

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

ANDREI WILLIAN ALVES

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE CORREIAS SINCRONIZADORAS MXL

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
SANTA CATARINA
CÂMPUS FLORIANOPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE METAL-MECÂNICA
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECATRÔNICA**

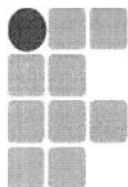
ANDREI WILLIAN ALVES

SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE CORREIAS SINCRONIZADORAS MXL

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecatrônica.

Professor Orientador: Luciano Amaury dos Santos, Doutor em Engenharia Mecânica.
Coorientador: Jucelio Valdir Svaldi, Engenheiro de Produção.

FLORIANÓPOLIS, DEZEMBRO DE 2018.



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS

DECLARAÇÃO DE FINALIZAÇÃO DE TRABALHO DE CURSO

Declaro que o(a) estudante **ANDREI WILLIAN ALVES**, matrícula nº **152006105-6**, do Curso de Engenharia Mecatrônica, defendeu o trabalho intitulado **SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE CORREIAS SINCRONIZADORAS MXL**, o qual está apto a fazer parte do banco de dados da Biblioteca Hercílio Luz do Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.

Florianópolis, 13 de dezembro de 2018

Prof. Orientador do TCC: Luciano Amaury dos Santos

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo a Deus por ter me guiado sempre pelos melhores caminhos, a meus pais, Angelita e Vilmar, que sempre apoiaram minhas decisões e não mediram esforços em me ajudar em minhas conquistas.

Ao meu irmão, Gustavo, que sempre esteve comigo me encorajando e auxiliando nos estudos.

A minha noiva Camila, inspiração para continuar buscando me aperfeiçoar intelectualmente e paciente durante toda essa jornada.

A meus avós, Perpétua, Manoel e Evaldo que mesmo tendo partindo desta vida sinto forte a presença e o amor que sempre me concederam e a avó Blandina que sempre foi minha segunda mãe e tenho a imensa felicidade de poder contar com seus abraços e carinhos.

Agradeço aos meus amigos, Ezequiel, Ruan, Alexande e Djeison que compreenderam as minhas ausências durante a produção desta monografia e que certamente faremos muitas comemorações após a conclusão.

Agradeço de forma especial ao meu orientador, Prof. Dr. Luciano, por todo conhecimento dirigido e experiências adquiridas, pela sua dedicação e entusiasmo na busca pelas melhores soluções.

A empresa Intelbras, pela oportunidade de desenvolver-me profissionalmente e em especial ao meu coorientador, Jucelio, por acreditar no meu potencial e propor novos desafios. Aos companheiros e amigos de trabalho, Caio, Willian, Adriano, Juan, Albert, Allan, Eduardo, Luan e Fabiana, por fazerem parte desta jornada me encorajando.

Ao IFSC por toda estrutura disponibilizada e em especial a todos seus professores que desde a minha primeira graduação, Tecnólogo em Mecatrônica, participaram integralmente do meu processo de aprendizagem.

“A imaginação é mais importante que a ciência, porque a ciência é limitada, ao passo que a imaginação abrange o mundo inteiro.”

Albert Einstein

RESUMO

Diante de problemas relatados em campo nas correias sincronizadoras MLX utilizadas em câmeras Speed Dome Intelbras, este estudo foi requisitado para avaliar a durabilidade deste componente, fazendo um comparativo entre duas das diferentes fabricantes. Foi necessário o desenvolvimento de um equipamento automatizado para realização de testes em correias, onde foram utilizados componentes de baixo custo e muitos destes disponíveis na própria empresa. O protótipo foi concebido para testar duas correias simultaneamente e simular a falha em um período de tempo reduzido. Com peças modeladas e confeccionadas em impressora 3D o projeto é de simples construção e o uso de placa de prototipagem eletrônica tornou o projeto possível de ser concebido em poucos dias. Modos de falha atribuídos as correias foram levantados e testes mesclando diferentes agentes degradantes foram realizados com o intuito de avaliar a sua durabilidade. Dentre os testes realizados estão o estresse climático em que são aplicadas variações de temperatura e umidade nas correias em uso, estresse térmico em temperaturas elevadas, exposição a raios UV, vincos e super-tensionamento.

Palavras-Chave: Correias Sincronizadoras; Durabilidade; Testes; Modos de falha.

ABSTRACT

Alongside other measures taken to deal with problems reported in the field in MLX timing belts used in Intelbras Speed Dome cameras, the present study was requested to evaluate the durability of this component, comparing samples from different manufacturers. It was necessary to develop an automated equipment for testing belts, where low cost components were used and many of these available from the company. The prototype was designed to test two belts simultaneously and simulate the failure in a reduced time period. With pieces modeled and made in 3D printer the design is simple construction and the use of electronic prototyping plate made the project possible to be conceived in a few days. Failure modes attributed to the belts were surveyed and tests mixing different degrading agents were performed with the purpose of evaluating their durability. Among the tests carried out are the climatic stress where variations of temperature and humidity are applied in the belts in use, thermal stress at elevated temperatures, exposure to UV rays, creases and over-tensioning.

Keywords: Timing Belts; Durability; Tests; Failure modes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Câmera Speed Dome instalada em área pública.....	14
Figura 2 – Cálculo de tensão utilizando a Calculadora Mitsuboshi	16
Figura 3 – Estrutura Correia MXL Continental.....	17
Figura 4- Estrutura Correia Sincronizadora TWBELT	18
Figura 5- Exemplo de falha de final vida útil.....	21
Figura 6- Exemplo de falha por vinco.....	21
Figura 7- Exemplo de falha por carga de choque.....	22
Figura 8- Exemplo de falha por tensionamento indevido	23
Figura 9- <i>Exemplo de falha por sub-tensionamento</i>	23
Figura 10- Exemplo de falha por sub-tensionamento 2.....	24
Figura 11- Exemplo de falha por desalinhamento da polia	24
Figura 12- Exemplo de falha por polia fora do especificado.....	25
Figura 13- Exemplo de desgaste em polia	26
Figura 14 - Principais dimensões (em milímetros) do perfil das correias MXL	27
Figura 15- Modelo PRODIP.....	28
Figura 16- Síntese Funcional	31
Figura 17- Matriz morfológica.....	32
Figura 18 - Esquema elétrico do acionamento de motor de passo com TB6600 e arduino mega	34
Figura 19 – Montagem do Shield LCD com Keypad e Arduino Mega	35
Figura 20 – Primeira concepção mecânica do aparato	36
Figura 21 – Segunda concepção do aparato	37
Figura 22 – Terceira concepção do aparato.....	39
Figura 23 – Modelamento do projeto.....	39
Figura 24 – Vista explodida.....	40
Figura 25 - Correia danificada após uso em campo.....	41
Figura 26 - Detalhe da falha encontrada em campo	41
Figura 27 – Correia Continental e TWbelt	42
Figura 28 – Dorso correia Continental antes do teste (Aumento 20X)	43
Figura 29 - Dentes correia Continental antes do teste (Zoom 20X)	43
Figura 30 - Dorso correia TWbelt antes do teste (Aumento 20X).....	44
Figura 31 - Dentes correia TWbelt antes do teste (Zoom 20X)	44

Figura 32 – Teste em conjunto das correias no aparato desenvolvido	45
Figura 33 - Gráfico da temperatura e da umidade em teste na câmara climática	45
Figura 34 – Realização do ensaio no interior da câmara climática	46
Figura 35 - Dorso correia Continental após teste de ciclagem simples e câmara climática (Aumento 20X)	46
Figura 36 - Dentes correia Continental após teste de ciclagem simples e câmara climática (Aumento 20X)	47
Figura 37 - Cordões de tração expostos pelo desgaste após o teste (Aumento 20X)	47
Figura 38 – Alteração insignificante no dorso da correia TWbelt após o teste (Aumento 20X)	48
Figura 39 - Presença de resíduos na raiz do dente causado pelo desgaste (Aumento 20X).....	48
Figura 40 - Estufa utilizada para expor as correias a altas temperaturas.....	49
Figura 41 - Alteração de tonalidade após exposição a temperaturas altas	49
Figura 42 - Desgaste no dente da correia após o teste no aparato.....	50
Figura 43 - Dentes totalmente danificados após teste no aparato (Aumento 20X) ...	50
Figura 44 - Dorso da correia danificada (Aumento 20X)	51
Figura 45 - Evidência de desgaste da correia em teste no equipamento	52
Figura 46 - Dorso da correia Continental pouco alterada (Aumento 20X)	52
Figura 47 - Dente correia Continental sem danos (Aumento 20X)	53
Figura 48 – Realização de vincos nos dentes das correias	54
Figura 49 - Faces da correia Continental sem indícios de desgaste após teste com correias vicadas	54
Figura 50 - Faces da correia TWBELT após o teste com correia vincada	55

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	CORREIAS SINCRONIZADORAS	14
3.1.1	Correia CONTI® SYNCHROBELT – Continental.....	17
3.1.1.1	Especificações CONTI® SYNCHROBELT – Continental.....	18
3.1.2	Correia MXL - TWBELT	18
3.1.2.1	Especificações Correia MXL - TWBELT.....	19
3.2	MODOS DE FALHA EM CORREIAS SINCRONIZADORAS	20
3.2.1	Falha de final de vida útil.....	20
3.2.2	Falha por vinco.....	21
3.2.3	Carga de choque.....	22
3.2.4	Tensionamento de instalação	22
3.2.5	Desalinhamento da polia.....	24
3.2.6	Polia fora do especificado	25
4	METODOLOGIA	27
5	DESENVOLVIMENTO	29
5.1	DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO DE TESTE.....	29
5.1.1	Projeto Informacional	29
5.1.1.1	Requisitos de projeto.....	29
5.1.1.2	Especificações de projeto	30
5.1.2	Projeto Conceitual.....	31

5.1.2.1	Projeto Elétrico	32
5.1.2.2	Projeto Mecânico	35
5.1.3	Projeto Preliminar	39
6	EXECUÇÃO DOS TESTES	41
6.1	TESTE CICLAGEM SIMPLES E CICLAGEM EM CÂMARA CLIMÁTICA .	42
6.2	EXPOSIÇÃO A ALTAS TEMPERATURAS SEGUIDO DE TESTE DE CICLAGEM COM CORREIAS.....	48
6.3	EXPOSIÇÃO A RAIOS UV E VINCO	53
7	CONCLUSÕES.....	56

1 INTRODUÇÃO

Sempre preocupadas com a crescente concorrência no cenário de desenvolvimento tecnológico, empresas que atuam nesse seguimento buscam oferecer produtos eficientes e com alta durabilidade visando manter sua fatia no mercado. Assim como um telefone que deve suportar uma quantidade mínima de acionamentos em suas teclas ou uma câmera deve funcionar em temperaturas extremas, os requisitos do produto surgem de uma necessidade e devem ser considerados desde o início de projeto, passando pela validação do protótipo até a etapa final de produção.

A presente pesquisa é uma parceria do Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Florianópolis e a empresa de tecnologia Intelbras, que oferece ao mercado produtos voltados à segurança eletrônica, comunicação e soluções de energia.

O estudo foi elaborado após o departamento de pós-vendas acionar o setor de ensaios mecânicos, pois o número de reparos na correia sincronizadora estava preocupando. Vivenciando o cotidiano do setor de ensaios mecânicos, sendo este o responsável pelos testes de confiabilidade dos produtos ofertados, foi produzido um aparato mecânico buscando atender a demanda.

O equipamento desenvolvido é capaz de testar diferentes tipos e tamanhos de correrias sincronizadoras MXL. Tratando-se de uma peça vital para o funcionamento da câmera, a avaliação da melhor escolha de correria será útil para diminuir o índice de falha deste componente, que hoje possui maior registro de substituição pela assistência técnica.

1.1 JUSTIFICATIVA

O relacionamento com fornecedores tem um papel fundamental na sobrevivência das empresas inseridas nas cadeias produtivas globais atualmente estabelecidas. Muitas são as metodologias tanto para avaliação quanto para o aprimoramento da qualidade de componentes e serviços utilizados na produção (BERTO, 2003; CASSIA; MAGNO; UGOLINI, 2015; et al., 2017), mas de três cuidados fundamentais destacados por Intrieri (2016) “ser específico” ao discutir questões de

qualidade com o fornecedor aparece em primeiro lugar. Isto exige um certo aprofundamento no estudo das questões técnicas envolvidas, muito embora, em geral, não seja possível se especializar no produto do fornecedor. O presente trabalho se insere neste contexto, do estudo de uma questão técnica a respeito da qual a Intelbras de fato possui pouco conhecimento disponível no seu entorno, sendo questão muito mais afeita aos seus fornecedores do que a própria empresa.

As câmeras de segurança Speed Dome da Intelbras são componentes OEM (Original Equipment Manufacturer) de uma fabricante chinesa. Atualmente a própria fabricante é quem define qual a correia sincronizadora a ser utilizada nas câmeras. Considerando a grande variedade de materiais utilizados na fabricação das correias e de fornecedores existentes é de fundamental importância que a seleção da melhor correia seja feita baseada em estudos de durabilidade, conhecidos como testes de vida acelerados (FREITAS; COLOSIMO, 1997 apud BERTO, 2003).

Nesse sentido o sistema de avaliação de correias sincronizadoras MLX visa promover estudos que ajudarão a decidir sobre a melhor escolha de correias para utilização nas câmeras speed dome além de definir internamente um critério mínimo de qualidade para esses componentes, auxiliando também na verificação de lotes de peças de reposição.

As câmeras Speed Dome da Intelbras, são consideradas câmeras robustas, capazes de realizar movimentação de forma rápida e precisa, abrangendo grandes áreas, possuindo zoom óptico de 30x e imagens em HD. Elas são consideradas a linha de maior investimento no quesito monitoramento por imagem que a empresa tem a oferecer.

