



Desenvolvimento de sistemas de monitorização de montagem de componentes na indústria automóvel

LUCAS DE SOUSA GONÇALVES

julho de 2022

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO DE MONTAGEM DE COMPONENTES NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Lucas de Sousa Gonçalves

1170986

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE MONITORIZAÇÃO DE MONTAGEM DE COMPONENTES NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Lucas de Sousa Gonçalves

1170986

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 Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho.

2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Hernâni Miguel Reis Lopes

Professor Coordenador, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, ISEP

Arguente

José Luís Soares Esteves

Professor Auxiliar, FEUP

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Albino Gonçalves e Rosa Sousa, pelo apoio e compreensão transmitida durante todo o meu percurso académico.

À família pelo importantíssimo apoio moral e aos colegas de curso que me foram ajudando ao longo destes cinco anos, um obrigado. Um agradecimento especial ao engenheiro Francisco Rocha e à sociedade “DT” pelas memórias incríveis ao longo dos anos.

Por fim gostaria de agradecer aos meus orientadores Doutor Raul Campilho pelo precioso apoio e pela sua disponibilidade e ao engenheiro Artur Barros pela sua atenção e compreensão durante o meu estágio na Simoldes. Aos departamentos de engenharia de processos da fábrica e central pela boa receção e pelas dicas no que considero ter sido a minha primeira experiência profissional.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria Automóvel, monitorização, garantia de qualidade, digitalização 3D, sensor de forças.

RESUMO

A Indústria Automóvel está em constante evolução em parte graças ao seu nível alto de produção e às exigências dos clientes relativamente a garantias de qualidade. Surgem constantemente novas técnicas, equipamentos e produtos. Todos estes necessitam de ferramentas de monitorização e formas de garantia de qualidade adequadas. Cabe à engenharia procurar formas económicas e eficazes de garantir a qualidade dos produtos numa indústria onde a qualidade é considerada dos seus pilares. Assim, delimita-se o trabalho de uma forma geral: assegurar a qualidade estipulada dos produtos durante a produção enquanto se tira o máximo partido dos fatores tecnológicos proporcionados pelos equipamentos utilizados. O trabalho presente trata de pesquisar e aplicar dois equipamentos diferentes (um sensor de forças e um digitalizador 3D) em tarefas de monitorização de produtos. Efetuaram-se estudos pilotos para aferir as capacidades reais dos equipamentos e determinar problemas que pudessem surgir ao escalar o processo para uma produção real de painéis de porta de automóveis. A implementação e os resultados finais estão também descritos neste trabalho que representa não só alguns dos conhecimentos adquiridos do autor durante a vida académica, mas também um estudo real de avanço tecnológico na indústria.

KEYWORDS

Automotive Industry, monitoring, quality assurance, 3D scanning, force sensor.

ABSTRACT

The Automotive Industry is in constant evolution thanks in part to its high level of production and customer demands for quality assurance. New processes, equipment and products are constantly emerging from within it. Said processes and equipment need adequate monitoring tools and forms of quality assurance. It's up to engineering to look for economically viable and efficient ways of guaranteeing the quality of products in an industry where quality itself is considered one of its pillars. Thus, the work is defined in a general way: ensuring the stipulated quality of the products during production while taking full advantage of the technological factors provided by the equipment used. The present work then deals with researching and applying two different pieces of equipment (a force sensor and a 3D scanner) in product monitoring tasks. Pilot studies were carried out to assess the real capabilities of the equipment and determine problems that could arise when scaling the process for a real production of car door panels. The implementation and final results are also described in this work, which represents not only some of the knowledge acquired by the author during his academic life, but also a real study of technological advances in the industry.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

| | |
|------|-------------------------------------------------------|
| ABS | Acrilonitrila butadieno estireno |
| AFIA | Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel |
| AVG | <i>Automatic Guided Vehicle</i> |
| CAD | <i>Computer aided design</i> |
| CN | Carga Nominal |
| CNC | <i>Computer Numerical Control</i> |
| DAQ | <i>Data Aquisition System</i> |
| DC | <i>Direct Current</i> |
| FDM | <i>Modelagem por deposição fundida</i> |
| FMS | <i>Flexible Manufacturing System</i> |
| HMI | <i>Human-Machine Interface</i> |
| IA | Indústria Automóvel |
| IATF | <i>International Automotive Task Force</i> |
| IDE | <i>Integrated Development Enviroment</i> |
| ISEP | Instituto Superior de Engenharia do Porto |
| ISO | <i>International Organization for Standardization</i> |
| JIT | <i>Just in Time</i> |
| NDA | <i>Non-Disclosure Agreement</i> |
| OEM | <i>Original Equipment Manufacturer</i> |

| | |
|-------|------------------------------------------------|
| PC | Policarbonato |
| PETG | Polietileno tereftalato glicol |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PLC | <i>Programmable Logic Controller</i> |
| PP | Polipropileno |
| PPAP | Processo de Aprovação de Peças de Produção |
| PVC | Cloreto de Polivinil |
| SCADA | <i>Supervisory Control and Data Aquisition</i> |
| SP | Simoldes Plásticos |
| TPS | <i>Toyota Production System</i> |

Lista de Unidades

| | |
|-----|--------------|
| ° | Graus |
| kg | Quilograma |
| m | Metro |
| mm | Milímetros |
| ms | Milissegundo |
| N | Newton |
| N.m | Newton metro |
| Pa | Pascal |

Lista de Símbolos

1σ Desvio Padrão

D Diâmetro

F Força

F_x Força no eixo x

F_y Força no eixo y

F_z Força no eixo z

t Tempo

T_x Momento torsional em x

T_y Momento torsional em y

T_z Momento torsional em z

GLOSSÁRIO DE TERMOS

| | |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Cruise control</i> | Sistema que mantém a velocidade de condução de um veículo |
| <i>Design</i> | Desenho; projeto |
| <i>Fillet</i> | Arredondamento de um canto interno ou externo de um projeto de peça. |
| <i>Hardware</i> | Material físico de um computador, por oposição a <i>software</i> |
| <i>Infill</i> | Enchimento de uma peça |
| <i>Karakuri</i> | Fantoches ou autómatos mecanizados de origem japonesa |
| <i>Layout</i> | Plano; traçado; desenho |
| <i>Low-cost</i> | Baixo custo |
| <i>Ortotrópico</i> | Qualidade de material cujas propriedades mecânicas são únicas e dependem das direções em que são observadas. |
| <i>Outsourcing</i> | Terceirização; subcontratação de serviços a outras empresas |
| <i>Scanner</i> | Digitalizador |
| <i>Setup</i> | Preparação; plano |
| <i>Slider</i> | Controle deslizante; indicador |
| <i>Software</i> | Conjunto de programas, processos, regras e, eventualmente, documentação, relativos ao funcionamento de um conjunto de tratamento de informação, por oposição a <i>hardware</i> |
| <i>Standard</i> | Normal; normalizado; habitual; mais utilizado |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Pressões internas na cadeia de produção da IA [4] | 8 |
| Figura 2 - Produção de veículos a nível mundial (adaptado de [7]) | 9 |
| Figura 3 - Fabricantes principais no país [8] | 9 |
| Figura 4 - Fábricas de componentes para a IA no país [10] | 10 |
| Figura 5 - Volume de negócios por atividade no país [10] | 10 |
| Figura 6 - Destino das exportações de componentes no país [10] | 11 |
| Figura 7- Número de empregados diretos da indústria de componentes (adaptado de [10]) | 12 |
| Figura 8 - Volume de negócios da indústria de componentes (adaptado de [10]) | 12 |
| Figura 9 - 5 Forças de Porter [13] | 13 |
| Figura 10 – Exemplo de parâmetros PPAP para a IA [17] | 15 |
| Figura 11 - Tipos de materiais utilizados no fabrico de carros (adaptado de [20]) | 18 |
| Figura 12 – Carro desmontado [23] | 18 |
| Figura 13 – Chassi convencional [25] | 19 |
| Figura 14 – Materiais utilizados no corpo do Volvo V60 [27] | 19 |
| Figura 15 - Bloco do motor [28] | 20 |
| Figura 16 - Seletor de comando de uma caixa de velocidades [29] | 21 |
| Figura 17 - Componentes de plástico [31] | 21 |
| Figura 18 – Assemblagem manual [44] | 24 |
| Figura 19 - Ligação mecânica (autoria própria) | 25 |
| Figura 20 - Célula para montagem de clips [46] | 27 |
| Figura 21 - Célula de montagem de componentes (adaptado de [47]) | 27 |
| Figura 22 - Célula de verificação de montagem (autoria própria) | 28 |
| Figura 23 - Exemplo de automação na IA (adaptado [50]) | 30 |
| Figura 24 - Exosqueleto robótico para trabalhadores [53] | 32 |
| Figura 25 - Linha de montagem com pneumática [57] | 33 |
| Figura 26 - Exemplo de sistemas <i>karakuri</i> [58] | 33 |
| Figura 27 - Linha de garrafas de água [65] | 36 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 28 - Sistema de automação flexível [66]..... | 37 |
| Figura 29 - Autômato (autoria própria)..... | 43 |
| Figura 30 - Exemplo de programação <i>Ladder</i> num controlador de um robot Yaskawa (autoria própria) . | 44 |
| Figura 31 - Exemplo de <i>Grafcet</i> | 44 |
| Figura 32- Exemplo de HMI [70]..... | 45 |
| Figura 33 - Fábrica Simoldes Plásticos | 53 |
| Figura 34 - Equipamentos utilizados frequentemente: a) máquinas de injeção, b) tapetes rolantes, c) mãos presas, d) bancadas de trabalho, e) células de montagem..... | 54 |
| Figura 35 - Fluxograma dos processos de um painel porta | 56 |
| Figura 36 - Fases de fabrico monitorizadas pelos projetos | 57 |
| Figura 37 – Sequência do projeto do sistema de monitorização de inserção de cliques | 59 |
| Figura 38 - Sensor Hex-H QC [82] | 59 |
| Figura 39 - Limites de carregamento complexo (T_{xy}) (adaptada do anexo 1) | 60 |
| Figura 40 - Limites de carregamento complexo (T_z) (adaptado do anexo 1)..... | 60 |
| Figura 41 - Adaptador para robots Yaskawa | 61 |
| Figura 42 - <i>Combox</i> e cabo de 12 pinos [82] | 61 |
| Figura 43 - Motoman GP e controlador YRC Micro | 62 |
| Figura 44 - Estrela adaptada para o sensor de força | 63 |
| Figura 45 - a) Porta-clipes b) Porta-clipes com clipe montado vista isométrica c) Porta-clipes com clipe montado vista frontal | 63 |
| Figura 46 - <i>Setup</i> utilizado no teste piloto..... | 64 |
| Figura 47 - Curva de inserção de clipe esperada resultante de um ensaio realizado pela KUKA..... | 65 |
| Figura 48 - Alinhamento dos eixos | 66 |
| Figura 49 - Modbus Poll..... | 67 |
| Figura 50 - Passos do sistema final ideal | 68 |
| Figura 51- Capa do programa de extração de dados do sensor | 69 |
| Figura 52 - Diagrama de utilização do programa de extração de dados | 71 |
| Figura 53 - Inserção de clipe..... | 72 |
| Figura 54 - Curvas do ensaio "Rotina Simples"..... | 73 |
| Figura 55 - Desvio máximo em relação à curva base dos ensaios "Rotina Simples" | 73 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 56 – Curvas da série de ensaios "Rotina Lateral" | 74 |
| Figura 57 - Desvio máximo relação à curva base dos ensaios "Rotina Lateral" | 75 |
| Figura 58 - a) <i>Robot</i> do ensaio real b) Estrela do projeto K9 | 76 |
| Figura 59 - Momentos torsores em torno de z registados antes do ensaio real | 77 |
| Figura 60 - Nova sequência de projeto | 77 |
| Figura 61 - Sensor de força da Robotous [83] | 79 |
| Figura 62 – Fluxogramas: a) implementação b) funcionamento do sistema de monitorização de cliques | 80 |
| Figura 63 – Sensor da marca OmRon (típico na SP) | 81 |
| Figura 64 - a) Periférico "Photoneo" b) Bases de apoio | 83 |
| Figura 65 – Sequência do projeto do scanner | 84 |
| Figura 66 - <i>Scanner</i> PhoXy 3D L (adaptado de [84]) | 84 |
| Figura 67 - Impressoras 3D a) Delta Wasp 4070 b) Prusa i3Mk3 | 85 |
| Figura 68 - Computador utilizado no trabalho | 86 |
| Figura 69 - PLC escolhido | 87 |
| Figura 70 – Fonte de alimentação do PLC | 87 |
| Figura 71 – Disjuntores do projeto: a) Siemens 5SY32 b) General Electric 2P40A300ma classe AC | 87 |
| Figura 72 – <i>Power-locks</i> da Minitec (adaptado do anexo 8) | 88 |
| Figura 73 - Perfis de alumínio da estrutura | 89 |
| Figura 74 - Rodas Minitec com travão 100 mm de diâmetro (Adaptado do anexo 8) | 89 |
| Figura 75 - Chapas instaladas no periférico | 90 |
| Figura 76 – a) Chapas de apoio para o <i>scanner</i> 3D b) Visão do <i>scanner</i> c) Alcance real do <i>scanner</i> | 90 |
| Figura 77 - Conjunto para posicionar o sensor laser | 91 |
| Figura 78 - a) Conjunto botões b) Conjunto suporte com <i>scanner</i> código de barras | 91 |
| Figura 79 - a) Chapa triangular b) Acessórios de fixação angular | 92 |
| Figura 80 - Estrutura montada sem as bases, o sistema elétrico, os <i>inter-locks</i> e o <i>scanner</i> | 92 |
| Figura 81 - Painel porta FRE | 93 |
| Figura 82 - Conceção do conjunto do painel porta FRE | 94 |
| Figura 83 - Primeira iteração da base de apoio para o painel porta FRE | 95 |
| Figura 84 - Alterações à base de apoio do painel FRE | 95 |
| Figura 85 - Base de apoio FRE Postiços | 96 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 86 - Perfis de alumínio para a base de apoio FRE..... | 96 |
| Figura 87- Base de apoio TRE com o painel porta encaixado..... | 97 |
| Figura 88 - Base de apoio TRE postigos..... | 98 |
| Figura 89 – Perfis de alumínio para a base de apoio TRE..... | 98 |
| Figura 90 – <i>Inter-locks</i> | 99 |
| Figura 91 - Definição da posição das barras e de outros componentes..... | 99 |
| Figura 92 - a) Postiço 5 da base FRE b) Postiço 7 da base FRE..... | 100 |
| Figura 93 – Previsão das peças 5 e 7 no <i>software</i> da impressora..... | 100 |
| Figura 94 - Tempo da impressão das peças 5 e 7 no <i>software</i> da Prusa..... | 102 |
| Figura 95 - Impressão das peças 5 e 7 na Delta Wasp 4070..... | 102 |
| Figura 96 – a) Peça por lixar b) Peça lixada..... | 103 |
| Figura 97 - Peças a secar após tinta com endurecedor..... | 103 |
| Figura 98 – Fluxograma do funcionamento do sistema quando a peça está “ok”..... | 104 |
| Figura 99 - Fluxograma do funcionamento do sistema quando a peça está “nok”..... | 105 |
| Figura 100 - Diagrama de fios do sistema..... | 106 |
| Figura 101 - Ecrã de trabalho..... | 107 |
| Figura 102 - Ecrã de criação de testes..... | 109 |
| Figura 103 - Espuma e clipe montados num painel porta..... | 110 |
| Figura 104 - a) Área detetada com espuma b) Área detetada sem espuma..... | 110 |
| Figura 105 - Espuma propositadamente mal encaixada com teste a acusar “nok”..... | 111 |
| Figura 106 – Altura mínima alvo nos cliques..... | 111 |
| Figura 107 - Ponto de referência utilizado nos cliques..... | 112 |
| Figura 108 – Parâmetros de um teste de distância num clipe..... | 112 |
| Figura 109 - Teste de diferenciação de base de apoio FRD..... | 113 |
| Figura 110 – Elementos de distinção de gamas a) <i>Bénitier</i> (copo do encosto de braço) b) <i>poignéé</i> (pega do painel porta) c) encosto de braço com/sem revestimento d) painel porta com/sem furo..... | 114 |
| Figura 111 -Exemplo de testes no <i>bénitier</i> | 114 |
| Figura 112 - Teste do para deteção da pega..... | 115 |
| Figura 113 - Testes de revestimento no painel FRD..... | 115 |
| Figura 114 - Teste de furo..... | 116 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 115 – Margens de imprecisão | 117 |
| Figura 116 - Fronteira de pontos cegos divide área | 118 |
| Figura 117 – <i>Layout</i> da linha de montagem do projeto M3M4 antes de colocar o Photoneo | 119 |
| Figura 118 - <i>Layout</i> da linha de montagem do projeto M3M4 com o Photoneo | 120 |
| Figura 119 – <i>Buffer</i> | 121 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – Materiais na IA (adaptado de [20]) | 16 |
| Tabela 2 - Variáveis mais relevantes para impressão 3D por extrusão (adaptado de [42]) | 23 |
| Tabela 3 – Tipos de soldadura de plásticos (adaptado de [45]) | 25 |
| Tabela 4 - Estado-da-arte da qualidade (autoria própria) | 28 |
| Tabela 5 - Atuadores mais utilizados na indústria (adaptado de [67]) | 38 |
| Tabela 6 - Aparelhos de medida (adaptado de [67]) | 39 |
| Tabela 7 - Estado da arte da automação e robotização (autoria própria) | 46 |
| Tabela 8 - Variáveis de controlo mais comuns (autoria própria) | 48 |
| Tabela 9 - Estado-da-arte do controlo da qualidade | 49 |
| Tabela 10 - Propriedades do sensor Hex-H QC (adaptado do anexo 1) | 60 |
| Tabela 11 – Parâmetros do braço robótico Motoman GP7 (adaptada do anexo 2) | 62 |
| Tabela 12 - Tempos e forças gravados de um ensaio..... | 71 |
| Tabela 13 - Exemplo de tempos entre registo de dados a dobrarem esporadicamente | 71 |
| Tabela 14 – Tabela resumo: Problemas com o sensor da OnRobot | 78 |
| Tabela 15 - Parâmetros do <i>scanner</i> (adaptada do anexo 6)..... | 85 |
| Tabela 16 - Parâmetros das impressoras 3D (adaptada do anexo 7) | 86 |
| Tabela 17 - Siglas dos painéis porta..... | 93 |
| Tabela 18- Tamanho dos perfis da base FRE | 97 |
| Tabela 19 - Tamanho dos perfis da base TRE | 98 |
| Tabela 20 - Valores e razões dos parâmetros utilizados nas peças 5 e 7 | 101 |
| Tabela 21 – Resumo dos resultados do teste industrial..... | 121 |
| Tabela 22 - Custos estimados | 122 |
| Tabela 23 – Conclusão dos objetivos do projeto de automação de monitorização de inserção de cliques | 127 |
| Tabela 24 - Conclusão dos objetivos do projeto de automação do controlo da conformidade final de uma peça..... | 128 |

ÍNDICE

| | | |
|---------|-------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.1 | Enquadramento | 3 |
| 1.2 | Objetivos | 3 |
| 1.3 | Metodologia | 4 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 7 |
| 2.1 | Indústria automóvel..... | 7 |
| 2.1.1 | Caracterização da indústria automóvel mundial..... | 7 |
| 2.1.2 | Caracterização da indústria automóvel nacional | 9 |
| 2.1.3 | Importância económica da indústria de componentes..... | 11 |
| 2.1.4 | Pilares da indústria automóvel..... | 13 |
| 2.1.4.1 | Competitividade..... | 13 |
| 2.1.4.2 | Qualidade..... | 13 |
| 2.1.4.3 | Prazo de entrega | 14 |
| 2.1.5 | Desafios atuais..... | 15 |
| 2.2 | Fabrico e montagem de componentes para a indústria automóvel..... | 16 |
| 2.2.1 | Materiais utilizados no fabrico de componentes para carros | 16 |
| 2.2.2 | Tipos de componentes e respetivos processos de fabrico | 18 |
| 2.2.2.1 | Chassi | 18 |
| 2.2.2.2 | Corpo | 19 |
| 2.2.2.3 | Motor | 20 |
| 2.2.2.4 | Sistemas de transmissão, guia, suspensão e travagem | 20 |
| 2.2.3 | Componentes plásticos | 21 |
| 2.2.4 | Impressão 3D..... | 22 |
| 2.2.5 | Montagem de componentes plásticos | 23 |

| | | |
|-----------|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.5.1 | Soluções disponíveis no mercado | 24 |
| 2.2.5.2 | Soluções desenvolvidas para aplicações específicas | 26 |
| 2.2.5.3 | Estado-da-arte | 28 |
| 2.3 | Automatização de processos de fabrico | 29 |
| 2.3.1 | Análise comparativa da automação e da robótica | 29 |
| 2.3.1.1 | Automação | 30 |
| 2.3.1.2 | Robótica | 31 |
| 2.3.1.3 | Custos associados às soluções | 32 |
| 2.3.1.4 | Flexibilidade e agilidade | 34 |
| 2.3.2 | Tipos de automação | 35 |
| 2.3.2.1 | Automação fixa | 35 |
| 2.3.2.2 | Automação programável | 36 |
| 2.3.2.3 | Automação flexível | 36 |
| 2.3.3 | Controlo de sistemas automatizados e robotizados | 37 |
| 2.3.3.1 | Atuadores | 37 |
| 2.3.3.2 | Aparelhos de medida | 39 |
| 2.3.3.3 | Automação e controlo | 42 |
| 2.3.3.3.1 | Autómatos | 42 |
| 2.3.3.3.2 | Programação | 43 |
| 2.3.3.3.3 | Interfaces gráficas e softwares | 45 |
| 2.3.4 | Estado-da-arte de sistemas automatizados e robotizados | 45 |
| 2.4 | Controlo de qualidade na indústria automóvel | 47 |
| 2.4.1 | Importância do controlo de qualidade | 47 |
| 2.4.2 | Utilização de sistemas óticos | 48 |
| 2.4.3 | Utilização de medição de variáveis do processo | 48 |
| 2.4.3.1 | Variáveis utilizadas para controlo de qualidade | 48 |
| 2.4.3.2 | Aquisição e processamento de dados | 49 |
| 2.4.4 | Estado-da-arte | 49 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO | 53 |

