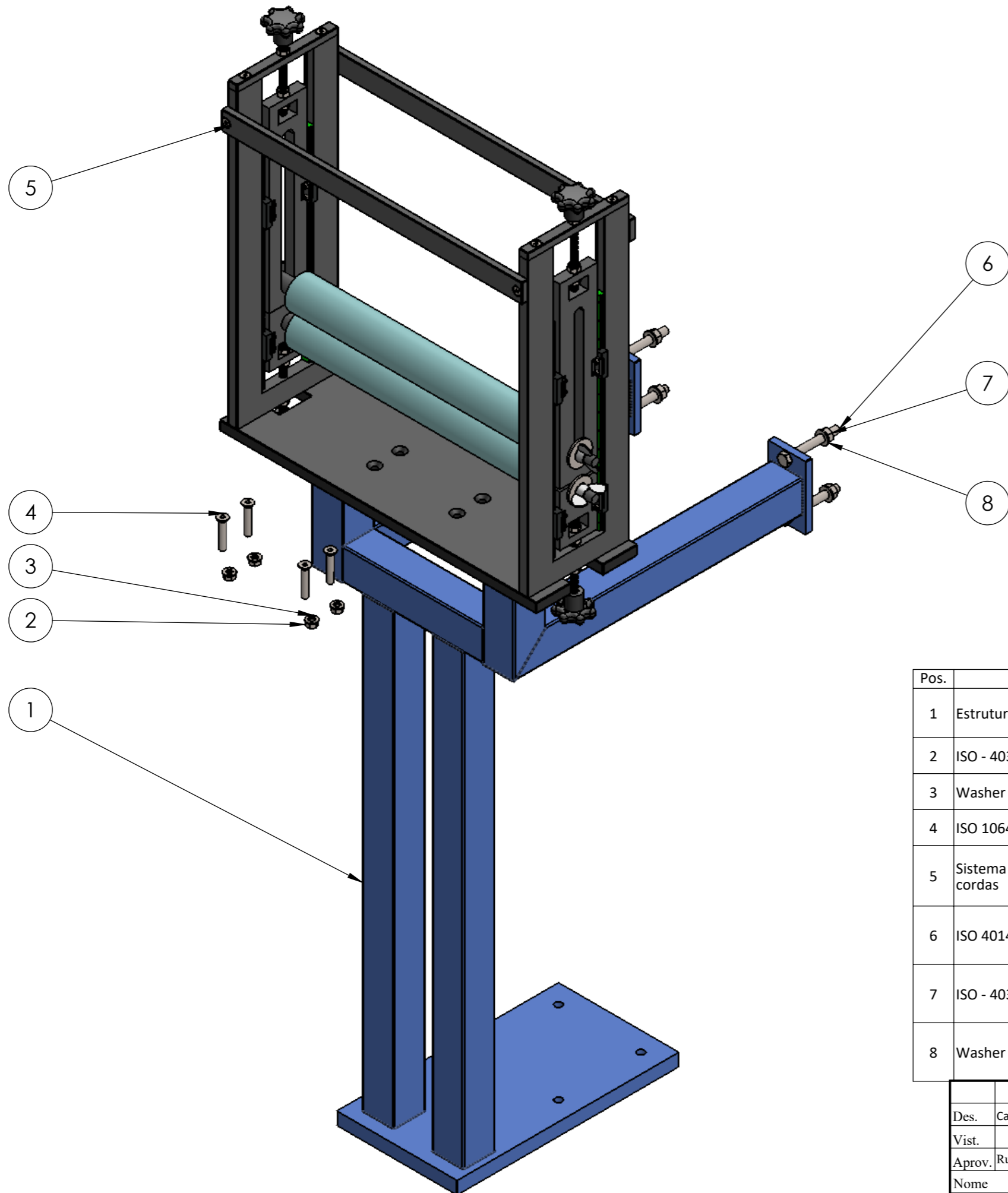
## 8.1 Anexo 1

# FLUXOGRAMA DO PROCESSO PRODUTIVO DO PNEU



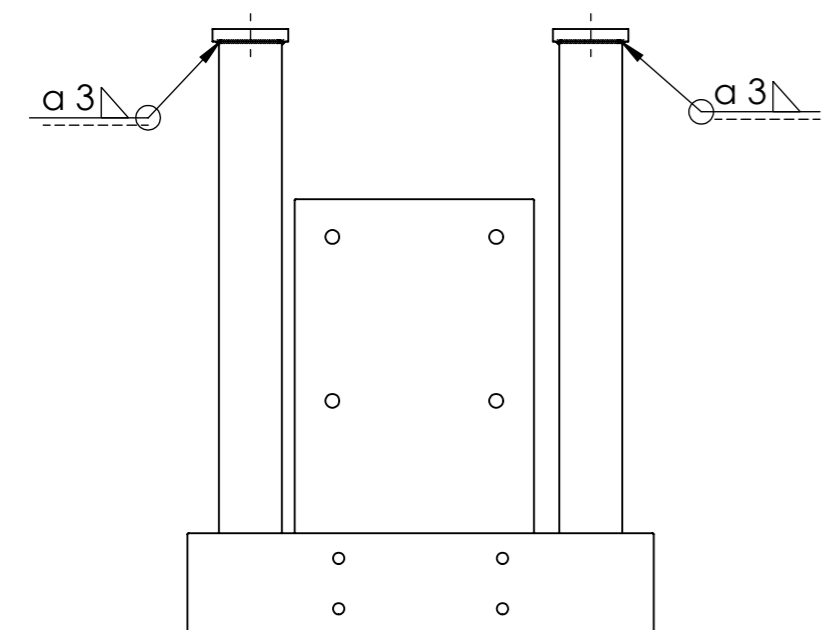
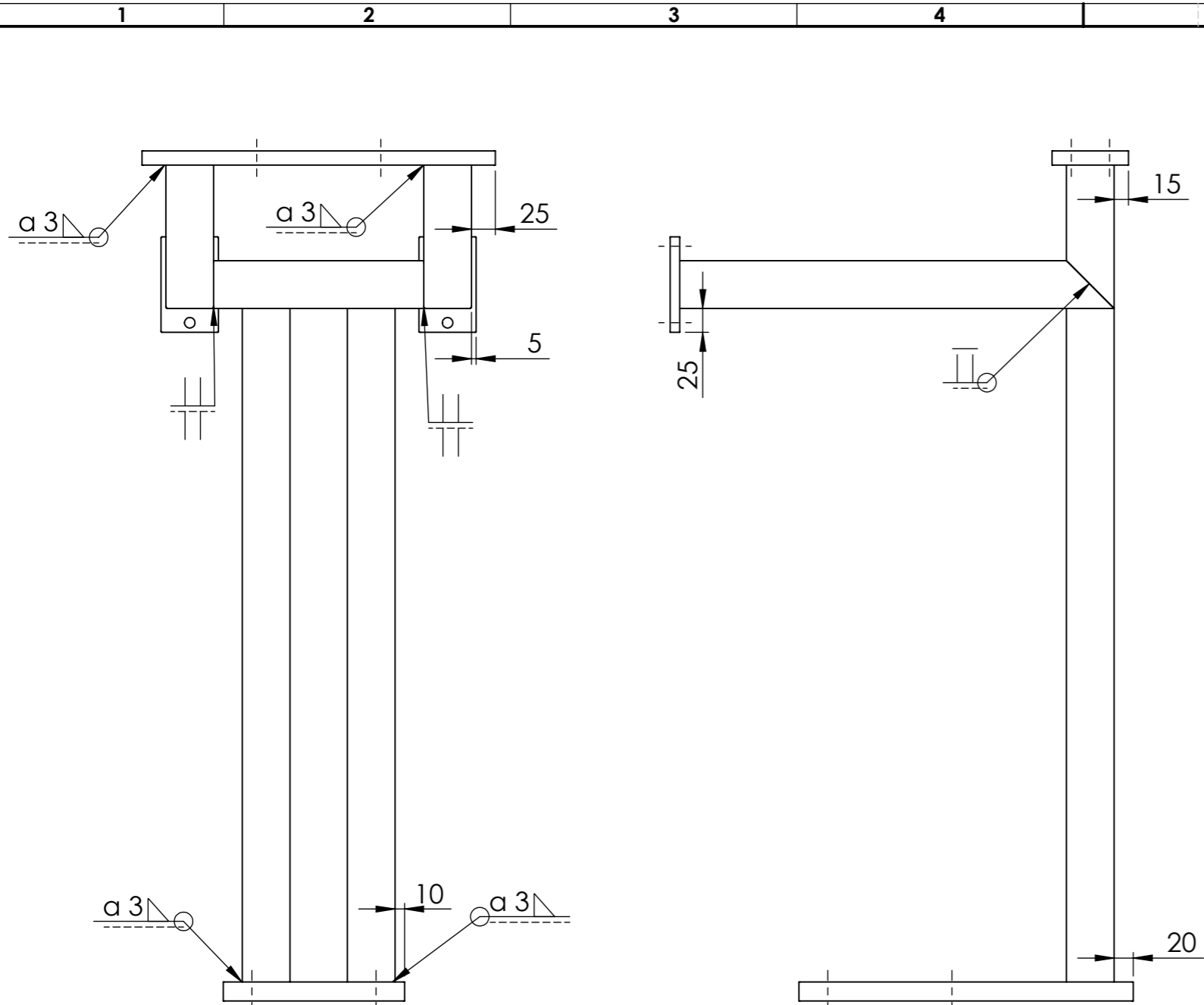
## 8.2 Anexo 2

# DESENHOS DO SISTEMA DE ALINHAMENTO DE CORDAS

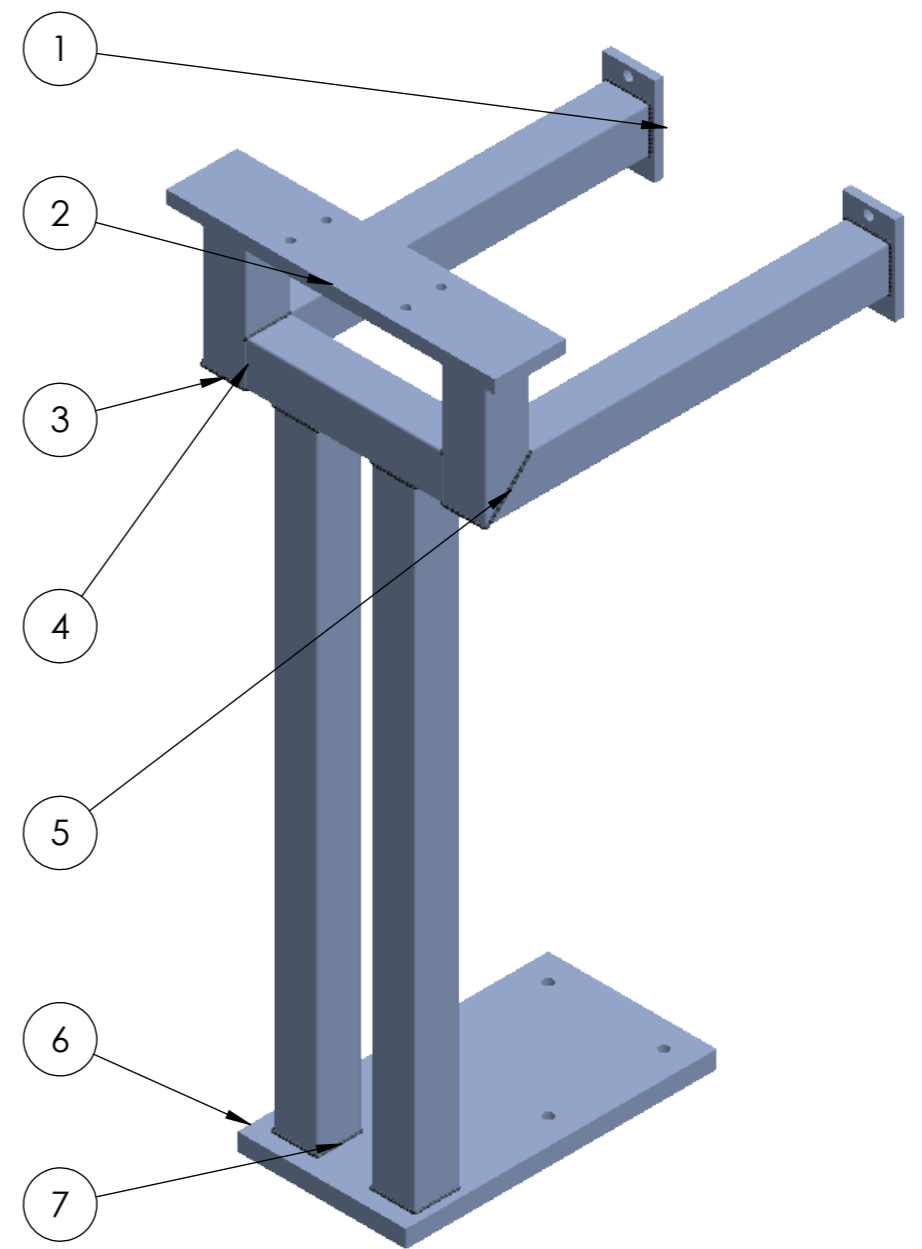


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	Estrutura de fixação			Pintado de azul	1
2	ISO - 4032 - M8 - D - N				4
3	Washer ISO 7089 - 8				4
4	ISO 10642 - M8 x 45 - 45N				4
5	Sistema de alinhamento de cordas				1
6	ISO 4014 - M10 x 80 x 26-N				4
7	ISO - 4032 - M10 - D - N				4
8	Washer ISO 7089 - 10				4