Para que estes produtos possuam vida útil dentro da exigência da qualidade, a equipe de engenharia deve propor as melhores soluções para que estes componentes não venham a limitar essa necessidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Contribuir com a avaliação de durabilidade de correias sincronizadoras MXL que utilizam dois diferentes materiais e que são aplicadas nas câmeras de segurança Speed Dome Intelbras.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver equipamento automatizado para teste de correia sincronizadora;

Comparar resultados de durabilidade para dois dos modelos de correias sincronizadoras mais utilizadas na câmera Speed Dome Intelbras;

Levantar subsídios para uma discussão mais aprofundada com o fornecedor a respeito da qualidade das correias empregadas nas câmeras Speed Dome;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As correias sincronizadoras são responsáveis por realizar a movimentação das lentes das câmeras speed dome. Essa movimentação permite que a câmera faça o monitoramento de todo o perímetro em que ela foi instalada permitindo rotação de 360° e inclinação 180° tornando-a muito versátil e amplamente utilizada no monitoramento de vias ou locais públicos. A câmera pode ser operada remotamente, através de uma central de monitoramento, ou também configurada de forma a realizar movimentações periódicas e automáticas, possibilitando o usuário definir os pontos de interesse a ser monitorado.

Figura 1 – Câmera Speed Dome instalada em área pública



Fonte: AGENDA 2020. Câmeras de vigilância dependem de integração dos órgãos de segurança para maior eficiência. 2014. Disponível em: < <https://agenda2020.com.br/2014/11/cameras-de-vigilancia-dependem-de-integracao-dos-orgaos-de-seguranca-para-maior-eficiencia/>>. Acesso em: 28 set. 2018.

3.1 CORREIAS SINCRONIZADORAS

Buscando conhecer mais sobre as correias sincronizadoras, foi verificada junto a Bormax Correias e Mangueiras Industriais uma breve história sobre o desenvolvimento das Correias Sincronizadoras.

As correias sincronizadoras surgiram ao longo do tempo como uma solução mais limpa e econômica para sistemas de transmissão que utilizavam correntes. Inicialmente as correias foram desenvolvidas em poliuretano e cordonéis (anéis feitos

de cordão) de aço visando atender o setor automobilístico, fazendo a sincronização entre o virabrequim e o comando de válvulas assim que este passou a ser posicionado sobre o cabeçote do motor.

Novos materiais foram desenvolvidos e compostos de borracha com maior resistência térmica e a intempéries passaram a compor as correias sincronizadoras, assim como os cordonéis de aço foram substituídos por cordonéis de fibra de vidro que possuem desempenho superior quanto a flexão e nenhuma deformação elástica ou plástica. “Uma correia sincronizadora não se alonga nem desliza e, consequentemente transmite potência a uma razão de velocidade angular constante e não se faz necessária nenhuma tração inicial. Operam e uma faixa ampla de velocidade e eficiência entre 97% e 99%”. (BUDYNAS; NISBETT, 2011, p.912).

Com isso as correias sincronizadoras ganharam espaço na indústria, fazendo parte de sistemas de transmissão onde a precisão, resistência, durabilidade e confiabilidade são pré-requisitos. Apesar de Budynas afirmar em sua obra que não há necessidade de tração inicial, algumas fabricantes como a Mitsuboshi disponibilizam calculadoras em sites para determinar a tensão inicial mínima e máxima, deflexão e cargas. Inserindo os dados das polias e correias utilizadas no conjunto da Speed Dome chegamos aos resultados apresentados na Figura 2.

Figura 2 – Cálculo de tensão utilizando a Calculadora Mitsuboshi

Especificação	Clássico ▼
Perfil do dente	MXL ▼
Largura da correia	5 milímetros
Número de dentes na polia grande	95
Número de dentes na polia pequena	15
Revolução de polia pequena	300 rpm
Distância do centro	110 milímetros

[> Calculation](#)

Resultados de cálculo

Tensão inicial (min)	6,22 N
Tensão inicial (max)	10,36 N
Carga do eixo estático (min)	12,09 N
Carga do eixo estático (max)	20,14 N
Deflexão	1,71 mm
Carga de deflexão (min)	0,39 N
Carga de deflexão (max)	0,65 N

Nota:

Fonte: MITSUBOSHI. Belt type: Timing Belt. 2018. Disponível em: https://www.mitsuboshi.co.jp/english/tension_calc_tool/tg-belt.html. Acesso em: 28 set. 2018.

O resultado de tensão inicial entre 6,22N e 10,36N será considerado no decorrer desse estudo, em que se pretende realizar testes com tensão superior as sugeridas para esse tipo de correia buscando antecipar a falha.

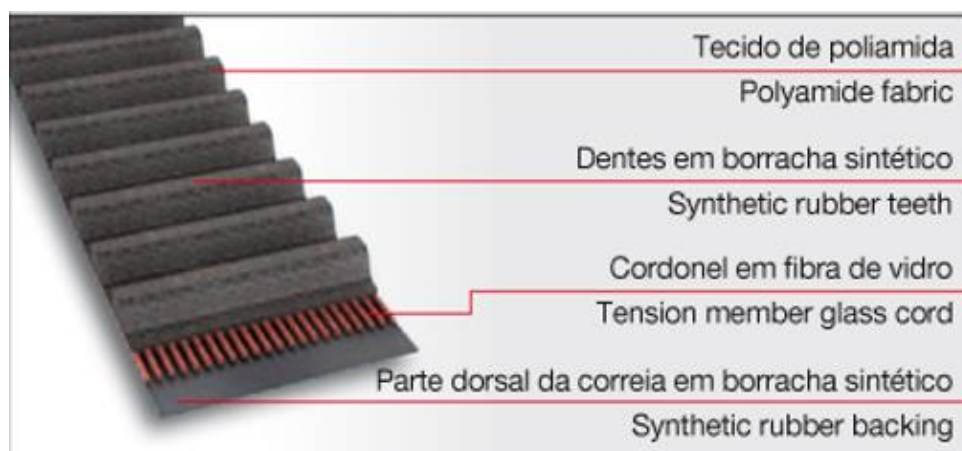
A fabricante de correia Gates disponibiliza um guia de dimensionamento de correia, porém para os cálculos é exigido alguns dados que não possuímos à disposição, como o momento de inércia do sistema. Como a proposta não é dimensionar um sistema acionado por correias e sim realizar testes, os dados coletados anteriormente serão suficientes.

3.1.1 Correia CONTI® SYNCHROBELT – Continental

A correias sincronizadora Conti Synchrobelt é uma linha de baixo custo da fabricante Continental. Ela garante boa resistência à fadiga e deformação, sendo possível aplicação de tensores reversos, operam em ampla faixa de temperatura, podendo atuar em altas velocidades e é resistente ao óleo e ao envelhecimento. Todas essas características aliada ao fato de ser livre de manutenção torna essa correia um elemento de transmissão muito utilizado na indústria pela sua confiabilidade. Essas características provêm de sua estrutura em borracha sintética de policloropreno, que desempenha ótima função em trabalhos dinâmicos resistindo a temperaturas abaixo de -20°C e possuindo resistência a flexão e ao rasgo. Além disso, possui excelente adesão a fibras têxteis (GAR BIM, 2018), sendo uma boa combinação com os cordonéis em fibra de vidro presente nas correias CONTI® SYNCHROBELT. Os cordonéis têm a função de atribuir boas características de tração e garantir a estabilidade dimensional em tensões estáticas e dinâmicas em que a correia pode operar.

O terceiro componente utilizado na correia é o tecido de poliamida, que é firmemente aderida a superfície dos dentes e na parte dorsal. A poliamida auxilia promovendo propriedades lubrificantes a superfície da correia, diminuindo o atrito com a polia, aumentando a eficiência do sistema de transmissão e com isso reduzindo a deterioração.

Figura 3 – Estrutura Correia MXL Continental



Fonte: PRODUCT Range Drive Belts Industry. 2018. Disponível em: <https://www.contitech.de/getmedia/ed4c6e37-adc8-4e4a-b18c-9fc69fe08148/PTG9301-DeEn-Product-Range-Drive-Belts-Industry.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

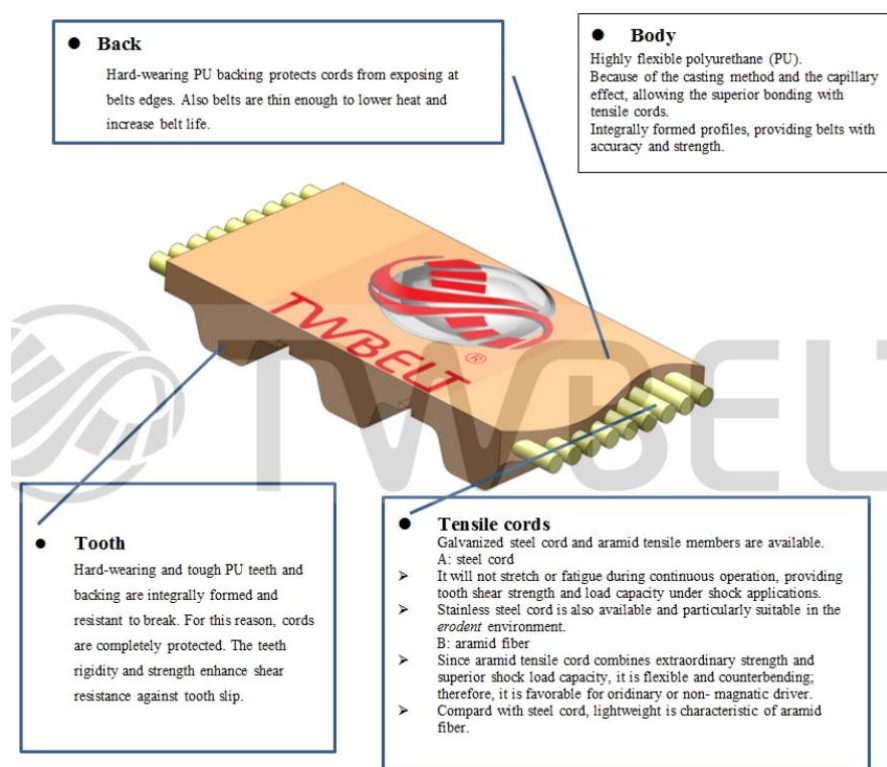
3.1.1.1 Especificações CONTI® SYNCHROBELT – Continental

Segundo informações coletadas no site da fabricante Continental, as correias CONTI® SYNCHROBELT possuem as seguintes características:

- Suportam uma faixa de temperatura entre -20 °C e +100 °C, dependendo da aplicação
- Resistência a ambientes com presença de óleo
- Resistente ao ozônio
- Adequada para uso em climas tropicais
- Resistente ao envelhecimento
- Adequada para o uso em tensores reversos
- Livre de Manutenção

3.1.2 Correia MXL - TWBELT

Figura 4- Estrutura Correia Sincronizadora TWBELT



Fonte: CORREIA dentada. 2018. Disponível em: <<http://www.twbelt.com.tw/webe/html/products/show.aspx?id=47&kid=40>>. Acesso em: 05 out. 2018.

A TWBELT possui correias sincronizadoras fabricadas em Poliuretano, que é um polímero muito utilizado em espumas, elastômeros, fibras, vedações, preservativos e plásticos rígidos. A escolha do material se deve a suas propriedades e baixo custo, sendo amplamente utilizado em aplicações em que a resistência a abrasão é necessária além de possuir boa tenacidade e resistência ao rasgo. O processo de fabricação é relativamente simples comparados com outros materiais como a borracha, visto que para moldagem do poliuretano não é necessária a aplicação de pressões e temperaturas elevadas.

Os cordonéis estão disponíveis em aço galvanizado e aramida. As correias encontradas nas câmeras Speed dome Intelbras utilizam a aramida como elemento de tração, por este motivo serão apresentadas as características deste componente a seguir.

A aramida (como o Kevlar®) é um material muito leve e possui uma resistência bastante elevada, não reage facilmente com elementos químicos, e suporta temperaturas elevadas, queimando somente após 8 segundos se for submetido a temperatura superior a 1000°C (LIBRELOTTO, FERROLI, 2018). Essas propriedades fizeram da aramida um material muito utilizado pelos militares, podendo ser encontrado desde coletes à prova de balas até nos uniformes de bombeiros dada a capacidade de resistir ao fogo. A utilização deste material também pode ser verificada em veículos espaciais, cintos de segurança, paraquedas e chassis de automóveis de auto desempenho graças a sua resistência mecânica.

3.1.2.1 Especificações Correia MXL - TWBELT

Segundo a fornecedora TWBELT, as principais características atribuídas ao conjunto que compreende a estrutura da correia TWBELT são:

- Limpeza - Devido a boa resistência do Poliuretano ao desgaste a correia é indicada para aplicação onde a limpeza é um importante requisito.
- Antiderrapante - Evita de pular um dente quando um torque elevado for exigido ou altas velocidades forem aplicadas pois ele permite uma boa aderência com a polia.
- Livre de manutenção - Não há necessidade de lubrificação como existe em correntes e engrenagens.

- Pré-tensão reduzida - Devido ao fato de possuir boa aderência a polia e também nenhuma deformação elástica o pré-tensionamento pode ser mínimo, reduzindo esforços de rolamento e motores, aumentando a vida útil de todo sistema.
- Alto grau de eficiência - Acionamentos livre de atrito com eficiência de até 99%.
- Resistência a Óleo - Resiste bem a óleos, graxa e combustível.
- Temperatura de utilização - Ampla faixa de temperatura, de -10°C a 95°C.
- Resistência à flexão - Material de alta qualidade, com ótimo desempenho e durabilidade até em aplicações com polias de pequenos diâmetros.
- Resistente a ácidos e solventes
- Alta resistência ao desgaste - Durabilidade dez vezes maior que outras correias de borracha.
- Dureza padrão é 83 Shore A. Porém pode ser encontrado em 60, 73, 78, 90 e 95 Shore A.

3.2 MODOS DE FALHA EM CORREIAS SINCRONIZADORAS

A análise do modo de falha nas correrias sincronizadoras pode ajudar na identificação de um possível problema no sistema como um todo que implica na redução da vida útil do componente. O desalinhamento entre polidas, alto pré-tensionamento, falta de cuidado no manuseio da correia antes da montagem do sistema ou condições ambientais desfavoráveis são problemas comuns e merecem atenção especial

3.2.1 Falha de final de vida útil

É possível identificar que uma correria atingiu o final da vida útil após um tempo de uso que pode ser considerado como satisfatório quando a falha é irregular. Na figura 4 é perceptível que os cabos de tração romperam por fadiga um após o outro, provocando falha em 45°.

Figura 5- Exemplo de falha de final vida útil



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

Este é um caso típico de falha, em que não é necessária nenhuma ação corretiva além da substituição da correia.