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 | Introdução..... | 53 |
| 3.1.1 | Contextualização dos projetos..... | 54 |
| 3.1.1.1 | Contexto de aquisição do sensor de forças da OnRobot..... | 55 |
| 3.1.1.2 | Contexto de aquisição do scanner PhoXi 3D da Photoneo..... | 55 |
| 3.1.1.3 | Linhas de fabrico de painéis de portas..... | 55 |
| 3.1.2 | Objetivos..... | 57 |
| 3.2 | Projeto de automação de monitorização de inserção de cliques..... | 58 |
| 3.2.1 | Solução final..... | 58 |
| 3.2.2 | Sequência de projeto..... | 59 |
| 3.2.3 | Equipamentos relevantes..... | 59 |
| 3.2.3.1 | Pack Sensor Hex-H QC..... | 59 |
| 3.2.3.2 | Braço robótico Motoman GP7 e controlador YRCMicro..... | 62 |
| 3.2.3.3 | Estrela..... | 62 |
| 3.2.3.4 | Cliques e porta-cliques..... | 63 |
| 3.2.4 | Teste piloto de inserção..... | 64 |
| 3.2.4.1 | Expectativa de resultados..... | 65 |
| 3.2.4.2 | Alinhamento de forças..... | 66 |
| 3.2.4.3 | Extração e tratamento de dados..... | 66 |
| 3.2.4.3.1 | Programa de extração de dados..... | 68 |
| 3.2.4.4 | Realização de ensaios e resultados do teste piloto..... | 72 |
| 3.2.4.5 | Conclusões do teste piloto..... | 75 |
| 3.2.5 | Teste real da inserção de cliques..... | 76 |
| 3.2.6 | Revisão da sequência de projeto..... | 77 |
| 3.2.7 | Proposta de sensor de força alternativo..... | 78 |
| 3.2.8 | Discussão do <i>software</i> de monitorização e da sua implementação..... | 79 |
| 3.2.9 | Análise à viabilidade do sistema de monitorização de cliques..... | 81 |
| 3.2.9.1 | Custo..... | 81 |
| 3.2.9.2 | Precisão, fiabilidade e durabilidade..... | 82 |
| 3.2.9.3 | Adaptabilidade..... | 82 |
| 3.2.9.4 | Viabilidade..... | 83 |

| | | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3 | Projeto de automação do controlo da conformidade final de uma peça..... | 83 |
| 3.3.1 | Solução final | 83 |
| 3.3.2 | Sequência do projeto | 84 |
| 3.3.3 | Equipamentos relevantes..... | 84 |
| 3.3.3.1 | Scanner 3D..... | 84 |
| 3.3.3.2 | Impressoras 3D | 85 |
| 3.3.3.3 | Computador..... | 86 |
| 3.3.3.4 | Conjunto do PLC..... | 87 |
| 3.3.3.5 | Sensor, componentes de sinalética e botões | 88 |
| 3.3.4 | Criação da bancada de trabalho..... | 88 |
| 3.3.5 | Criação das bases de apoio | 92 |
| 3.3.5.1 | Desenhos das bases de apoio | 93 |
| 3.3.5.1.1 | Painéis porta da frente esquerdos (FRE)..... | 94 |
| 3.3.5.1.2 | Painéis porta de trás esquerdos (TRE) | 97 |
| 3.3.5.1.3 | Fixação das bases de apoio na mesa de trabalho | 99 |
| 3.3.5.2 | Impressão 3D de postigos..... | 100 |
| 3.3.5.3 | Tratamento superficial..... | 103 |
| 3.3.6 | Conceção do <i>software</i> e do sistema elétrico | 104 |
| 3.3.7 | Programação da monitorização de painéis porta com o periférico | 107 |
| 3.3.7.1 | UI (User interface) para os operadores..... | 107 |
| 3.3.7.2 | Criação e definição de testes no software..... | 108 |
| 3.3.7.3 | Testes nos componentes comuns a todas as gamas | 110 |
| 3.3.7.4 | Testes de base de apoio..... | 113 |
| 3.3.7.5 | Testes gama do painel porta..... | 113 |
| 3.3.7.5.1 | Bénitier..... | 114 |
| 3.3.7.5.2 | Pega e parafusos | 114 |
| 3.3.7.5.3 | Encosto de braço com/sem revestimento | 115 |
| 3.3.7.5.4 | Painel porta com/sem furo | 116 |
| 3.3.7.6 | Limitações e dificuldades encontradas..... | 116 |
| 3.3.8 | Implementação final na linha de montagem | 118 |

| | | |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.8.1 | Planeamento do teste industrial..... | 119 |
| 3.3.8.2 | Resultados do teste industrial | 121 |
| 3.3.9 | Análise final e discussão do futuro do periférico desenvolvido na Simoldes..... | 122 |
| 4 | CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS | 127 |
| 4.1 | Conclusões | 127 |
| 4.2 | Propostas de trabalhos futuros..... | 130 |

INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.2 Objetivos

1.3 Metodologia

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O trabalho presente é realizado no âmbito da dissertação do Mestrado de Mecânica no ramo de Construções Mecânicas no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) e trata de apresentar a criação e implementação de dois sistemas de monitorização na Simoldes Plásticos (SP) e pesquisar/resumir literatura relevante para o desenvolvimento dos projetos de uma forma clara para o leitor.

A Indústria Automóvel (IA) portuguesa tem visto a sua qualidade reconhecida mundialmente. Num ambiente de constante evolução e adaptação trata-se de uma das indústrias mais competitivas em termos de volume de produção e qualidade exigida nos seus produtos finais. Inserida nesta está a Simoldes Plásticos (SP), uma fornecedora de componentes plásticos por norma de interiores de carros que procura desenvolver/explorar novos equipamentos de monitorização de modo a garantir a qualidade dos seus produtos. Adquiriu um sensor de força e um *scanner* 3D para implementar estes nos seus projetos e abriu então vaga para estágio curricular/tese para desenvolver este trabalho.

Resumindo o contexto do trabalho, uma multinacional portuguesa procura manter-se competitiva e explorar alternativas às tecnologias correntes.

1.2 Objetivos

Inicialmente é apresentado o estado da arte e uma análise da IA com o objetivo de fornecer todos os conhecimentos necessários ao leitor para ter o contexto total da situação tecnológica e económica da IA.

A dissertação presente vai explorar equipamentos, sendo estes um sensor de forças e um *scanner* 3D, e procurará implementá-los nos processos da fábrica. Para este efeito, são desenvolvidos métodos versáteis de aplicação no contexto dos processos da empresa. Listam-se então os objetivos principais a começar pelo sensor de forças:

- Explorar capacidades;
- Desenvolver método de extrair e guardar dados;
- Desenvolver sistema de monitorização na inserção de cliques em peças;
- Aplicar o sistema na produção.

Para o *scanner* 3D:

- Projetar e construir periférico capaz de acomodar o *scanner*;
- Criar um sistema de monitorização versátil à volta do *scanner*;
- Dominar o *software* criado;
- Validar o periférico para aplicação numa linha de produção real.

1.3 Metodologia

O presente trabalho segue a metodologia que se segue:

1. Pesquisa bibliográfica sobre a indústria automóvel e outros temas pertinentes para o trabalho;
2. Apresentação do sensor de forças;
3. Desenvolvimento de método de recolha e análise de dados do sensor;
4. Estudo piloto com o sensor de forças;
5. Desenvolvimento de sistema de gravação de dados para aplicação real do sensor de forças;
6. Implementação do sensor a nível industrial;
7. Apresentação do *scanner* 3D;
8. Projeto da estrutura do periférico e das bases de apoio;
9. Desenvolvimento do sistema e do software em torno do *scanner* 3D;
10. Validação do *scanner* 3D para implementação a nível industrial;
11. Conclusões globais dos projetos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Indústria automóvel
- 2.2 Fabrico e montagem de componentes para a indústria automóvel
- 2.3 Automatização de processos de fabrico
- 2.4 Controlo de qualidade na indústria automóvel

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Indústria automóvel

2.1.1 Caracterização da indústria automóvel mundial

A indústria automóvel (IA) passou por várias revoluções até atingir o nível de profissionalismo e competitividade que se observa atualmente a uma escala global. Esta indústria trata de responder à necessidade de locomoção e transporte de pessoas e materiais, evidenciando-se como uma das indústrias mais importantes do mundo.

Atualmente, grupos e conglomerados lideram o mercado após terem comprado e fundido várias empresas de modo a se tornarem multinacionais ultracompetitivas. Estas fusões e compras permitiram uma consolidação nas cadeias de produção sem precedentes, o que permitiu maximizar o seu valor [1].

As cadeias de produção operam com um nível de competitividade global muito alto, o que torna o mercado turbulento e complexo. O local a que se comumente se refere a fábrica de automóveis resume-se apenas à linha de montagem final destes, mas na realidade um produto final resulta na colaboração de inúmeras empresas. Estimativas na IA sugerem que cada produto possui mais de 30 000 peças individuais [2], que variam em matéria, processo e formatos.

As empresas chamadas de *original equipment manufacturers* (OEM's) são empresas cujos produtos são componentes nos produtos de outras empresas. Na IA, estas são vitais nas cadeias de produção e possuem cada vez mais responsabilidade, protagonismo e autonomia, existindo algumas que são mesmo reconhecidas mundialmente [1]. Os componentes que as OEM's fabricam competem não só pelos contratos dos conglomerados, mas nalguns casos também pela atenção dos clientes finais, dado que estes podem escolher incluí-los na versão final do produto ou não (configurabilidade).

Uma das grandes razões pelas quais as OEM's ganharam mais protagonismo será também o facto de que a IA atravessa uma revolução a nível de marketing na qual os seus produtos finais apresentam grande variedade e possibilidade de configurabilidade de modo a atrair clientes diferentes.

A importância dos OEM's gerou uma mudança na IA, onde tem ocorrido uma transferência de responsabilidades por parte dos fornecedores a nível de *design*,

engenharia, produção, investimento e emprego [3]. Estas geram pressões e forças que são evidenciadas de forma mais elucidativa na Figura 1.

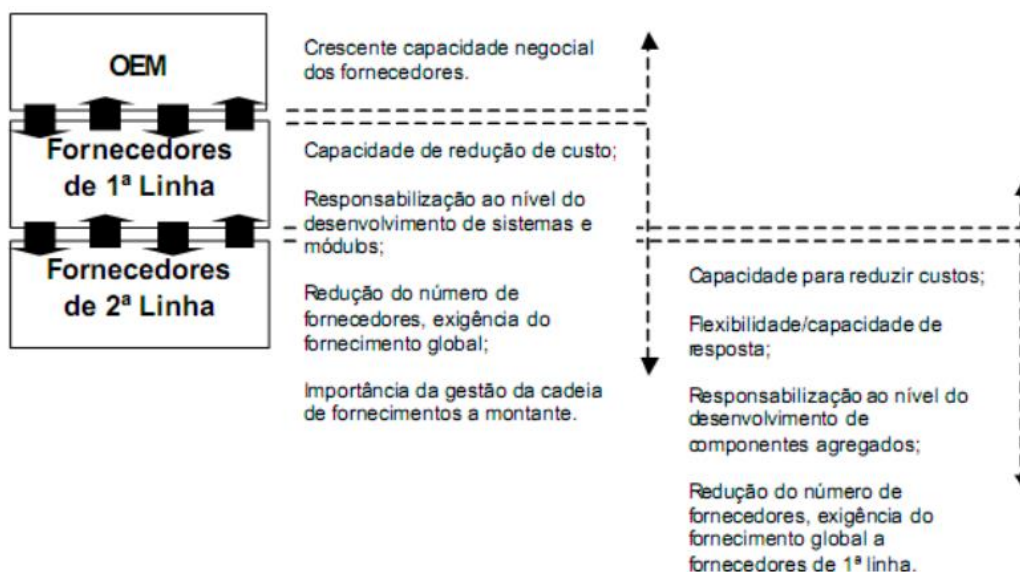


Figura 1 – Pressões internas na cadeia de produção da IA [4]

As marcas finais também produzem alguns componentes para os seus automóveis, logo, também podem ser consideradas OEM's por isso na Figura 1 as OEM's são consideradas as empresas finais no que toca a acrescento de valor ao produto. Como explicado, a capacidade negocial de fornecedores está a aumentar, mas com esta também as responsabilidades de desenvolvimento de sistemas. Os fornecedores de 1ª e 2ª linha representam empresas que colaboram com os fabricantes de produtos finais, a linha que separa OEM's de fornecedores de 1ª e 2ª linha está cada vez mais desfocada devido à tendência global de agilização da cadeia e delegação das responsabilidades, custos e pressões que se observam na Figura 1 [4].

A variabilidade de produtos aumentou, com isto a IA está a requerer mais adaptabilidade nas linhas, além da já conhecida alta produção e alta precisão, de modo a garantir produtos baratos e de alta qualidade. A variedade surgente dos produtos tem dificultado a implementação de economias de escala e desenvolvimento de grandes linhas. Isto por sua vez aumentou o tempo de produção de componentes e o custo do produto final [5].

O aumento da variedade nos produtos finais e gerou uma necessidade para que fábricas alterem continuamente o seu ambiente de trabalho que de ultra produtivo passou a ultra configurável. Como resultado desta modificação, as fábricas podem agora produzir um vasto leque de produtos diferentes devido à aquisição e desenvolvimento de equipamentos versáteis de robótica e automação [5].

Recentemente, a economia global foi atingida não só pela pandemia, mas também por uma falta de chips global que afetou mesmo várias indústrias além da automóvel, tendo-

se registado uma queda de 16% na produção de carros exposta na Figura 2, mas devido à importância da indústria prevê-se que esta eventualmente recupere [6].

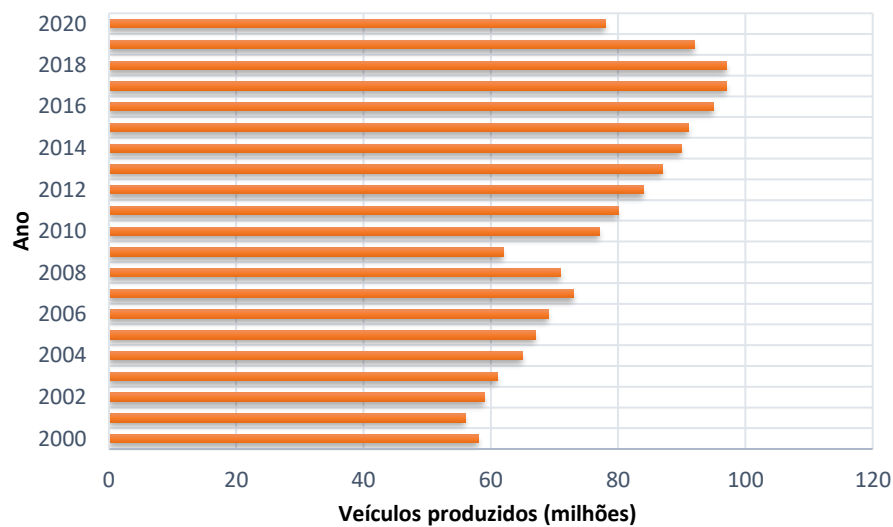


Figura 2 - Produção de veículos a nível mundial (adaptado de [7])

2.1.2 Caracterização da indústria automóvel nacional

A IA portuguesa conta já com algumas décadas de história tendo-se começado a desenvolver no início do século XX. Entretanto esta evoluiu até se tornar na 3ª maior indústria transformadora do país, sendo Portugal um grande exportador de componentes a nível mundial e de carroçarias de veículos a nível da Europa [8]. Na Figura 3 evidenciam-se os principais fabricantes de automóveis a nível do país [9].

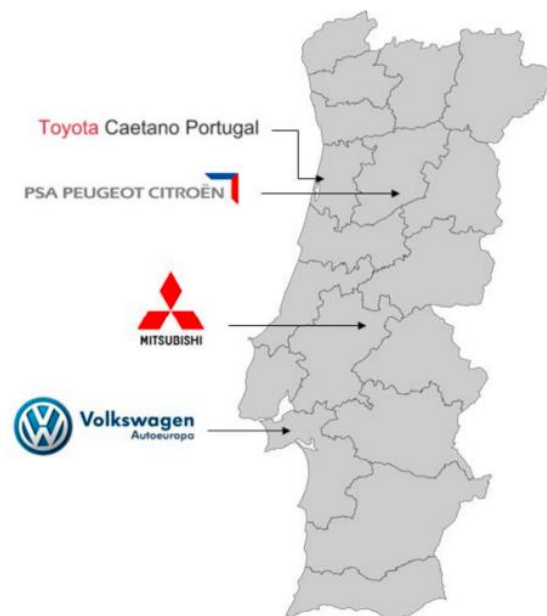


Figura 3 - Fabricantes principais no país [8]

Os fabricantes provocam efeitos de cascata na IA onde surgem aglomerados de empresas perto destes por razões de custos de transporte de matérias e produtos. Na Figura 4 nota-se a distribuição de fábricas de componentes para a IA.

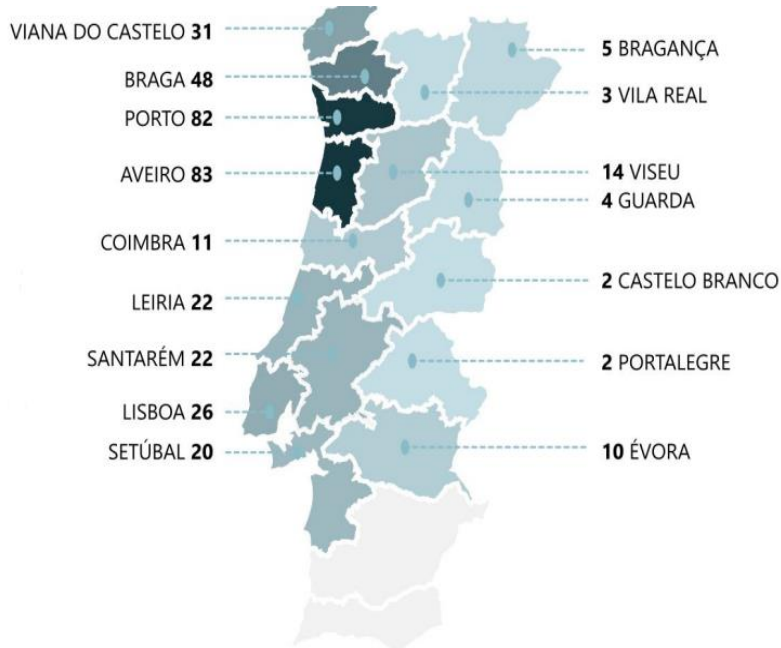


Figura 4 - Fábricas de componentes para a IA no país [10]

Relativamente ao ano de 2020 pode-se observar na Figura 5 a percentagem que estas atividades contribuem para o volume de negócios nacional que se totalizou em 10,4 mil milhões de euros. Sendo as atividades de metalúrgica/metalomecânica e eletrónica correspondem a 63% do volume, o que demonstra que estas são as mais desenvolvidas a nível nacional.



Figura 5 - Volume de negócios por atividade no país [10]

Por fim, a IA trata-se de uma indústria altamente exportadora com as vendas ao exterior a representarem mais de 80% do volume de negócios, sendo que 91% dos destinos pertencem à Europa como se evidencia na Figura 6.

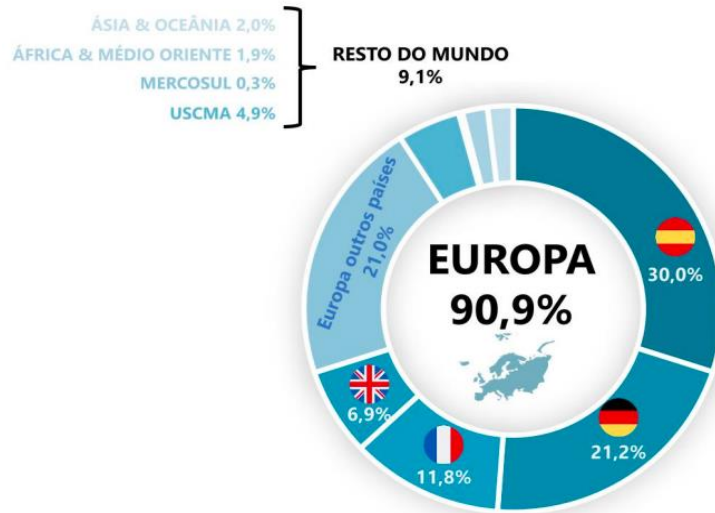


Figura 6 - Destino das exportações de componentes no país [10]

2.1.3 Importância económica da indústria de componentes

Segundo a Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel (AFIA), apenas 0,9% das empresas de produção de componentes da indústria transformadora produzem para a IA, o que corresponde a aproximadamente 360 empresas. No entanto, estas compõem 8,8% do emprego com 61 mil pessoas empregadas diretamente, têm um volume de negócios que representa 5,1% do produto interno bruto (PIB) do país e as exportações correspondem a 16,1% das exportações de bens transacionáveis [10].