Nome	Data		Quantidade	1
Des.	Carlos Costa 02/05/2018		Massa (kg)	55
Vist.		ISO 2768 mK Escala- 1:5  A3	Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes 08/05/2018		Material	
Nome	Sistema de alinhamento completo		Descrição	
			Desenho	1/1

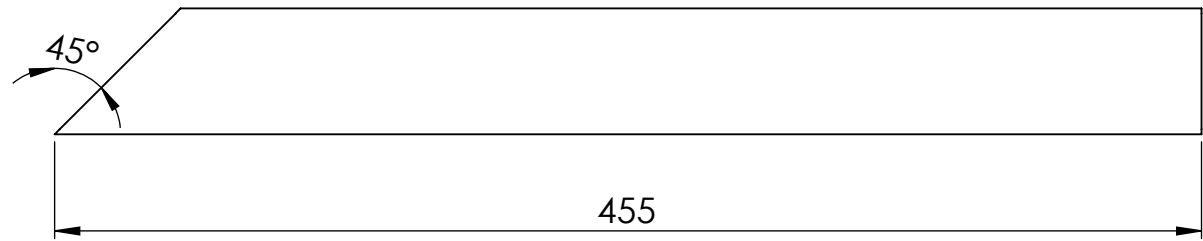
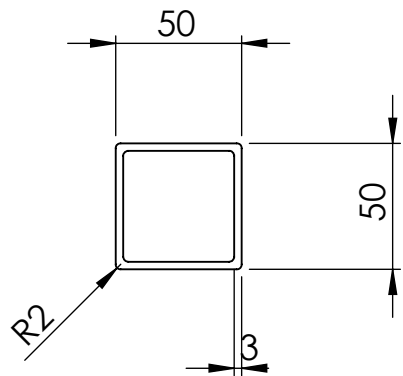


Construção soldada entre os componente.  
Cuidado com a soldadura para não deformar a estrutura.

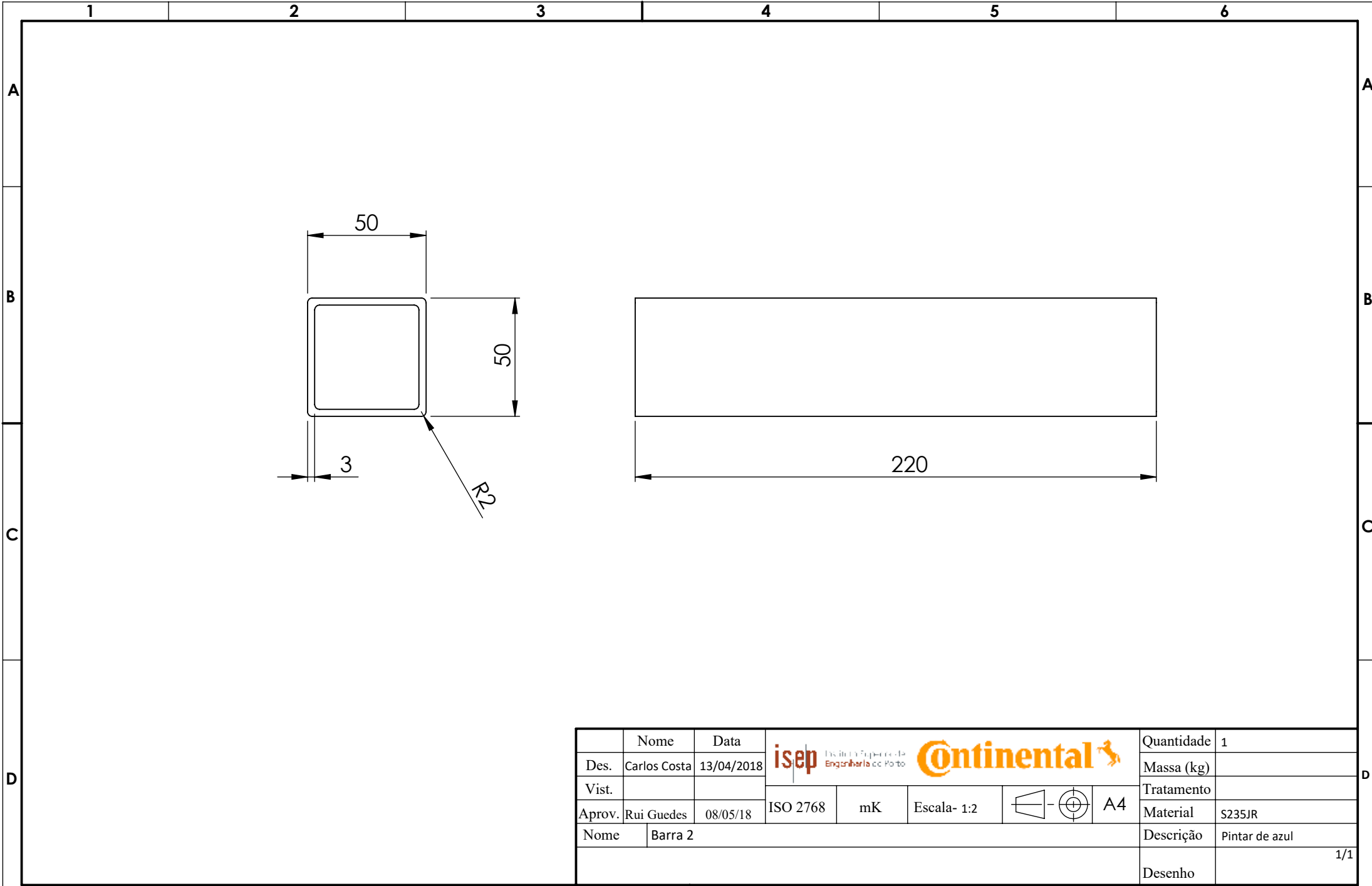


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Qty.
1	Chapa de ligação 1		AISI 1045	Pintar de azul	2
2	Chapa de ligação 2		S235JR	Pintar de azul	1
3	Barra 4		S235JR	Pintar de azul	2
4	Barra 2		S235JR	Pintar de azul	1
5	Barra 1		S235JR	Pintar de azul	2
6	Chapa de ligação 3		AISI 1045	Pintar de azul	1
7	Barra 3		S235JR	Pintar de azul	2

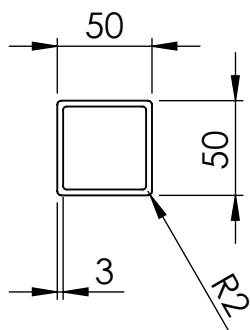
Nome	Data	isep	Continental	Quantidade	1
Des. Carlos Costa	02/05/2018	instituto superior de Engenharia de Lisboa		Massa (kg)	
Vist.		ISO 2768	mK	Tratamento	
Aprov. Rui Guedes	08/05/2018	ESCALA	1:6	Material	
Nome	Estrutura de fixação			Descrição	Pintado de azul
				Desenho	1/1



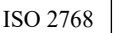

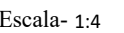
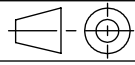



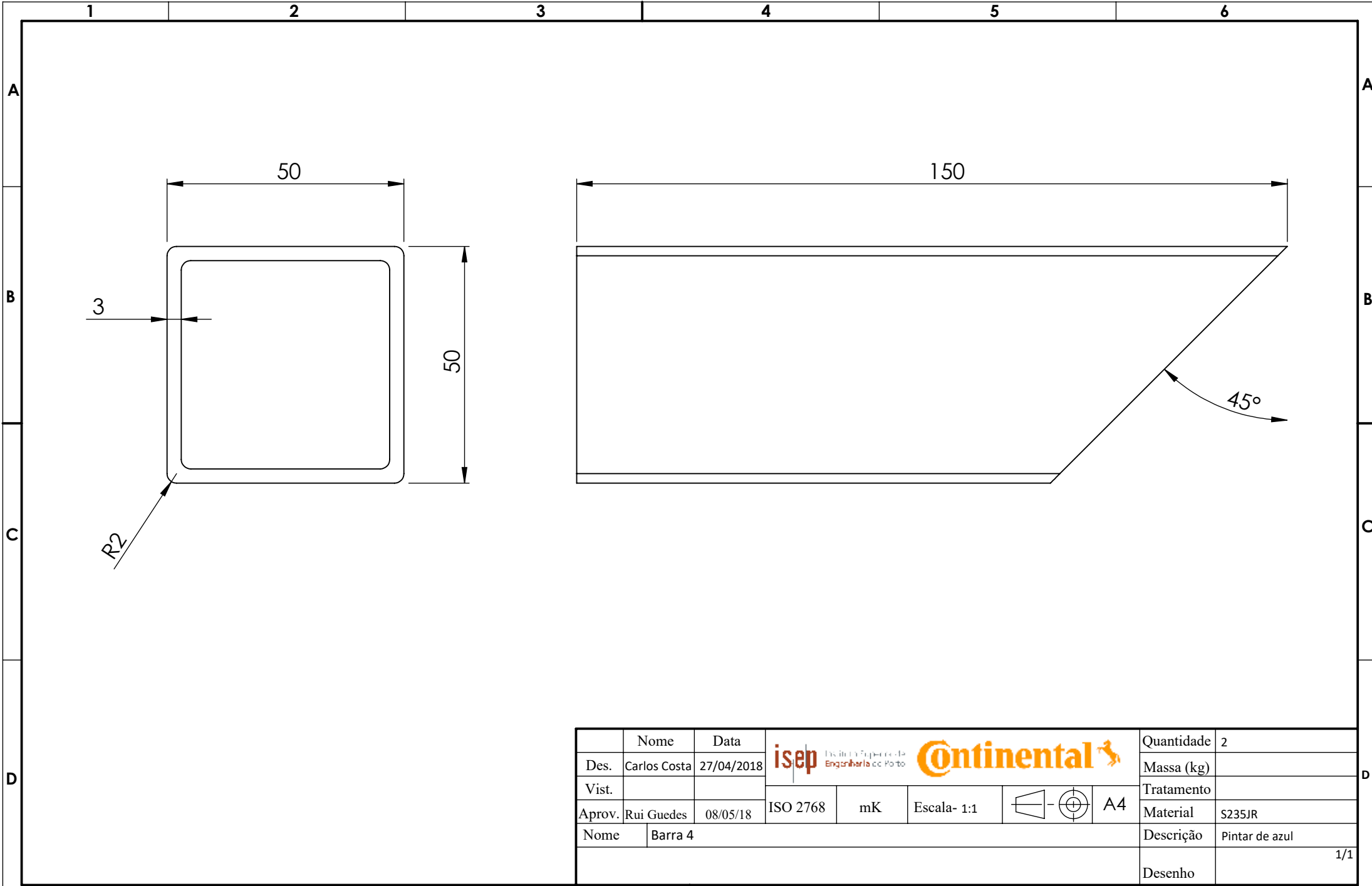
	Nome	Data					Quantidade	2	
Des.	Carlos Costa	13/04/2018					Massa (kg)		
Vist.			ISO 2768	mK	Escala- 1:3		A4	Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18						Material	S235JR
Nome	Barra 1						Descrição	Pintar de azul	
							Desenho	1/1	