3.2.2 Falha por vinco

A falha por vinco é observada quando ocorre uma ruptura em linha reta, paralela ao sentido dos dentes. Esta falha pode ser provocada pelo manuseio ou acondicionamento incorreto das correias antes da montagem. Provocar um vinco na correia faz com que grandes forças de tração e compressão atuem sobre as camadas mais superficiais e também sobre os elementos de tração, reduzindo significativamente a resistência a tração do componente acarretando no rompimento prematuro neste ponto (Figura 5).

Figura 6- Exemplo de falha por vinco



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

O uso de polias ou tensionadores com diâmetros abaixo do recomendado ou o ato de flexionar manualmente de forma brusca pode fragilizar a correia provocando esse tipo de falha.

3.2.3 Carga de choque

Submeter uma correia a uma carga em um espaço reduzido de tempo, ou seja, tensionar de forma abrupta o sistema de transmissão pode acelerar os danos e ocasionar quebras. Esse tipo de falha pode provocar o cisalhamento dos dentes ou causar uma fratura irregular (figura 6).

Figura 7- Exemplo de falha por carga de choque



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

No momento do pico de carga, os dentes que estão em contato com a polia são os que mais sofrem o efeito do esforço e pode apresentar início de fissuras ou até mesmo o cisalhamento na base do dente. Esse tipo de esforço deve ser evitado, sempre buscando acionamento suave dos motores.

3.2.4 Tensionamento de instalação

Durante a instalação é importante aplicar a tensão correta a correia. A aplicação de elevada tensão pode provocar cisalhamento que se propaga da raiz do

dente até a outra extremidade arrancando o dente da superfície da correia. Ocorre também o desgaste acelerado da região de contato da correia com o dente da polia, expondo os elementos de tração ao desgaste acelerando o processo de ruptura.

Figura 8- Exemplo de falha por tensionamento indevido



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

O sub-tensionamento também pode reduzir a duração do sistema de transmissão. A tendência de escorregamento do dente aumenta, fazendo com que o esforço seja transferido para a parte superior do dente provocando um momento que rotaciona e exige um maior esforço na raiz do dente. Isto ocasiona a dilaceração do elastômero abaixo dos elementos de tração rompendo a correia em duas partes.

Figura 9- Exemplo de falha por sub-tensionamento



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

O baixo tensionamento também pode prejudicar o engrenamento fazendo com que a correia “patine” sobre a polia e isso provocará um desgaste acelerado do tipo gancho, conforme indicado na figura 9.

Figura 10- Exemplo de falha por sub-tensionamento 2



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

3.2.5 Desalinhamento da polia

Polias montadas em eixos desalinhados sujeitam a correia a um desgaste irregular provocado pela concentração da carga na lateral da correia. Por vezes esse desalinhamento provoca dilaceração na lateral do dente, iniciando na região onde se concentra o maior esforço e propagando-se por toda a raiz do dente até seu total rompimento. A tendência da correia a correr para um dos lados da polia desalinhada provoca um desgaste na lateral que entra em contato com o flange da polia, esse tipo de desgaste é evidenciado na figura 10.

Figura 11- Exemplo de falha por desalinhamento da polia



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

3.2.6 Polia fora do especificado

A polia fora do especificado causa danos principalmente na região dos dentes da correia, causando um desgaste de forma irregular (Figura 11). A região da correia afetada pelo desgaste aparenta descamação do revestimento e quase sempre tem causa na polia com dimensões não adequadas. Esse tipo de falha é pouco identificada, pois, poucas vezes a polia é verificada, sendo assim a causa é atribuída apenas a correia. O diagnóstico errado provoca diminuição da vida útil da nova correia após realizada a manutenção corretiva. Assim que é observada é de fundamental importância que todo o conjunto seja avaliado, pois um componente fora dos padrões impede o funcionamento ideal do sistema.

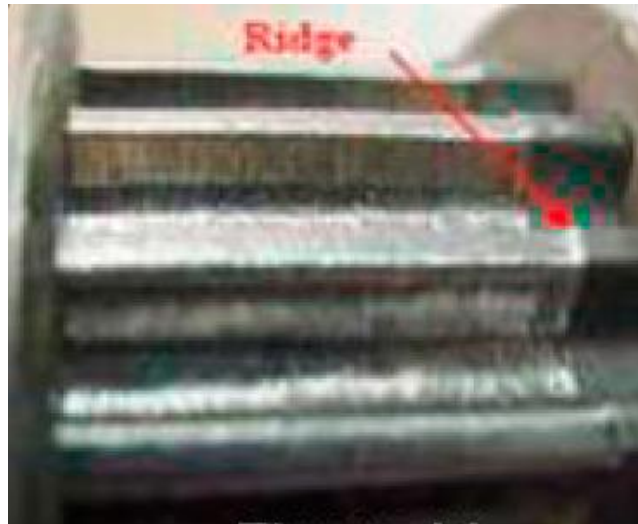
Figura 12- Exemplo de falha por polia fora do especificado



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

Após um longo período de trabalho as correias podem apresentar um desgaste a ponto de expor os elementos de tração, que por ocasião podem entrar em contato com a polia gerando desgaste. Nestes casos pode ser observado um pequeno degrau na superfície do dente da polia.

Figura 13- Exemplo de desgaste em polia



Fonte: ANÁLISE de Quebras. 2018. Disponível em: <<https://www.correiassincron.com.br/analise-de-quebras/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

Ambientes abrasivos aceleram a deterioração da polia, uma forma eficiente de inibir ação abrasiva neste componente é revestindo o material com cromo.

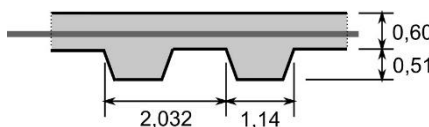
4 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa de caráter exploratório, visando a análise de falha em correias MLX de diferentes materiais utilizando um aparato que será desenvolvido exclusivamente para este fim.

Uma pesquisa de exploratória não possui hipóteses devido ao seu caráter de estudo onde a sua realização tem a função de sugerir as hipóteses que irão subsidiar trabalhos futuros. (JUNIOR, 2008, p.124)

Um exemplo de equipamento para teste de correias, porém de dimensões bem maiores do que as das discutidas aqui, é mostrado em artigo de Tonatto, Forte e Amico (2017). Nota-se a ênfase na fadiga em flexão, que segundo Budynas e Nisbett (2011) é o principal modo de falha de correias (inclusive as sincronizadoras). Cumpre esclarecer, entretanto, que as MXL (Fig. 14) são correias dentadas, com dimensões padronizadas na norma ISO 19347 (2015), com passo 2,032 mm (0,08"), espessura menor de 0,68 mm (0,027"), larguras de 3 a 9,5 mm, sendo 6,32 mm (1/4") a largura mais usual, e comprimentos de 67,06 a 1026,16 mm. Por causa da pequena espessura e limites mínimos de diâmetro de polia que se utiliza, a flexão causa tensões relativamente baixas neste tipo de correia, em comparação com as causadas em correias mais espessas.

Figura 14 - Principais dimensões (em milímetros) do perfil das correias MXL

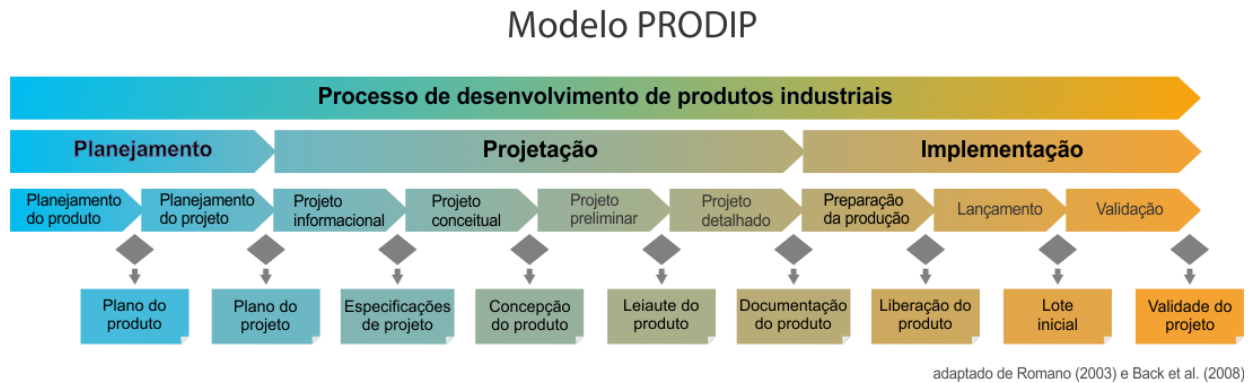


Fonte: Adaptado de Perneder e Osborne (2012).

No desenvolvimento do aparato foram empregadas algumas das ferramentas da consagrada metodologia de Processo de Desenvolvimento Integrado de Produto - PRODIP. Esse modelo foi desenvolvido baseado nos estudos produzidos a partir da década de 1970 pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos (NeDIP), do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina.

Para se obter êxito em um determinado projeto é importante avaliar um problema, levantar todos os pontos relevantes e transformá-los em requisitos.

Figura 15- Modelo PRODIP



Fonte: OGLIARI, André. **Modelo PRODIP**. 2018. Disponível em:
 <<http://emc5302.ogliari.prof.ufsc.br/artigo/modelo-prodip>>. Acesso em: 12 out. 2018.

Como forma de analisar os resultados obtidos, será utilizada uma abordagem qualitativa. A coleta dos dados ocorreu por meio dos relatos de falha ocorridos no ciclo de vida do produto e descritos pelo departamento de pós-venda Intelbras, além de observações realizadas provenientes de testes em bancada com o auxílio do aparato desenvolvido.

Segundo Júnior (2008, p.132):

Análise qualitativa – É a descrição dos dados obtidos através de instrumentos de coleta de dados, tais como: entrevistas, observações, descrição e relatos. Consiste em buscar a compreensão particular daquilo que se está investigando, não se preocupando com generalizações, princípio e leis.

Portanto, buscou-se o entendimento sobre a causa de falha do objeto de interesse compreendendo a escassez de estudos acerca do tema abordado nesta pesquisa, visando contribuir com a avaliação de durabilidade de correias sincronizadoras MXL.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 DESENVOLVIMENTO DO EQUIPAMENTO DE TESTE

Para auxiliar no estudo de comparação entre correias sincronizadores MXL utilizada na movimentação da câmera Speed Dome Intelbras, foi necessário o projeto, desenvolvimento e validação de um equipamento para acelerar o processo de falha da correia. Para esse desenvolvimento foram utilizadas como forma de auxílio em tomadas de decisões e estabelecimento das especificações de projeto algumas ferramentas descritas na obra Projeto Integrado de Produtos partindo na etapa do projeto informacional.

Essa atividade é extremamente importante pois, além de propiciar o entendimento e a descrição do problema na forma funcional, quantitativa e qualitativa, formalizando a tarefa do projeto, fornece a base sobre a qual serão montados os critérios de avaliação e de todas as tomadas de decisão realizadas nas etapas posteriores do processo de projeto. (BACK et al., 2008, p.201)

Nesta primeira etapa serão apresentados os requisitos de projeto e que após uma análise serão convertidos em especificações para o projeto do aparato.

5.1.1 Projeto Informacional

5.1.1.1 Requisitos de projeto

Os requisitos de projeto foram definidos como forma de estabelecer e nortear a equipe de projeto na busca pelas melhores soluções.

As características de engenharia ou requisitos de projeto, quando adequadamente formulados, terão papel relevante para a solução dos problemas e satisfação dos usuários. Na realidade, essas características da engenharia podem ser entendidas como os próprios problemas de projeto a serem resolvidos. São elas que vão orientar a equipe de projeto na busca de soluções alternativas e na avaliação das mesmas. Elas têm o propósito de estabelecer os parâmetros, grandezas, funções, restrições, entre outros atributos do produto, os quais “mapeiam” os problemas técnicos de um dado contexto. (BACK et al., 2008, p.221)

São requisitos para o projeto:

- Aparato de baixo custo;
- Capaz de testar correias sincronizadoras MLX de diferentes tamanhos;
- Indicar de forma automática o momento de falha da correia;

- Qualquer pessoa possa realizar o teste;
- Compacto;
- Apresentar resultados confiáveis.

5.1.1.2 Especificações de projeto

As saídas do processo de análise dos requisitos de projeto são as suas especificações consideradas como o componente indispensável para formulação da solução.

As especificações de projeto são o resultado final do processo de transformação das necessidades do usuário e são frequentemente citadas como a parte mais importante do desenvolvimento do produto. (BACK et al., 2008, p.232)

Considerando os requisitos citados na seção anterior, o baixo custo foi o primeiro a ser elencado pela Intelbras. Para garantir que o valor fosse acessível, serão utilizados sistemas de controle do tipo prototipagem e elementos mecânicos desenvolvidos na própria empresa

A capacidade de testar correias sincronizadoras MLX de diferentes tamanhos, será garantida por meio de apoios entre eixos com distância regulável.

A indicação do momento de falha ocorrerá através do sistema micro controlado que fará a identificação do rompimento da correia por meio de sensores.

Interface simples de interação com o executor de ensaio garante que qualquer pessoa consiga executar o teste.

O aparato será concebido para utilização em mesas ou bancadas, ocupando um espaço similar a uma impressora, ou seja, não demandará de um espaço específico dentro da empresa.

Serão utilizados meios que garantem que as correias testadas serão submetidas aos mesmos esforços em cada teste, obtendo resultados confiáveis.

Requisitos ou especificações de projeto estabelecem algo que é necessário, verificável e atingível. Para ser verificável, a especificação deve declarar algo que pode ser aferido por exame, análise, teste ou demonstração. Se uma especificação não é atingível, não há razão para redigi-la. Uma boa especificação deve ser claramente declarada. (BACK et al., 2008, p.232)

Portanto, todas as especificações listadas buscam atender os requisitos do projeto.

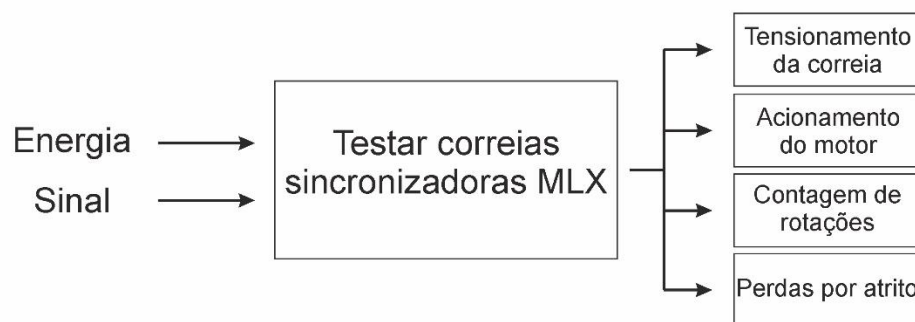
5.1.2 Projeto Conceitual

No projeto conceitual as especificações são analisadas e propostas soluções criativas para a concepção do aparato.