Na Figura 7 observa-se um aumento no número de empregados de mais de 14 mil postos entre 2015 e 2019 na indústria de componentes em Portugal enquanto que em 2020, ocorreu uma queda de 2%. Esta queda deve manter-se devido à passagem da pandemia e à já mencionada crise de falta de chips na indústria automóvel [6].

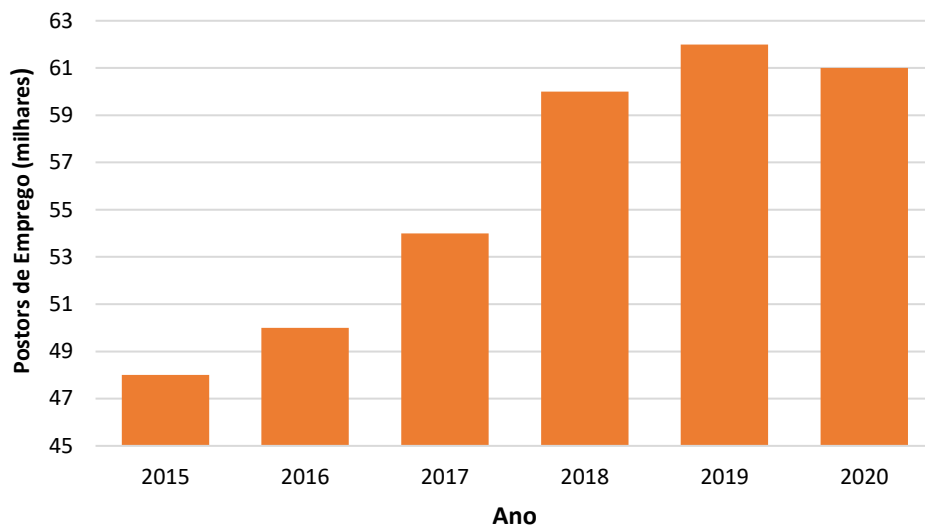


Figura 7- Número de empregados diretos da indústria de componentes (adaptado de [10])

O volume de negócios na indústria de componentes apresenta um histórico semelhante aos postos de emprego diretos, mas com uma queda mais acentuada de 12,6% do ano 2020 para 2021, como se verifica na Figura 8.

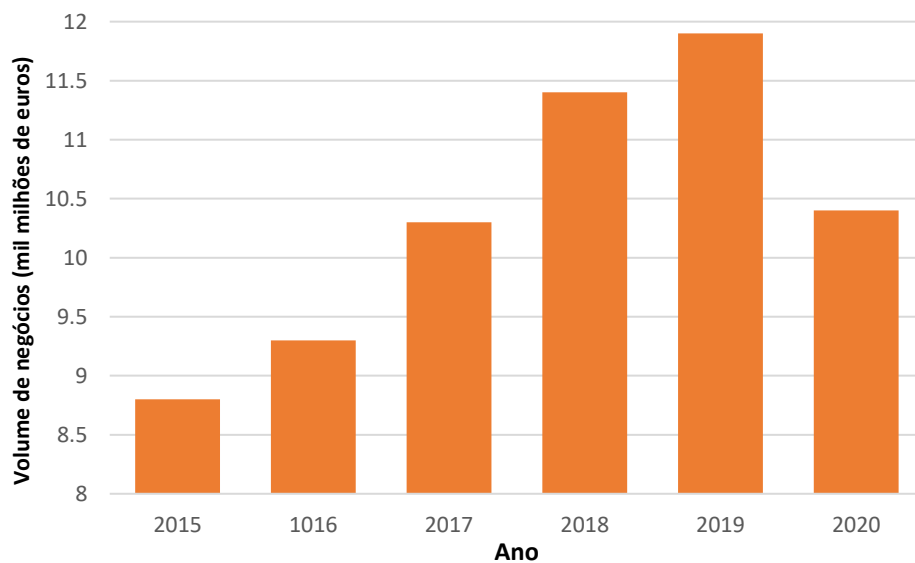


Figura 8 - Volume de negócios da indústria de componentes (adaptado de [10])

Com as quantidades apresentadas, torna-se óbvio que a indústria de componentes tem um grande peso dentro do país, com várias marcas como a Toyota e a Volkswagen a confiarem nesta.

2.1.4 Pilares da indústria automóvel

A exigência a nível de profissionalismo, precisão e segurança na IA é um produto da sua evolução que criou pilares como a competitividade, a qualidade e o prazo de entrega.

2.1.4.1 Competitividade

O crescimento rápido e pujante da IA nestes últimos 50 anos é inegável dada a constante inovação tecnológica e a demanda por detrás desta. Trata-se de uma indústria com salários acima da média, onde há uma constante luta entre a produtividade e a configurabilidade.

A razão para a competitividade começa nas exigências dos consumidores, que procuram um compromisso preço/qualidade cada vez com mais consideração. As várias empresas na indústria procuram também o melhor rácio, experimentando novas técnicas e estratégias. O sucesso destas técnicas e estratégias ditará o quão competitivas as empresas são [11].

A teoria das cinco forças de Porter é um instrumento que permite alcançar uma visão geral sobre a competitividade da indústria, classificando as cinco forças em função da probabilidade de acontecimento. Todas as cinco forças de Porter representadas na Figura 9 podem-se considerar altas ou muito prováveis na IA, o que confirma a sua competitividade [12].

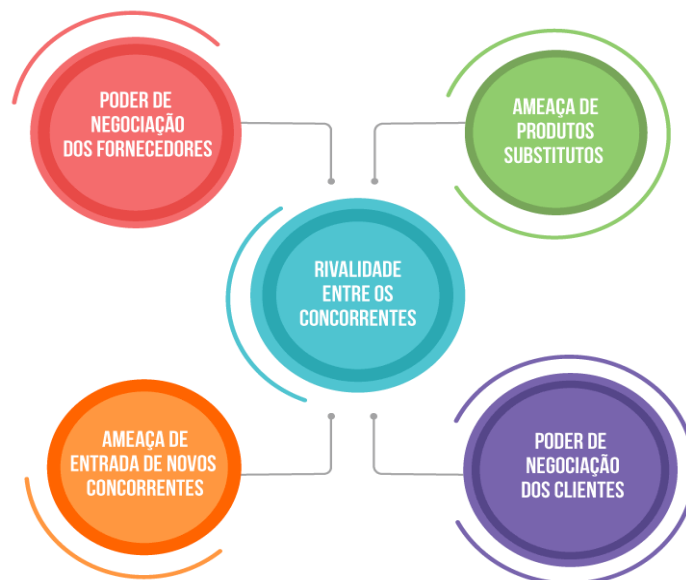


Figura 9 - 5 Forças de Porter [13]

2.1.4.2 Qualidade

Existem várias considerações e aspetos a ter em conta numa análise de qualidade de uma indústria, como a correspondência do produto em relação à expectativa do público,

as normas de segurança geralmente adotadas pelas empresas e as normas de impacto ambiental aplicadas na indústria.

De modo a garantir a qualidade na indústria, todo o setor automóvel está sujeito a várias auditorias, sendo que as empresas da área procuram obter as necessárias certificações [11].

A certificação é cada vez mais importante na indústria, e é considerada o mecanismo mais importante na garantia de qualidade de um produto. Atualmente, a certificação considera-se um pré-requisito para entrada no universo automóvel, como é o caso da norma IATF 16949:2016. Esta norma é uma especificação técnica baseada na norma de segurança ISO 9001, que trata do desenvolvimento de um sistema de gestão de qualidade com espaço para melhorias contínuas e com ênfase na deteção de defeitos e redução de desperdícios para a produção automóvel e organizações associadas [14]. Certificações como esta providenciam credibilidade e transmitem confiança aos clientes.

2.1.4.3 Prazo de entrega

O prazo de entrega é considerado um pilar não só pelo nível de exigência do cliente, mas também porque, devido à natureza e complexidade dos produtos da IA, um atraso pode-se refletir em crescentes perdas de lucro sentidas ao longo de toda a cadeia de produção via efeito dominó. As empresas procuram garantir prazos e ser capazes de dar respostas rápidas aos respetivos clientes, instalando-se perto deles como já foi mencionado. No entanto nem sempre este é o caso, já que a IA é global e está dispersa geograficamente, pelo que garantir o prazo mínimo é um desafio complexo [15].

As empresas da IA adaptaram a filosofia *just in time* (JIT), que foi desenvolvida no sentido de otimizar a cadeia de fornecimento melhorando os prazos de entrega e corrigindo pontos de estrangulamento (efeito de *bottleneck*). Nesta filosofia, produz-se apenas o necessário e a produção é projetada por pedidos de consumidores, garantindo que os fornecedores entreguem também apenas o necessário e que as trocas de matérias são mais controladas, mas fluentes e flexíveis, o que reduz tempos de espera e custos [16].

No sentido de aplicar a filosofia JIT foi implementado no setor automóvel o processo de aprovação de peças de produção (PPAP). Este trata-se de uma forma padronizada de documentação e que estabelece uma série de acordos entre os fabricantes de componentes automóveis e as grandes empresas do sector automóvel. Os acordos PPAP vão provar e documentar a capacidade do fornecer de cumprir prazos. Nestes acordos há toda uma série de processos e parâmetros de análise e decisões a cinco níveis, sendo o nível um o menos rigoroso e o nível cinco o mais rigoroso, ambos exemplificados na Figura 10. A existência deste processo padronizado comprova a importância do prazo de entrega na IA.

| | | <i>Nível de PPAP</i> | | | | |
|----|-----------------------------------------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Registos da conceção | R | S | S | * | R |
| | - para componentes/detalhes proprietários | R | R | R | * | R |
| | - para os restantes componentes/detalhes | R | S | S | * | R |
| 2 | Documentos relativos a alterações de engenharia, ser for o caso | R | S | S | * | R |
| 3 | Customer Engineering approval, if required | R | R | S | * | R |
| 4 | Aprovação da Engenharia do cliente, se necessário | R | R | S | * | R |
| 5 | Fluxogramas do processo | R | R | S | * | R |
| 6 | FMEA de Processo | R | R | S | * | R |
| 7 | Plano de Controlo | R | R | S | * | R |
| 8 | Estudos de análise ao Sistema de Medição | R | R | S | * | R |
| 9 | Resultados dimensionais | R | S | S | * | R |
| 10 | Resultados dos testes de performance dos materiais | R | S | S | * | R |
| 11 | Estudos de processo iniciais | R | R | S | * | R |
| 12 | Documentação de Laboratórios qualificados | R | S | S | * | R |
| 13 | Relatório de Aprovação de Aparência (AAR), se aplicável | S | S | S | * | R |
| 14 | Amostras do produto | R | S | S | * | R |
| 15 | Amostras padrão | R | R | R | * | R |
| 16 | Ajudas ao controlo | R | R | R | * | R |
| 17 | Registos de cumprimento dos requisitos específicos do cliente | R | R | S | * | R |
| 18 | Part Submission Warrant (PSW) | S | S | S | S | R |
| | Checklist do material a granel | S | S | S | S | R |

S = A organização deve enviar ao cliente e manter uma cópia dos registos e itens de documentação em locais apropriados.

R = A organização deve manter em locais apropriados e pôr à disposição do cliente, mediante solicitação.

* = A organização deve manter em locais apropriados e apresentar ao cliente mediante solicitação.

Figura 10 – Exemplo de parâmetros PPAP para a IA [17]

2.1.5 Desafios atuais

No fim de 2019 iniciou-se uma pandemia que provocou a diminuição de vendas a nível global e conseqüente fecho de fábricas. Atualmente, a indústria parece estar a recuperar desta, mas surgiu recentemente um novo problema a nível global devido a uma falta de semicondutores [18]. Estes são necessários para controlar todo o sistema de um automóvel, desde a transmissão até aos airbags. A entrada em 2021 foi marcada pela extensão do fecho da General Motors, que já tinha fechado no ano anterior em virtude da pandemia, precisamente devido a esta falha que ainda não se considera ultrapassada [19]. O desafio decorrente destes acontecimentos será restabelecer esta parte da cadeia de produção e fortalecê-la.

Vários fabricantes estão a apostar cada vez mais em frotas totalmente elétricas. Entre estes, a General Motors e a Jaguar já anunciaram o objetivo de tornarem as suas frotas totalmente elétricas até 2035. Marca-se o início do fim do motor convencional da indústria e uma alteração profunda por acontecer, passando pela produção em massa de baterias de lítio ou pela procura a alternativas a esta. O primeiro desafio será melhorar as autonomias dos automóveis elétricos e criar postos de carregamento. O

segundo desafio será incorporar novos fornecedores nas cadeias e adaptar as produções e regulamentos aos novos produtos tendo em conta as consequências que baterias de lítio implicam no ambiente [19].

Os combustíveis de recursos não renováveis atravessam uma época difícil e incerta com pressões a serem exercidas que fazem os seus preços oscilarem muito. Neste momento a maior parte da IA depende muito desta variação de preços. Parte da variação dos preços pode ser atribuída às novas regras limitantes que se estendem em vários países como resposta ao aquecimento global. O desafio passa por deixar de depender do petróleo de modo a salvaguardar margens de lucro e crescimento económico [19].

2.2 Fabrico e montagem de componentes para a indústria automóvel

2.2.1 Materiais utilizados no fabrico de componentes para carros

Antigamente, a existência de modelos únicos facilitava o processo de produção de componentes em massa pela falta de variedade. Atualmente a competitividade levou a uma diversificação de modelos de veículos e maior disponibilidade de opções extra para os consumidores. Como resultado, fabricantes delegam responsabilidades e praticam cada vez mais *outsourcing* no próprio desenvolvimento dos produtos [4].

Mesmo com a variedade de produtos existente atualmente é possível resumir os materiais mais utilizados na IA na Tabela 1. Consegue-se também ter uma noção da percentagem do uso destas na indústria na Figura 11.

Tabela 1 – Materiais na IA (adaptado de [20])

| Material | Propriedades/Aplicações |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Aços | Os aços têm vindo a ser bem explorados, o que permite uma gama vasta de propriedades diferentes e possibilita o uso destes em várias partes de um carro, sendo estas principalmente: portas, chassi, silenciadores, tubos de escape e vigas de apoio [21]. |
| Plásticos | Mais maleáveis que os aços, os plásticos são também duráveis, versáteis e leves, mas menos resistentes o que lhes permite serem utilizados em vários componentes como o <i>dashboard</i> , interior de portas, tubos e sistemas de ar [21]. |

| | |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alumínios | O alumínio é aproveitado na indústria automóvel graças à sua baixa densidade e maleabilidade. Os alumínios são usados nas rodas, nas jantes e pode substituir o ferro e o aço em algumas partes críticas como blocos do motor [22]. |
| Borrachas | As borrachas são essenciais para os carros. Tal como o plástico, estas são maleáveis, mas ao contrário deste absorvem impacto e calor bem. As borrachas são usadas em suportes para o motor, escovas do para-brisas, isoladores e pneus [22]. |
| Vidros | O vidro é utilizado nos ecrãs de navegação, lentes, espelhos e para-brisas, onde é laminado de modo a não estilhaçar [22]. |
| Compósitos reforçados de fibra de vidro | Utilizados graças à sua absorção de impacto, nas portas, no para-choques, tejadilho [22]. |
| Chumbo | Sendo um material mais pesado, serve como estabilizador/balanceador do carro. O chumbo é usado nas rodas em conjunto com o alumínio, a borracha e as fibras de vidro. É também usado na bateria [21]. |
| Cobres | O cobre é bom condutor e pode ser encontrado em todos os componentes elétricos [21]. |
| Titânios | O titânio é extremamente caro, mas pode substituir o aço e o alumínio. Por norma encontra-se em algumas zonas devido a motivos estéticos, redução de peso e por maior adesividade nalguns tipos de ligação [21]. |
| Magnésio | O magnésio é muito leve e pode substituir o aço e o alumínio nas suas várias aplicações. Por norma utiliza-se em pequenas áreas para distribuir o peso de automóveis [21]. |

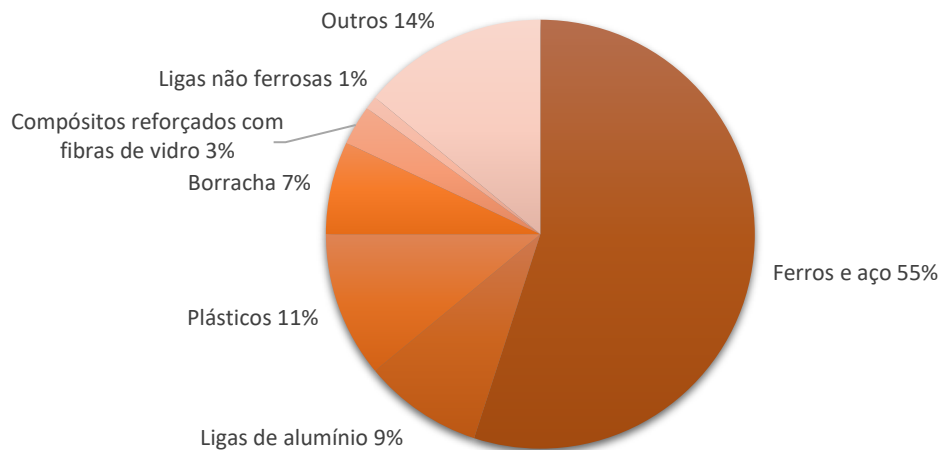


Figura 11 - Tipos de materiais utilizados no fabrico de carros (adaptado de [20])

2.2.2 Tipos de componentes e respetivos processos de fabrico

Um automóvel possui vários componentes (Figura 12) com uma grande diversidade de materiais, formas e tamanhos. Como resultado, os processos de fabrico são também muito diversos.

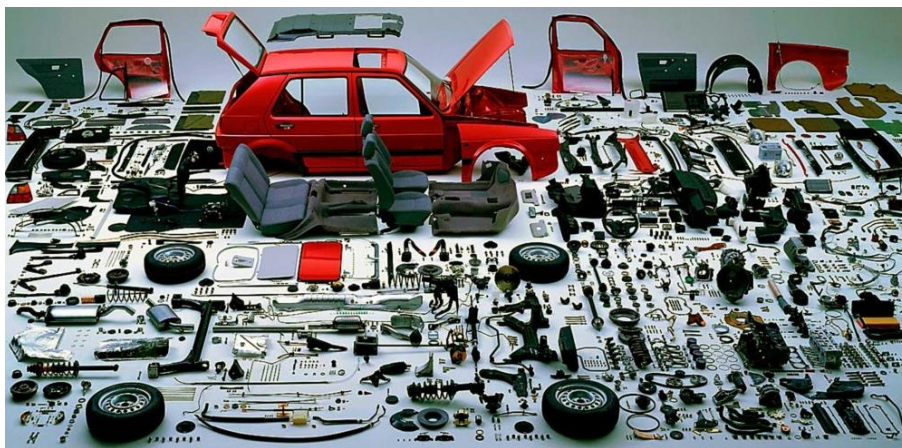


Figura 12 – Carro desmontado [23]

2.2.2.1 Chassi

O chassi é a estrutura que suporta a maior parte da cargas estáticas e dinâmicas do veículo. Por esta razão, este deve ser fabricado com um material durável e capaz de aguentar com estas cargas [24]. Normalmente o material de um chassi é o aço, mas também começaram a ser utilizadas ligas de alumínio com alguma frequência ao longo dos anos. O chassi chamado convencional tem o aspeto da Figura 13 sendo que os não convencionais incorporam também o corpo do carro e não só a base na qual se monta este.



Figura 13 – Chassi convencional [25]

O processo de fabrico *standard* destes é a estampagem e dobragem de perfis dos tipos I, U ou C, para que vários destes se possam soldar uns aos outros com soldadura do tipo TIG/MIG ou mesmo uma combinação destas. A soldadura destes perfis permite obter alta rigidez e uniformidade, restando apenas proteger a estrutura contra a corrosão com tintas e tratamentos [26].

2.2.2.2 Corpo

Fabricar o corpo de um automóvel envolve planejar as cavidades onde se vão encaixar as restantes partes como o motor, o tejadilho e as portas. Como já mencionado no subcapítulo 2.1.1, os aços continuam a ser os mais usados embora já tenham sido experimentadas outras ligas de alumínio e até plásticos. No entanto, sendo o corpo de dimensões elevadas e com necessidades que variam dependendo da zona, observa-se muitas vezes combinações de vários tipos de aços e ligas a ser utilizados, como no caso da Figura 14 que mostra o *design* do corpo de um Volvo. Esta combinação permite a otimização do peso e das características necessárias para cada zona [27].



Figura 14 – Materiais utilizados no corpo do Volvo V60 [27]

Como resultado deste facto, o processamento do corpo está mais desenvolvido na forma como se ligam estes subcomponentes. O processo mais comum é por preformação de placas em prensa hidráulica seguida de tratamentos térmicos e maquinagem para finalizar os subcomponentes. Estes montam-se com rebitagem e aparafusamentos e/ou soldaduras TIG/MIG, laser e com adesivos, nunca esquecendo os tratamentos e as medidas anti corrosão que se seguem [27].

2.2.2.3 Motor

O motor é composto por vários subcomponentes, dos quais o bloco é o principal (Figura 15). O motor deve ser capaz de aguentar temperaturas altas e cargas repetitivas. O *design* é muito importante pois este influenciará a eficiência do consumo de combustível, mas há também um esforço em reduzir o peso [28].



Figura 15 - Bloco do motor [28]

Por norma o bloco de um motor é fabricado em ferro fundido ou liga de alumínio, e o processo de fabrico empregado é a fundição por molde seguido de tratamentos térmicos para melhorar propriedades mecânicas e maquinagem para terminar [28].

Para além deste subcomponente é necessário fabricar e montar todos os restantes componentes elétricos e mecânicos.