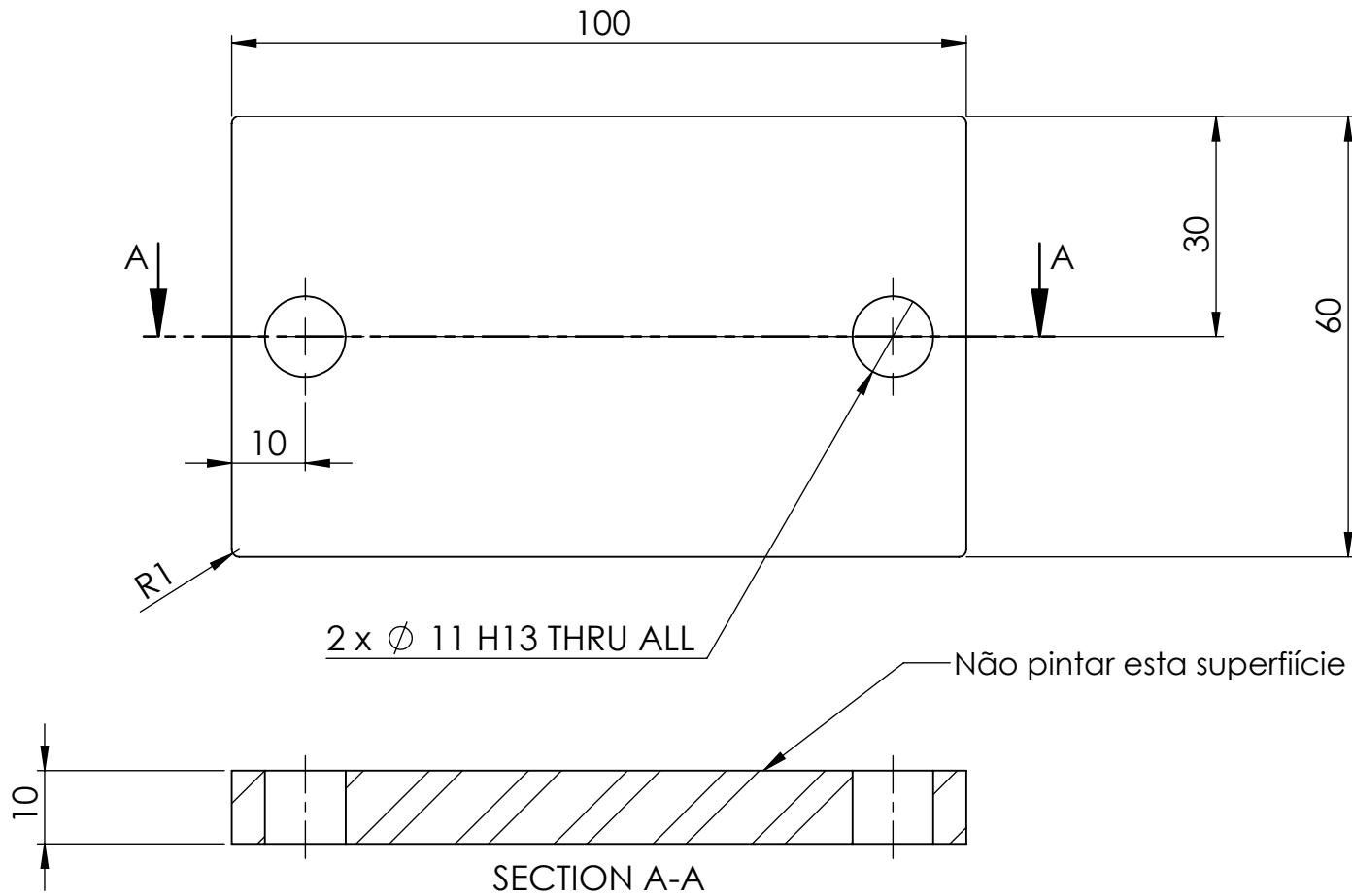
	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	Carlos Costa	13/04/2018					Massa (kg)	
Vist.			ISO 2768    mK    Escala- 1:2        A4		Tratamento			
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18			Material	S235JR		
Nome	Barra 2					Descrição	Pintar de azul	
						Desenho	1/1	



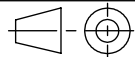


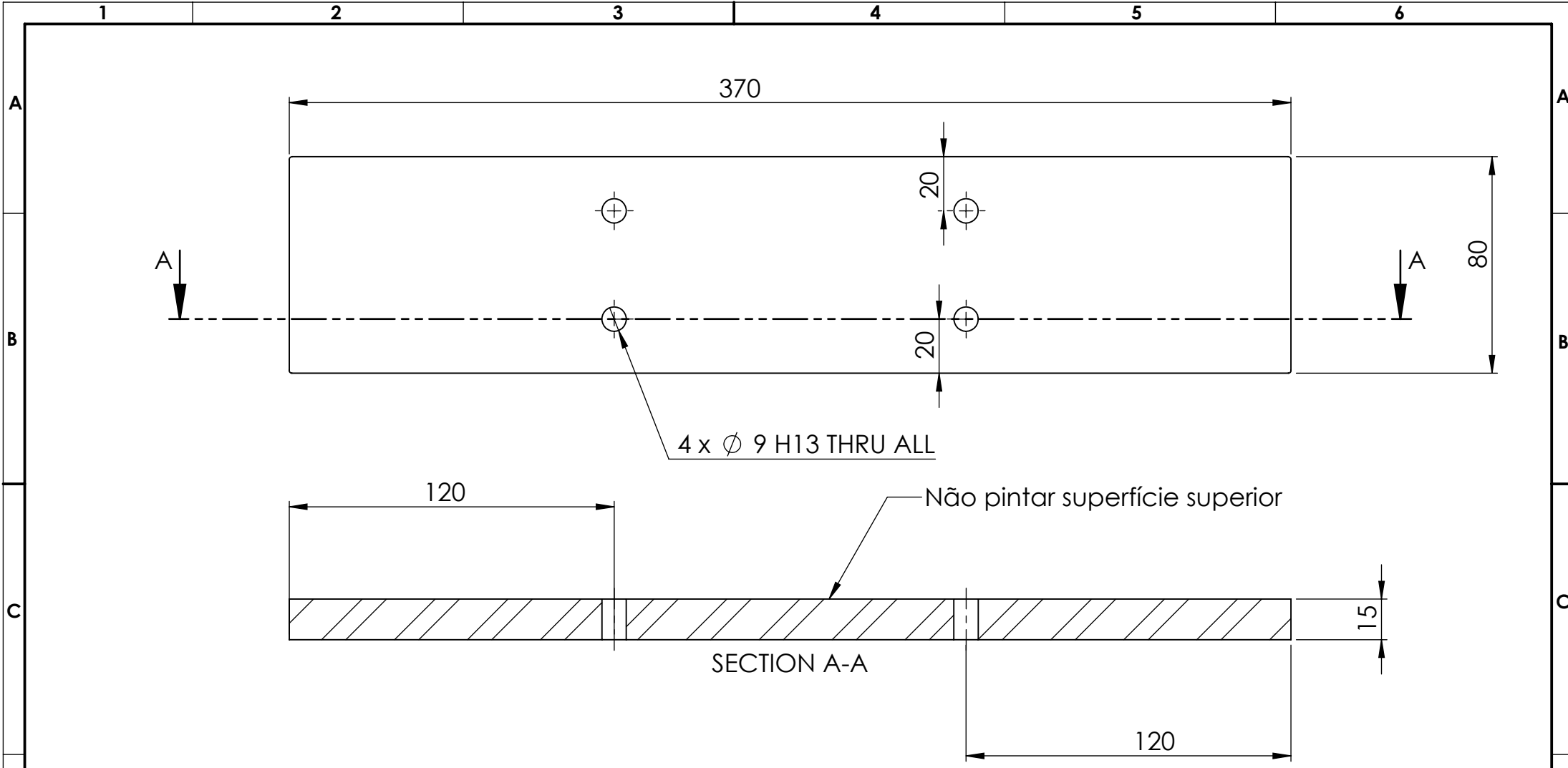
	Nome	Data	 				Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	13/04/2018					Massa (kg)	
Vist.			    				Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18					Material	S235JR
Nome	Barra 3					Descrição	Pintar de azul	
							Desenho	1/1



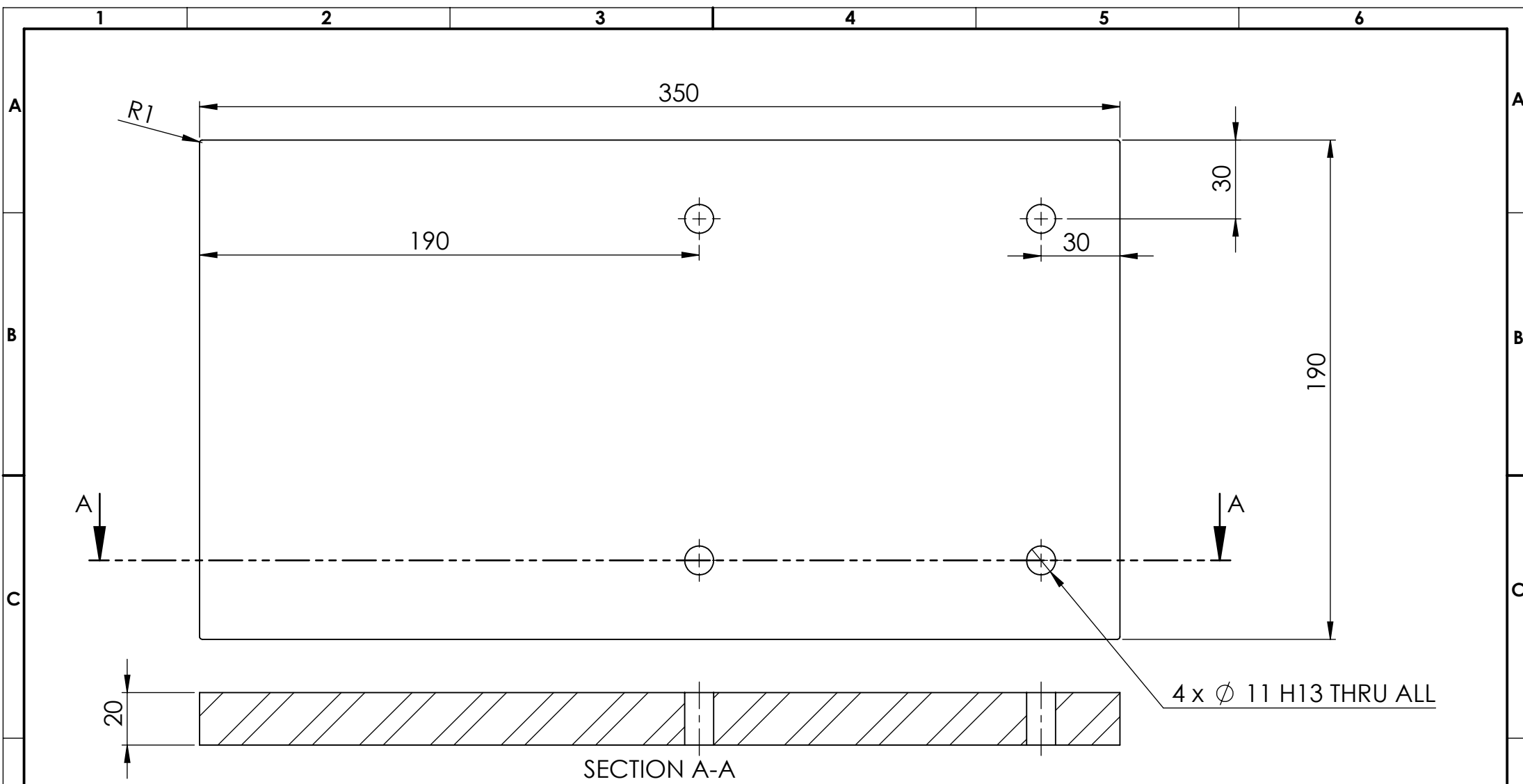
	Nome	Data	 				Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	27/04/2018					Massa (kg)	
Vist.			Tratamento					
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	 A4	Material	S235JR
Nome	Barra 4					Descrição	Pintar de azul	
							Desenho	1/1