Entende-se por criatividade a habilidade dos membros da equipe de ter ideias novas e úteis para resolver o problema proposto ou de sugerir soluções para a concepção de um produto. Produtos, processos, soluções de problemas e ideias criativas devem possuir as seguintes qualidades: apresentar novidade, ser única; ser útil ou apreciada e simples. ((BACK et al., 2008, p.248)

Para auxiliar nas possíveis soluções e que seja realizada a melhor escolha dentre estas apresentadas, foi utilizado o método de síntese funcional definindo sua função global e suas interfaces. A função global trata-se da função do produto como um todo e suas interfaces são as sub funções.

Figura 16- Síntese Funcional



Fonte: próprio autor

Buscando atender da melhor forma possível todas as especificações apresentadas foi elaborada uma matriz morfológica que consiste no cruzamento dos componentes de um dado problema com suas possíveis soluções. Esse método foi criado pelo astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898-1974), e possibilita o cruzamento das soluções, é uma técnica não quantitativa de estruturação e avaliação do conjunto de relações inerentes a um complexo problema multidimensional (ZWICKY, 1948).

Figura 17- Matriz morfológica

Funções	Solução 1	Solução 2	Solução 3	Solução 4	Solução 5
Tensionar a correia	 Mola	 Tensionador de Correia	 Peso padrão	 Grampo Tensor	
Movimentar correia	 Motor DC	 Motor de Passo	 Motor Brushless		
Acinamento de motores	 Drive motor DC PWM	 Drive motor de passo L298	 Drive motor de passo TB6600 3,5A	 Drive motor de passo TB6560 3A	
Controladora	 Arduino UNO	 Arduino MEGA	 Beaglebone	 Raspberry Pi 3	 Arduino NANO
Interface com o Usuário	 Aplicativo PC	 LCD 16x2 + Teclado	 Shield LCD com teclado p/ Arduino	 Display LDC Touch para Raspberry	 Aplicativo para Celular + Módulo WIFI

Fonte: próprio autor

5.1.2.1 Projeto Elétrico

A partir desta etapa será realizada a seleção dos elementos de acionamento, elementos de controle e dos motores que serão utilizados no projeto.

5.1.2.1.1 Seleção do motor e polia

A polia selecionada foi a de 15 dentes, sendo um dos menores diâmetros aplicados nos modelos de câmeras speed dome Intelbras. Essa seleção foi feita com a intenção de acelerar o desgaste, visto que quanto menor o diâmetro da polia maior será a exigência sobre a correia. O tipo de motor foi selecionado visando primeiramente a disponibilidade do componente. Tendo a disposição motores de passo, que são utilizados na própria câmera speed dome, foi a primeira opção a ser cogitada para o projeto. Porém, com a limitação da rotação do motor de passo uma análise preliminar sobre o uso destes motores teve que ser realizada. A preocupação inicial era saber quanto tempo seria necessário para realização do teste tendo visto que o desempenho do motor de passo estava sendo limitado em 300 rot/min em testes

de bancada. Desta forma buscou-se informações e *preset's* de câmeras para estipular quantas rotações uma correia MXL suportava durante os 2,5 anos de vida útil relatados pela assistência técnica. Chegou-se em um valor aproximado de 1,5 milhões de revoluções da correia. Para esse número de revoluções é preciso calcular o número de rotações do motor utilizando a polia de 15 dentes e uma correia de 75 dentes.

$$\text{Rev}(\text{motor}) = \text{Rev}(\text{Correia}) \times \frac{nD}{nd}$$

$$\text{Rev}(\text{motor}) = 1.500.000 \times \frac{75}{15}$$

$$\text{Rev}(\text{motor}) = 7.500.000$$

O número de rotações do motor é 5 vezes maior quando comparado com o número de revoluções de uma correia 75. E para este caso são necessários 7,5 milhões de revoluções no motor para atingir o ponto de falha na correia. O tempo de teste então pode ser facilmente calculado pela equação:

$$T_{\text{Teste}} = \frac{\text{Rev}_{\text{Motor}}}{\text{rot/min}}$$

$$T_{\text{Teste}} = \frac{7.500.000}{300} = 25.000 \text{ min} = 17,4 \text{ Dias}$$

Mesmo resultando em um tempo de duração de ensaio elevado o motor de passo foi escolhido pela possibilidade de controle da velocidade em malha aberta, poupando o uso de sensores para contagem de rotação.

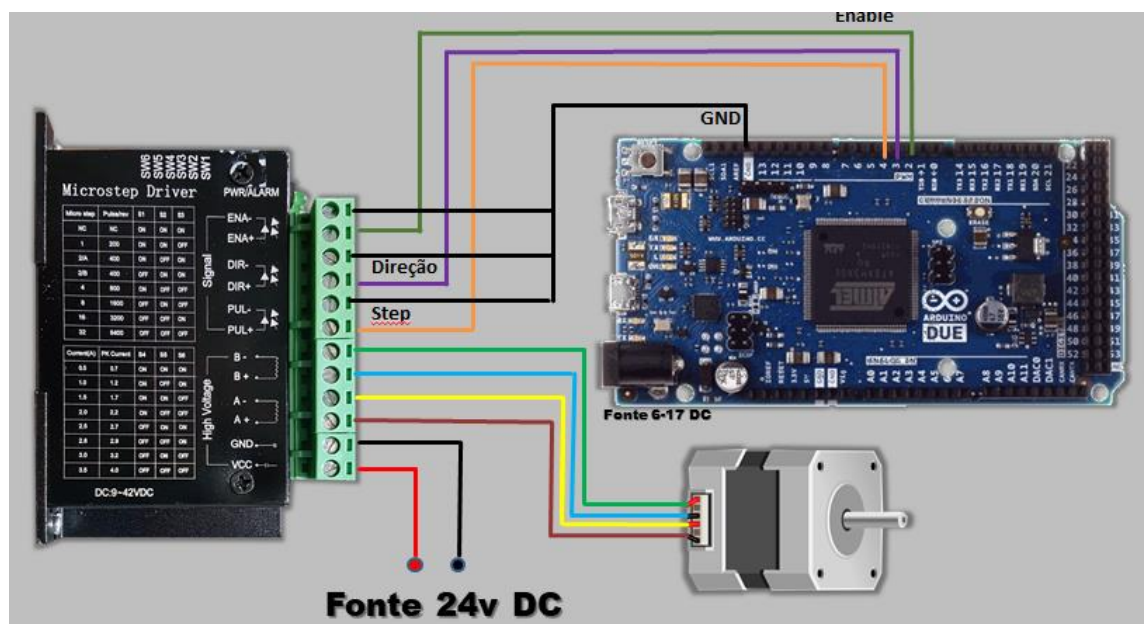
5.1.2.1.2 Seleção do drive de acionamento do motor

Existe uma infinidade de drivers para acionamento de motores no mercado. Como na sessão anterior foi feita a escolha do motor de passo como acionamento das correias, foi descartada a opção do drive de motor DC. O L298 é um circuito integrado

muito utilizado para controle de motores de corrente contínua e também motores de passo com corrente máxima de 2A. Trata-se de uma dupla ponte H, em que é possível fazer o acionamento de dois motores DC ou um motor de passo. É um componente de baixo custo e por ser muito popular possui várias placas a disposição já montadas com bornes para conexão dos cabos, circuito com acopladores ópticos para proteção do controlador e dissipador. É possível encontrar essas placas montadas por valores a partir de R\$15,00.

Os drivers TB6560 e TB6600 são circuitos integrados da fabricante Toshiba e são muito parecidos em seu funcionamento, possuem uma grande variedade placas já montadas com bornes, dissipadores e gabinetes. É possível efetuar configuração de micro passo de até 1/32 e também a corrente de saída entre 0,5A e 4A através dos switches. A conexão é realizada de forma bastante simples com um arduino, são necessárias apenas 4 ligações conforme pode ser verificado na figura a seguir:

Figura 18 - Esquema elétrico do acionamento de motor de passo com TB6600 e arduino mega



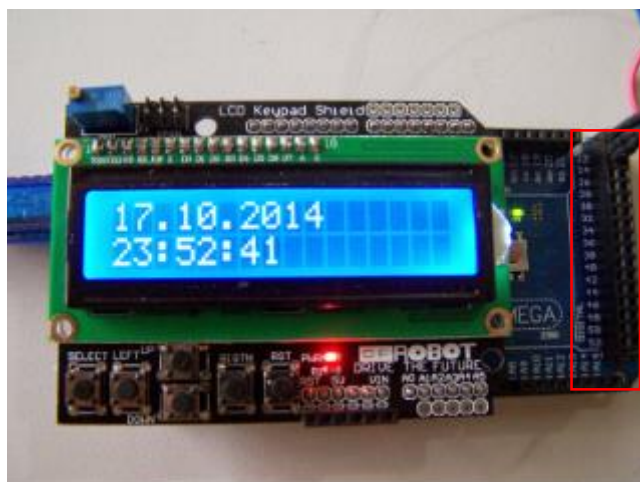
Fonte: K, Fernando. **Motor de Passo Nema 23 com Driver TB6600 e Arduino Due**. 2018.
Disponível em: <<https://www.fernandok.com/2018/01/motor-de-passo-nema-23-com-driver.html>>.
Acesso em: 29 out. 2018.

Por possuir 2 exemplares do driver TB6600 a disposição e por ser um componente confiável e que atende as especificações de projeto optou-se por utilizá-lo.

5.1.2.1.3 Seleção de controladora e interface com o usuário

A seleção da controladora foi realizada em conjunto com a interface com o usuário. Existia a disposição Arduinos Uno, Arduino Mega e uma versão modificada do Arduino Mega com WIFI. Além disso, um shield LCD com botões que são projetados para encaixar perfeitamente sobre qualquer uma destas plataformas estava a disposição. Visando garantir uma interface simples e que estivesse à disposição do projeto, as demais opções de controladora e interface foram descartadas. Optou-se então pelo uso do Shield LCD com teclado associado ao Arduino Mega pois essa montagem permite o uso das portas digitais 22 a 53 que ficam aparente conforme indicado na figura 17. Existe a possibilidade de conectar múltiplos drivers para motor de passo nesta configuração por possuir uma grande quantidade de portas digitais a disposição.

Figura 19 – Montagem do Shield LCD com Keypad e Arduino Mega



Fonte: TESTE com RTC DS1302 Relógio de Tempo Real usando LCD como saída. 2014. Disponível em: <<http://eletrodex.blogspot.com/2014/10/>>. Acesso em: 31 out. 2018.

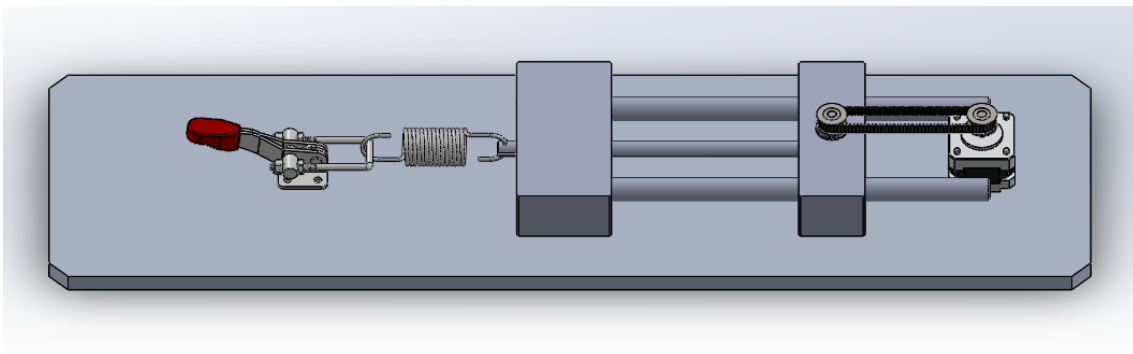
5.1.2.2 Projeto Mecânico

Esta etapa do projeto consiste em propor soluções para a estrutura física do aparato, onde se fará a montagem dos componentes responsáveis pelo tensionamento da correia.

5.1.2.2.1 Primeira concepção

Na primeira concepção foi adotada a ideia de uma mola e um grampo tensor para tracionar a mola. Esses elementos em conjunto iriam movimentar um mancal que corre sobre guias lineares do tipo haste até o limite definido pelo comprimento da correia, na outra ponta da correia um motor de passo realiza a movimentação.

Figura 20 – Primeira concepção mecânica do aparato



Fonte: próprio autor.

A vantagem deste sistema é a simplicidade para montagem de correias de mesmo tamanho e garantia da mesma tensão para as correias montadas em um mesmo setup. Para trocar uma correia por outra do mesmo tamanho basta desarmar o grampo fazer a substituição e armar o grampo novamente. O curso fixo do grampo e a mola atuando em conjunto garantem a mesma tensão em cada montagem. Como desvantagens temos a compra de peças como a mola, grampo e guias que não existia a disposição. O mancal e a estrutura de suporte da guia deverão ser usinados em material metálico para garantir a união entre as peças e seu perfeito alinhamento. Além disso quando se requer o teste de uma correia de tamanho diferente o grampo deverá ser deslocado, sendo assim necessárias outras furações ou que este fosse montado sobre uma guia com travamento de posição.