2.2.2.4 Sistemas de transmissão, guia, suspensão e travagem

Estes sistemas são compostos por peças muito comuns como engrenagens e componentes mais complicados, como o seletor de comando de uma caixa de velocidades na Figura 16. Geralmente, as peças são fabricadas em aço ao carbono, podendo haver algumas de alumínio e outras situações pontuais. O processo de fabrico mais comum destas peças é a fundição com tratamentos térmicos e anti corrosão. Dependendo das necessidades de cada componente, podem ser aplicados outros tratamentos que aumentem a dureza superficial, como a cementação ou nitruração [29].



Figura 16 - Seletor de comando de uma caixa de velocidades [29]

2.2.3 Componentes plásticos

Como já foi mencionado no ponto 2.2.1, o plástico é um material utilizado sobretudo no interior dos automóveis. A maior parte dos componentes plásticos é fabricada por injeção em molde [30]. Na Figura 17 evidenciam-se alguns componentes deste género.

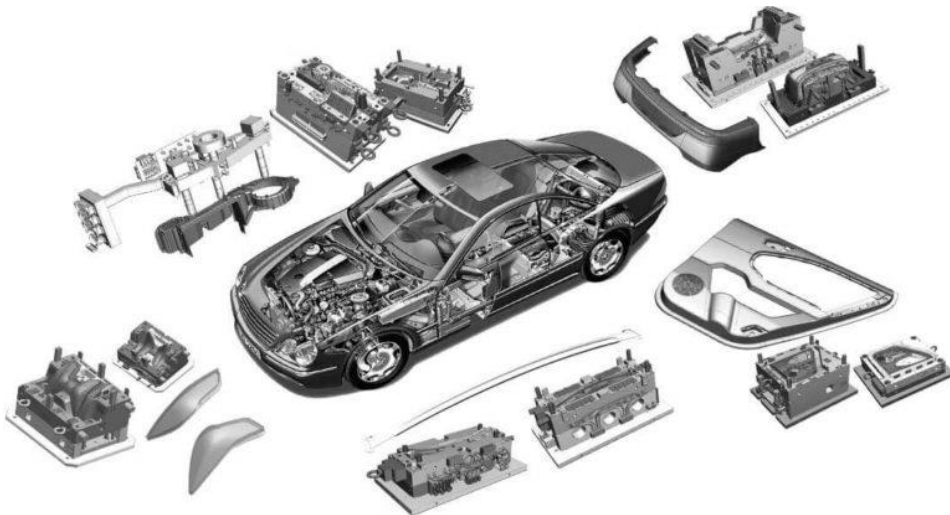


Figura 17 - Componentes de plástico [31]

A indústria automóvel é o terceiro maior sector consumidor de polímeros. Sendo que um carro possui em média 30 000 [2] peças, estima-se que um terço destas são de plástico e que 70% destas são de 4 tipos diferentes de plásticos, nomeadamente:

- **Polipropileno** – Trata-se do polímero termoplástico mais utilizado na IA. Este polímero pode ser reformado em praticamente qualquer forma e tem boa resistência química, térmica e ao impacto. Costuma ser utilizado em para-choques, fibras de tecidos no interior dos carros e serve de contentor para alguns gases. É uma opção mais económica em relação a outros plásticos [32].
- **Cloreto de Polivinil** – Mais conhecido como PVC, trata-se de um retardador de chama conhecido pela sua moldabilidade e pelo acabamento de superfícies. Por esta razão, por norma é utilizado em *dashboards* e partes expostas [32].

- **Policarbonato** – Tal como o polipropileno, o policarbonato é tão resistente ao impacto que é frequentemente usado em para-choques. É considerado um material superleve que por vezes substitui outros materiais para diminuir o peso do carro [32].
- **Acrilonitrila butadieno estireno** – Conhecido como ABS, também tem bom acabamento superficial e é utilizado em volantes. Este polímero é capaz de absorver e redistribuir energia durante um impacto [32].

Os restantes plásticos que são utilizados variam muito em características e tipos. A IA procura sempre apostar na pesquisa e no desenvolvimento, o que leva a um leque vasto de materiais diferentes com usos muito específicos e pontuais.

A moldagem por injeção é a técnica mais popular para processamento de plásticos devido à sua alta eficiência, precisão, bom acabamento de superfície, repetibilidade e baixo custo [33].

2.2.4 Impressão 3D

A impressão 3D é capaz de criar objetos físicos a partir de uma representação geométrica através do adição de camadas sucessivas. Atualmente, esta tecnologia já se encontra evoluída ao ponto de ser utilizada para criar uma bomba de coração artificial [34], coleções de joias [35], uma córnea [36], uma ponte de aço instalada em Amsterdão [37], entre outros projetos ambiciosos. Para a representação geométrica das estruturas utilizam-se ferramentas CAD como o Abaqus ou o Solidworks. Emparelhada com ferramentas CAD a impressão 3D torna-se num processo de fabrico inovador que torna as empresas que o adotam mais versáteis que nunca [38].

Na IA a impressão 3D já é uma tecnologia empregue a vários níveis. Por exemplo, a Local Motor produziu o primeiro carro elétrico imprimido em 2014, e imprimiu também um autocarro intitulado OLLI. Adicionalmente a Ford é a líder em utilização de tecnologias 3D para partes de motor [39], a BMW utiliza a tecnologia para testar e montar protótipos e a AUDI colabora frequentemente com a empresa SLM Solution Group AG para implementar tecnologias de impressão 3D nas suas fábricas [40].

Mesmo dentro da impressão 3D existem várias técnicas de tipos diferentes, destas destaca-se a impressão 3D por extrusão. A impressão 3D baseada em extrusão de material pode ser usada para imprimir vários materiais acrílicos e plásticos. Este processo tem sido amplamente empregue na IA graças aos seus custos relativamente baixos. A modelagem por deposição fundida (FDM) é o primeiro exemplo de um sistema de extrusão de materiais [41]. A FDM foi desenvolvida no início de 1990 para extrudir principalmente polímeros. A técnica consiste em criar as peças camada a camada, de baixo para cima, aquecendo e extrudando filamentos termoplásticos [41]. Atualmente a técnica continua a ser aperfeiçoada com novos algoritmos e *softwares* que otimizam todo o processo de impressão, sendo apenas necessário definir algumas variáveis

importantes que ditarão a qualidade e o aspeto do produto final, conforme se apresenta na Tabela 2.

Tabela 2 - Variáveis mais relevantes para impressão 3D por extrusão (adaptado de [42])

| Variável | Descrição |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espessura da camada | Quanto mais fina, mais demorada a impressão e melhor o acabamento superficial. Muitas vezes escolhe-se um compromisso entre velocidade de impressão e detalhe do produto. Por norma, a espessura da camada ronda os 0,2 mm. |
| Infill | Trata-se da percentagem do volume preenchido com material no interior da peça. Quanto mais <i>infill</i> , maior a rigidez da peça. Por outro lado, um <i>infill</i> mais elevado implica uma peça mais pesada e com maior tempo de produção. |
| Padrão de <i>infill</i> | Existem vários formatos que se pode conferir ao <i>infill</i> de uma peça, sendo alguns dos mais comuns o favo de abelha, a grelha, e o giroide. Cada um destes tem as suas vantagens e desvantagens. |
| Perímetros | O número de perímetros é um fator decisivo na rigidez de uma peça. Trata-se do número de camadas laterais da peça, ou seja, do número de linhas retilíneas de material à volta do <i>infill</i> . Quanto mais linhas, mais rígida será a peça. |
| Camadas de base | Trata-se do número de camadas compostas apenas por linhas retilíneas na base da peça. |
| Camadas de topo | Trata-se do número de camadas compostas apenas por linhas retilíneas no topo da peça. Entre as camadas de topo e de base fica o <i>infill</i> e o perímetro. |

As restantes variáveis estão mais dependes do material em si ou da impressora do que propriamente da intenção do projetista, sendo estas a temperatura da cama, do material extrudido, a velocidade de impressão e o diâmetro do bico de extrusão [42].

2.2.5 Montagem de componentes plásticos

Quando se escolhe o método da montagem mais adequado para um dado componente plástico devem-se estudar vários aspetos como o tipo de montagem, o processo de produção, as quantias de produção pretendidas, o investimento necessário e o tempo de ciclo [43]. De forma geral, as soluções com menor investimento inicial tratam-se de

montagens manuais (Figura 18). As montagens manuais vão possuir tempos de ciclo e padrões de qualidade piores em comparação com as automatizadas. No entanto com ajuda de equipamentos adicionais é possível garantir a qualidade na mesma [43].



Figura 18 – Assemblagem manual [44]

A solução com maior investimento será a montagem totalmente automatizada que faz uso de equipamentos versáteis adaptados ou equipamentos desenhados para a tarefa específica. Embora sejam raras as implementações de automação completa na montagem de componentes plásticos é nestas em que o tempo de ciclo está otimizado e a qualidade mais garantida [43].

Os investimentos na automação total nem sempre se justificam de modo que a maior parte dos processos de montagem utilizados são semiautomáticos [43], ou seja, apenas se automatizam as partes que se consideram que adicionam valor à empresa.

2.2.5.1 Soluções disponíveis no mercado

Existem 3 tipos de junções para plásticos: mecânicas, adesivas e soldagens. A escolha destas depende da função e do *design* do produto.

Alguns dos métodos mecânicos mais escolhidos incluem a clipagem, a parafusagem e a rebitagem. Estes são escolhidos quando é necessário desfazer a ligação mais tarde durante o tempo de vida da peça. Vários componentes possuem este tipo de exigências, desde baterias a filtros e contentores. São métodos viáveis desde produções em massa a séries mais pequenas [45].



Figura 19 - Ligação mecânica (autoria própria)

Os adesivos são outro método popular de montagem ou união de componentes plásticos e são um dos métodos de união permanente. Os adesivos são comumente usados em aplicações onde os componentes plásticos a serem unidos são feitos de materiais incompatíveis. Por exemplo, materiais incompatíveis na soldagem não podem ser unidos de forma confiável através de métodos de soldagem de plástico que envolvem calor e pressão por terem propriedades muito diferentes. Um exemplo destes seria juntar um tubo PVC flexível com uma válvula de um material muito rígido [45].

Os outros métodos permanentes para unir componentes de plástico envolvem soldagem que usa uma combinação de calor e pressão para unir as peças. Os métodos de soldagem de plástico são ideais para montagem quando os materiais são compatíveis entre si no processo e a aplicação cria uma ligação permanente entre os componentes. Ao contrário dos métodos de união mecânica e adesiva, as soldas de plástico não usam consumíveis como fixadores ou colas. O custo incremental para soldagem envolve o investimento de capital inicial necessário para comprar um soldador de plástico, acrescido de custo da eletricidade para operá-lo [45].

A soldadura de plásticos é muito utilizada na IA e pode ser feita com várias tecnologias com vantagens e desvantagens diferentes associadas como se descreve na Tabela 3:

Tabela 3 – Tipos de soldadura de plásticos (adaptado de [45])

| Autor | Descrição |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Soldadura ultrassónica | É das mais rápidas quando comparada a outras e não possui consumíveis, mas o uso é limitado devido às características dos materiais. O ABS é um dos mais fáceis de soldar com este método. |
| Soldadura por vibração | Também conhecida como soldadura limpa, é capaz de juntar uma gama vasta de termoplásticos com boas propriedades finais na solda. Esta soldadura só não é considerada para o processo quando o <i>design</i> das peças não o permite. |

| | |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Soldadura por laser | Um método preciso e também limpo, mas mais caro de implementar que abriu portas a geometrias mais complexas. |
| Soldadura por infravermelho | Utilizada para juntar peças demasiado grandes para laser e complexas para vibração funciona numa gama vasta de plásticos. |
| Soldadura por rotação | Como as soldaduras ultrassónica e de vibração, a soldadura de rotação baseia-se em criar fricção. Neste caso as peças são circulares na junta e a fricção é criada com rotação. |

O desenvolvimento da soldadura de plásticos deve-se às limitações dos processos de termo conformação como a moldagem por injeção que não permitem criar componentes mais complexos e com qualidades melhores.

Ao escolher o tipo de soldagem, deve-se ter em consideração os materiais, o tamanho, a geometria, o tamanho da produção, o tempo de ciclo e nível de investimento inicial [45].

2.2.5.2 Soluções desenvolvidas para aplicações específicas

A maior parte das montagens na indústria automóvel fazem parte de grandes processos semiautomáticos, de modo que existem vários equipamentos periféricos e diretos criados para a montagem de componentes. De seguida são descritos alguns exemplos:

Pereira [46] desenvolveu a célula com um braço robótico projetada na Figura 20 que é uma opção para montar *clips* em componentes de automóveis plásticos. A célula foi projetada com um sistema de alimentação de *clips* por vibração, conjugada com um sistema de troca de ferramenta no qual a ferramenta que não está a ser usada é carregada com *clips* enquanto a outra é usada para montar os *clips* numa peça segurada acima por um sistema de transporte.

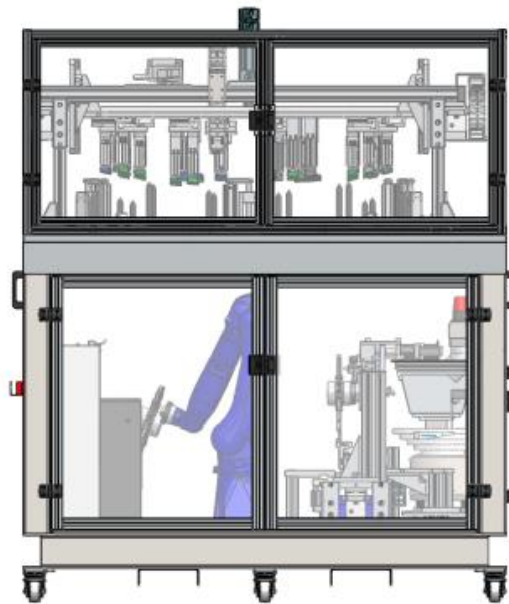


Figura 20 - Célula para montagem de clips [46]

Na Figura 21 apresenta-se outro exemplo, uma célula projetada com o objetivo de montar vários acessórios num componente de plástico. A célula introduz os acessórios nos encaixes com movimentos vibratórios de um alimentador inclinado e encaixa-os com atuadores elétricos. Os autores [47] mencionam que os atuadores poderiam ser pneumáticos de forma a reduzir custos, mas que os elétricos compensam pela autonomia maior.

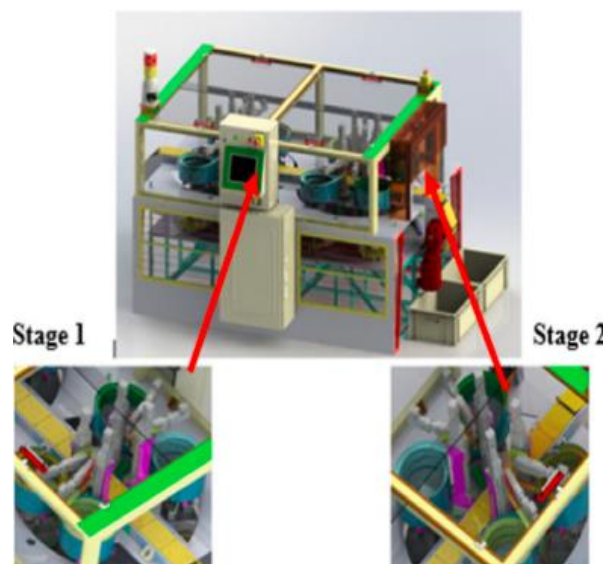


Figura 21 - Célula de montagem de componentes (adaptado de [47])

Na Figura 22 um exemplo que se encontra na Simoldes Plásticos (SP), uma célula que verifica a montagem correta de componentes fazendo uso de sensores óticos. Estas células agarram as peças e apenas as libertam após o operador montar manualmente

os clips. Deste modo, garante-se um bom nível de qualidade e fiabilidade mesmo com um investimento inicial menor.

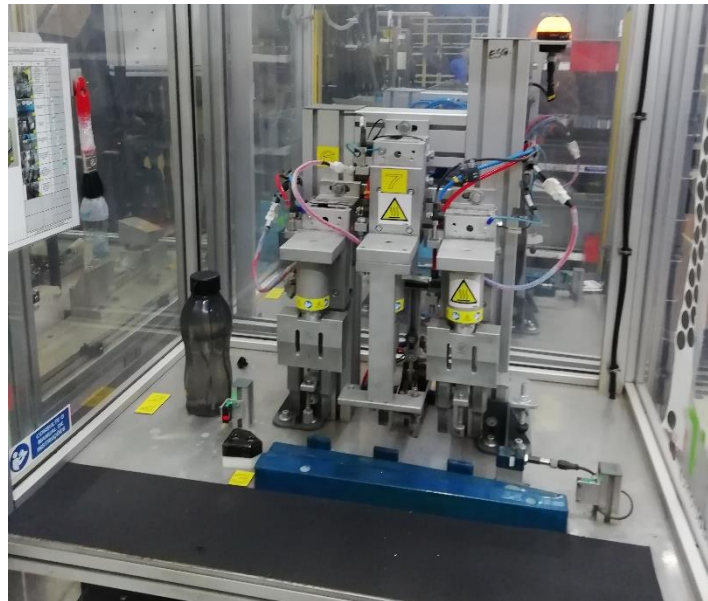


Figura 22 - Célula de verificação de montagem (autoria própria)

2.2.5.3 Estado-da-arte

O estado-da-arte da qualidade encontra-se bem avançado devido à evolução da indústria. A qualidade é um pilar da IA e todas as empresas devem ter algum tipo de sistema que dê garantias desta. Na Tabela 4 apontam-se alguns exemplos de trabalhos representativos do estado-da-arte.

Tabela 4 - Estado-da-arte da qualidade (autoria própria)

| Autor | Descrição |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pereira [46] | O autor teve como intenção desenhar uma solução de montagem de <i>clips</i> mais ágil do que as já existentes. Para este efeito foi projetada e concebida uma célula com braço robótico. Enquanto o <i>robot</i> monta clips com uma ferramenta uma segunda é alimentada. O <i>robot</i> , em vez de carregar a ferramenta com os <i>clips</i> , simplesmente procede troca esta o que poupa tempo precioso. |

-
- Os autores procuraram desenvolver um conceito novo de um equipamento com estrutura simples rodeado de equipamentos inteligentes que adota um nível médio-alto de automação. Para este efeito projetaram uma célula flexível e ágil com atuadores elétricos, *grippers* e alimentadores de vibração capaz de montar buchas em componentes de plástico. O estudo permitiu concluir que a automação é a melhor opção para melhorar a produção e a qualidade com um nível alto de configurabilidade.
- Costa, et al.
[47]
-
- O autor explorou métodos heurísticos de estudos para otimizar linhas de montagem de modo a reduzir postos de trabalho e reduzir equipamentos sem afetar a produção. Linhas em série foram comparados com linhas em U e linhas em paralelo apontando parâmetros e tendências, nomeadamente a variabilidade de produtos e a generalização de equipamentos já discutidas no capítulo 2.1. O estudo termina apontando que as linhas de montagem tradicionais têm boa eficiência de produção, mas perdem em flexibilidade devido às dificuldades de alteração de linhas.
- Grzechka [48]
-
- Os autores desenvolveram uma solução para montagem de componentes automatizada para um caso de montagem de componentes pequenos para a indústria automóvel. Desenvolveu-se um sistema capaz de montar todas as variantes destes componentes com uso de tecnologia modular e adaptável e melhoramento das condições de trabalho dos operadores que não foram substituídos por *robots* devido a questões éticas. O trabalho permitiu resolver um problema industrial e demonstrar de forma prática como a modularidade e flexibilidade da automação podem-se combinar de modo a reduzir custos e aumentar a fiabilidade do processo de produção.
- Nunes, et al.
[5]
-

2.3 Automatização de processos de fabrico

2.3.1 Análise comparativa da automação e da robótica

A automação é definida como o uso de técnicas, computadorizadas ou mecânicas, para reduzir trabalhos manuais num dado processo. A robótica é o desenvolvimento de *robots* para executar uma função. Geralmente nem toda a automação implica o uso de

robótica e nem toda a robótica é aplicada apenas na automação. No entanto, como estas estão de mão dadas em imensos casos, os termos começaram recentemente a serem utilizados de maneira intercambiável [49].

2.3.1.1 Automação

Atualmente, é possível automatizar todos os componentes de um processo, sejam estes o fabrico, transporte, a montagem ou inspeção de componentes. Um processo considera-se automatizado quando possui uma componente manual muito reduzida em comparação com o processo totalmente manual [49].

Trata-se de um instrumento que se usa de forma calculada, visto que por vezes surgem projetos que não justificam investimentos muito altos. Na Figura 23 encontra-se um exemplo de automação na IA que requereu alto investimento.



Figura 23 - Exemplo de automação na IA (adaptado [50])

Com a necessidade das empresas da IA se manterem competitivas surgiu uma grande quantidade de pesquisa e desenvolvimento nesta área. A automação na IA evoluiu imenso, sendo as razões principais desta evolução [49]:

- **Reduzir custos de manutenção** – menos erros implicam menor necessidade de manutenção e as necessidades desta deixam de ser contínuas e passam a periódicas;
- **Aumento da produtividade** – é possível poupar tempo de ciclos simultaneamente com o aumento da precisão;
- **Redução dos prazos de entrega** – Com maior produtividade e menos imprevistos (erros) é natural que os prazos diminuam;
- **Capacidade de execução de tarefas que não devem ser efetuadas manualmente** – Peças que seriam difíceis de manusear por serem demasiado pesadas e que requerem demasiada precisão deixam de o ser com uso correto da automação;

- **Controlo dos processos** – Segmentar e planejar o processo para automação permite a implementação de protocolos que garantem o isolamento de variáveis e erros que possam surgir. Elimina-se uma tarefa que de certa forma também faz parte do processo, ou seja, o controlo do processo permite melhorias contínuas para otimizar o ciclo e melhorar condições de trabalho;
- **Aumento da qualidade do produto** – O uso de máquinas capazes e a implementação de protocolos de deteção de erros vão implicar um nível mais alto de precisão e menos desvios no produto final;
- **Aumento dos lucros** – Este pode ser atribuído à combinação de todas as razões listadas;
- **Melhorar segurança dos trabalhadores** – Ao definir a posição e os postos de trabalho dos operadores também se implementam medidas que reduzem a probabilidade de acidente.