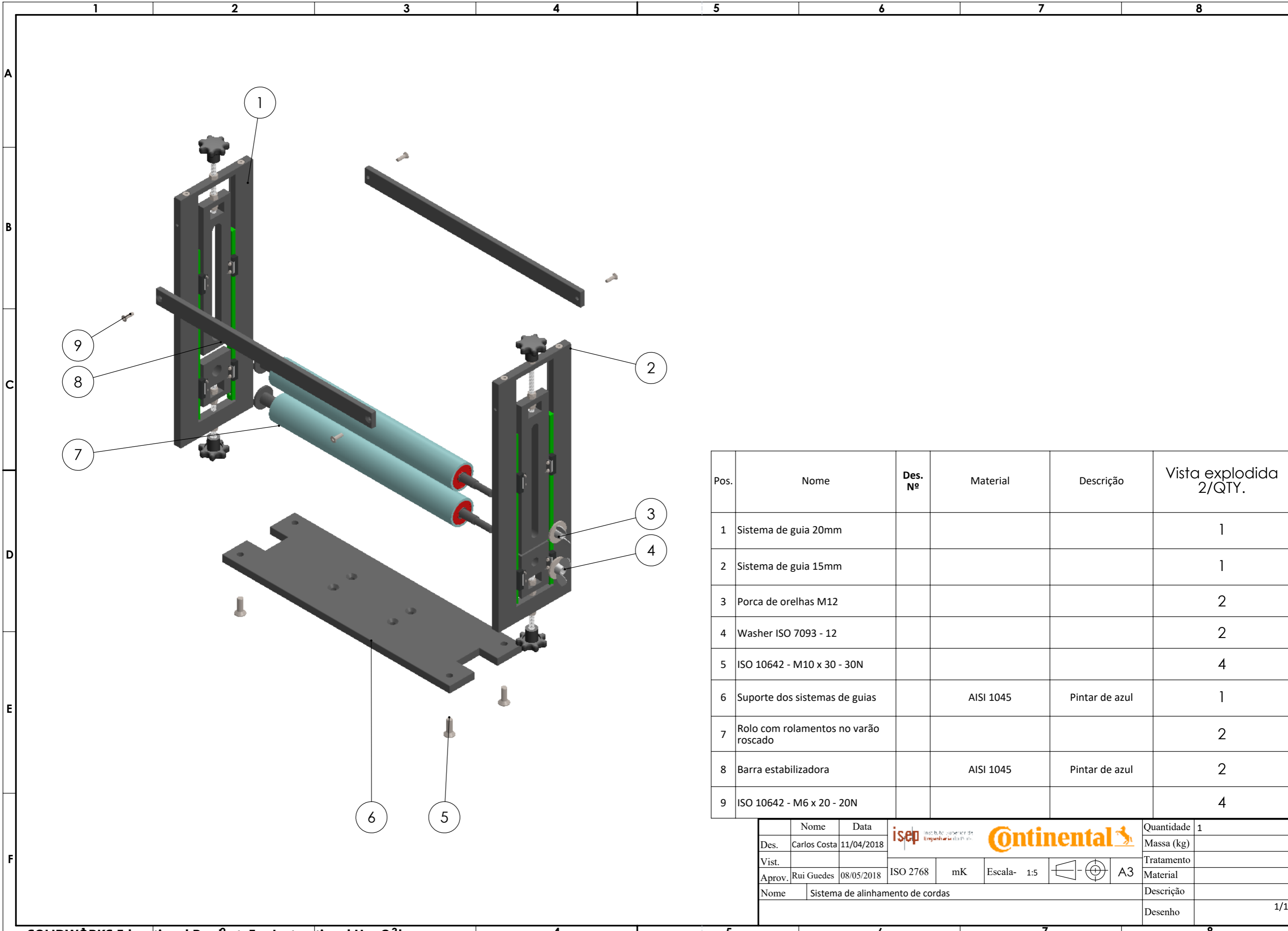
	Nome	Data	 				Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	02/05/2018					Massa (kg)	
Vist.							Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18	ISO 2768	mK	Escala- 1:1		Material	AISI 1045
Nome	Chapa de ligação 1						Descrição	Pintar de azul
							Desenho	1/1



	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	Carlos Costa	02/05/2018					Massa (kg)	
Vist.							Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Material	S235JR
Nome	Chapa de ligação 2						Descrição	Pintar de azul
							Desenho	1/1

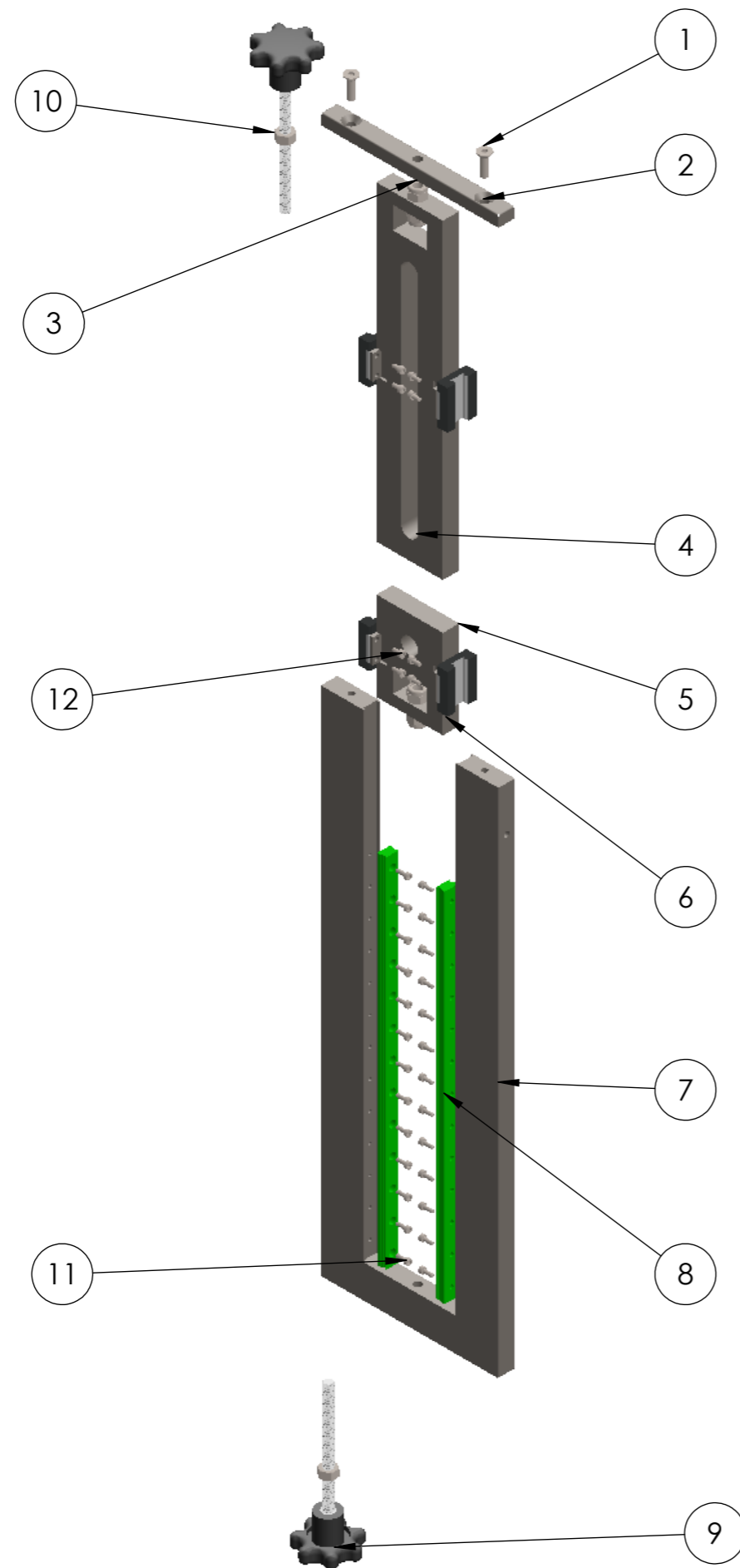


	Nome	Data					Quantidade	1
Des.	Carlos Costa	02/05/2018					Massa (kg)	
Vist.			Tratamento					
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	A4	Material	AISI 1045
Nome	Chapa de ligação 3					Descrição	Pintar de azul	
							Desenho	1/1



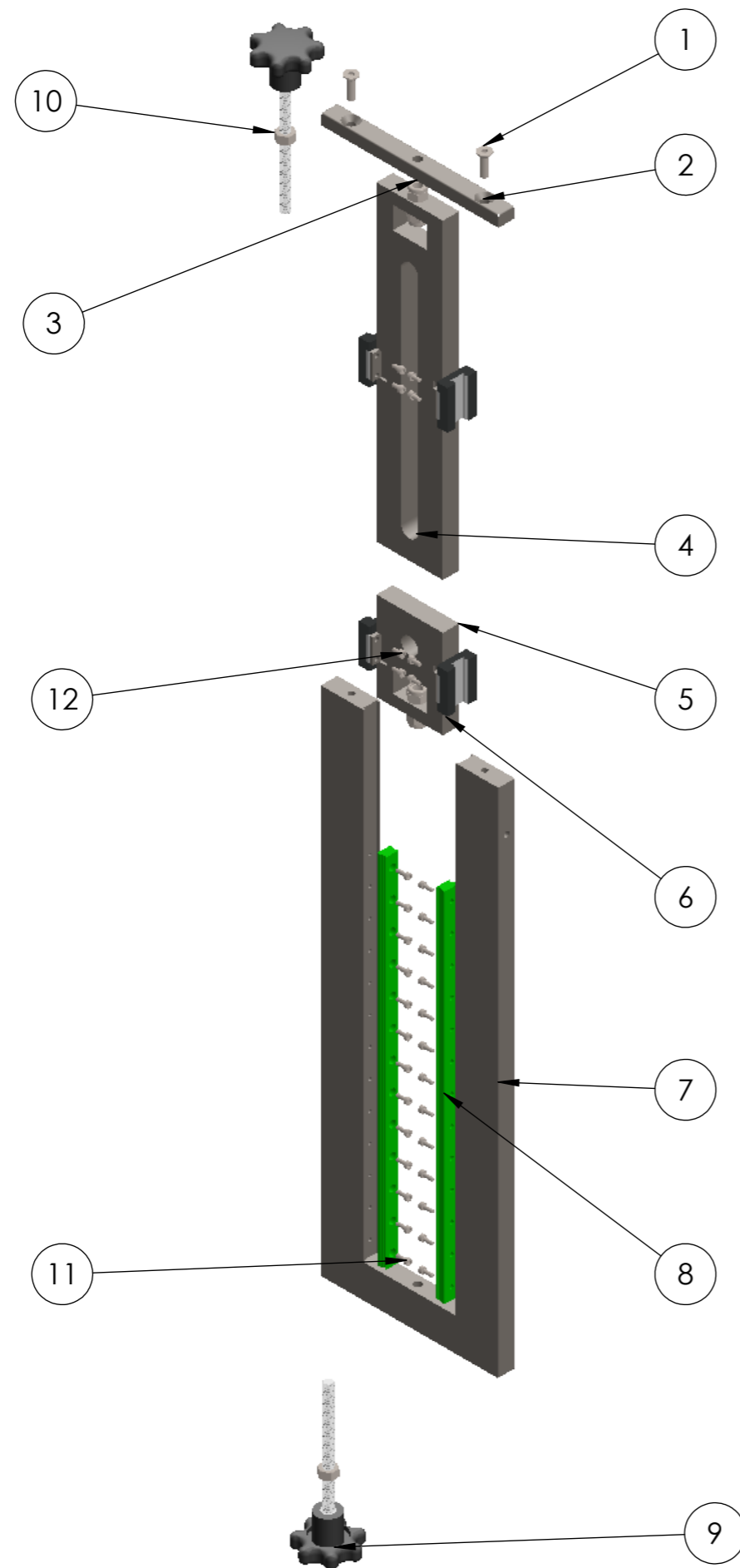
Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Vista explodida 2/QTY.
1	Sistema de guia 20mm				1
2	Sistema de guia 15mm				1
3	Porca de orelhas M12				2
4	Washer ISO 7093 - 12				2
5	ISO 10642 - M10 x 30 - 30N				4
6	Suporte dos sistemas de guias		AISI 1045	Pintar de azul	1
7	Rolo com rolamentos no varão roscado				2
8	Barra estabilizadora		AISI 1045	Pintar de azul	2
9	ISO 10642 - M6 x 20 - 20N				4

Nome	Data		Quantidade	1	
Des.	Carlos Costa		11/04/2018	Massa (kg)	
Vist.		ISO 2768    mK    Escala- 1:5        A3	Tratamento		
Aprov.	Rui Guedes		08/05/2018	Material	
Nome	Sistema de alinhamento de cordas			Descrição	
				Desenho	1/1



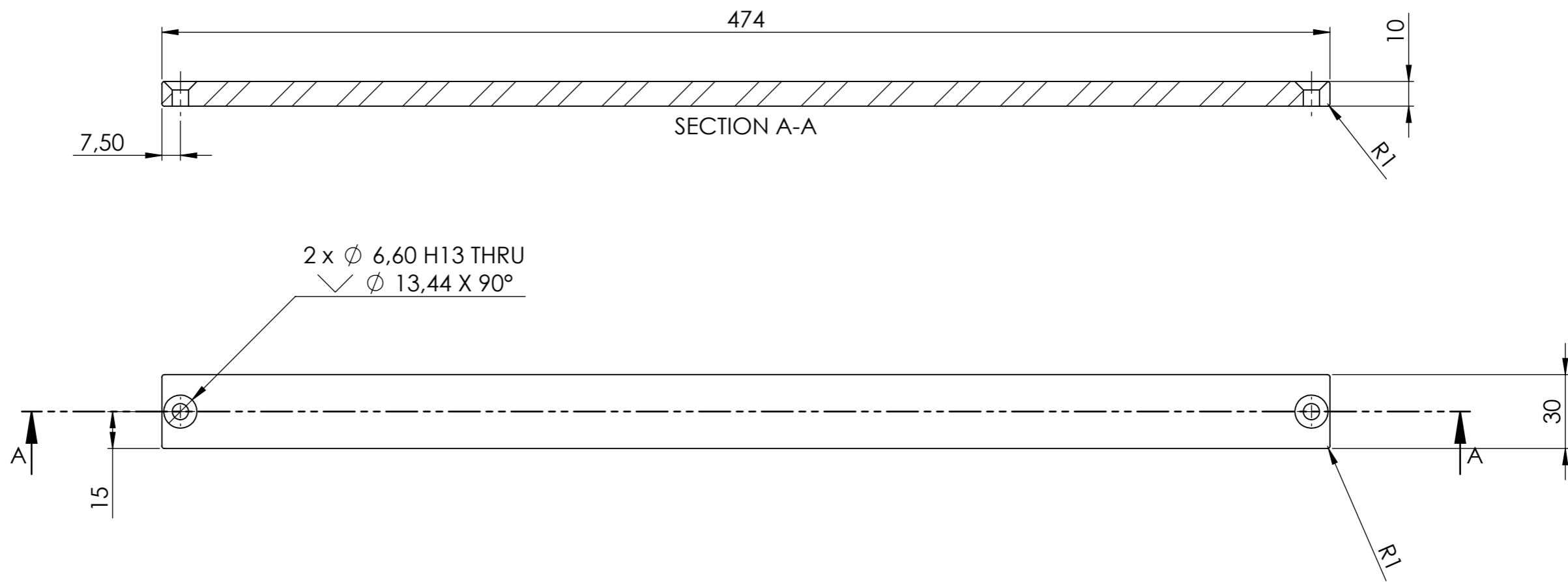
Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	1/Vista explodida/QTY.
1	ISO 10642 - M6 x 20 - 20N				2
2	Tampa da caixa de guiamento		AISI 1045	Pintar de azul	1
3	ISO 7040-M8-N				4
4	Guia superior 15 mm		AISI 1045	Pintar de azul	1
5	Guia inferior 15 mm		AISI 1045	Pintar de azul	1
6	R0442_size12				4
7	Caixa de guiamento		AISI 1045	Pintar de azul	1
8	R044520331_321				2
9	R5033M8100S-Ackurat				2
10	ISO - 4032 - M8 - D - N				2
11	ISO 4762 M3 x 8 - 8N				26
12	ISO 4762 M3 x 6 - 6N				16