5.1.2.2.2 Segunda concepção

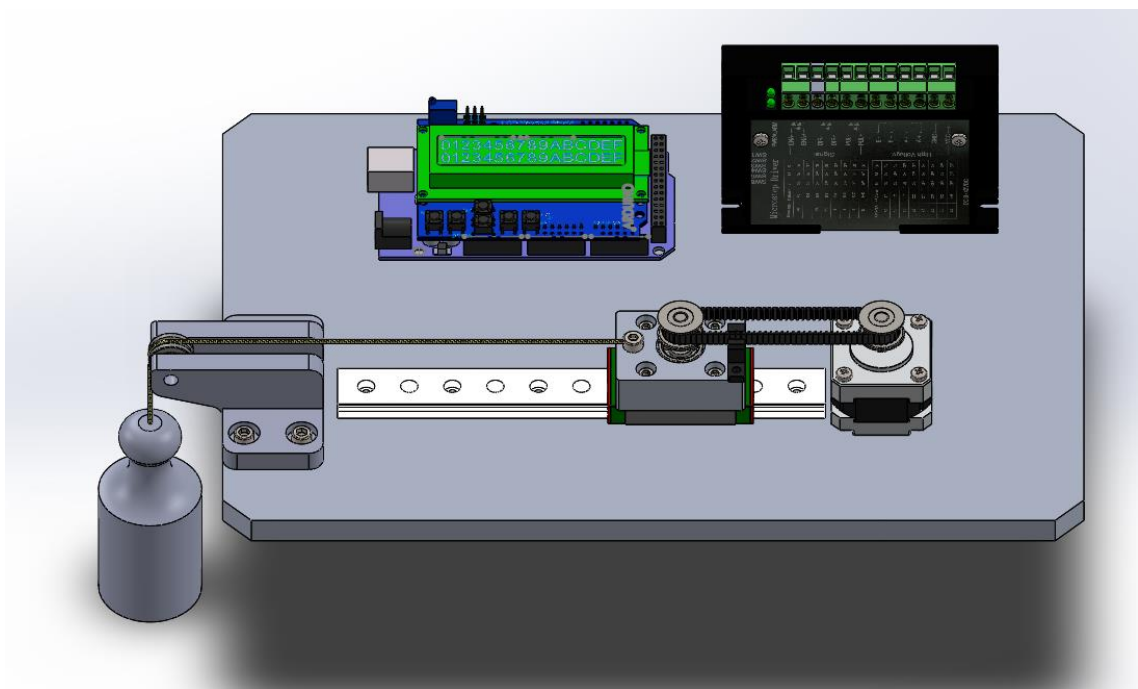
Pensando resolver os problemas encontrados na versão anterior e garantir uma tensão padronizada para cada ensaio criou-se um dispositivo à prova de erros,

seguindo o conceito poka_yoke. Esse conceito surgiu na década de 1960 sendo parte do Sistema Toyota de Produção, sendo idealizado por Shigeo Shingo.

Poka-Yoke também pode ser traduzido como “mecanismo à prova de falhas”, constituindo um recurso que indica ao operador o modo adequado para realizar uma determinada operação, ou seja, um mecanismo de detecção de erros que, integrado numa determinada operação de fabrico, impede a execução errada dessa operação, bloqueando as principais interferências (normalmente decorrentes de erros humanos) na execução da operação. (NOGUEIRA, 2010, p.6)

Neste caso o sistema não permite um tensionamento diferente do que foi adotado em virtude de que isto não é o resultado do esforço de uma mola e sim da tração realizada por um peso de massa conhecida. A força de tração é transmitida por meio de cabo e polia sendo acoplado a um mancal sobre um carro e guia de esferas.

Figura 21 – Segunda concepção do aparato



Fonte: próprio autor.

O acionamento da correia continua sendo realizado por um motor de passo e as polias de passo MLX utilizadas são as de menor diâmetro encontradas nas câmeras Speed Dome com o intuito de prover a falha de maneira mais breve possível. O sistema de controle aparece como uma possível solução de aplicação, sendo este fixado diretamente sobre a base do aparato. Os pesos utilizados serão definidos posteriormente de acordo com o requisito de pré-tensionamento das correias. A

desvantagem desta concepção é o alto custo de guias lineares de esferas e também não ter a disposição este item. Outra desvantagem é que a fixação dos componentes de controle na base comprometeria ensaios combinados em câmara climática, visto que os componentes eletrônicos poderiam não suportar as temperaturas extremas.

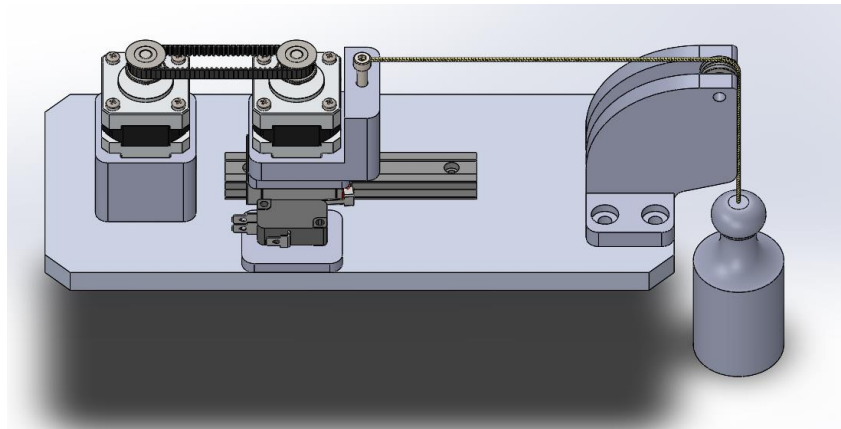
5.1.2.2.3 Terceira concepção

A terceira concepção é uma adaptação da anterior, onde o conceito de tracionar a correia utilizando um peso padrão com corda e polia continua o mesmo. O que muda é a utilização de guias lineares com buchas auto lubrificantes da fabricante Igus em um modelo utilizado nas jigas de teste da Intelbras, e por esse motivo com peças sobressalentes a disposição. Estas guias utilizam trilhos em alumínio anodizado duro e patins com buchas de polímero especial iglidur®. Este tipo de guia é uma solução de baixo custo onde a precisão não é exigida, sendo muito adequado a este uso.

O uso de um segundo motor fazendo o papel de mancal de rolamento foi outra modificação que reduziu o custo do aparato, visto que há motores a disposição. Além disso, estas modificações propiciaram a confecção das demais peças de montagem em impressão 3D, já que para esses componentes não há aplicação de esforço considerável. O suporte da polia que transfere a tração do peso padrão para o patins foi reforçado para suportar uma maior carga. Desta forma será possível a confecção de toda a parte mecânica do aparato na própria empresa, por ter impressoras 3D a disposição e todos os demais componentes.

A Intelbras também conta com uma ferramentaria equipada com fresadoras ferramenteiras e CNC, e desta forma a confecção de peças metálicas, caso necessário, pode ser efetuado internamente. Um sensor tipo chave fim de curso também foi previsto nesta fase do projeto. Este sensor será responsável por encaminhar ao micro controlador a informação de ocorrência do rompimento da correia.

Figura 22 – Terceira concepção do aparato

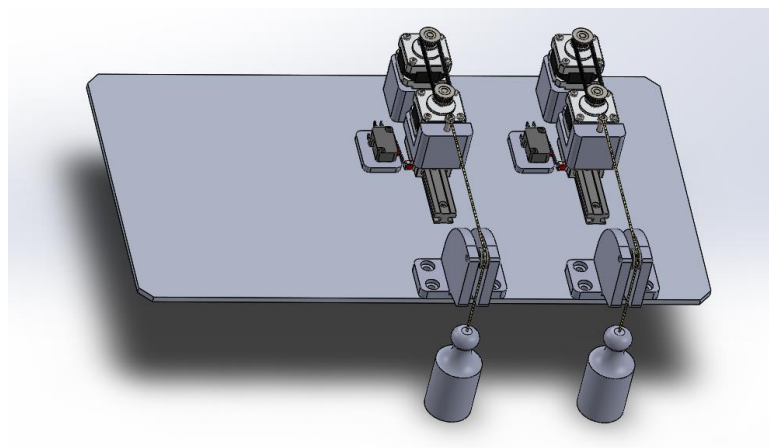


Fonte: próprio autor.

5.1.3 Projeto Preliminar

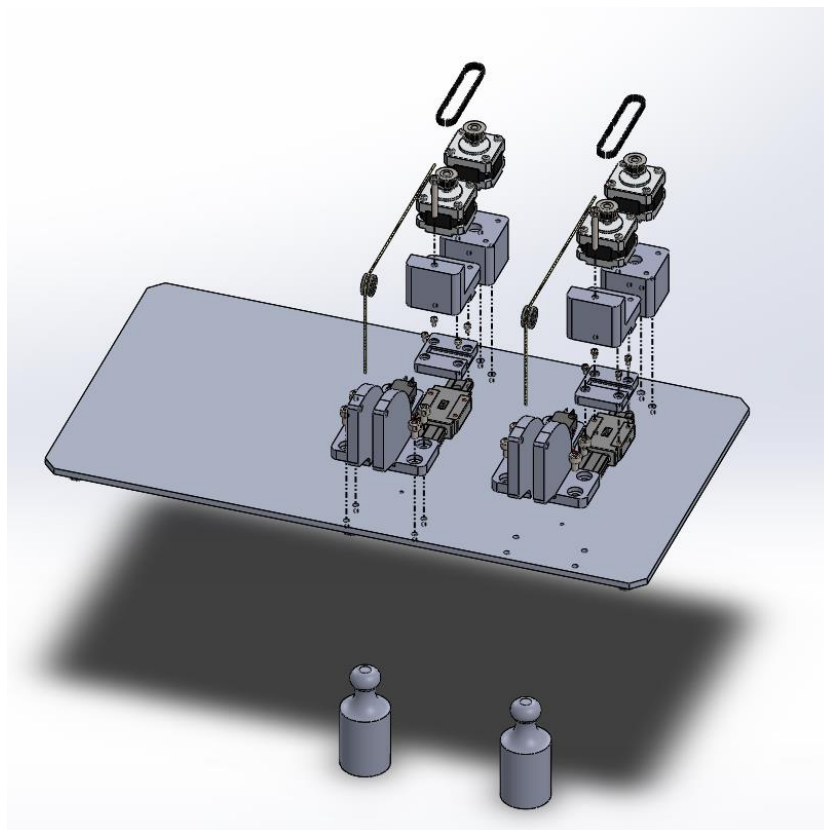
Com a concepção do aparato mecânico definido, partiu-se para a fase do projeto preliminar onde serão definidos os dimensionamentos das peças para a construção. Em paralelo a isso a busca pelos componentes necessários para a montagem do equipamento também era realizada e foi disponibilizada pelo setor de manutenção uma chapa para a confecção da base no tamanho de 450x240mm, isso era mais do que o dobro que o projeto exigia. Então surgiu a necessidade de se ter dois cabeçotes para teste, visto que o teste pode durar dias, semanas ou até meses para promover uma falha nas correias. Como a chapa possuía dimensão suficiente e além disto nos foi cedido duas guias lineares com buchas auto lubrificantes da fabricante Igu, foi feita a inclusão de um cabeçote extra no projeto.

Figura 23 – Modelamento do projeto



Fonte: próprio autor.

Figura 24 – Vista explodida



Fonte: próprio autor.

O espaço lateral ficará como opção para a montagem do sistema elétrico ou eventual implementação de novos cabeçotes de ensaios em futuro *upgrade*.

6 EXECUÇÃO DOS TESTES

Os testes foram realizados de forma gradativa, atacando os possíveis modos de falha que ocorrem durante o processo de fabricação e uso das correias sincronizadoras nas câmeras speed dome. O objetivo dos testes a seguir é simular uma falha semelhante a observada em campo, situação em que a correia aparenta muitas fissuras, regiões esbranquiçadas e quebradiças, deslocamento do elastômero dos elementos de tração e rompimento dos cordonéis.

Figura 25 - Correia danificada após uso em campo



Fonte: próprio autor

Figura 26 - Detalhe da falha encontrada em campo



Fonte: próprio autor

6.1 TESTE CICLAGEM SIMPLES E CICLAGEM EM CÂMARA CLIMÁTICA

Em um primeiro momento as correias foram colocadas para ciclar no aparato de teste utilizando duas polias 15 MXL 025 de 15 dentes e diâmetro primitivo de 9,7mm. Esse diâmetro está entre os menores aplicáveis a estes tipos de correias e é o mesmo utilizado nas câmeras speed dome Intelbras. A diferença está no fato que na montagem estrutural da câmera existe apenas uma polia de 15 dentes no motor e outra de 96 dentes e diâmetro primitivo muito maior. Sabendo que a polia menor requer muito mais esforço das correias e que o aparato de ensaio contém duas polias com menor diâmetro, optou-se por iniciar os testes sujeitando duas correias novas, sendo uma da fabricante Continental e a outra da fabricante TWbelt, ao uso no equipamento. Foi utilizado também um peso padrão como elemento de tração com massa de 5kg. Isso gerou nas correias MLX uma tensão acima do praticado em projeto pois é intuito acelerar o processo de desgaste e atingir a falha em um tempo reduzido. Foram fotografadas as correias antes e depois com o auxílio de um microscópio utilizando um aumento de 20X para realizar uma análise mais detalhada dos efeitos do teste.

Figura 27 – Correia Continental e TWbelt



Fonte: próprio autor.

Figura 28 – Dorso correia Continental antes do teste (Aumento 20X)



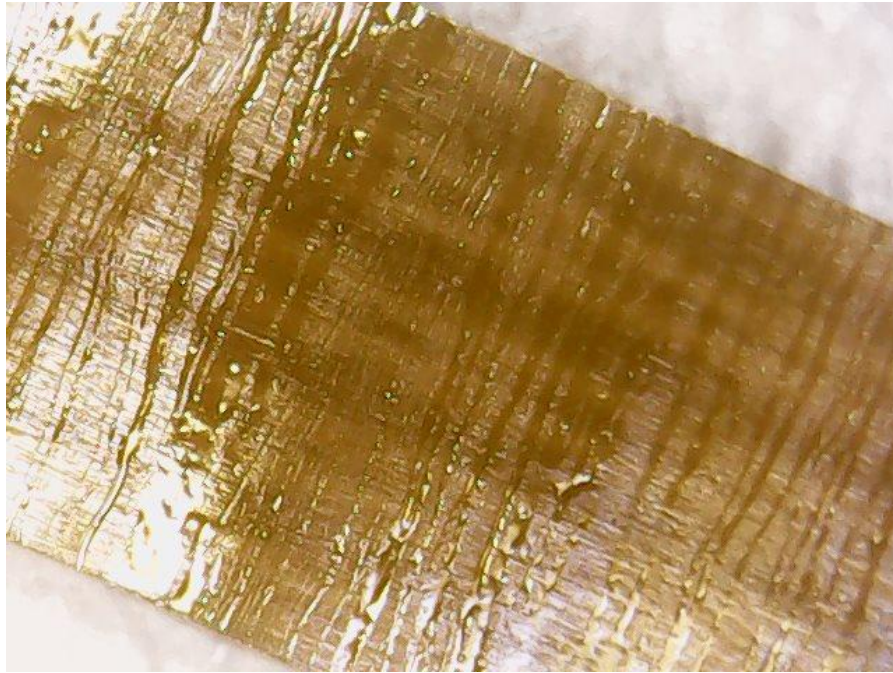
Fonte: próprio autor.