Na IA, a evolução da automação resultou em equipamentos *standard* que permitem o seu aproveitamento mesmo quando ocorrem mudanças ou trocas de projetos [43]. Especialmente nestes últimos dois anos atravessa-se um momento complicado na indústria, o que leva cada vez mais a adaptações de modo a poupar no investimento inicial, o que significa que a generalização dos equipamentos irá continuar no futuro próximo [51].

2.3.1.2 Robótica

À medida que a tecnologia avança os *robots*, são cada vez mais avançados e capazes de fazer tarefas antes impossíveis mesmo para humanos. O impacto na sociedade sentido por pelos avanços nas áreas da robótica é enorme desde o fabrico industrial até à assistência médica, transporte e exploração do espaço e do mar [49].

Tal como os seres humanos, os *robots* conseguem responder a estímulos e informação sensorial, visual e audível, e comunicar de modo a ajudar nos processos. O desenvolvimento da tecnologia robótica acompanhou o desenvolvimento do controlo numérico, permitindo o controlo coordenado de múltiplos eixos, e uso de computadores digitais dedicados como controladores. Os equipamentos habituais são desenvolvidos para executarem processos específicos, como por exemplo maquinagem, furação de chapas metálicas, entre outras, enquanto os *robots* são projetados para uma variedade maior de tarefas [52]. Mais vantagens dos *robots* passam por [49]:

- **Sem paragens de descanso** – Um *robot* pode trabalhar dias sem parar o que cobre 3 turnos e poupa 3 salários;
- **Sem medidas de segurança** – Um *robot* pode ocupar o lugar de um operador em ambientes de trabalho perigosos ou desconfortáveis;
- **Repetibilidade** – Um *robot* executa o seu ciclo de trabalho com uma consistência e repetibilidade que não pode ser alcançada por um operador;

- **Reprogramáveis** – Quando a execução de produção da tarefa atual é concluída, um *robot* pode ser reprogramado e equipado com as ferramentas necessárias para executar uma tarefa totalmente diferente;
- **Sistemas computadorizados** – São controlados por computadores e, portanto, podem ser conectados a outros, obtendo-se assim uma produção interligada.

Os efeitos da robótica não são totalmente prejudiciais para o trabalhador comum. Por vezes surgem tarefas que requerem um elemento humano em conjunto com um *robot* e há exemplos múltiplos desta aplicação, como o apresentado na Figura 24.



Figura 24 - Exoesqueleto robótico para trabalhadores [53]

Muitas das operações de fabrico na IA são realizadas por braços robóticos industriais, mas parte das tarefas de montagem, como passagem de cabos e as suas ligações, ainda são executadas através de mão-de-obra humana [54].

2.3.1.3 Custos associados às soluções

Neste momento empresas compram *robots* em grandes quantidades, com os preços de mercado a serem determinados principalmente por configurabilidade e categoria de tamanho, não por marca. Os aumentos dos preços estão associados a componentes extra de *hardware* juntamente com *softwares* desenvolvidos. Mesmo tendo isto em conta os *robots* são considerados equipamentos relativamente económicos nos segmentos de mercado mais ativos [55].

Apesar de um grande desenvolvimento de *robots* nos últimos 30 anos, continua a ser possível atingir flexibilidades semelhantes através de outras soluções com preços mais razoáveis [52]. Há soluções ligadas à área da automação que são mais económicas, a

curto prazo, do que um *robot*. São estas situações onde a aplicação de um *robot* não se justifica nem apresenta uma solução viável [56].

Os *robots* possuem movimentos rápidos e precisos com possibilidade de maior alcance e configurabilidade sobre os seus movimentos graças aos seus sistemas cartesianos. Nos dias de hoje, os robots são cada vez mais fáceis de aprender a programar e implementar visto que as várias empresas que fabricam *robots* estão a tentar torná-los mais acessíveis ao público através de *softwares* mais intuitivos e simples [49]. No entanto, o investimento inicial na aquisição de um *robot* é bastante elevado e, como tal, caso seja possível é preferível recorrer a outro tipo de automatismos, como os pneumáticos exemplificados na Figura 25. Se o processo for igualmente competitivo, a escolha certamente cairá sobre estes, devido ao seu custo mais reduzido e facilidade de implementação.



Figura 25 - Linha de montagem com pneumática [57]

A automação *low-cost* implica a escolha de outros tipos de sistemas como os pneumáticos, elétricos ou *karakuris* (exemplificados na Figura 26) que são escolhidos por todos os tipos de empresas para mover cargas dentro da fábrica.



Figura 26 - Exemplo de sistemas *karakuri* [58]

2.3.1.4 Flexibilidade e agilidade

A luta agilidade *versus* flexibilidade gerou soluções novas nos domínios dos métodos e técnicas de gestão e marketing. Na IA, o processo de fabrico normal tornou-se num sistema de produção flexível, adaptável, versátil e ágil, de forma a produzir uma faixa planeada de classes de produtos e modelos, dentro de um leque de produção projetado [59].

Os sistemas ágeis de produção permitem reações a mudanças inesperadas no mercado, que está em constante mudança, suportando o rápido lançamento de produtos previamente imprevisíveis, pensados à medida para atender às exigências flutuantes dos clientes [60]. Ao mesmo tempo, técnicas baseadas no TPS (*Toyota Production System*) e metodologias *Lean* têm sido cada vez mais desenvolvidas levando a melhorias significativas nos negócios, no desempenho ambiental e na eficiência das empresas em geral [61].

Uma produção *Lean*, além de reduzir desperdícios, procura melhorar condições que poderão favorecer a produtividade dos operadores e melhorar o seu bem-estar durante a execução das tarefas. As metodologias *Lean* combinadas com o TPS são capazes de melhorar linhas de montagem manuais dedicadas a dispositivos eletrónicos complexos, o que permite a melhoria na qualidade da linha de montagem, mais eficácia geral do trabalho, mais produtividade e eliminação de resíduos [59]. Múltiplos estudos e projetos provaram que, ao aplicar estas metodologias, pode-se aumentar a produção até 40% como demonstrado num estudo por Silva e Ferreira [61].

A flexibilidade na produção permite que uma empresa realoque a capacidade da linha de produção para produtos com uma procura acima da esperada. No aumento da produção são lançados produtos novos muito rapidamente sem perder capacidade de produção de outros produtos com menor procura que a esperada [62].

Um sistema de produção flexível consegue mudar rápida e facilmente para produzir uma variedade planeada de modelos de numa classe de produto, e ser reconfigurado de forma rápida e economicamente viável para responder à introdução de novos modelos [63]. Como exemplo destes sistemas, referem-se os equipamentos *Computer Numerical Control (CNC)* com acessórios e ferramentas flexíveis, que são por norma parte de um *Flexible Manufacturing System (FMS)*. Um FMS na IA é projetado para produzir apenas uma classe de produto, com muitas variantes nos modelos da classe. Esta limitação de se manter um sistema sempre dentro da mesma classe está em vigor por todas as indústrias, pois projetar um sistema para processar vários modelos é um desafio muito complicado [64].

Para responder à constante mudança nas tendências, um FMS necessita de investimentos adicionais significativos, assim como tempo para se converter ou adaptar a novos produtos "não planeados". Visto desta maneira, o FMS vai contra os critérios de

agilidade que rejeitam perdas de tempo e procuram evitar investimentos iniciais em equipamentos [60].

Empresas do setor automóvel gravitam mais em direção a sistemas de produção flexíveis, devido ao potencial de reutilização de equipamentos e redução de investimentos nestes. São vários os autores que definem este tipo de sistemas entre estes destacam-se Goranson e Goranson [62] que definem um sistema flexível como um sistema de produção capaz de lidar efetivamente com um alcance específico de variação do produto.

Na realidade tanto os modelos ágeis como os flexíveis são idealísticos e o que se acaba por implementar é um balanço entre os dois, mas para isso empresas têm de implementar ferramentas de análise, o que ajuda a determinar a melhor combinação deste tipo de sistemas para um dado período de tempo. Quanto melhor este balanço mais robusta e resiliente a empresa.

2.3.2 Tipos de automação

A automação pode ser dividida em três tipos básicos [49]:

- Automação fixa;
- Automação programável;
- Automação flexível.

2.3.2.1 Automação fixa

A automação fixa envolve o emprego de equipamento específico para realizar tarefas de todos os tipos (fabrico, montagem, processamento, entre outros). No geral, as operações automatizadas de forma fixa não são complexas e envolvem sempre movimentos lineares ou rotacionais. As vantagens destes tipos de automação é que estes permitem um grande volume de produção, maximiza a produção e baixa o preço por unidade produzida. Como desvantagens principais refere-se a necessidade de um alto investimento inicial no projeto do equipamento e a inflexibilidade a acomodar alterações no produto. Como exemplo, na Figura 27 apresenta-se o *layout* de uma linha de garrafas de água [49].

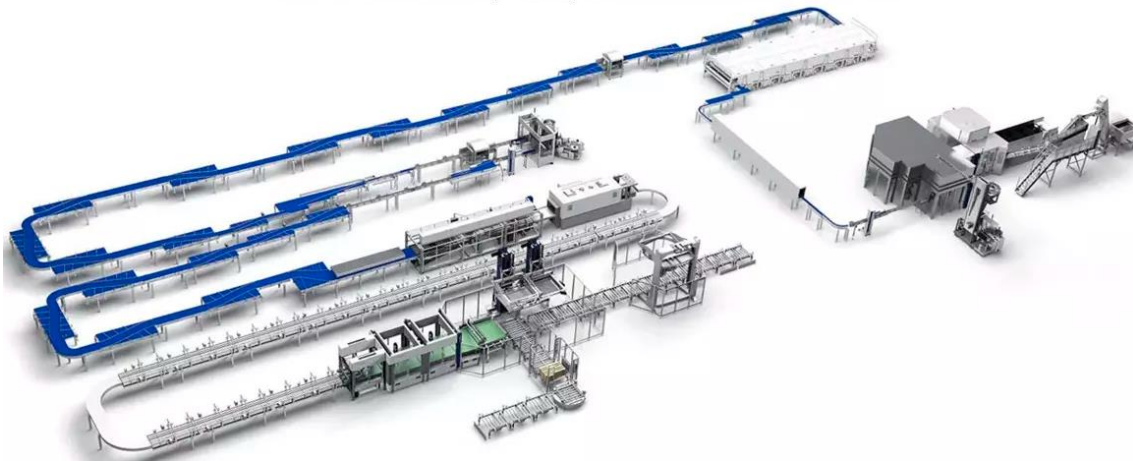


Figura 27 - Linha de garrafas de água [65]

2.3.2.2 Automação programável

A automação programável permite a implementação de programas e processos novos no sistema. Termostatos e sistemas de *cruise control* são bons exemplos deste tipo de automação. Enquanto a automação fixa permite apenas executar as mesmas tarefas numa sequência fixa, a programável permite reprogramar tarefas diferentes num ciclo. A vantagem da automação programável está na adaptabilidade a variações em *designs*. Apesar desta vantagem, a automação programável produz menos unidades do que os outros dois tipos de automação devido ao tempo perdido na troca de produtos [49]. Exemplos de sistemas automáticos programáveis são as máquinas CNC e *robots* industriais.

2.3.2.3 Automação flexível

Com este tipo de automação é possível produzir vários produtos diferentes sem perdas de tempo na realização de *setups*, permitindo combinar vários programas de produtos simultaneamente, sem que seja necessária a produção por lotes. Trata-se de um tipo de automação mais situacional pois é necessário que os componentes que vão ser produzidos possuam semelhanças [49].

Para a automação flexível é necessário alto investimento, mas como compensação obtém-se a produção contínua de diferentes produtos, as taxas de produção médias existentes e, por fim, a flexibilidade em lidar com as variações no desenho do produto. Como exemplo deste tipo de sistema apresenta-se na Figura 28 uma produção de veículos pesados com recurso a *Automatic Guided Vehicles (AVG's)*.



Figura 28 - Sistema de automação flexível [66]

2.3.3 Controlo de sistemas automatizados e robotizados

Para criar e definir sistemas automatizados e robotizados são necessários equipamentos laterais capazes de recolherem informação, equipamentos que permitam tomar decisões com base nesta e, por fim, equipamentos que permitam realizar tarefas e ações.

2.3.3.1 Atuadores

Um atuador permite a um sistema realizar uma ação ou tarefa, pois converte um sinal numa ação física. Este também pode ser chamado de transdutor visto que pode também converter um sinal físico, como eletricidade, noutra sinal físico, como rotação de um motor. Segundo Groover [51], existem três grandes categorias de atuadores:

- **Atuadores elétricos** - são os mais usados, dividindo-se em motores de corrente contínua e alternada, e motores “*steppers*”, em que o movimento do rotor é proporcional aos impulsos recebidos e solenoides;
- **Atuadores hidráulicos** - usam um fluido hidráulico para realizar trabalho. São usados em tarefas que requerem grandes forças;
- **Atuadores pneumáticos** - usam ar comprimido para realizarem trabalho. Não são tão eficazes como os hidráulicos, em tarefas que exijam forças elevadas.

Estes atuadores apenas efetuam movimentos simples (rotativos e lineares). Na Tabela 5 estão listados os atuadores mais utilizados na indústria.

Tabela 5 - Atuadores mais utilizados na indústria (adaptado de [67])

| Tipo de atuador | Atuador | Descrição |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Elétricos | Motor de corrente contínua | Motor eletromagnético de rotação, de corrente contínua. Muito utilizado como servomotor. O movimento rotativo pode ser convertido em linear através do uso de sistema cremalheira-pinhão ou fuso de esferas. |
| | Motor de indução (rotativo) | Motor eletromagnético de rotação de corrente alternada. Motor de menor custo, de construção mais simples e com fonte de alimentação mais comum do que o motor de corrente direta (DC). O movimento rotativo pode ser convertido em linear através dos mesmos sistemas que os motores DC. |
| | Motor de indução (linear) | Motor eletromagnético com movimento em linha reta. Alimentado por corrente alternada, com grande precisão de posicionamento, alta velocidade, e longo curso. |
| | Interrutor-relé | Interruptor de abrir e fechar mediante comando eletromagnético. |
| | Solenóide | Consiste numa bobina que possui duas posições eletromecânicas. Tem uma posição normal fixada por uma mola. Quando a bobina é energizada muda de posição. A mais comum é a solenóide linear, mas existe também a rotativa. |

| | | |
|------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | <i>Motor stepping</i> | Motor eletromagnético de rotação. Movimento proporcional aos impulsos recebidos. Possui como grandes vantagens a alta precisão e facilidade de implementação, sendo compatível com sinais digitais. O movimento linear pode ser convertido em rotativo através do uso de sistema cremalheira pinhão ou fuso de esferas. |
| Hidráulico | Pistão hidráulico | Pistão exerce força e proporciona movimento linear em resposta à pressão hidráulica. Possui alta capacidade de carga. |
| Pneumático | Cilindro pneumático | Pistão no interior do cilindro exerce força em resposta à pressão realizada por ar comprimido. |

2.3.3.2 Aparelhos de medida

Os aparelhos de medida servem para recolher informação sobre os processos automatizados e por norma possuem uma parte transdutora, que converte uma variável física num sinal elétrico, e uma parte sensorial, que deteta variáveis de interesse como forças ou temperaturas. Seguem-se os aparelhos de medida mais comuns na Tabela 6.

Tabela 6 - Aparelhos de medida (adaptado de [67])

| Aparelho de medida | Descrição |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Acelerómetro | Dispositivo analógico usado para medir aceleração produzida por vibrações e choques. |
| Amperímetro | Aparelho analógico que mede a intensidade da corrente elétrica. |
| Interruptor bimetálico | Interruptor binário que usa uma bobina elétrica para abrir e fechar um contacto elétrico mediante alteração de temperatura. A bobina bimetálica é constituída por duas tiras de metal, ligadas, com diferentes coeficientes de expansão. |

| | |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Termómetro bimetálico | Dispositivo analógico composto por bobina metálica que muda de forma em função de alteração de temperatura. Esta alteração de forma pode ser calibrada para indicar a temperatura. |
| Tacómetro DC | Dispositivo analógico que consiste num gerador de corrente contínua, que produz uma tensão elétrica proporcional a uma velocidade angular. |
| Dinamómetro | Dispositivo analógico usado para medir força, potência e binário. Pode ser baseado em vários fenómenos físicos (por exemplo extensometria ou efeito piezoelétrico). |
| Transdutor de nível | Boia ligada a um braço de alavanca. O movimento basculante da alavanca pode ser usado para medir o nível de um líquido num recipiente (dispositivo analógico) ou para atuar num interruptor (dispositivo binário). |
| Sensor de fluxo para líquidos | Medição analógica de fluxo de um líquido, normalmente baseado na diferença de pressão em dois tubos de diâmetro diferente. |
| Interruptor de fluxo para líquidos | Interruptor binário idêntico ao interruptor fim de curso, ativado pelo aumento da pressão do fluido em vez do contacto com o objeto. |
| Transformador diferencial variável linear | Sensor de posição analógico, que consiste numa bobina primária em oposição a duas bobinas secundárias. Quando a bobina primária é energizada, é induzida uma tensão nas bobinas secundárias em função da posição do núcleo. Também pode ser adaptado para medir força ou pressão. |
| Interruptor fim de curso | Sensor de contacto binário, em que a alavanca abre ou fecha um contato elétrico. |
| Manómetro | Dispositivo analógico usado para medir pressão de gás ou líquido. É baseado na comparação de pressões conhecidas e desconhecidas. Um barómetro é um tipo específico de manómetro usado para medir a pressão atmosférica. |
| Ohmímetro | Dispositivo analógico que mede a resistência elétrica. |

| | |
|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Encoder ótico | Dispositivo digital que mede a posição e/ou velocidade, e que consiste num disco perfurado, que divide uma fonte de luz proveniente de uma célula fotoelétrica. No movimento do disco, a célula fotoelétrica recebe a luz através de rasgos, como uma série de impulsos. A quantidade e a frequência de impulsos são proporcionais à posição e velocidade do veio ligado ao disco. Adaptável para medidas lineares e angulares. |
| Sensor fotoelétrico | Sensor binário sem contacto, que consiste num emissor (feixe de luz) e recetor (fotocélula) e que é desencadeado pela interrupção do feixe de luz. Existem dois tipos comuns: tipo transmitido, no qual o objeto interrompe o feixe de luz entre o emissor e o recetor, e o tipo retrorrefletor, em que o emissor e o recetor estão localizados num dispositivo e o feixe de luz é refletido por um refletor, exceto quando o objeto interrompe o feixe de luz refletido. |
| Sensor fotoelétrico (matriz) | Sensor digital constituído por uma série linear de sensores fotoelétricos. É concebido para medir a altura ou o tamanho do objeto interrompendo alguns, mas não todos, os feixes de luz. |
| Fotómetro | Sensor analógico que mede a iluminação e a intensidade da luz. |
| Transdutor piezoelétrico | Dispositivo analógico baseado no efeito piezoelétrico de certos materiais (por exemplo, o quartzo) em que uma carga elétrica é produzida quando o material é sujeito a uma deformação. A carga pode ser medida e é proporcional à deformação obtida. Pode ser usado para medir força, pressão e aceleração. |
| Potenciómetro | Sensor analógico de posição que consiste numa resistência e um contacto deslizante. A posição deste contacto na resistência determina a medida obtida. Realiza medições lineares e de rotação. |
| Interrutor de proximidade | Sensor binário sem contacto que é despoletado quando um objeto próximo induz alterações no campo eletromagnético. |
| Pirómetro de radiação | Dispositivo analógico de medição de temperatura que deteta radiação eletromagnética na gama de campo visível e dos infravermelhos do espectro de luz. |

| | |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Termo resistência | Dispositivo de medição analógico que consiste no aumento de resistência elétrica do material metálico em função do aumento de temperatura. |
| Extensómetro | Sensor analógico amplamente usado para medir a força, binário ou pressão. Baseado na alteração da resistência elétrica em função da deformação do material condutor. |
| Termístor | Dispositivo analógico de medição de temperatura baseado no decréscimo da resistência elétrica de um material semiconductor em função do aumento de temperatura. |
| Termopar | Dispositivo analógico de medição de temperatura baseado no efeito termoelétrico, em que a junção de dois materiais dissimilares emite uma pequena tensão elétrica que é função da temperatura da junta. |
| Sensor de ultrassons | O sensor mede o intervalo de tempo entre a emissão e a reflexão (do objeto) dos impulsos de alta frequência do som. Pode ser usado na medida da distância, ou apenas para indicar a presença de um objeto. |

2.3.3.3 Automação e controlo

2.3.3.3.1 Autómatos

Os autómatos ou *Programmable Logic Controller's* (PLC's) são equipamentos cujo propósito é controlar, analisar e definir um processo fazendo uso de equipamentos como os sensores e os atuadores mencionados anteriormente. Um autómato exemplificado na Figura 29, comunica com equipamentos através de cartas de entrada e saída digitais e/ou análogas e gere todo o sistema graças a programação simples, mas baseada em linguagem de alto nível [68].