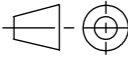
Nome	Data		Quantidade	1	
Des.	Carlos Costa		10/04/2018	Massa (kg)	
Vist.			Tratamento		
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	Material		
Nome	Sistema de guia 15mm			Descrição	
				Desenho	1/1

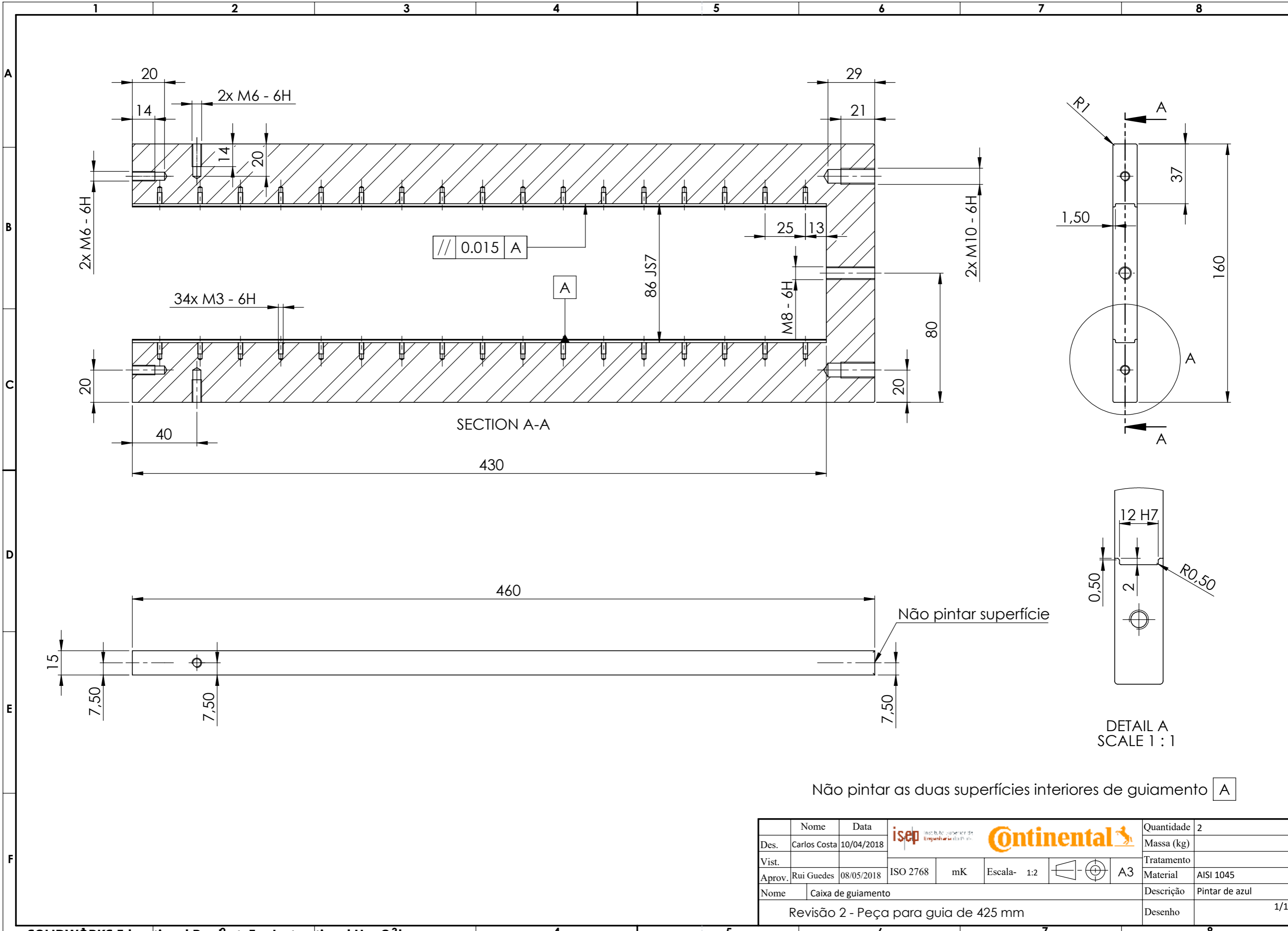


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	1/Vista explodida/QTY.
1	ISO 10642 - M6 x 20 - 20N				2
2	Tampa da caixa de guiamento		AISI 1045	Pintar de azul	1
3	ISO 7040-M8-N				4
4	Guia superior 20 mm		AISI 1045	Pintar de azul	1
5	Guia inferior 20 mm		AISI 1045	Pintar de azul	1
6	R0442_size12				4
7	Caixa de guiamento		AISI 1045	Pintar de azul	1
8	R044520331_321				2
9	R5033M8100S-Ackurat				2
10	ISO - 4032 - M8 - D - N				2
11	ISO 4762 M3 x 8 - 8N				26
12	ISO 4762 M3 x 6 - 6N				16

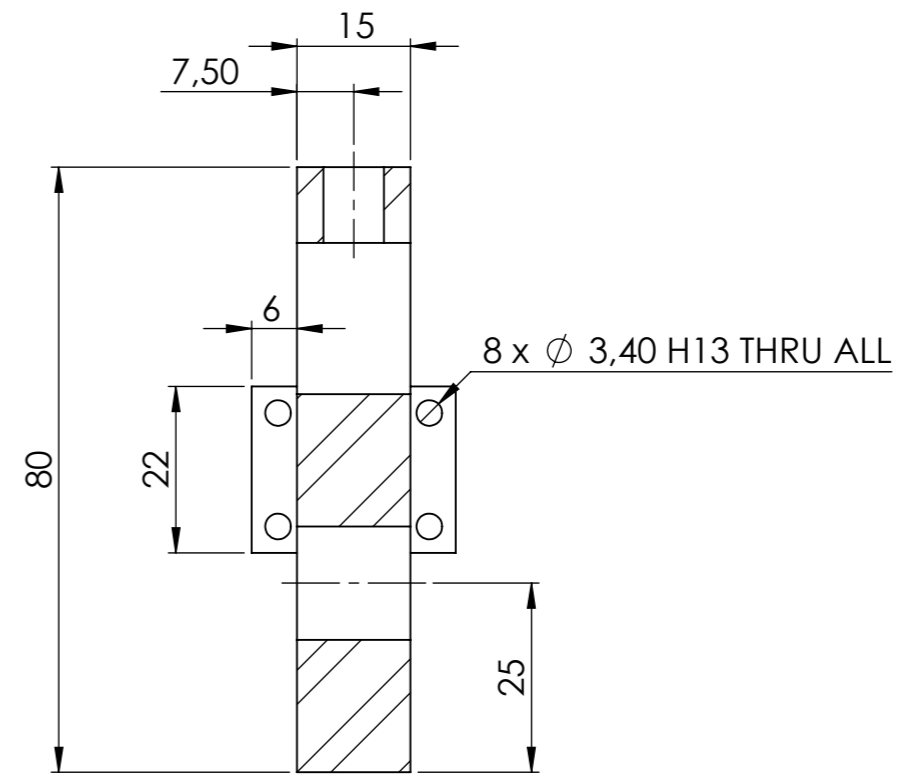
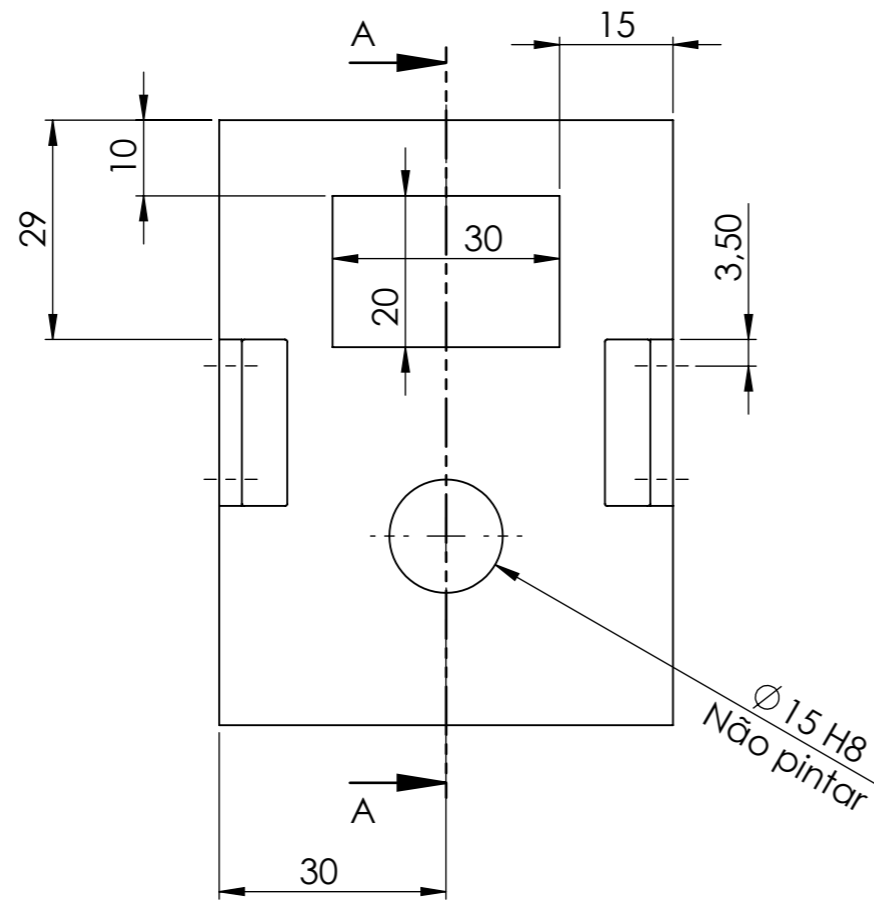
Nome	Data		Quantidade	1	
Des.	Carlos Costa		10/04/2018	Massa (kg)	
Vist.		ISO 2768    mK    Escala- 1:4        A3	Tratamento		
Aprov.	Rui Guedes		08/05/2018	Material	
Nome	Sistema de guia 20 mm			Descrição	
				Desenho	1/1



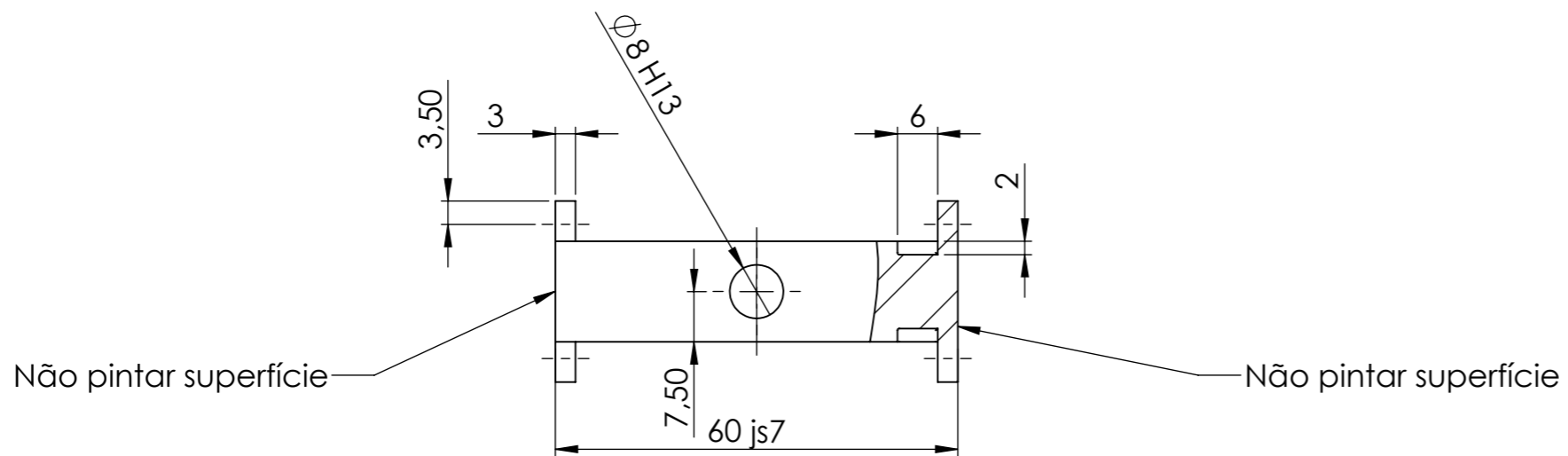
	Nome	Data	 			Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	24/04/2018				Massa (kg)	
Vist.						Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A3
Nome	Barra estabilizadora					Descrição	Pintar de azul
						Desenho	1/1