Figura 29 - Dentes correia Continental antes do teste (Zoom 20X)



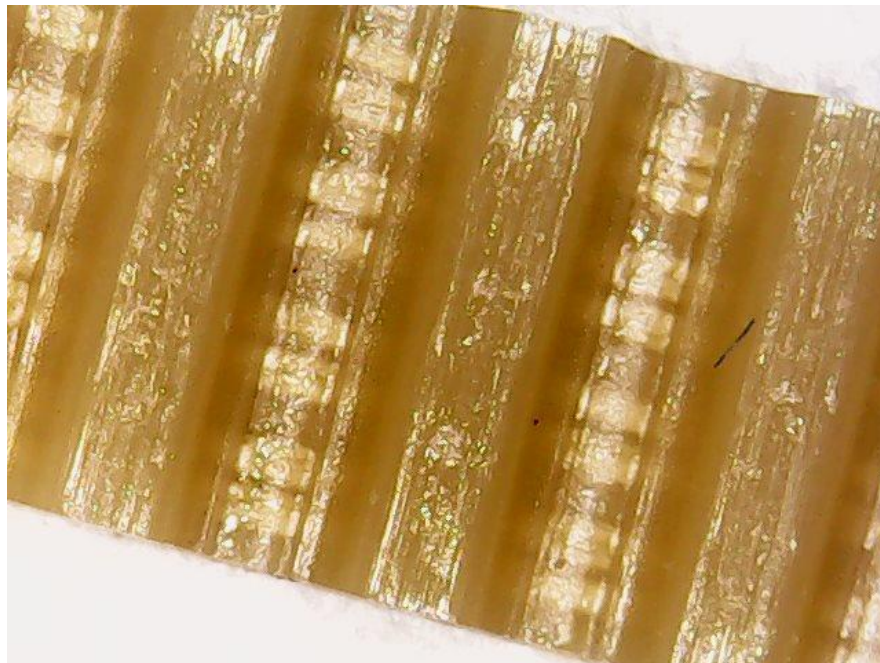
Fonte: próprio autor.

Figura 30 - Dorso correia TWbelt antes do teste (Aumento 20X)



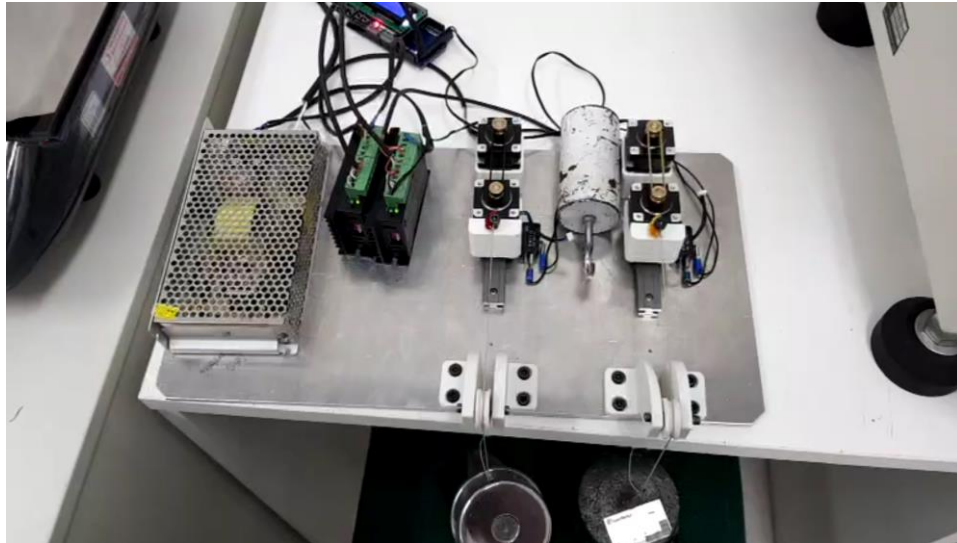
Fonte: próprio autor.

Figura 31 - Dentes correia TWbelt antes do teste (Zoom 20X)



Fonte: próprio autor.

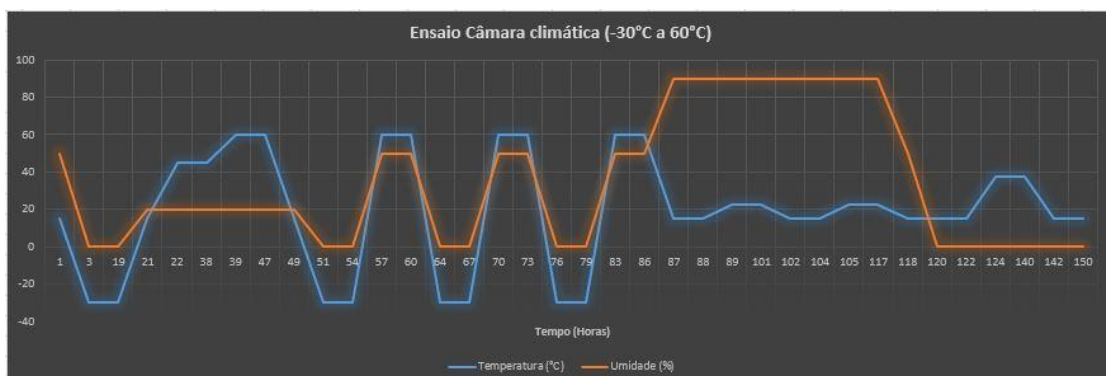
Figura 32 – Teste em conjunto das correias no aparato desenvolvido



Fonte: próprio autor.

As correias foram submetidas a este cenário durante 14 dias, o equivalente a 1,3 milhões de ciclos. O teste foi interrompido pois não foi observado indício de desgaste que pudesse comprometer a resistência da correia. Após a análise das correias o teste continuou, porém desta vez o equipamento foi montado dentro de uma câmara climática onde o ciclo programado possuía uma variação de temperatura de -30°C a 60°C e uma variação de umidade entre 0% e 90% conforme Figura 29. A câmara climática é um dos equipamentos que a Intelbras possui a disposição em seu laboratório de ensaios mecânicos e hoje é utilizada para estudos de comportamento de sistemas eletrônicos e validação de projetos quando submetidos a temperaturas extremas durante o uso. Os equipamentos são colocados em operação no interior da câmara e são monitorados durante o período de 7 dias.

Figura 33 - Gráfico da temperatura e da umidade em teste na câmara climática



Fonte: próprio autor.

Figura 34 – Realização do ensaio no interior da câmara climática



Fonte: próprio autor.

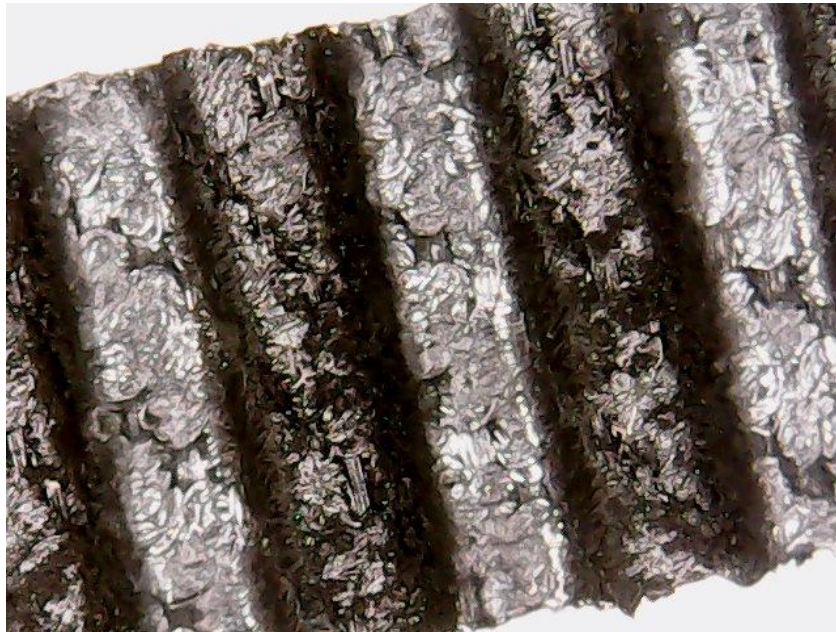
O teste também foi um desafio para o aparato, pois existia a preocupação de que o suporte da polia ou até mesmo o suporte do motor não fosse resistir a variação de temperatura por ter sido produzido em impressora 3D. Mas nos 7 dias em que o teste ocorreu na câmara climática nenhuma anomalia foi verificada e tanto o aparato quanto as correias garantiram um bom resultado. Após os testes, as correias novamente foram fotografadas com o auxílio de um microscópio, verificando que a correia preta (Continental) apresentou apenas um pequeno desgaste na lateral que deixou exposto o cordonel e a correia amarela algumas marcas pretas na raiz do dente, proveniente de algum pequeno desgaste da polia ou contaminação, porém nada que pudesse comprometer o seu funcionamento.

Figura 35 - Dorso correia Continental após teste de ciclagem simples e câmara climática (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

Figura 36 - Dentes correia Continental após teste de ciclagem simples e câmara climática (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

Figura 37 - Cordões de tração expostos pelo desgaste após o teste (Aumento 20X)



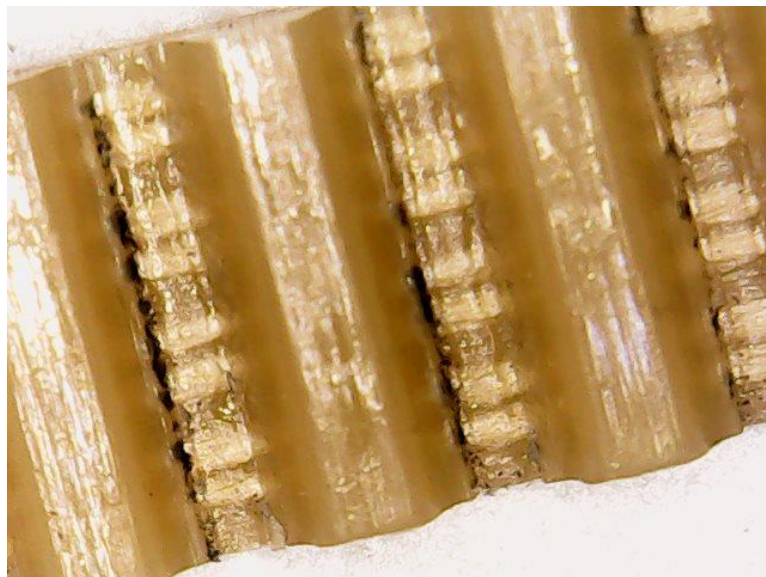
Fonte: próprio autor.

Figura 38 – Alteração insignificante no dorso da correia TWbelt após o teste (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

Figura 39 - Presença de resíduos na raiz do dente causado pelo desgaste (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

6.2 EXPOSIÇÃO A ALTAS TEMPERATURAS SEGUIDO DE TESTE DE CICLAGEM COM CORREIAS

Nesse estudo as correias foram expostas a uma temperatura entre 130°C e 150°C durante 72 horas em uma estufa. Como no teste anterior as correias foram submetidas a temperaturas abaixo de sua especificação, desta vez foi preciso garantir que em temperaturas elevadas as correias também teriam um desempenho aceitável.

A estufa apresentada na figura 35 é patrimônio do IFSC e atualmente é utilizada no laboratório de modelagem do curso Superior de Tecnologia em Design de Produto.

Figura 40 - Estufa utilizada para expor as correias a altas temperaturas



Fonte: próprio autor.

Algumas características das correias foram afetadas após sujeitá-las a temperatura elevada. A correia preta Continental tornou-se mais rígida, aparentando se tornar quebradiça como uma borracha ressecada e a correia amarela TWbelt ficou mais escura, porém isso não a deixou rígida.

Figura 41 - Alteração de tonalidade após exposição a temperaturas altas

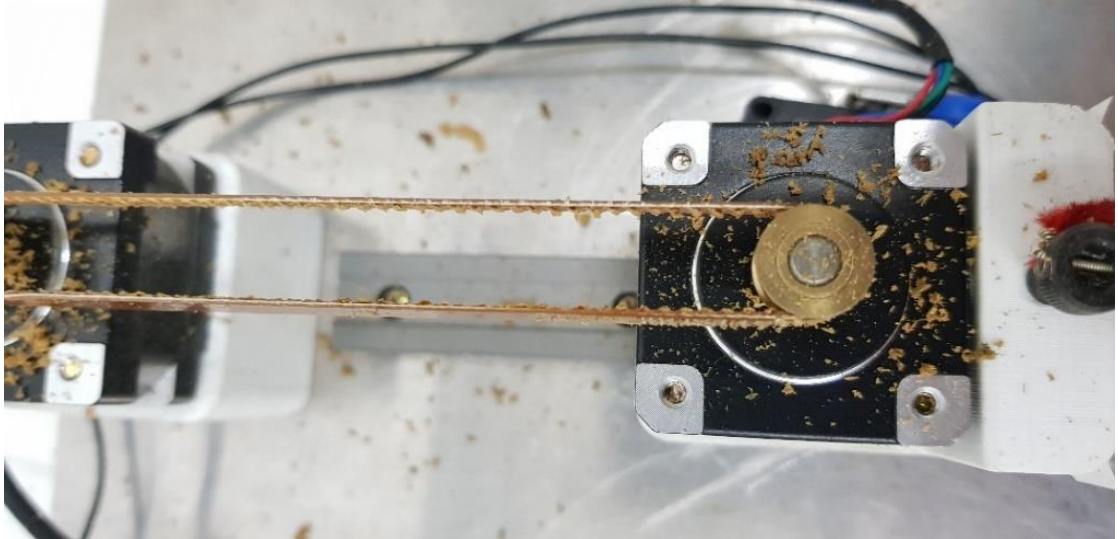


Fonte: próprio autor.

Após esse processo as correias foram colocadas a prova no aparato para ciclagem utilizando uma carga de tração de 5 Kg em cada uma. Com 300.000 ciclos a correia amarela apresentou um desgaste significativo nos dentes, porém não

ocorreu o rompimento da correia. Como o aparato foi desenvolvido para detectar a falha apenas no rompimento da correia o teste teve que ser interrompido manualmente e foram realizados registros com fotos sobre o evento.