Figura 29 - Autômato (autoria própria)

Os PLC's são utilizados devido a várias razões [68]:

- **Robustez mecânica** – Compactos e robustos conferindo-lhes maior durabilidade do que outros sistemas programáveis;
- **Robustez elétrica** – Proteção com isolamentos e blindagem magnética. Fontes de alimentação estáveis e robustas;
- **Tempo entre avarias** – Muito alto. Os autômatos conseguem operar continuamente durante anos;
- **Sistema operativo** – Como não tem sistema operativo não há tarefas a correr simultaneamente ao programa, o que minimiza o tempo de resposta e diminui possíveis bugs;
- **Programação** – Flexível, relativamente simples e de alto desempenho.

2.3.3.3.2 Programação

Um programa é um conjunto de instruções que um PLC consegue reconhecer e executar. A linguagem mais usada é a *Ladder*, exemplificada na Figura 30, que consiste num sistema gráfico de símbolos e termos. Por esta razão, esta é considerada como sendo possível de compreender mesmo por utilizadores não familiarizados com os diagramas. Outras linguagens que podem ser utilizadas são o *BASIC*, *C* e *Booleana*. Estas linguagens de computação são apropriadas para aplicações em que se torna necessária a execução de cálculos e rotinas, que seriam demasiado complexos e “pesados” para serem realizados em *Ladder*. Além das linguagens de programação mencionadas existem outras criadas por fabricantes que adaptaram estas para criarem novas.

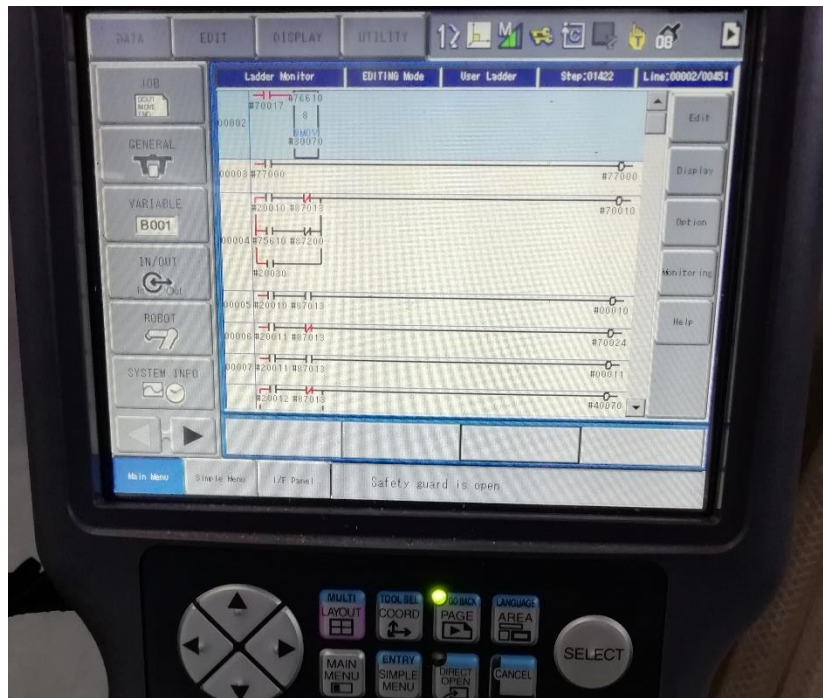


Figura 30 - Exemplo de programação *Ladder* num controlador de um robot Yaskawa (autoria própria)

Para apoio à conceção de programação em *Ladder* existem a representação gráfica desta conhecida por *Grafcet* exemplificada na Figura 31. Esta representação possibilita a descrição de um funcionamento de elevada complexidade através de modelos gráficos compactos, modulares e universais, que permitem estruturar a conceção e simplificá-la tornando possíveis erros evidentes e a seguinte criação do código *Ladder* mais fácil e organizada.

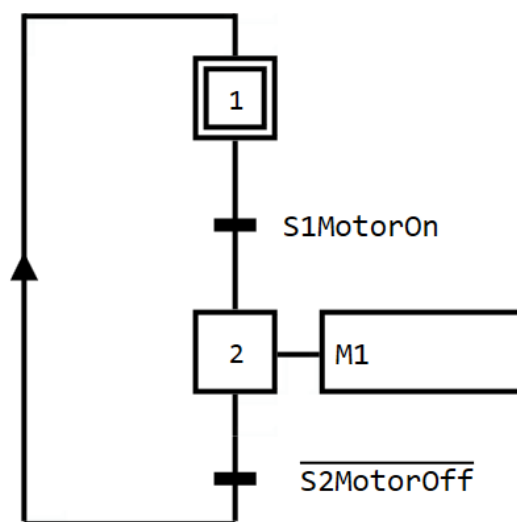


Figura 31 - Exemplo de *Grafcet*

2.3.3.3 Interfaces gráficas e softwares

Uma *Human-Machine Interface* (HMI) combinada com um software SCADA (*Supervisory Control And Data Aquisition*) permitem interagir com o PLC de forma rápida e eficaz. As HMI's são utilizadas para visualizar dados e alterar variáveis, e permitem realizar manutenções e verificações de dados. A HMI exemplificada na Figura 32 constitui assim mais um componente durável construído para acompanhar equipamentos industriais, abrindo as portas à adaptabilidade e ao controlo de máquinas e sistemas em tempo real [69].

Existem diversas marcas que fornecem estes tipos de equipamentos, tais como a Siemens, Delta ou a Omron e, por norma, cada marca tem a sua linguagem e *software* de programação, que permitem a criação de ambientes gráficos que poderão ser acedidos normalmente via *touch screen*.



Figura 32- Exemplo de HMI [70]

2.3.4 Estado-da-arte de sistemas automatizados e robotizados

A automação é uma área muito explorada, de modo que os trabalhos que se publicam de hoje em dia procuram melhorar casos específicos ou desenvolver métodos que facilitem o processo da automação em si [71]. Na Tabela 7 apresentam-se exemplos de estudos e implementações de projetos de automação e robótica, que refletem o estado-da-arte.

Tabela 7 - Estado da arte da automação e robotização (autoria própria)

| Autor | Descrição |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Costa, et al. [52] | Os autores tinham como objetivo melhorar um processo produtivo através da automação. A automatização de uma produção de parte do motor de escovas para vidros de automóveis foi conceptualizada. Após várias análises, os autores desenvolveram um sistema totalmente automático em conjunto com uma HMI. O sistema era capaz de detetar defeitos de tamanho que apareciam numa peça cilíndrica e poderia proceder à sua filtragem. No fim o novo sistema totalmente atualizado conseguiu superar o nível de produção pedido por 19%. Concluem ao apontar que o estudo demonstrou que com a aplicação de uns mecanismos simples, mas inovadores problemas de qualidade podem ser resolvidos e quantidade de produção pode ser aumentada. |
| Araújo, et al. [56] | Os autores procuraram melhorar um sistema semiautomático de fabrico de tapetes de suspensão para automóveis. Após analisarem a linha de produção alteraram esta de modo automatizar mais o processo. Foi removida a necessidade de dois operadores graças a adição de transporte com tapetes juntamente com o conceito de uma célula nova responsável pela alimentação de fio e manipulação deste. Os autores concluem que o trabalho demonstra que é possível transformar alguns equipamentos dependentes de operadores em equipamentos automáticos. |
| Kaltenbrunner, et al al. [71] | O artigo investiga o planeamento para uma produção totalmente automática de paletes. O objetivo da solução é minimizar o desperdício de material e garantir um fluxo de produção contínua no local de produção de paletes. Foi elaborado um modelo adaptável capaz de analisar dados e fornecer a melhor sequencia de produção. Os autores concluem que é possível melhorar processos com a análise de padrões através do uso de heurística, mas que este método não tem a conta a exequibilidade de certas partes do processo. |

-
- Os autores tinham como objetivo otimizar um processo de produção dedicado ao fabrico de cabos de controlo para a indústria automóvel. Ao mapear todas as atividades e analisá-las, foi possível encontrar soluções viáveis que resultaram num aumento da produtividade bem acima do que era pedido e dentro do orçamento. Os objetivos foram cumpridos dispensando robótica. Os autores concluem que a metodologia empregue para automatizar o processo permite uma aproximação sistemática que encontra soluções *low-cost* e otimizadas.
- Conceição, et al.
[72]
-
- Os autores procuraram desenvolver um conceito novo de um equipamento com estrutura simples rodeado de equipamentos inteligentes que adota um nível médio-alto de automação. Para este efeito projetaram uma célula flexível e ágil com atuadores elétricos, *grippers* e alimentadores de vibração capaz de montar buchas em componentes de plástico. O estudo permitiu concluir que a automação é a melhor opção para melhorar a produção e a qualidade com um nível alto de configurabilidade.
- Costa, et al.
[47]
-
- Os autores procuram definir e dividir em categorias todas as restrições que ocorrem na implementação da automação. Fornecem dezoito exemplos de trabalhos ou artigos científicos que se depararam com restrições e aglomeram estes de forma clara e elucidativa separando as principais restrições em gestão, modelo, custos, mecanismos, interação humano-máquina e medições. Concluem que as restrições poderão ser minimizadas incorporando análises e pesquisas público-privadas mais regulares, com maior formação de técnicos, e com implementação de outras medidas e regras preventivas.
- Vishnoi, et al.
[73]
-

2.4 Controlo de qualidade na indústria automóvel

2.4.1 Importância do controlo de qualidade

O controlo de qualidade corresponde às ferramentas que empregues de modo a garantir a fiabilidade e homogeneidade na produção de produtos. Como tal, as empresas desenvolvem esforços e pesquisas nos seus processos sobre o controlo de qualidade, pois este é vital para sobreviver na indústria. Os esforços das empresas passam por implementar metodologias *Lean* e sistemáticas e sistemas de controlo cada vez mais confiáveis e avançados.

2.4.2 Utilização de sistemas óticos

Muitas vezes devido ao alto número de peças produzidas é necessário incorporar o controlo de qualidade na automação do processo em si. Surgem então os sistemas óticos que permitem verificar a execução de tarefas e o estado de produtos com recurso a várias tecnologias como a da luz infravermelha, difusão e as fibras entre outras [74].

2.4.3 Utilização de medição de variáveis do processo

Num processo totalmente automatizado, a utilização de aparelhos de medição é imprescindível. Através destes é possível medir e quantificar variáveis como alturas e pressões que podem ser utilizadas para garantir o controle do processo. As variáveis que medem variações no processo são chamadas de variáveis de controlo [49]. Quanto mais precisas e eficientes forem as variáveis de controlo, melhor será a segurança e eficiência do processo, uma vez que o controlo do processo se resume a alterar/manter estas variáveis reagindo ou não às alterações verificadas nestas.

2.4.3.1 Variáveis utilizadas para controlo de qualidade

As quatro variáveis de controlo de processo mais comumente empregadas para controlo de qualidade são a temperatura, a pressão, o nível e o escoamento [75]. Na Tabela 8 encontram-se as descrições destas.

Tabela 8 - Variáveis de controlo mais comuns (autoria própria)

| Variável | Descrição |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Temperatura | A temperatura é das variáveis mais importantes pois fornece informação da condição de vários processos. Este processo é complicado e é preciso ter em conta erros de precisão e desvios possíveis [75]. |
| Pressão | A pressão é o resultado de uma força sobre uma área e pode ocorrer pela expansão de gases e vapores ou pela elevação de colunas líquidas, ou seja, tem uma multitude de aplicações sobre várias indústrias [75]. |
| Nível | Nível é a medida em altura do conteúdo líquido ou sólido de um reservatório e faz parte dos processos de automação e sua decorrente instrumentação industrial [76]. |
| Escoamento | A medição de escoamento inclui no seu sentido mais amplo a determinação da quantidade de líquidos, gases e sólidos que passa por um determinado local por unidade de tempo [76]. |

2.4.3.2 Aquisição e processamento de dados

A aquisição e processamento de dados pode ser definida como sendo o processo no qual sinais físicos são medidos e convertidos para sinais digitais, processados, analisados e guardados [77].

Transdutores e sensores tornam-se na interface mundo real/digital convertendo fenómenos físicos em digitais de modo que os *softwares* de aquisição de dados possam interpretá-los. Nesta operação, os sinais digitais são recondicionados através de isolamento, amplificação, linearização e filtragem [77].

Através de protocolos de comunicação entre sensores e dispositivos com *Data Acquisition Systems* (DAQ's) integrados, os transdutores e sensores recebem e manipulam os dados tornando-os aptos para leitura. A escolha de hardware, tipos de comunicação DAQ's e dispositivos vai depender muito do ambiente em que estes terão de operar [77].

2.4.4 Estado-da-arte

Existem várias metodologias para controlar a qualidade do produto, desde desenvolver DAQ's a sistemas de monitorização óticos a verificações pontuais. Dependendo da situação, todas as empresas têm algum protocolo em vigor de modo a garantir a qualidade dos seus produtos. Na Tabela 9 seguem-se alguns artigos e trabalhos representativos do estado-da-arte.

Tabela 9 - Estado-da-arte do controlo da qualidade

| Autor | Descrição |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A. Mejías, et al. [78] | Os autores tinham como objetivo criar um DAQ versátil e eficiente capaz de integrar sensores e atuadores numa rede. Fazendo uso de <i>Easy Java/Java Script Simulations</i> (ESJ) e do protocolo de comunicações MODBUS, os autores criaram um DAQ e aplicaram o <i>software</i> a um exemplo simples e a um exemplo complicado com sucesso de modo a demonstrar a capacidade do DAQ criado. |
| T. Lojka, et al. [79] | Os autores tinham como objetivo desenvolver uma solução <i>wireless</i> que recolha dados e comunique remotamente para uma HMI. Após analisarem vários métodos possíveis desenvolveram um sistema como todas as HMI's conectadas que permite centralizar a troca e o registo de dados. Concluíram que os sistemas SCADA centralizados vão permitir melhor automatização e controlo de um processo. |

Kumar, et al.
[80]

Os autores tinham como objetivo elaborar um sistema *cloud* que recebe dados de vários locais de produção diferente e aplica conceitos de produção *Lean*. Após cumprir o objetivo, os autores concluíram que melhoraram o tempo de resposta e diminuíram erros na produção graças à centralização de informação recolhida por sensores e máquinas.

R. Conceição, et al.
[81]

Os autores tinham como objetivo melhorar a qualidade e fiabilidade de um processo automatizado de assemblagens de fio aço na indústria automóvel. Através da implementação de metodologias *Lean* registrou-se um aumento na produtividade de 41%.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Introdução
- 3.2 Projeto de automação de monitorização de inserção de cliques
- 3.3 Projeto de automação do controlo da conformidade final de uma peça

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Introdução

O grupo Simoldes é uma empresa multinacional que produz moldes e componentes plásticos maioritariamente para a IA. Este grupo é considerado um ponto de referência na indústria pois é o maior exportador de moldes da Europa e está espalhado pelo mundo onde marca presença em cinco continentes. Apresentam-se de seguida a visão, missão e os valores da empresa:

- **Visão** – Ser a figura chave na formação de um mundo mais inovador, sustentável e orientado para o bem-estar;
- **Missão** – Promover um ambiente empresarial colaborativo, integrador e orientador que apoie o desenvolvimento dos negócios atuais e o surgimento de novos negócios, sustentado pela preferência do cliente e pela melhoria contínua, resultando em retornos maximizados para as suas partes interessadas;
- **Valores** - Dedicção, compromisso, integridade, responsabilidade, humildade, orientação para a solução, confiança mútua e colaboração.

O grupo possui duas divisões com uma parte que trata de moldes de aço e outra que trata de componentes de plástico. Dentro da divisão de plásticos está a fábrica Simoldes Plásticos (SP), mostrada na Figura 33, localizada em Aveiro, Oliveira de Azeméis, na qual decorreram os projetos da presente dissertação.



Figura 33 - Fábrica Simoldes Plásticos

A SP foca-se na produção de componentes de interior de automóveis como *dashboards*, pilares e painéis de porta. Dentro da fábrica pode-se presenciar vários processos como a injeção de peças, a montagem de componentes com braços robóticos, soldadura por vibração, acabamento de superfícies plásticas (brilho), revestimento de peças, ligações adesivas e outros mais pontuais.

Sendo uma empresa da IA, a SP está organizada de forma a permanecer versátil e aberta a mudanças. Muitos dos seus equipamentos periféricos possuem componentes estandardizados ou que permitem um certo nível de reutilização e adaptabilidade. Os equipamentos mais comuns e pertinentes para a dissertação encontrados são exemplificados na Figura 34.



Figura 34 - Equipamentos utilizados frequentemente: a) máquinas de injeção, b) tapetes rolantes, c) mãos presas, d) bancadas de trabalho, e) células de montagem

3.1.1 Contextualização dos projetos

Os dois projetos presentes no trabalho são de pesquisa e desenvolvimento dentro da empresa que procura sempre inovar e melhorar projetos/tecnologias já existentes e aproveitar os conhecimentos adquiridos no passado para evoluir os seus processos e produtos. O sensor de forças da OnRobot é uma tecnologia que ainda não foi reconhecida na indústria e o *scanner* PhoXi 3D da Photoneo é uma nova opção tecnológica a ser considerada para implementação noutros projetos no futuro.

3.1.1.1 Contexto de aquisição do sensor de forças da OnRobot

Após uma reunião entre membros da Simoldes e a empresa KUKA Industrial Robots, na qual foi demonstrado um conceito de um *robot* que para automaticamente quando deteta algo de errado na inserção de cliques pelo uso de um sensor de forças, a Simoldes decidiu explorar esta avenida para monitorização da inserção de cliques nos seus processos com o sensor da OnRobot.

Atualmente, a verificação de inserção de cliques é feita via sensores de laser que detetam se o clipe está no local desejado. As desvantagens desta tecnologia é que é necessário mudar múltiplos sensores de local e testá-los todos sempre que se muda de produto e que é necessário um sensor por clipe. Como há peças nas quais se inserem muitos cliques e o desejo de ter boa adaptabilidade a mudanças e possíveis alterações nos projetos, a Simoldes têm interesse em responder a várias perguntas como:

- Compensa substituir os múltiplos sensores óticos por um sensor de forças?
- Com a tecnologia proposta, a fiabilidade aumenta ou diminui?
- É possível criar um sistema que se adapte facilmente a todas as inserções?

Desta forma, surge a primeira parte do trabalho desenvolvido que concilia a intenção da empresa de procurar por pessoal novo com a de explorar e adaptar novos equipamentos.

3.1.1.2 Contexto de aquisição do scanner PhoXi 3D da Photoneo

Na procura de respostas em relação à garantia de qualidade para com os seus clientes, a Simoldes iniciou a procura de novos sistemas de visão. Após conversações com múltiplas empresas um pouco por todo o país, a Simoldes deu início a vários projetos, dos quais os mais atraentes foram implementados e analisados em fábricas do grupo. Entre estes encontra-se o projeto presente na segunda parte do trabalho. A Simoldes procura uma opção adaptável e confiável para implementar em futuros projetos.

Caberá ao estagiário implementar o *scanner* no final de uma linha de produção, verificar a montagem correta de um produto e tirar conclusões quanto às capacidades do equipamento e limitações/vantagens da sua implementação.

3.1.1.3 Linhas de fabrico de painéis de portas

Cada equipamento deverá ser implementado numa linha de fabrico diferente. Como ambas as linhas produzem painéis porta, é pertinente para o entendimento do trabalho visualizar o processo de fabrico com o fluxograma apresentado na Figura 35. De notar que o nome dos projetos onde os equipamentos serão implementados é K9 para o sensor de força e M3M4 para o *scanner* 3D.

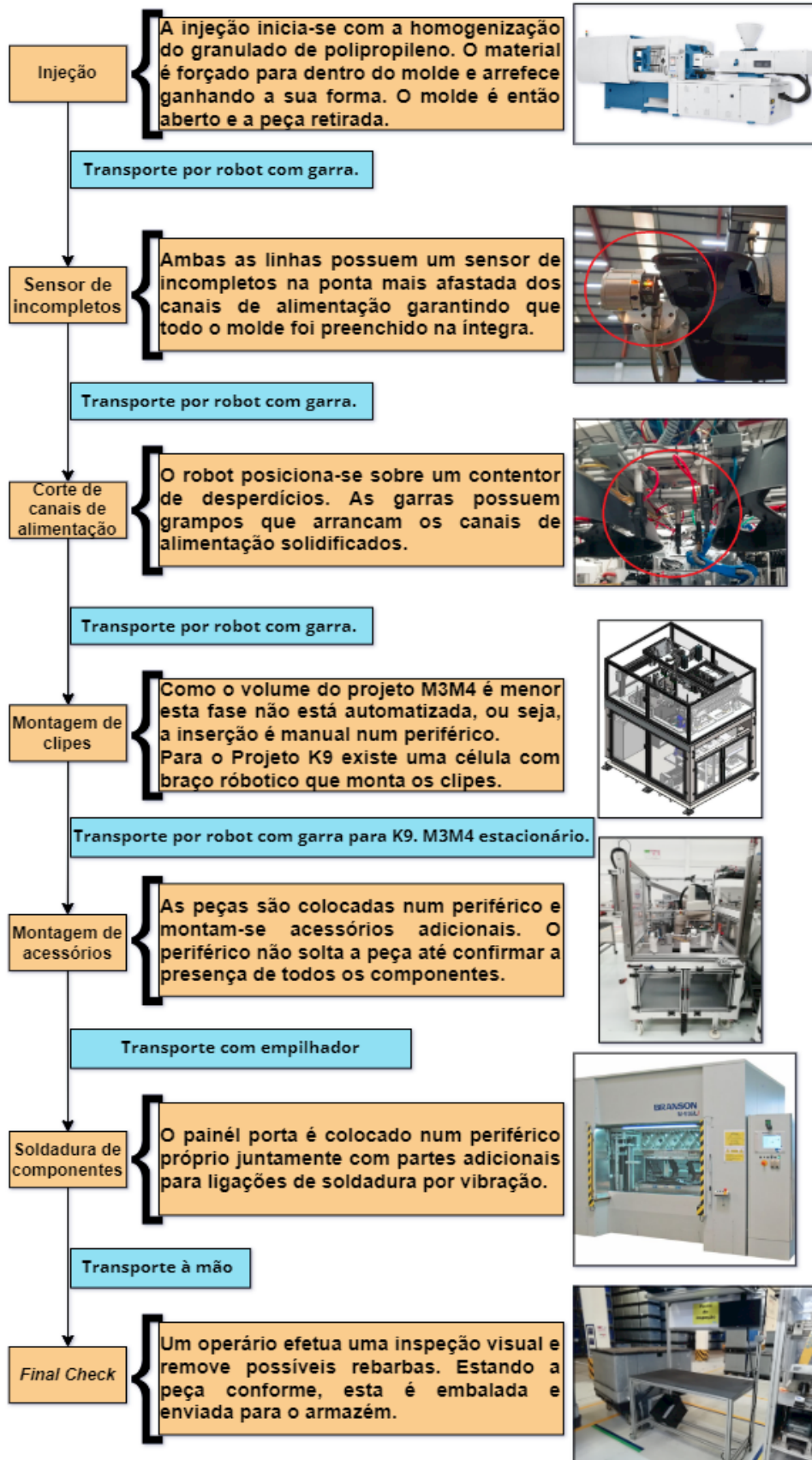


Figura 35 - Fluxograma dos processos de um painel porta

O projeto M3M4 tem como cliente a PSA e cria painéis de porta com múltiplas versões para modelos como o Citroen C3-Elysée, em cujas linhas de produção se pretende incorporar o *scanner* 3D. O projeto K9 tem como cliente a Stelantis e cria painéis de porta para vários modelos como o Opel Combo ou o Citroen Berlingo, e nas respetivas linhas de produção será implementado o sensor de forças.