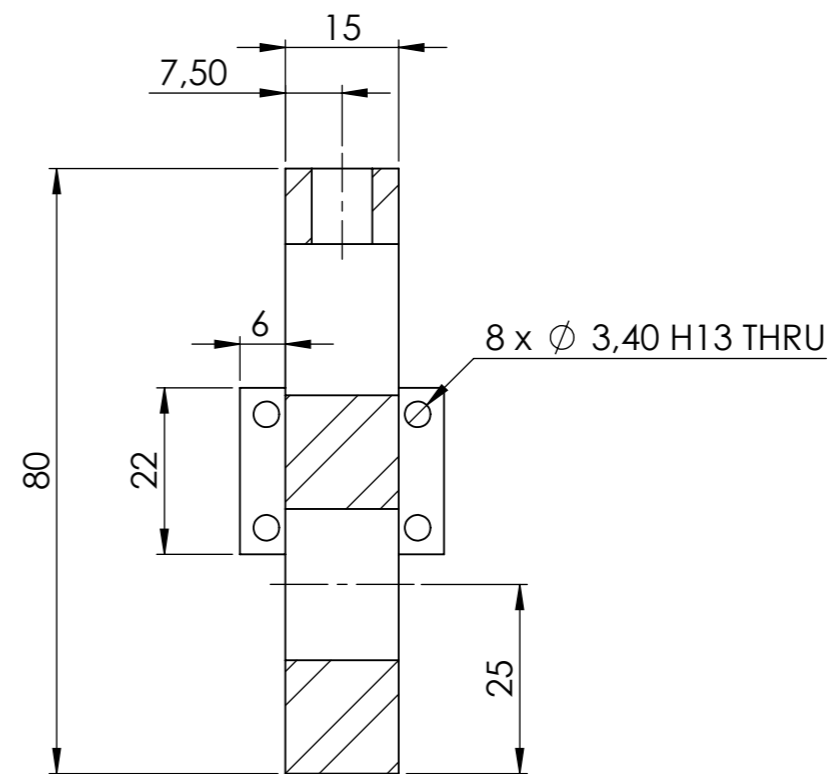
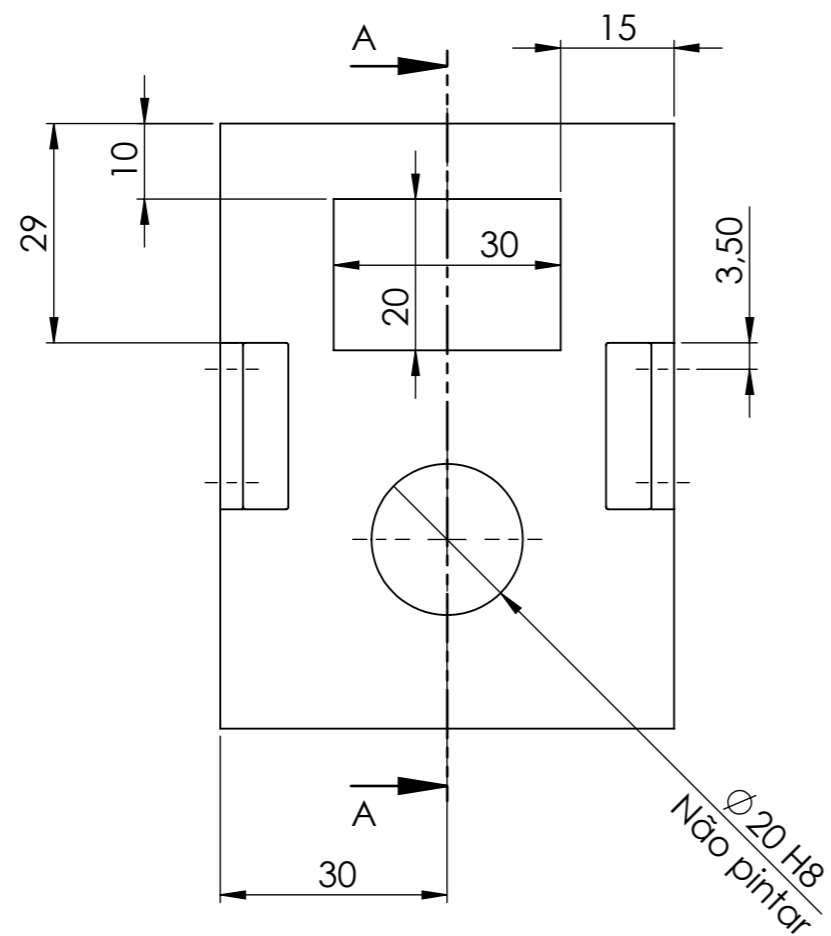
Nome	Carlos Costa	Data	10/04/2018				Quantidade	2
Des.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala-	1:2	Massa (kg)	
Vist.							Tratamento	
Aprov.							Material	AISI 1045
Nome	Caixa de guiamento						Descrição	Pintar de azul
Revisão 2 - Peça para guia de 425 mm							Desenho	1/1



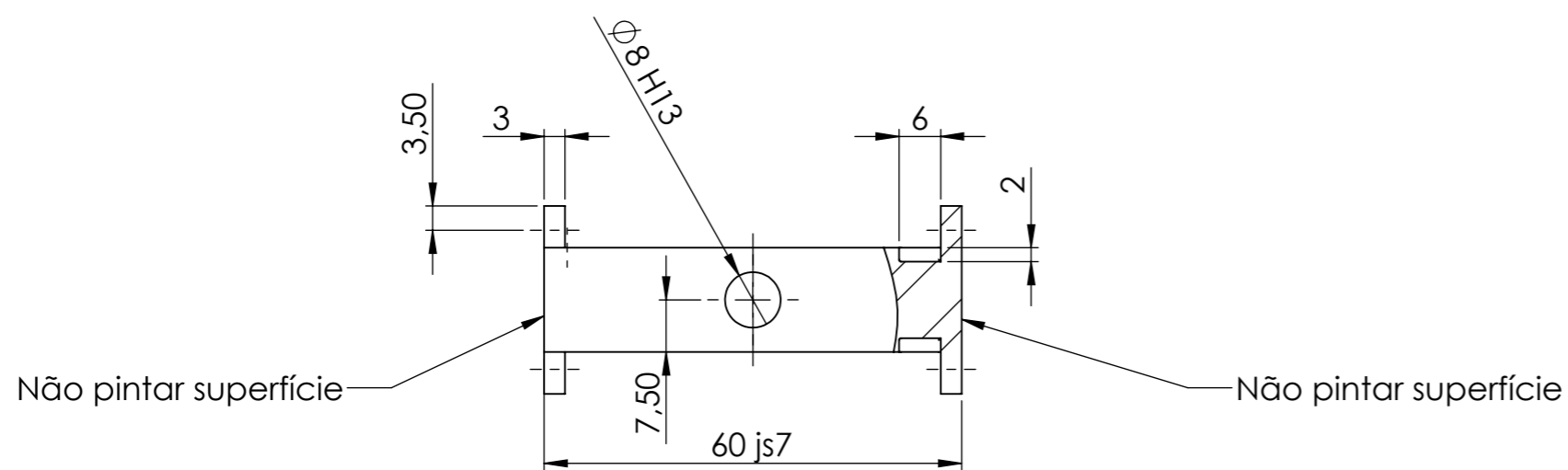
SECTION A-A





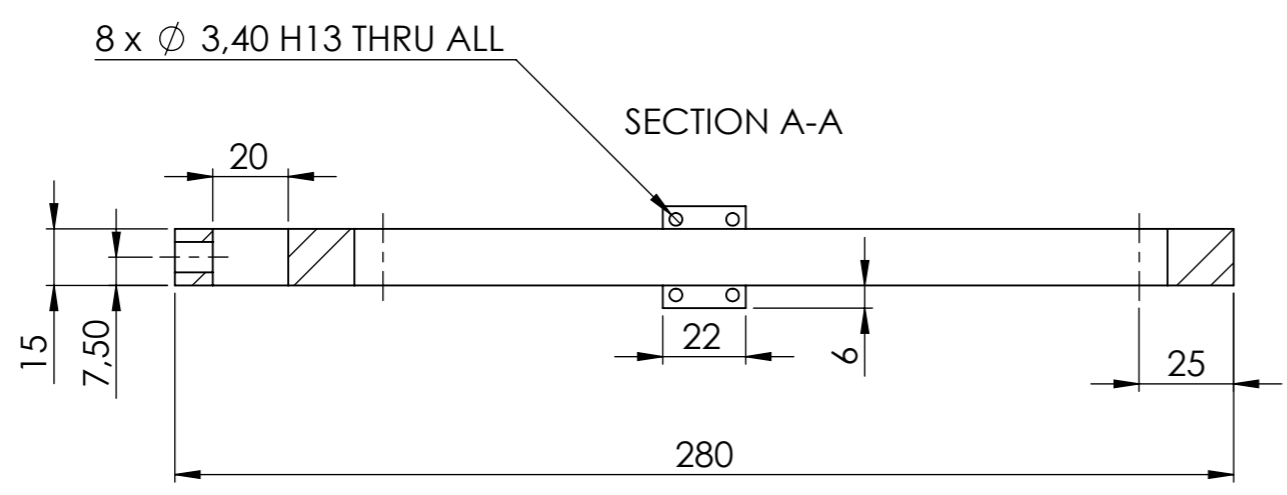
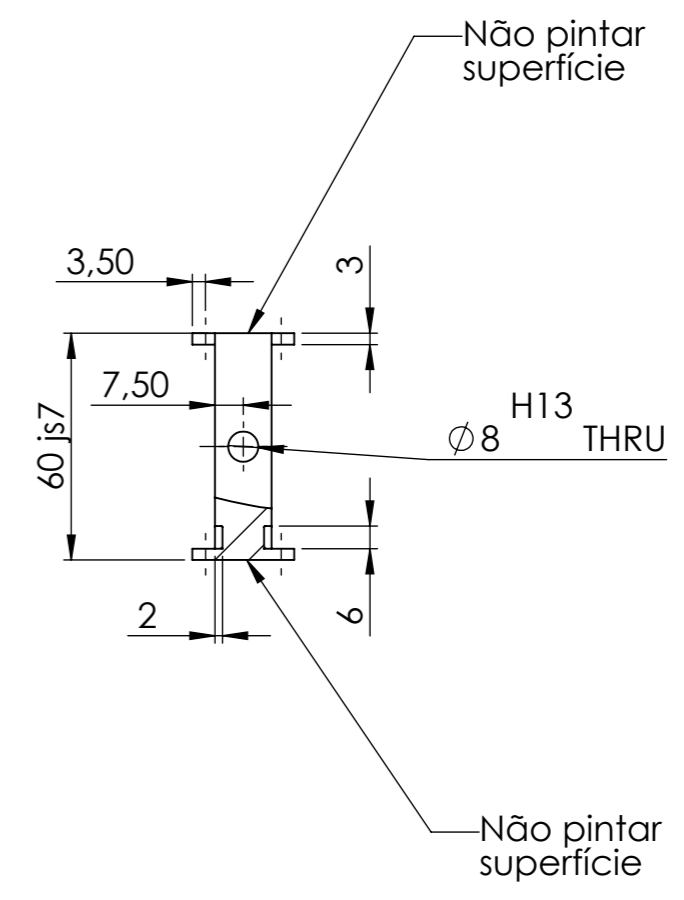
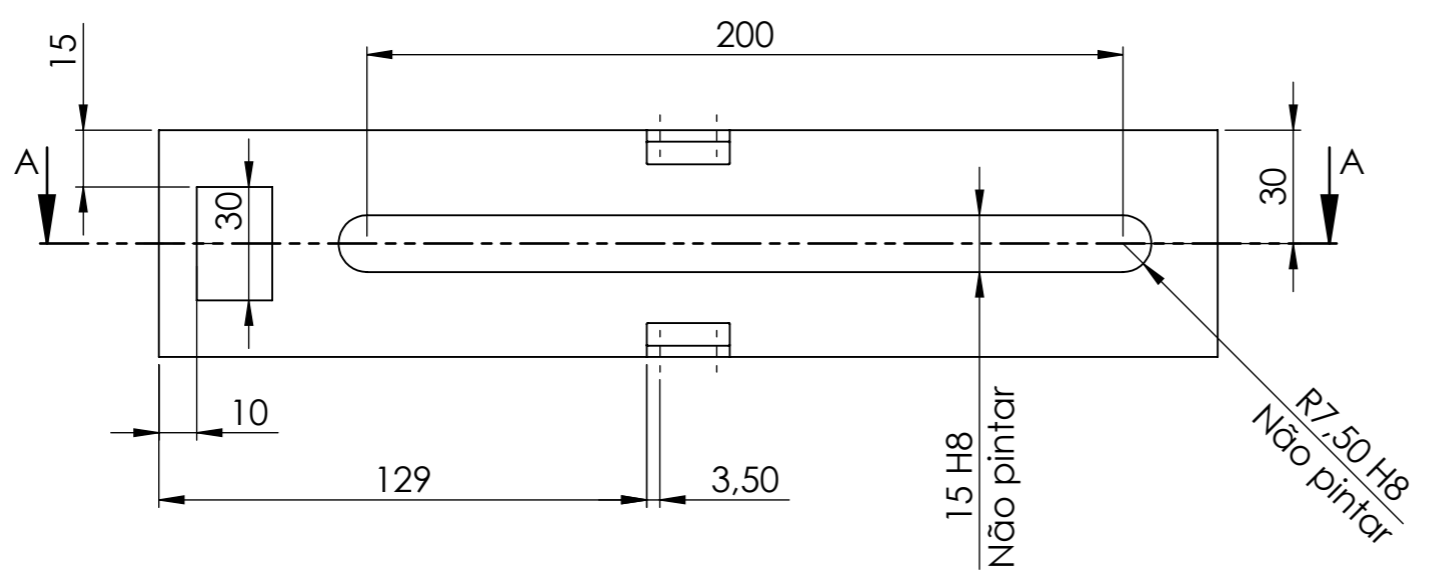
Nome	Carlos Costa	Data	10/04/2018	 			Quantidade	1
Des.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala-	1:1	Tratamento	
Vist.							Material	AISI 1045
Aprov.							Descrição	Pintar de azul
Nome	Guia inferior 15 mm						Desenho	1/1