Figura 42 - Desgaste no dente da correia após o teste no aparato



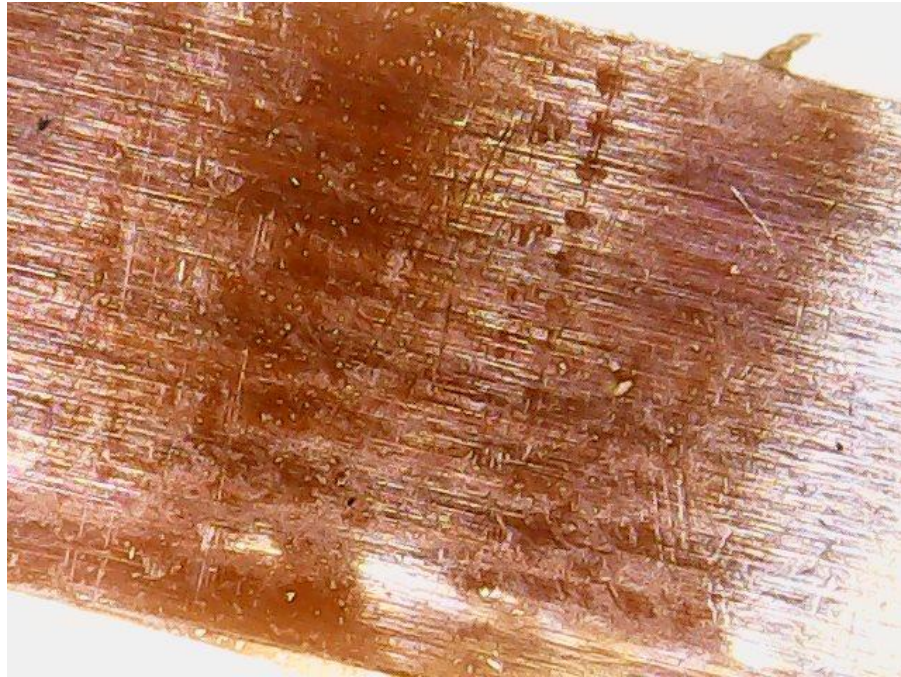
Fonte: próprio autor.

Figura 43 - Dentes totalmente danificados após teste no aparato (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

Figura 44 - Dorso da correia danificada (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

Apesar de não ocorrer o rompimento da correia, esse evento foi considerado uma falha pois em uso normal isso poderia causar o escorregamento sobre a polia o que comprometeria o funcionamento do equipamento. Essa falha surpreendeu, pois a expectativa era que, pela correia preta ter enrijecido, esta apresentaria falha antes da correia amarela. O teste com a correia Continental foi estendendo, porém utilizando como carga de tração peso padrão com 10 kg.

Totalizando 800.000 ciclos, sendo 300.000 com tensão de 5kg e mais 500.000 com tensão de 10kg a correia não aparentou nenhum desgaste além de uma pequena quantidade de resíduo que ficou sobre o equipamento. Então o teste foi interrompido manualmente, e foram coletadas as fotos para registro.

Figura 45 - Evidência de desgaste da correia em teste no equipamento



Fonte: próprio autor.

Figura 46 - Dorso da correia Continental pouco alterada (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

Figura 47 - Dente correia Continental sem danos (Aumento 20X)



Fonte: próprio autor.

6.3 EXPOSIÇÃO A RAIOS UV E VINCO

Duas correias foram expostas a radiação ultravioleta durante 312 horas e temperatura oscilando entre 50°C e 60°C. Este procedimento foi executado em uma câmara de exposição UV que pertence ao laboratório de ensaios mecânicos da Intelbras. O equipamento é utilizado para validação de produtos com gabinetes injetados, onde é exigida resistência a alteração de tonalidade dos produtos.

Admitindo que dificilmente ocorrerá a ação de raios ultravioletas em correias em aplicação nas câmeras de segurança speed dome, as borrachas de modo em geral sofrem com a ação dos raios ultravioletas. É comum verificar borrachas ressecadas e de coloração esbranquiçada em automóveis e motocicletas. Por esse motivo optou-se por realizar este teste, pois um comparativo sobre a resistência de cada correia nesse aspecto é relevante para levantar a qualidade atribuída a cada uma delas.

Após submeter as correias aos raios UV, foi perceptível novamente a alteração da tonalidade na correia amarela, não de forma tão acentuada quanto no caso da estufa a 150°C, mas facilmente verificada quando comparada com uma correia nova. Além de expor as correias a raios ultravioletas, simultaneamente foi atacado outro modo de falha, vincando cada uma destas correias, em ambos os lados

todos os dentes, de modo que um suposto acondicionamento inadequado no transporte e manuseio destes elementos fosse representado.

Figura 48 – Realização de vincos nos dentes das correias



Fonte: próprio autor.

Desta vez os testes, realizados com o aparato desenvolvido, iniciaram com 10kg de tração em cada correia com o intuito de acelerar a falha. Nesta situação ambas as correias obtiveram bons resultados e nenhum indício de desgaste que pudesse comprometer a sua resistência foi notado. Fotos para registro de ambas as correias foram coletadas.

Figura 49 - Faces da correia Continental sem indícios de desgaste após teste com correias viciadas



Fonte: próprio autor.

Figura 50 - Faces da correia TWBELT após o teste com correia vincada



Fonte: próprio autor.

7 CONCLUSÕES

O objetivo específico de desenvolver um equipamento para testes de correias do tipo MXL, usados nas câmeras Speed Dome foi plenamente atingido: o equipamento desenvolvido reproduz os esforços a que a correia fica sujeita durante a sua vida útil, controla o número de rotações até a falha e pôde inclusive ser colocado em câmara de simulação de *stress* climático.

O objetivo de comparar a durabilidade de correias de diferentes fabricantes não foi alcançado do modo que se esperava, pois, as amostras de correias coletadas no estoque da Intelbras suportaram um esforço muito superior àquele a que ficariam sujeitas em 2,5 anos de uso nas câmeras Speed Dome, sem apresentar sinais de deterioração (mesmo após exposição a *stress* climático, superaquecimento e radiação ultra-violeta). Este fato observado sugere que as correias que falharam no uso pelos clientes têm qualidade inferior à das atualmente disponíveis no estoque da Intelbras.

A presente pesquisa iniciou-se supondo que as correias nas quais foram verificadas as falhas eram fabricadas com os mesmos materiais das correias Conti Synchrobel (pretas) utilizadas hoje. Após realizar as análises por imagens com aumento de 20X foi observada uma diferença na aparência da superfície da borracha. Mesmo após submetidas a estresse climático, temperaturas acima do especificado pelo fabricante, exposição a raios ultravioletas e a uma quantidade de ciclos correspondente a 2.5 anos de uso as correias Conti Synchrobel apresentam a superfície mais fibrosa comparada com a da correia que sofreu a falha (que é mais lisa e brilhante, mencionando a parte o fato de apresentar fissuração generalizada).

As conclusões acima serão utilizadas como subsidio no questionamento ao fornecedor a respeito da qualidade do tipo de correia que era empregado há 3 anos nas câmeras que vieram a sofrer falhas.

7.1 Recomendações

O que se sugere fazer imediatamente é, a partir do conjunto de resultados do presente trabalho, questionar o fornecedor do equipamento OEM instalado na Speed Dome, quanto à qualidade das correias com que eles foram fornecidos ao longo dos últimos 3 ou 4 anos.

Além disso seria recomendável:

- Realizar mais alguns testes, com correias fabricadas de materiais diferentes das daquelas já testadas e/ou submetendo as correias a ataque químico, por exemplo, com solventes;
- Havendo necessidade de aprofundar a pesquisa sobre os materiais utilizados na correia, estabelecer parceria com laboratórios especializados de Engenharia de Materiais;
- Havendo necessidade de acelerar os testes de correias, adaptar o equipamento desenvolvido para trabalhar com motores capazes de girar a rotações mais elevadas.

Referências

BACK, Nelson et al. **Projeto Intregado de Produtos**: Planejamento, Concepção e Modelagem. 1ª. ed. Barueri, SP: Manole, 2008.

Berto, Maurício. Avaliação de Fornecedores: Um Modelo para Inovação e Melhoria Contínua no Setor Metal-Mecânico. Dissertação de Mestrado. UFSC, Florianópolis, 2003

BUDYNAS, Richard G; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica**. 8. ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2011. 1084 p

BORMAX Correias e Mangueiras Industriais. **Correias Sincronizadoras**. Disponível em: <<https://www.correiasindustriais.com.br/correias-sincronizadoras>>. Acesso em: 28 set. 2018.

CORREIA dentada. 2018. Disponível em: <<http://www.twbelt.com.tw/webe/html/products/show.aspx?id=47&kid=40>>. Acesso em: 05 out. 2018.

LIBRELOTTO, Lisiane Ilha; FERROLI, Paulo César Machado. **Fibras de Aramida**. 2018. Disponível em: <<http://portalvirtuhab.paginas.ufsc.br/fibras-de-aramida/>>. Acesso em: 05 out. 2018.

GARBIM, Valdemir José. **Policloropreno**: Características, Compostos e Aplicações. 2018. Disponível em: <[http://\(https://pt.slideshare.net/Borrachas/borracha-policloropreno\)](http://(https://pt.slideshare.net/Borrachas/borracha-policloropreno))>. Acesso em: 28 set. 2018.

GATES MECTROL, INC. Belt Sizing Guide. 2006. Disponível em: <http://www.gatesmectrol.com/mectrol/downloads/download_common.cfm?file=BeltSizingGuide.pdf&folder=brochure>. Acesso em: 28 set. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19347**: Synchronous belt drives – Imperial pitch trapezoidal profile system – Belts and pulleys. Switzerland, 2015.

JUNIOR, Joaquim Martins. **Como escrever trabalhos de conclusão de curso**, Instruções para planejar e montar , desenvolver, redigir e apresentar trabalhos monográficos e artigos. 2 ed. – Petrópolis, RJ : Vozes, 2008.

MITSUBOSHI. Belt type: Timing Belt. 2018. Disponível em: <https://www.mitsuboshi.co.jp/english/tension_calc_tool/tg-belt.html>. Acesso em: 28 set. 2018.

NOGUEIRA, Lúcio José Martins. **Melhoria da Qualidade através de Sistemas Poka-Yoke**. 2010. 51 f. Tese (Melhoria da Qualidade através de Sistemas Poka-Yoke. Engenharia Metalúrgica e de Materiais)- FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO INAPAL PLÁSTICOS S.A., Portugal, 2010.

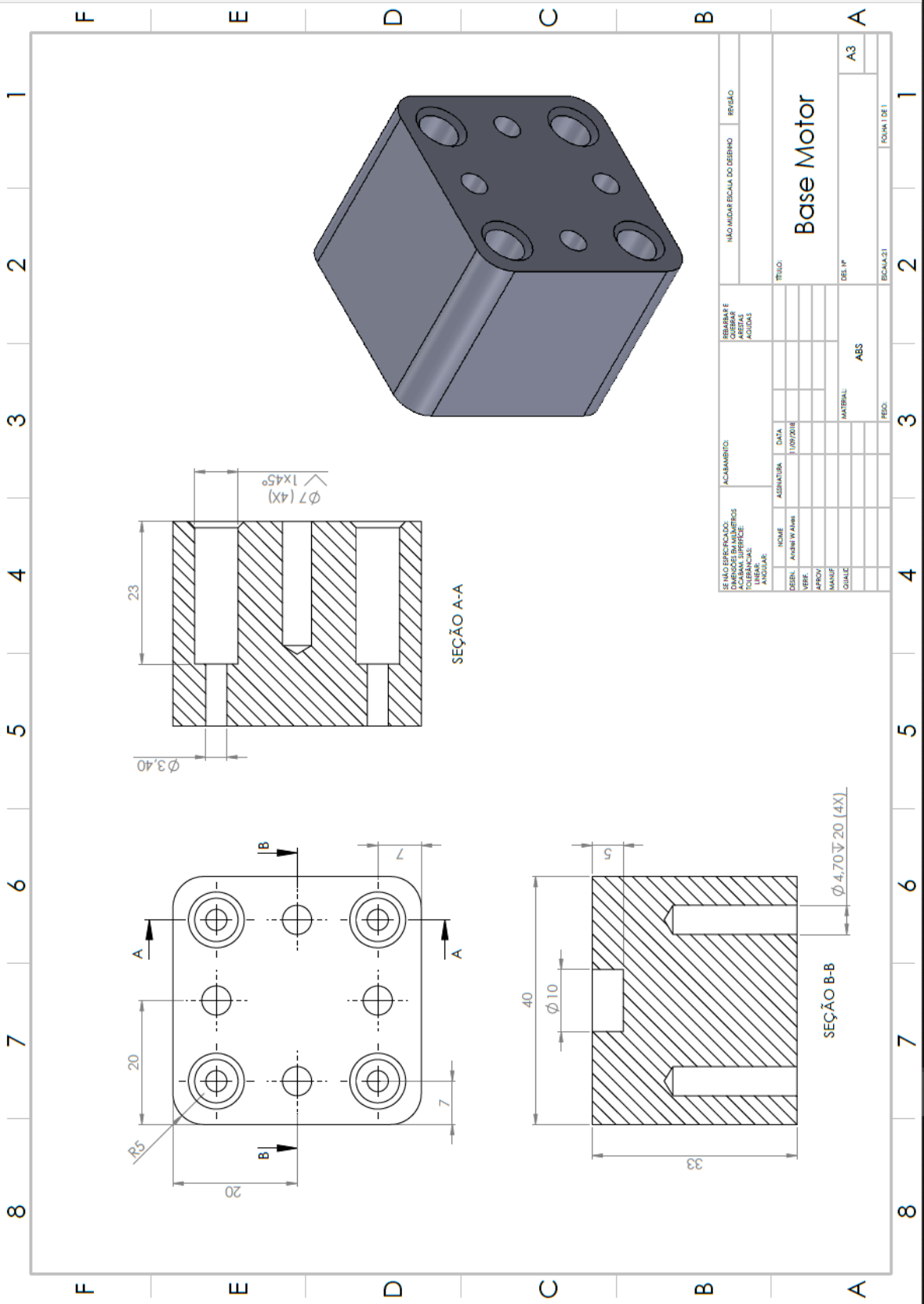
PERNEDER Raimund; OSBORNE, Ian. **Handbook Timing Belts: Principles, Calculations, Applications**. Germany: Springer, 2012.