Na Figura 36 se podem ver representadas as fases do fabrico de painéis porta, que serão monitorizadas por equipamentos desenvolvidos e explorados neste trabalho.

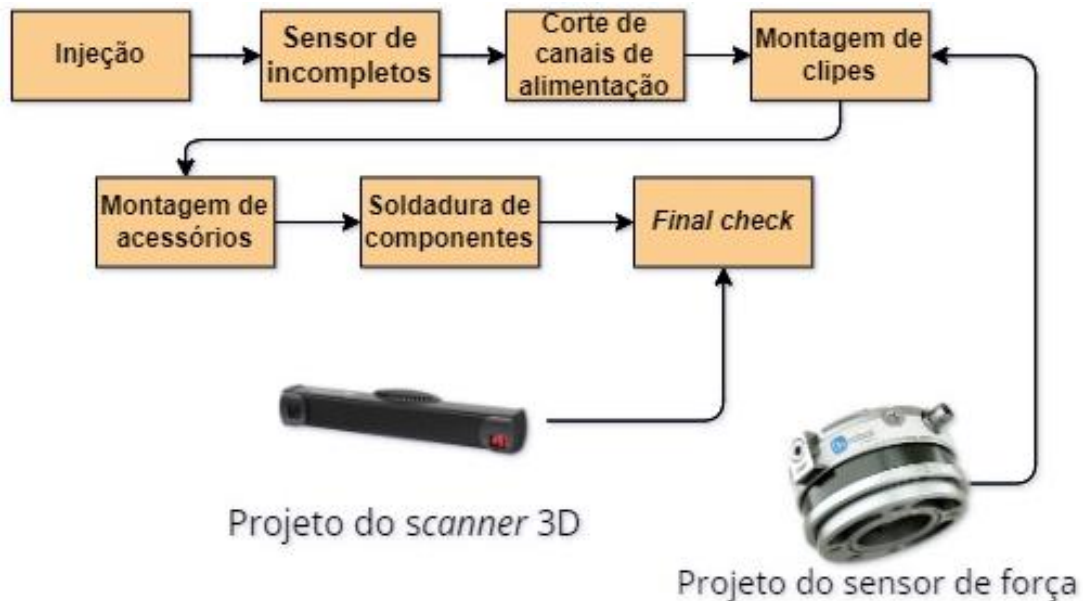


Figura 36 - Fases de fabrico monitorizadas pelos projetos

3.1.2 Objetivos

Os projetos a desenvolver são de pesquisa e desenvolvimento de modo que o verdadeiro valor do trabalho está nas conclusões tiradas em relação aos processos de implementação e ao funcionamento dos equipamentos desenvolvidos. Para obtenção destas conclusões delinea-se o grande objetivo como sendo o desenvolvimento e a validação de periféricos de modo a averiguar sem sombra de dúvidas a possibilidade do uso regular dos equipamentos em projetos futuros.

Para se cumprir os objetivos é necessário implementar os equipamentos nas linhas de fabrico já mencionadas e para isto necessitam-se cumprir alguns pré-requisitos relativamente aos periféricos, que devem ser:

- **Fáceis de compreender e usar** – O uso dos sistemas finais deve ser intuitivo e simples de modo que uma atenciosa leitura das instruções seja suficiente para qualquer pessoa conseguir dominar o programa;

- **Confiáveis** – Num contexto industrial é importante garantir que não ocorram erros, não só para evitar perdas de material e dinheiro, mas também para assegurar a segurança e confiança dos clientes;
- **Adaptáveis** – Existem vários modelos de cliques de formatos diferentes e sistemas de montagem que variam em direções e ferramentas o pelo que é necessário um sistema que funcione independentemente destes. No caso da verificação final “adaptabilidade” significaria facilidade de alterar condições de deteção de componentes e a possibilidade de rapidamente implementar o *scanner* noutras linhas de montagem;
- **Duradouros** – As linhas de produção na IA chegam a trabalhar até 5 anos sem grandes paragens, os sistemas desenvolvidos devem responder no mínimo a este prazo.

Assume-se que ambos os equipamentos chegarão a ser implementados. No entanto, caso o equipamento demonstre não ter capacidades entende-se que o equipamento nunca poderá ser implementado em linha de fabrico na IA mas avançar-se-á com uma proposta de alternativa à SP.

3.2 Projeto de automação de monitorização de inserção de cliques

3.2.1 Solução final

Refere-se que, após estudo detalhado, o sensor de forças analisado demonstrou não ter capacidades apropriadas para a tarefa de inserção de cliques devido à sua falta de capacidade de carga. No entanto, um procedimento alternativo foi delineado e proposto para que, no futuro, se continue a explorar esta avenida que parece ser muito prometedora em termos de adaptabilidade.

O procedimento alternativo propõe o uso de um sensor diferente e procura definir o possível do projeto sem o realizar na prática.

3.2.2 Sequência de projeto

Os passos a seguir durante o projeto estão resumidos no diagrama representado na Figura 37. Cada passo representa de forma simplificada um possível subcapítulo assumindo que o sensor de forças se demonstre apto para avançar com o projeto.

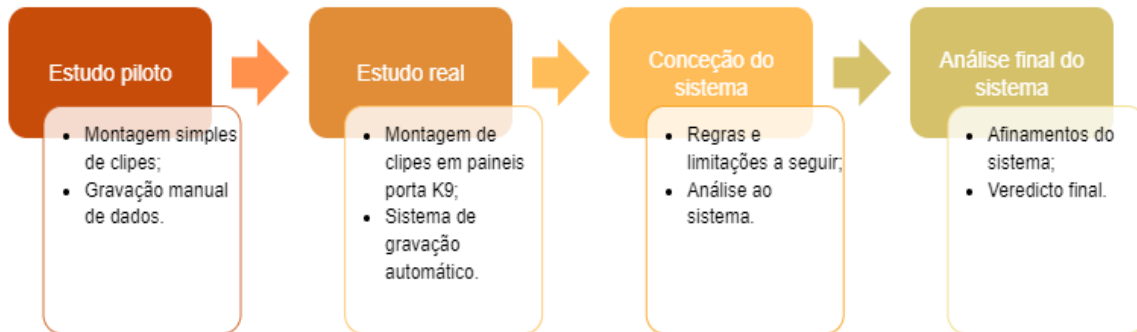


Figura 37 – Sequência do projeto do sistema de monitorização de inserção de cliques

3.2.3 Equipamentos relevantes

Neste subcapítulo apresentam-se os equipamentos que se consideram pertinentes para o entendimento do trabalho.

3.2.3.1 Pack Sensor Hex-H QC

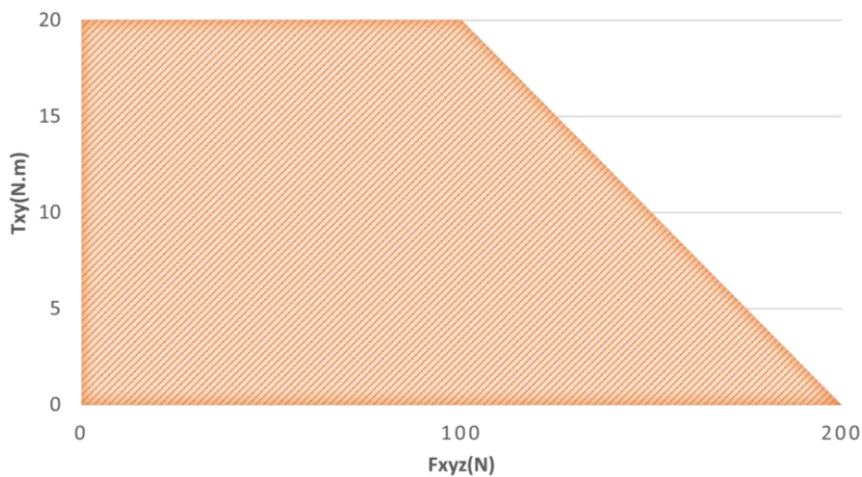
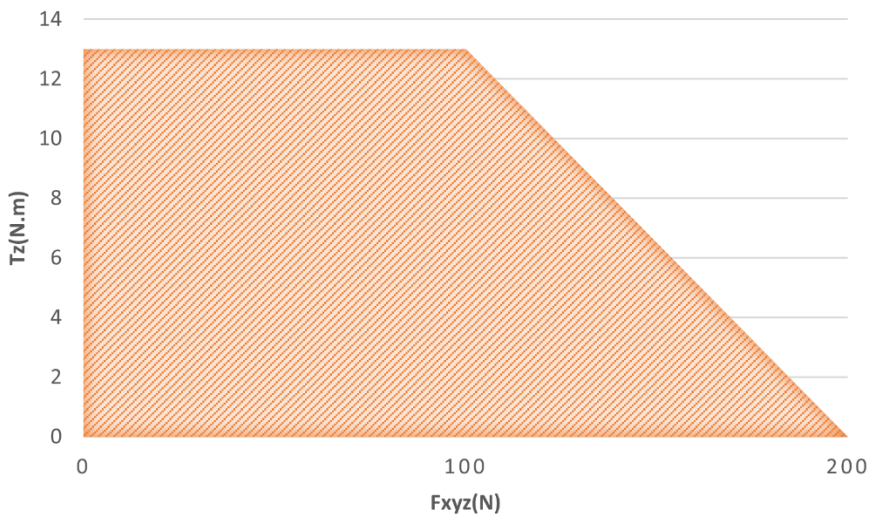
O componente decisivo deste projeto é o sensor HEX-H QC da OnRobot (visível na Figura 38). O sensor mede forças em 3 eixos (F_x , F_y e F_z) e o momento torsor em torno destes (T_x , T_y e T_z). Os parâmetros do sensor de forças apresentam-se no anexo 1. Os detalhes mais relevantes ficam apontados na Tabela 10 à exceção dos carregamentos compostos verificáveis na Figura 39 e na Figura 40.



Figura 38 - Sensor Hex-H QC [82]

Tabela 10 - Propriedades do sensor Hex-H QC (adaptado do anexo 1)

| Propriedade | F_{xy} | F_z | T_{xy} | T_z |
|-----------------------------|----------|----------|----------|--------|
| Carga nominal (CN) | 200 N | 200 N | 20 N·m | 13 N·m |
| Deformação à CN | ±0,60 mm | ±0,25 mm | ±2,00° | ±3,50° |
| Desvio padrão (1σ) | 0,035 | 0,150 | 0,002 | 0,001 |

Figura 39 - Limites de carregamento complexo (T_{xy}) (adaptada do anexo 1)Figura 40 - Limites de carregamento complexo (T_z) (adaptado do anexo 1)

Os sentidos dos eixos estão desenhados no sensor e representados mais à frente no trabalho. Analisando os carregamentos complexos é de notar que a partir dos 100 N o momento de torção começa a descer.

O sensor é capaz de medir forças e momentos torsores com um nível de sensibilidade alto abrindo portas a novas formas de automação. Embora a sua ficha técnica mencione

facilidade em programação esse aspecto está limitado aos *robots* da Universal Robot que já têm *softwares* criados que são disponibilizados com o produto. Os *robots* utilizados no trabalho foram da marca Yaskawa e possuem um *software* criado por uma empresa diferente denominada Roboplan que apenas permite ler os valores instantâneos das forças e dos momentos torsores medidos pelo sensor. Para o projeto ser bem-sucedido é necessário criar um novo *software* capaz de guardar valores.

Juntamente com o sensor são fornecidas peças adaptadoras que permitem conectá-lo aos *robots* da marca Yaskawa, como evidenciado na Figura 41.

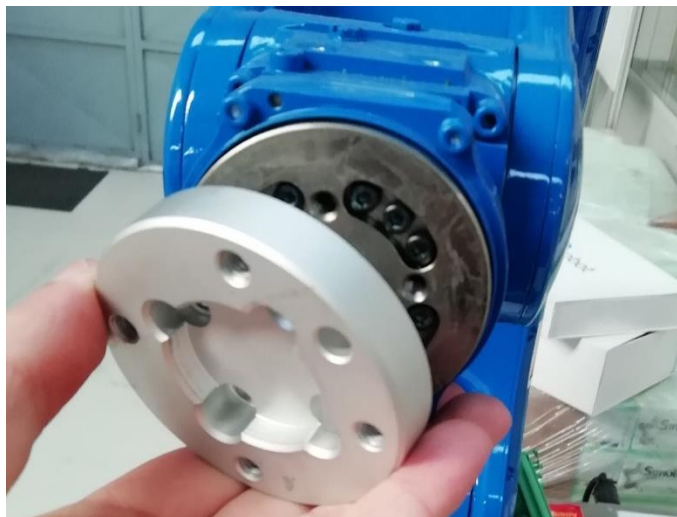


Figura 41 - Adaptador para robots Yaskawa

Ao sensor junta-se uma caixa de computação e um cabo de doze pinos (Figura 42) que conecta o sensor à caixa sendo que a caixa é conectada por *ethernet* ao computador no teste piloto e ao controlador do *robot* no teste real.



Figura 42 - Combox e cabo de 12 pinos [82]

3.2.3.2 Braço robótico Motoman GP7 e controlador YRCMicro

O braço robótico Motoman GP7 da Yaskawa está com o controlador YRCMicro (conjunto visível na Figura 43) e faz parte de um pacote emprestado pela Roboplan à SP. Com o uso deste, o autor pôde familiarizar-se com programação de robots e realizar o teste piloto.



Figura 43 - Motoman GP e controlador YRC Micro

Na Tabela 11 apresentam-se os parâmetros considerados mais relevantes a ter em conta no trabalho sendo que os restantes podem-se encontrar no anexo 2.

Tabela 11 – Parâmetros do braço robótico Motoman GP7 (adaptada do anexo 2)

| Parâmetro | Valor |
|--------------------|----------|
| Capacidade de peso | 7,00 kg |
| Alcance | 927 mm |
| Repetibilidade | ±0,01 mm |

O estagiário fez um curso de programação de *robots* industriais básico-intermédio na Robowork através da SP de modo a que fosse possível a realização do projeto com maior autonomia.

3.2.3.3 Estrela

A estrela encaixa no sensor e segura os cliques à medida que estes vão sendo montados nos porta-clipes. Na Figura 44 observa-se a estrela do teste piloto.



Figura 44 - Estrela adaptada para o sensor de força

Este componente foi adaptado criando furos para ligações que coincidem com os do desenho do adaptador do sensor. A estrela é escolhida graças ao seu peso relativamente baixo e braços pequenos, pois o momento torsor detetado aumentará de acordo com o tamanho destes.

3.2.3.4 Clipes e porta-clipes

Os clipes utilizados são muito comuns na IA. As suas contrapartes são os porta-clipes cujo design varia ligeiramente dependendo dos modelos das portas. O porta-clipes e o conjunto dos dois estão representados na Figura 45.

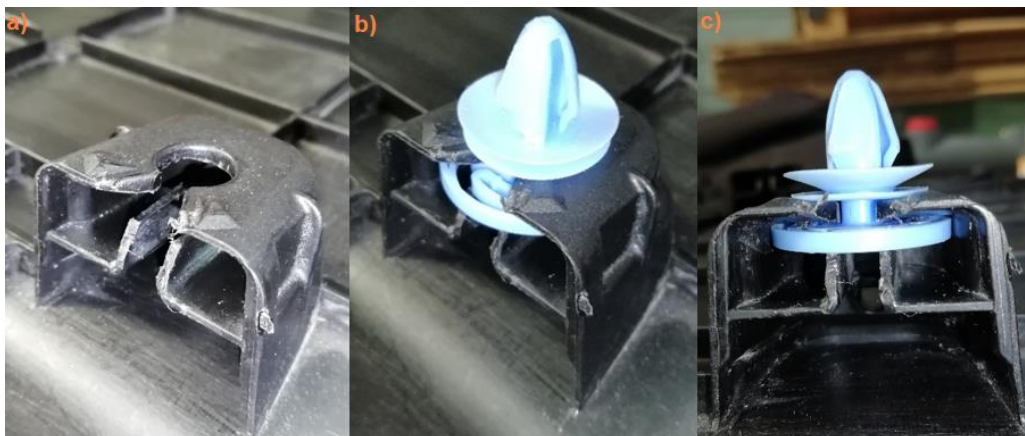


Figura 45 - a) Porta-clipes b) Porta-clipes com clipe montado vista isométrica c) Porta-clipes com clipe montado vista frontal

3.2.4 Teste piloto de inserção

O teste piloto da inserção de cliques tem como objetivo não só confirmar a viabilidade do projeto, mas também dos ensaios em si, verificando:

- a repetibilidade das curvas de encaixe;
- a capacidade de deteção do sensor;
- o efeito da repetição de testes com o mesmo clique;
- o efeito da repetição de testes com o mesmo encaixe.

Um teste piloto serve também para ajudar a identificar problemas e erros que possam vir a surgir num processo quando este é adaptado para maiores quantidades. Como é o caso do projeto do sensor de forças no qual se ambiciona poder desenvolver um equipamento versátil e para uso a nível industrial.

Para simplificar o teste piloto ao máximo foi fixada uma peça na mesa do *robot* e fizeram-se os primeiros testes nos quais se utiliza o quarto braço da estrela e se monta o clique de acordo com a Figura 46.



Figura 46 - Setup utilizado no teste piloto

O procedimento dos ensaios deste teste foi o seguinte:

1. Programação de uma rotina de inserção de clique;
2. Colocação do clique no braço e preparação do *software* de gravação de dados;
3. Envio de pedido de “zero” para o *software* de gravação;
4. Início da rotina de inserção;
5. Início da gravação no momento prévio à inserção;
6. Fim da gravação após a inserção do clique;

7. Fim da rotina de inserção;
8. Arquivamento de dados;
9. Preparação do próximo ensaio.

3.2.4.1 Expectativa de resultados

Numa inserção normal de um clipe espera-se que as curvas das forças apresentem um formato de acordo com a Figura 47, sendo a mais relevante para averiguar se a inserção ocorreu como esperado a força em y (F_y) representada nesta a verde, que neste caso é a componente paralela à inserção com 3 picos progressivamente maiores.

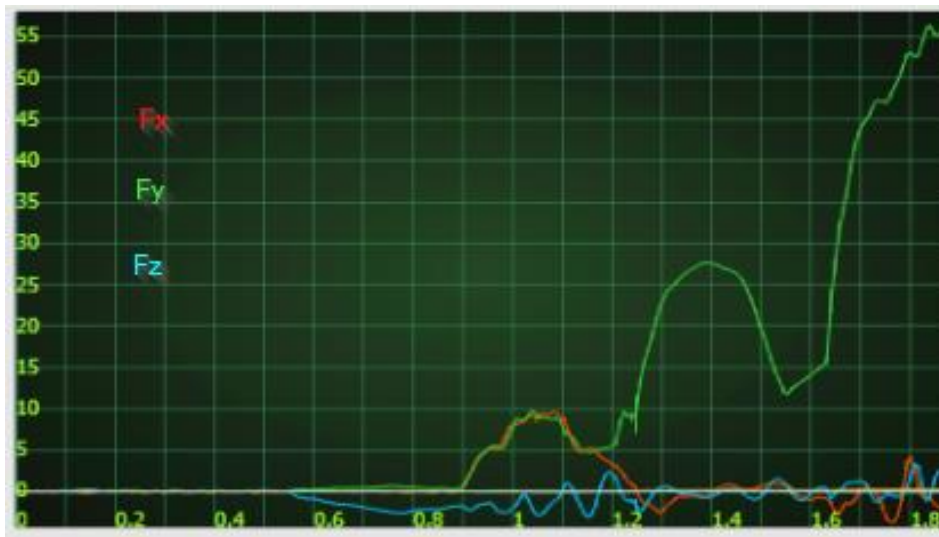


Figura 47 - Curva de inserção de clipe esperada resultante de um ensaio realizado pela KUKA

O primeiro pico corresponde a uma força na lateral à entrada do porta-clipes que se sentiu antes do início da inserção provocado por um pequeno erro de desalinhamento da trajetória do clipe. Durante esta fase da inserção a posição do clipe é corrigida graças ao formato em V do porta-clipes originando as forças em x e y. O segundo pico corresponde à entrada no encaixe, ou seja, este pico é a força necessária para passar pelo *bottleneck* do encaixe. O terceiro pico corresponde ao final do encaixe, no qual o clipe bate na parede final do porta-clipes encontrando mais resistência.