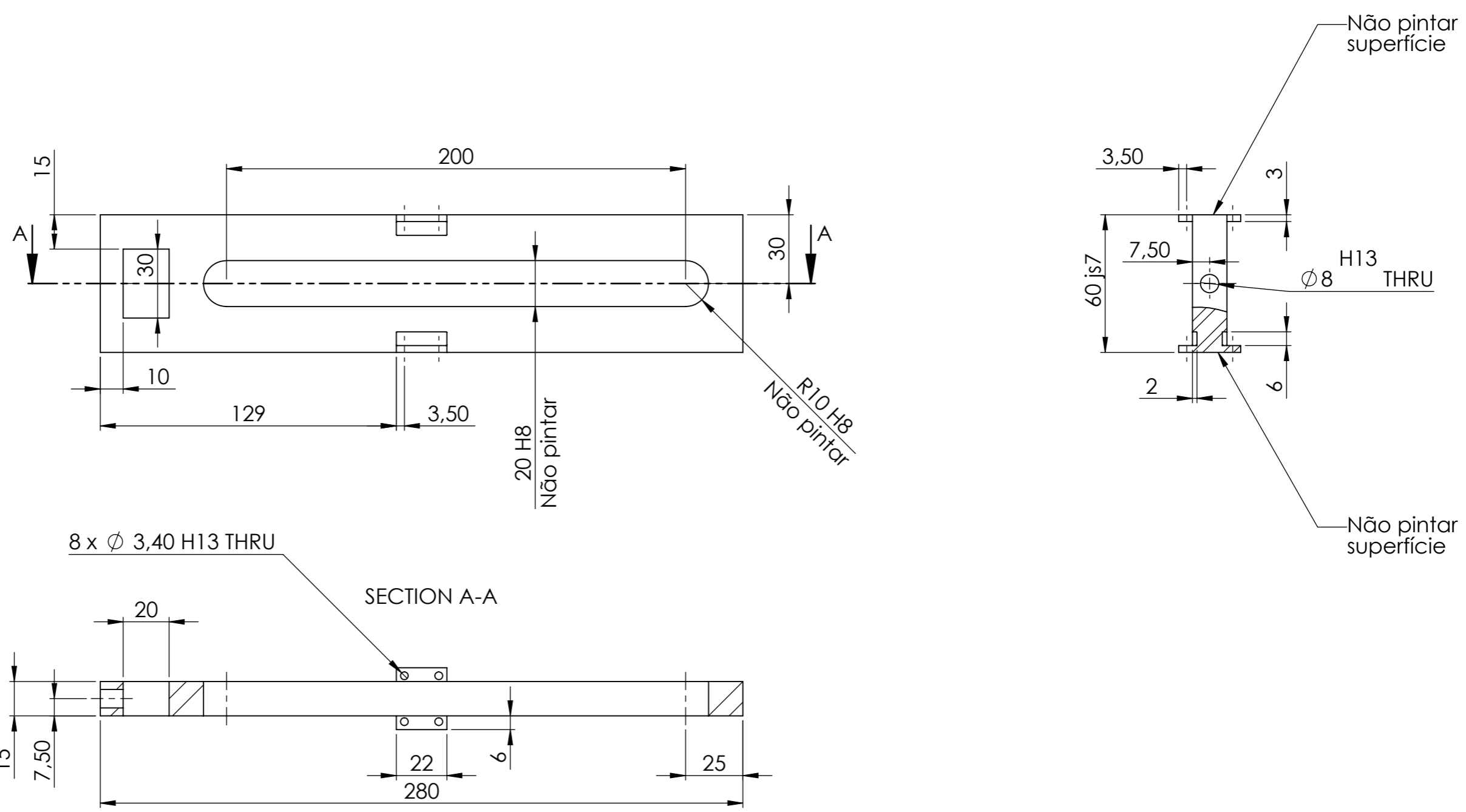
SECTION A-A



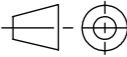


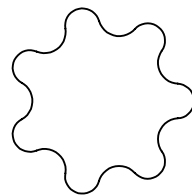
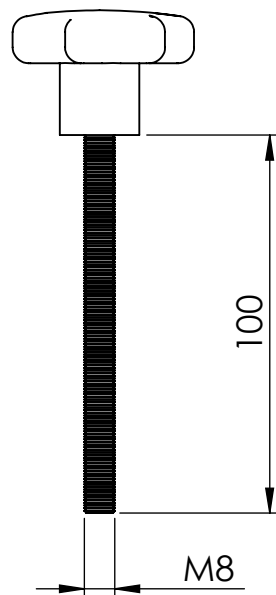
	Nome	Data	 			Quantidade	1
Des.	Carlos Costa	10/04/2018				Massa (kg)	
Vist.						Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	Material	AISI 1045
Nome	Guia inferior 20 mm					Descrição	Pintar de azul
						Desenho	1/1



Nome	Carlos Costa	Data	10/04/2018	 			Quantidade	1
Des.							Massa (kg)	
Vist.							Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala-	1:2	Material	AISI 1045
Nome	Guia superior 15 mm						Descrição	Pintar de azul
							Desenho	1/1

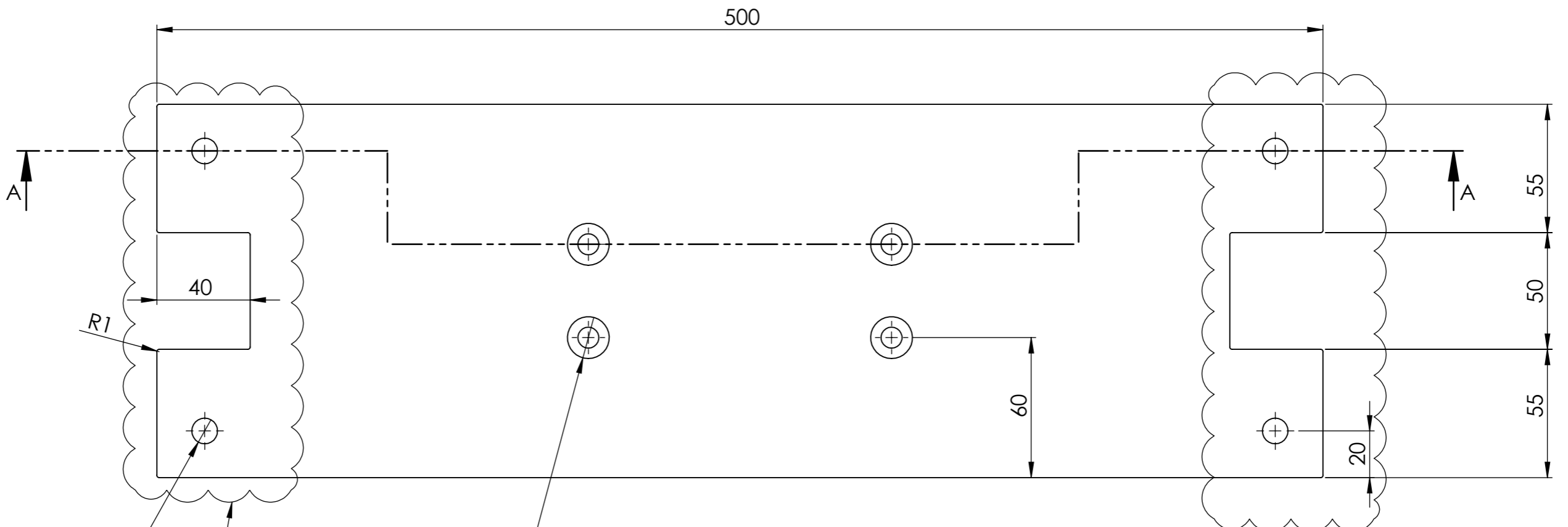
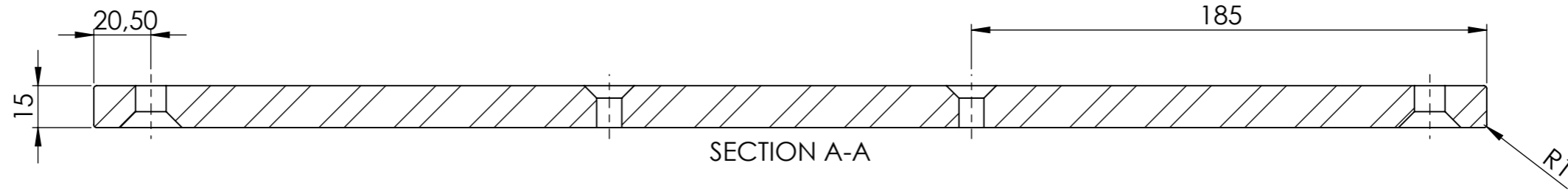


	Nome	Data	 			Quantidade	1
Des.	Carlos Costa	10/04/2018				Massa (kg)	
Vist.						Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A3
Nome	Guia superior 20 mm					Descrição	Pintar de azul
						Desenho	1/1



Parafuso para ajuste da altura de trabalho dos rolos

	Nome	Data					Quantidade	4
Des.	Carlos Costa	29/10/2009					Massa (kg)	
Vist.							Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18	ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A4	Material
Nome	R5033M8100S-Ackurat						Descrição	
							Desenho	1/1