TIMING belts for the lower and medium power range. 2018. Disponível em: <<https://www.contitech.de/en-GL/Solutions/Power-Transmission/Mechanical-engineering/Drive-Belts/Timing-belts/Products/Product-range/CONTI-SYNCHROBELT>>. Acesso em: 28 set. 2018.

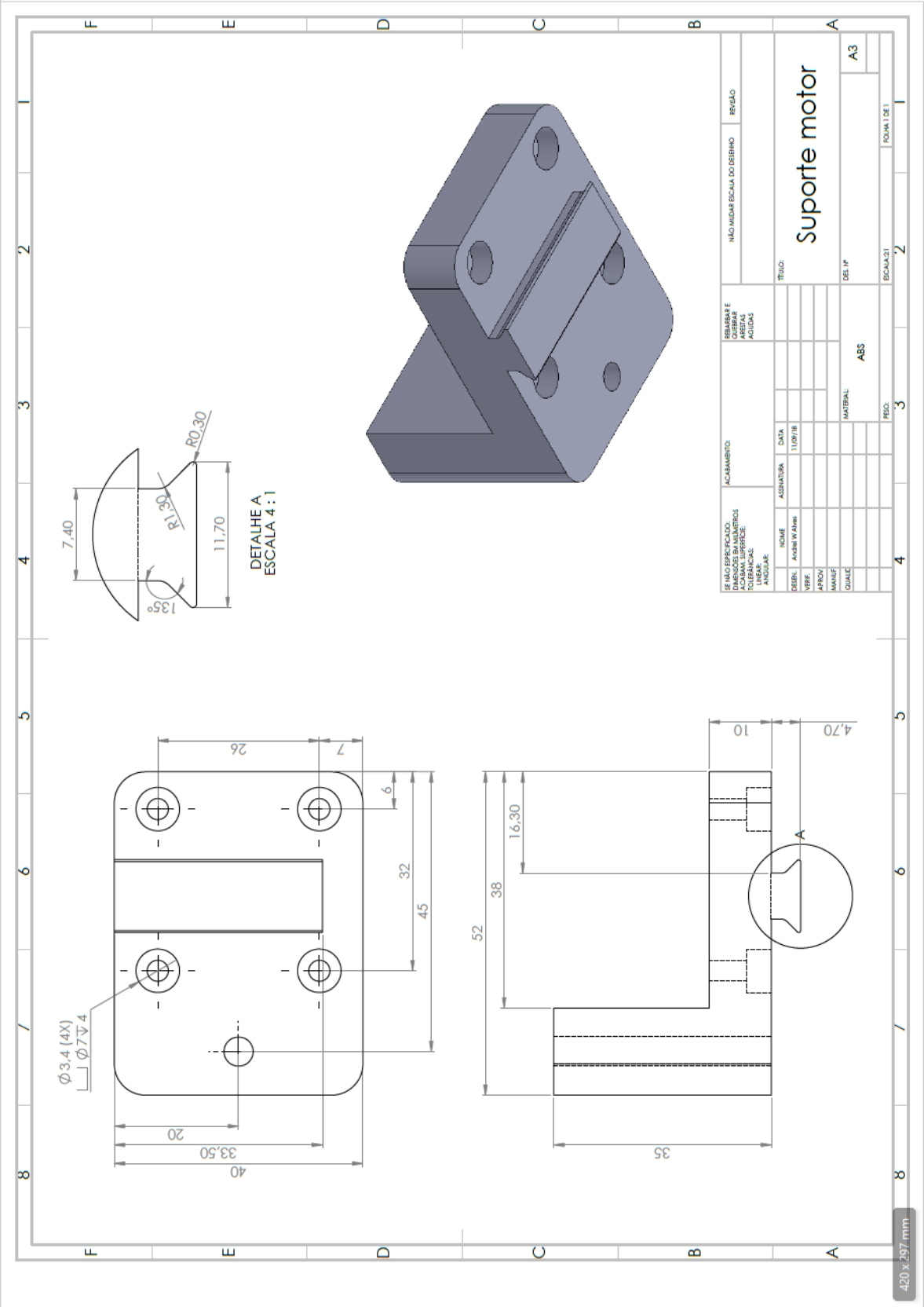
TONATTO, Maikson L. P.; FORTE, Maria M. C.;AMICO, Sandro C. Compressive-tensile fatigue behavior of cords/rubber composites. **Polymer Testing**, Elsevier, v. 61, p. 185-190, agosto 2017.

ZWICKY, F. **Morphological Astronomy**. The Observatory, v. 68, (845), Aug. 1948, S. 121-143

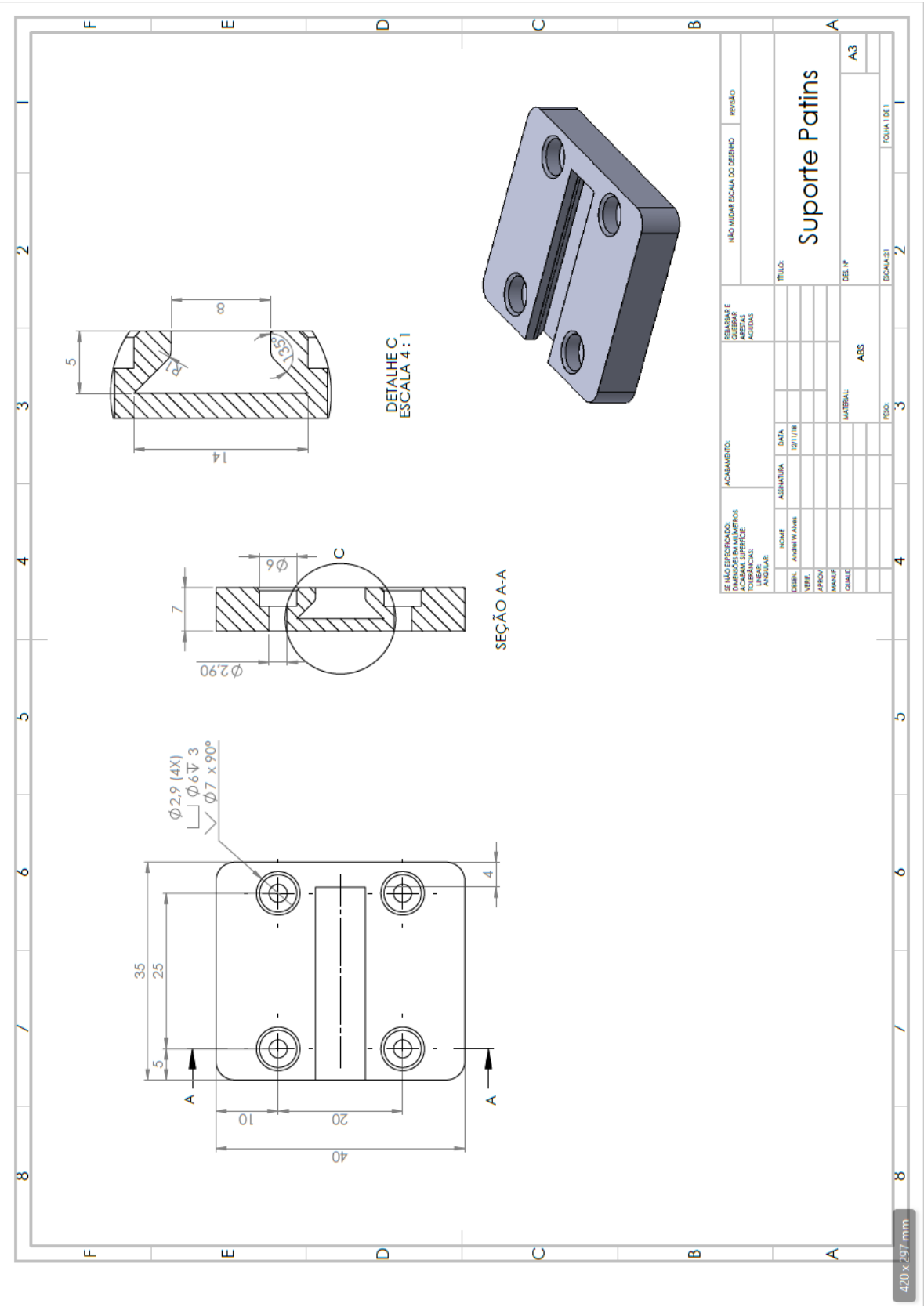
APÊNDICE B – DETALHAMENTO DA BASE DO MOTOR



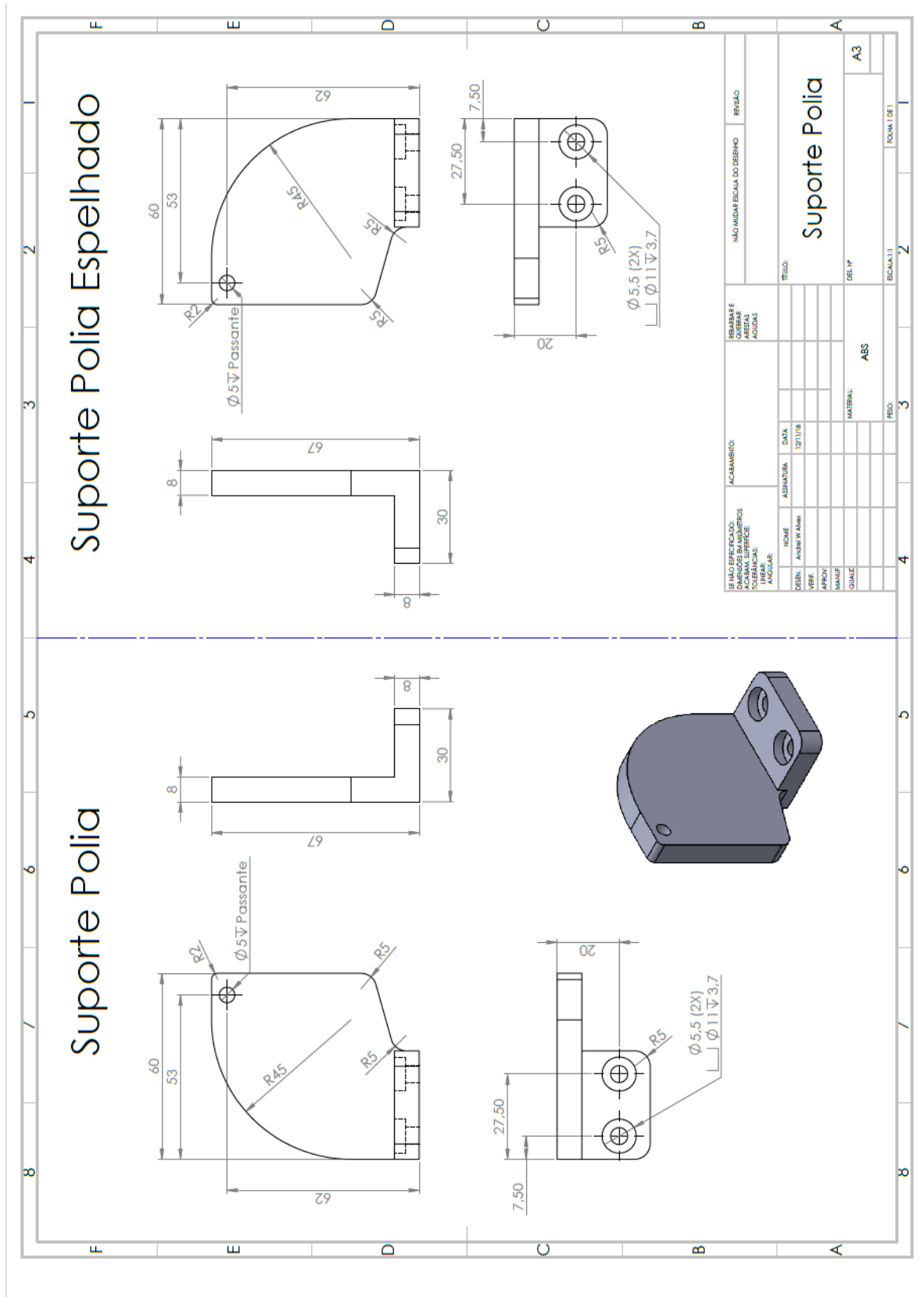
APÊNDICE C – DETALHAMENTO SUPORTE DO MOTOR



APÊNDICE D – DETALHAMENTO SUPORTE PATINS



APÊNDICE E – DETALHAMENTO SUPORTE DA POLIA



ANEXO A – APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

“A Indústria de Telecomunicação Eletrônica Brasileira, Intelbras S.A., foi fundada no dia 22 de março de 1976, no estado de Santa Catarina, por Diomício de Freitas, tornando-se a primeira empresa 100% nacional a atuar no mercado de telecomunicações. Presidida atualmente pelo Sr. Altair Angelo Silvestri, a Intelbras S.A. é fabricante de produtos e soluções nas áreas de telecomunicação, segurança eletrônica e redes.

No Brasil, mais de 80 mil pontos de venda de varejo e revendedores corporativos têm a marca Intelbras nas suas prateleiras. Além disso, a Intelbras exporta para 20 países da América Latina e da África, onde conta com estrutura de apoio comercial, trade marketing e pós-venda. É detentora de um dos maiores centros de pesquisa e desenvolvimento privados da América Latina e uma das maiores redes de assistência técnica no mercado brasileiro. Em 2013, acrescentou as empresas Automatiza e Engesul ao grupo Intelbras.

Atualmente, a Intelbras conta com quatro unidades fabris: Matriz, Filial São José SC (parque fabril II), além das Filiais em Minas Gerais e no Amazonas. É dividida em unidades de negócio, sendo as principais: segurança eletrônica, redes e telecom. A empresa possui importantes certificações, como a ISO 14001 na matriz, que assegura a realização do controle operacional sobre seus aspectos e impactos ambientais e o certificado ISO 9001 também na matriz, no parque fabril II, Manaus e filial MG.

Com mais de 3000 colaboradores, a Intelbras se destaca como uma das melhores empresas para se trabalhar no Brasil, conforme pesquisas das revistas Época, Exame e Você S/A.”

Retirado e editado de: <http://www.intelbras.com.br/>