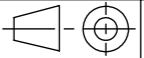


4 x  $\phi$  11 H13 THRU  
 $\surd$   $\phi$  22,40 X 90°

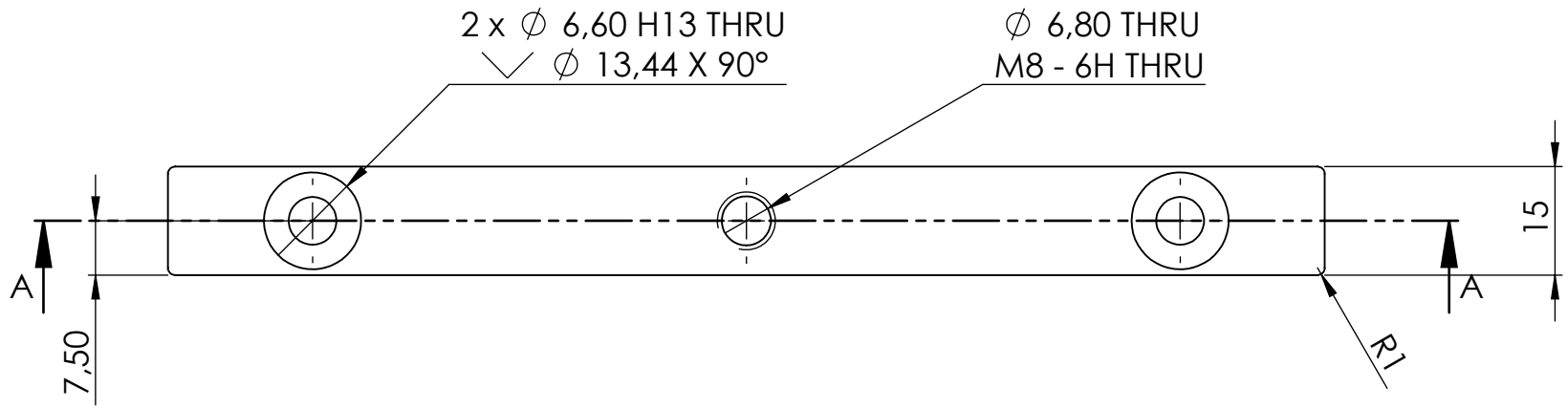
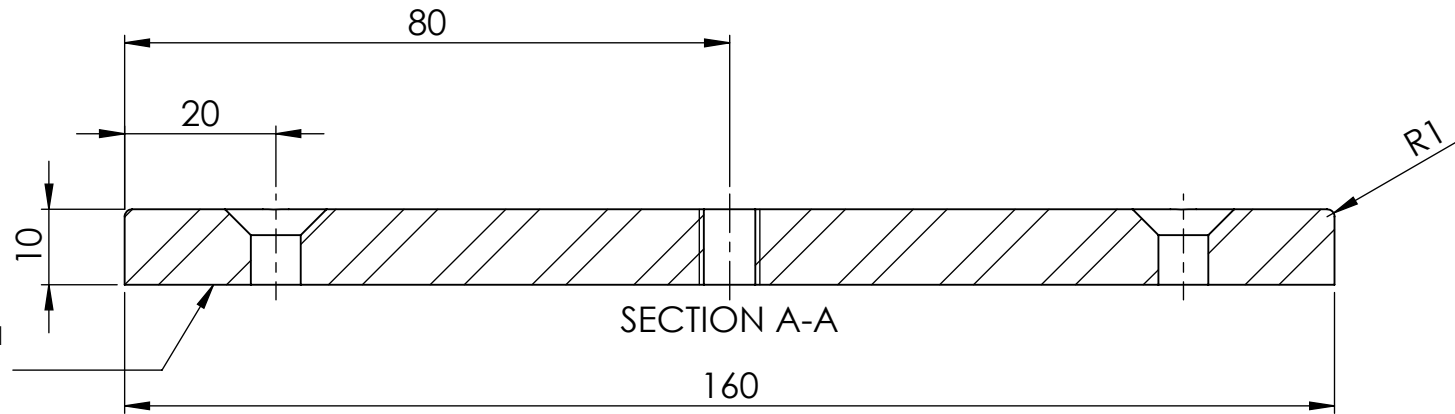
4 x  $\phi$  9 H13 THRU ALL  
 $\surd$   $\phi$  17,92 X 90°

Não pintar esta zona  
 onde acentam os  
 sistemas de guias

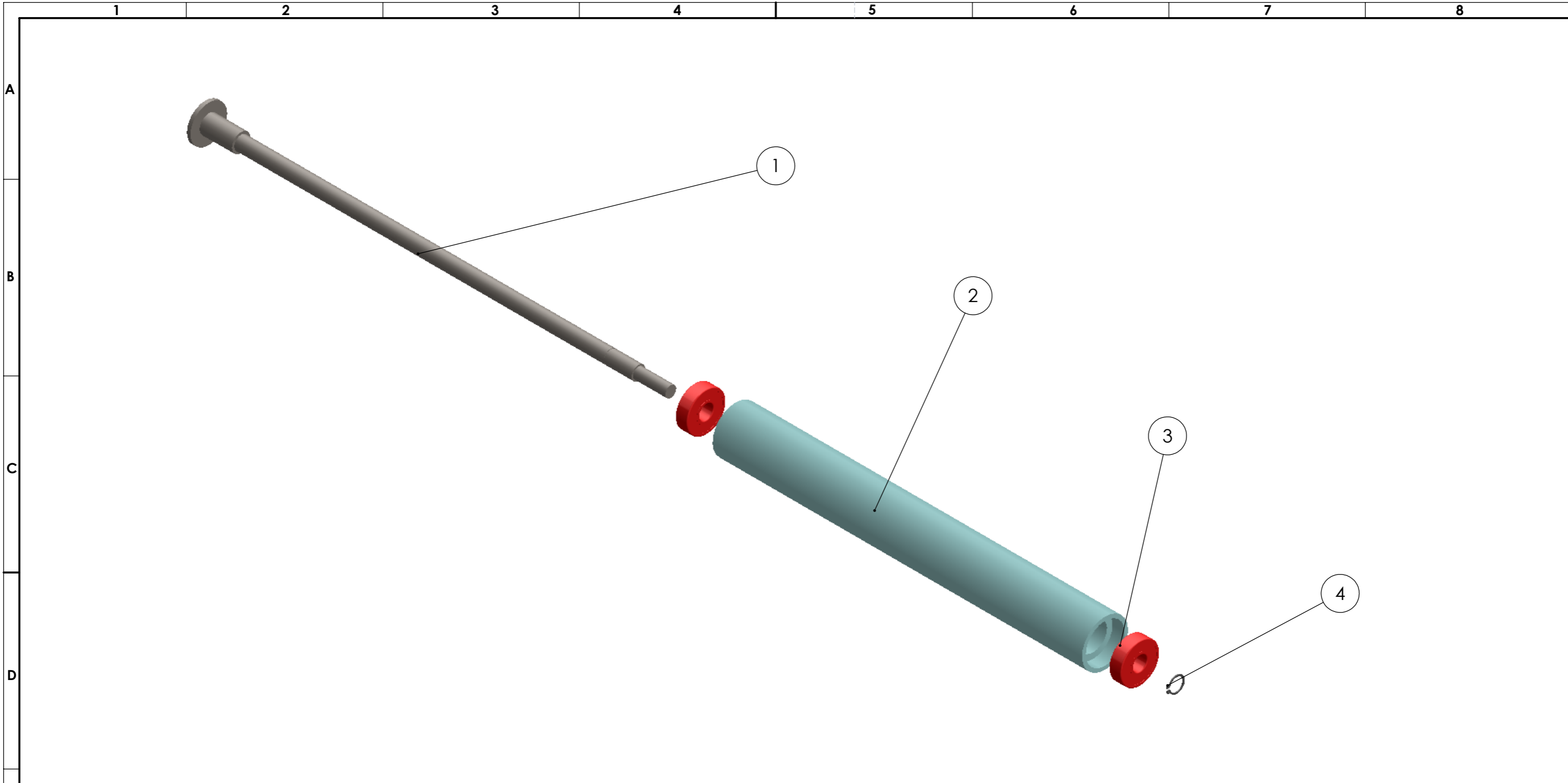
Não pintar esta zona  
 onde acentam os  
 sistemas de guias

	Nome	Data	 				Quantidade	1
Des.	Carlos Costa	11/04/2018					Massa (kg)	
Vist.							Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:2	 A3	Material	AISI 1045
Nome	Suporte dos sistemas de guias						Descrição	Pintar de azul
							Desenho	1/1

Não pintar esta superfície



	Nome	Data					Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	11/04/2018					Massa (kg)	
Vist.			Tratamento					
Aprov.	Rui Guedes	08/05/18	ISO 2768	mK	Escala- 1:1	A4	Material	AISI 1045
Nome	Tampa da caixa de guiamento					Descrição	Pintar de azul	
							Desenho	1/1

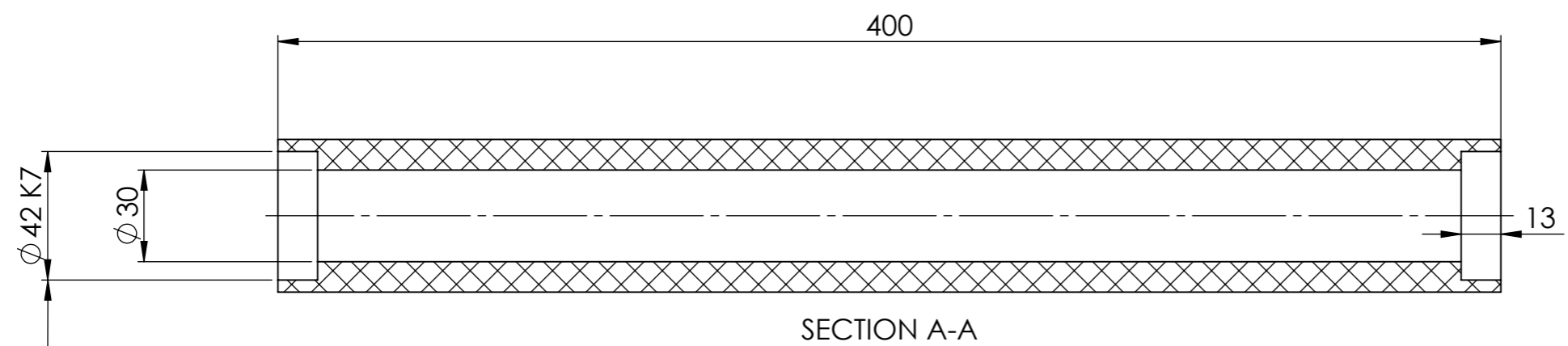


Pos.	Nome	Des. Nº	Material	Descrição	Tipo	Vista explodida/QTY.	CL
1	Varão roscado		AISI 1045	Não pintar		1	
2	Rolo de guiamento		PTFE (Teflon)			1	
3	Rolamento 6302ZZ					2	
4	Anel DIN 471_15_1					1	

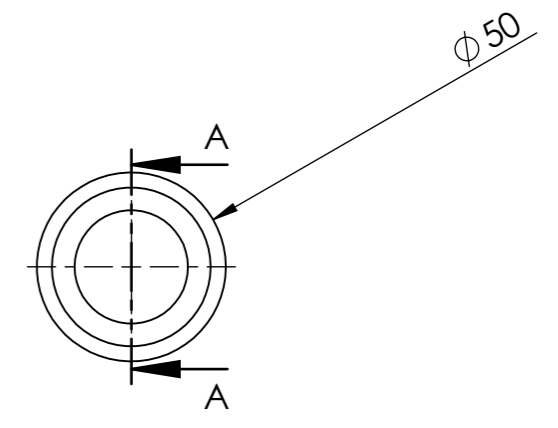
Nome	Data		Quantidade	2	
Des.	Carlos Costa		11/04/2018	Massa (kg)	
Vist.			Tratamento		
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	Material		
Nome	Rolo com rolamentos no varão roscado			Descrição	
				Desenho	1/1

1 2 3 4 5 6 7 8



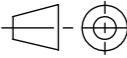
A  
B  
C  
D  
E  
F



SECTION A-A

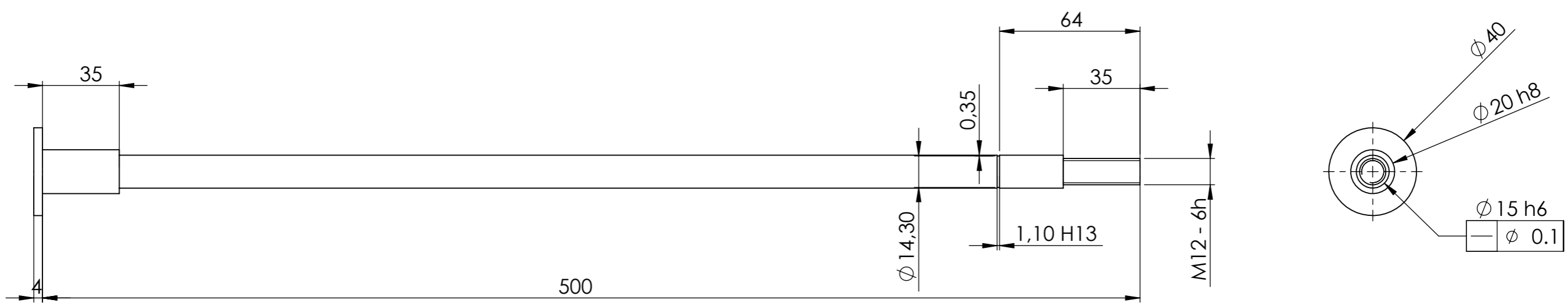





$\phi$  0.1

	Nome	Data	 			Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	10/04/2018				Massa (kg)	
Vist.						Tratamento	
Aprov.	Pedro Neves	07/02/2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A3
Nome	Rolo de guiamento					Descrição	
						Desenho	1/1

1 2 3 4 5 6 7 8

A  
B  
C  
D  
E  
F



	Nome	Data	 			Quantidade	2
Des.	Carlos Costa	10/04/2018				Massa (kg)	
Vist.						Tratamento	
Aprov.	Rui Guedes	08/05/2018	ISO 2768	mK	Escala- 1:2		A3
Nome	Varão roscado					Descrição	Não pintar
						Desenho	1/1