3.2.4.2 Alinhamento de forças

O alinhamento mostrado na Figura 48 é o utilizado na primeira metade do ensaio piloto sendo que na segunda metade F_y e F_z rodam 90° onde F_z substitui F_y e F_y passa a ser a força concorrente à entrada no encaixe. A razão destes alinhamentos é que simplificam a análise pois todas as forças ficam paralelas ou perpendiculares à linha de inserção do clipe.

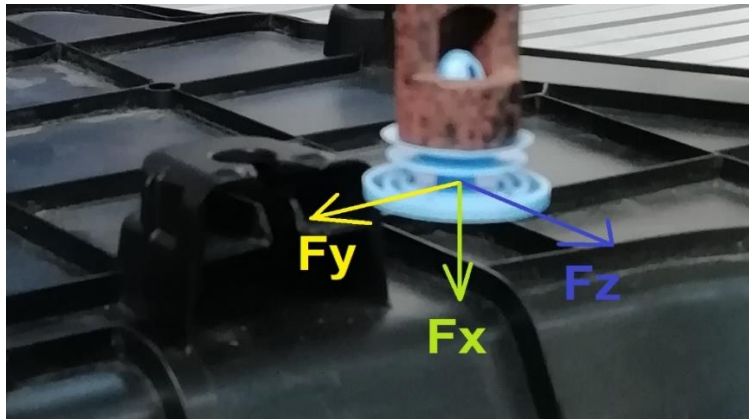


Figura 48 - Alinhamento dos eixos

A partir do *setup* na Figura 48 sabe-se que as forças vão refletir os seguintes fenômenos:

- **Força em z (F_z)** – A força é a concorrente com a linha de encaixe, de modo que é apresenta a maior resistência do encaixe (no *bottleneck* e na parede final do porta-clipes);
- **Força em x (F_x)** – É a perpendicular à mesa, ao chão e ao encaixe. Uma componente aqui implica pressão na peça na vertical, o que neste tipo de cliques não é usual;
- **Força em y (F_y)** – É perpendicular ao encaixe e deve mostrar erros de desalinhamento durante a montagem do clipe, visto que o formato do encaixe em V vai empurrar o clip lateralmente caso este não esteja bem alinhado.

3.2.4.3 Extração e tratamento de dados

O primeiro grande obstáculo do projeto tratou-se da gravação de dados, pois o *software* do sensor não possuía esta função (permitia apenas verificar a força pontual ou instantânea). Através da divisão espanhola da OnRobot foram fornecidos dados necessários para comunicação por protocolo ModBus para que se procurasse forma de registrar dados. Refere-se, no entanto, que os dados específicos do protocolo não podem ser partilhados nem discutidos nesta dissertação devido a um contrato *Non-Disclosure Agreement* (NDA).

Com os dados do protocolo *ModBus* foi possível estabelecer conexão com o sensor e gravar os dados através de um programa chamado Modbus Poll (interface mostrada na Figura 49). Este permitiu também dar ordens ao sensor para que este, por exemplo, transforme o valor das forças registadas todas em zero antes do início dos ensaios.

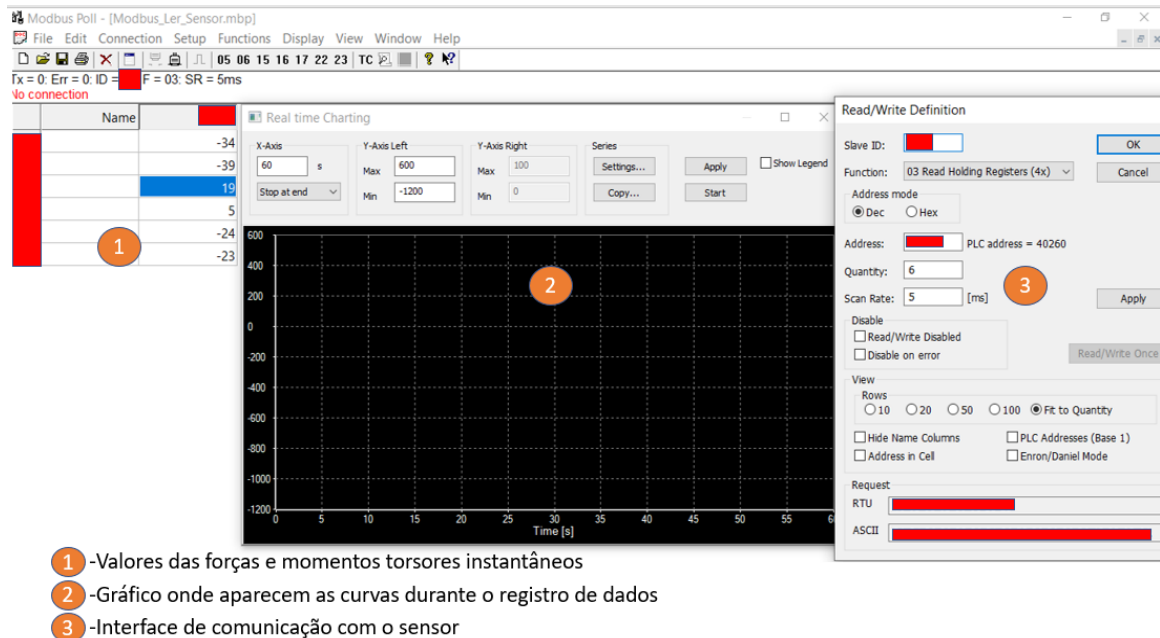


Figura 49 - Modbus Poll

A extração e o tratamento dos dados são uma parte crucial para o processo de monitorização, de modo que é necessário o maior rigor possível nesta fase:

- O produto final tem que ser versátil, ou seja, este deve funcionar para todas as inserções de modo que não se pode verificar apenas uma componente das forças. Deduz-se que calcular a força resultante é a melhor solução, comparativamente à alternativa de verificar as três forças individualmente, o que é menos elegante e provavelmente gerará mais problemas;
- É necessário monitorizar a inserção e verificar se a força está dentro do esperado. O “esperado” depende de uma curva que se designa “curva base”. Idealmente seria possível gravar um ciclo de inserções de cliques e utilizar esses dados gravados para verificar se inserções posteriores decorrem sem problemas. Desta forma, quando fosse necessário mudar de produto bastaria criar uma nova curva base.

Para tornar o que acaba de ser discutido mais explícito criou-se o gráfico visível na Figura 50 que demonstra de modo simplificado o processo pretendido no sistema final ideal.

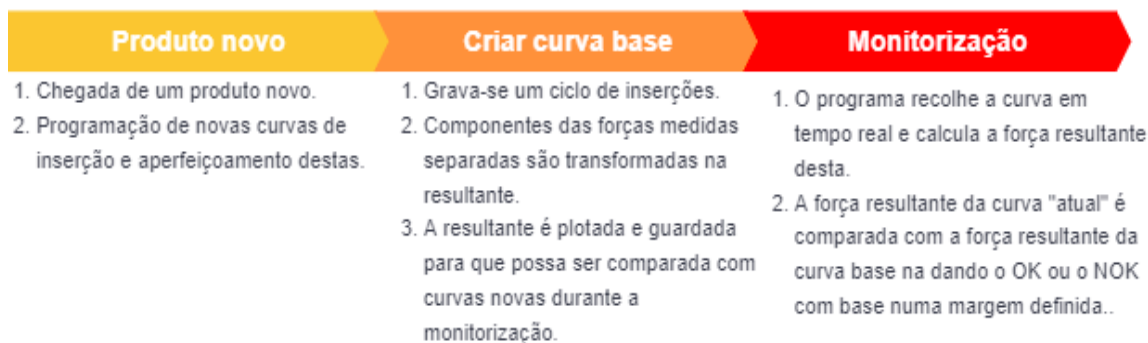


Figura 50 - Passos do sistema final ideal

Um dos problemas que surgiu com a utilização do programa Modbus Poll é que forçosamente teve de se começar a gravar valores carregando no botão à mão após se começar a inserir o clipe, o que tornava as curvas registadas desfasadas no eixo do tempo e difíceis de comparar pois a curva base vai gerar um intervalo de valores aceitáveis, ou seja, um limite superior e outro inferior entre os quais estavam os valores aceites.

3.2.4.3.1 Programa de extração de dados

Para corrigir um número elevado de curvas no tempo e proceder à sua análise, torna-se necessário automatizar o processo de extração de dados nos ensaios do teste piloto. Foi criado um programa em VBA no Excel com várias macros capazes de cumprir os seguintes objetivos:

- Extrair os dados criados pelo Modbus Poll e criar a curvas;
- Calcular a resultante das componentes de curvas;
- Isolar um dado intervalo de tempo e criar as curvas de inserção base;
- Com base numa margem definida calcular, a partir da curva base, os limites dos valores da força resultante que serão considerados “ok” na inserção de cliques;
- Plotar os limites num gráfico;
- Ajustar o eixo do tempo numa das curvas de modo que o momento da inserção da curva base seja coincidente com o da curva a ser analisada;
- Plotar curvas no gráfico de modo a serem comparadas com os limites.

Na Figura 51 a capa do programa desenvolvido que contém todos os botões necessários para realizar o teste piloto.

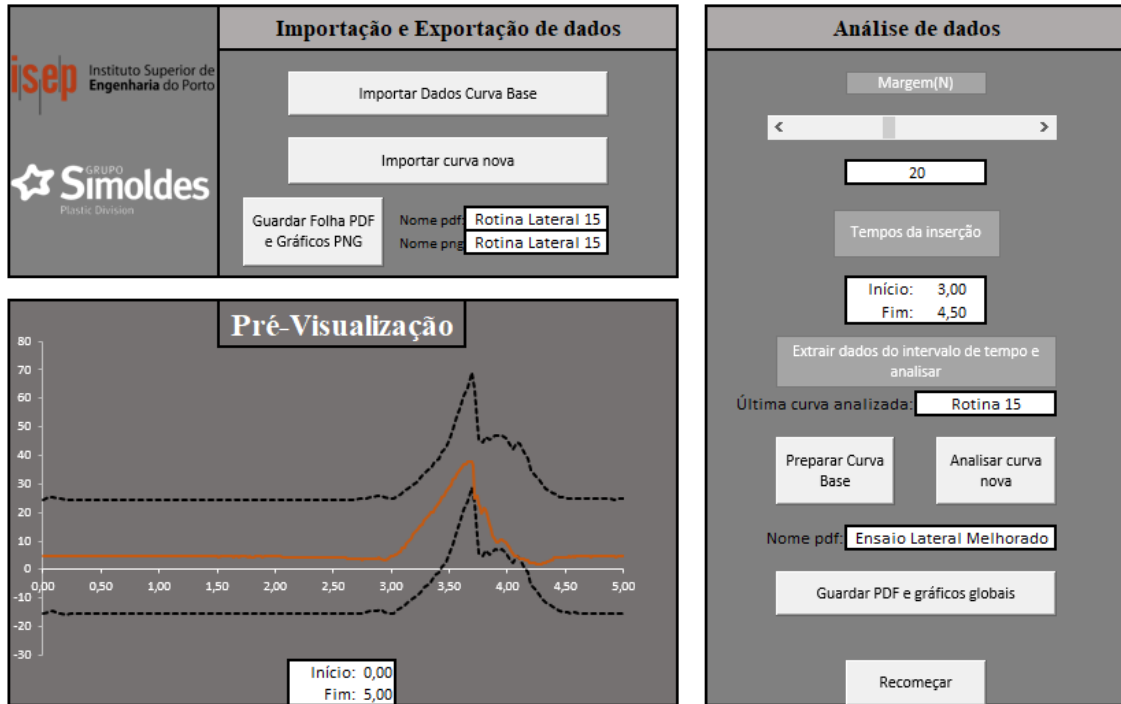
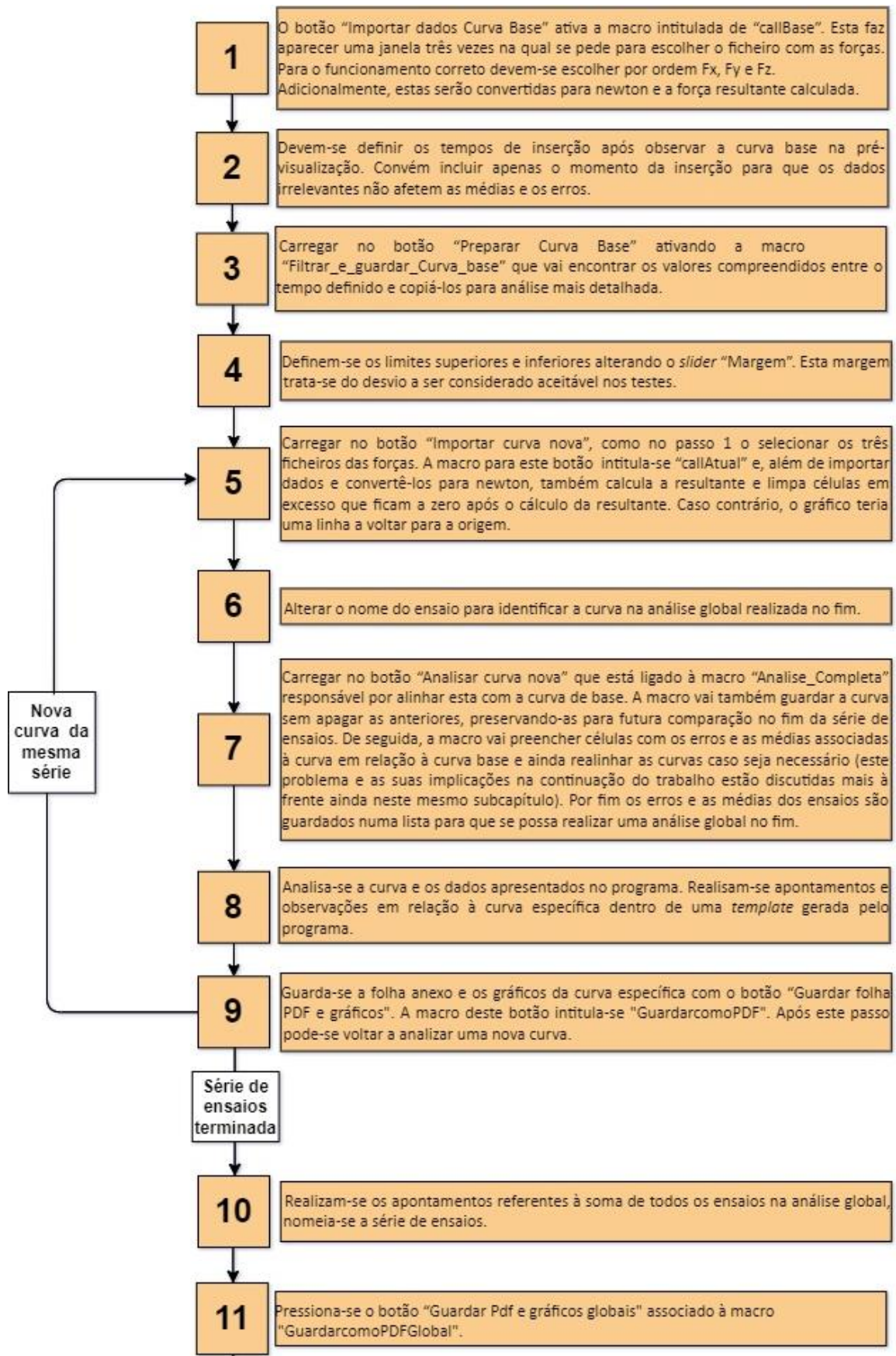


Figura 51- Capa do programa de extração de dados do sensor

Os objetivos para o programa da extração de dados não só foram atingidos como também superados. Apresenta-se de seguida a sequência de operação do programa, a começar pela importação de curvas base juntamente com os botões a carregar e as macros associadas a estes, para que o leitor possa verificar o código destas. As macros estão programadas em código VBA e podem ser encontradas na íntegra no anexo 3 com comentários no início de cada uma a referir o seu âmbito.

Na Figura 52 encontra-se um diagrama no qual o funcionamento do programa de extração de dados fica explícito pois este contém a sequência de botões a carregar, as funções destes e as respetivas macros.



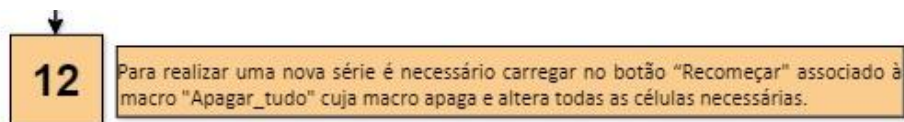


Figura 52 - Diagrama de utilização do programa de extração de dados

O método de alinhar as curvas consistiu em encontrar os máximos da curva base e da que vai ser analisada e igualá-los no tempo. No entanto, com este método ocorreram situações em que a informação presente nos gráficos não correspondia à calculada pelo programa. Nestas situações a curva analisada estava compreendida entre os limites no gráfico, mas o valor do desvio máximo calculado pelo programa era muito superior ao visível no gráfico. No programa de extração de dados, os dados das curvas eram colocados na vertical em células lado a lado e calculava-se a diferença entre os valores da força. O sensor tem intervalos de tempo certos de aproximadamente 15 ms para gravar os dados. Na Tabela 12 verifica-se um exemplo de dados gravados pelo Modbus Poll no qual este intervalo se encontra evidenciado.

Tabela 12 - Tempos e forças gravados de um ensaio

| Tempo [s] | F _x [N] | Tempo [s] | F _y [N] | Tempo [s] | F _z [N] |
|-----------|--------------------|-----------|--------------------|-----------|--------------------|
| 0 | -2 | 0,00073 | 44 | 0,001374 | 3 |
| 0,003301 | -2 | 0,003425 | 44 | 0,003582 | 3 |
| 0,018485 | 1 | 0,019522 | 42 | 0,0202 | 4 |
| 0,022074 | 1 | 0,022194 | 42 | 0,022308 | 4 |
| 0,02248 | 1 | 0,022595 | 42 | 0,022708 | 4 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Os dados de cada força são tipicamente gravados em intervalos de 15,6 ms (em média). No entanto, este valor dobra esporadicamente, como se verifica na Tabela 13. O instante em que este fenómeno ocorre certamente terá uma explicação lógica, no entanto, a empresa fornecedora não conseguiu responder às perguntas do autor de modo que a ocorrência do intervalo não é previsível.

Tabela 13 - Exemplo de tempos entre registo de dados a dobrarem esporadicamente

| F _x | F _y | F _z |
|----------------|----------------|----------------|
| Tempo [s] | Tempo [s] | Tempo [s] |
| ... | ... | ... |
| 0,016 | 0,0156 | 0,0151 |
| 0,0151 | 0,0167 | 0,0177 |
| 0,0155 | 0,0138 | 0,0143 |
| 0,0313 | 0,0313 | 0,0305 |
| 0,0157 | 0,0156 | 0,0156 |
| 0,0156 | 0,0157 | 0,0156 |
| ... | ... | ... |

Ao comparar duas curvas de forças resultantes diferentes ocorrerão momentos em que uma curva saltou uma linha de valores em relação à outra, e por vezes esses momentos acontecem durante a inserção, o que desfaz as duas curvas e origina os desvios que não se verificam nos gráficos mencionados anteriormente. Por esta razão teve de se criar uma segunda fase do alinhamento no passo 7 da Figura 52 onde se verifica se há disparidade entre os tempos. O fenómeno do desalinhamento ocorre em aproximadamente 20% dos ensaios realizados no trabalho sendo que num quarto destes o desalinhamento era de múltiplas linhas.

A solução de extração de dados para o teste piloto encontra-se descrita e o código está presente no anexo 3 sob a macro “auto_adapta” na página 8. Nas próximas fases do projeto planeia-se realizar os gráficos com a variável da posição do braço robótico no eixo das abcissas em vez do tempo, o que elimina o problema de desfazamento de tempo.

Durante os capítulos seguintes serão apenas mostrados os resumos dos ensaios e algumas curvas mais pertinentes. Por outro lado, a documentação gerada pelo programa de extração de dados durante os ensaios principais pode ser encontrada no anexo 4 do trabalho.

3.2.4.4 Realização de ensaios e resultados do teste piloto

Antes dos ensaios completos foi necessário desenvolver e testar o próprio programa de tratamento de dados. Esta fase inicial permitiu ao estudante familiarizar-se com a programação de *robot* de 6 eixos e criação de programas de inserção de cliques.

No Início do teste piloto foi testada a inserção de um clipe com o alinhamento de forças já representado na Figura 48, a inserção com este alinhamento foi denominada de “Rotina Simples”. De seguida mostra-se um exemplo dos instantes gravados na Figura 53 e apresentam-se os resultados mais pertinentes para analisar e concluir o teste piloto. É possível ver os ensaios principais e respetivas anotações tomadas na altura no anexo 4 sob o nome “Rotina Simples”, ensaios estes numerados por ordem de realização de 1 a 15 juntamente com a intitulada “Análise Global do Ensaio”.



Figura 53 - Inserção de clipe

O gráfico mais importante e representativo da série de ensaios é o global que se pode observar na Figura 54, que contém as 15 curvas alinhadas e inclui uma curva para comparação denominada de “curva base” cujo propósito no sistema final já foi explicado nos subcapítulos anteriores.

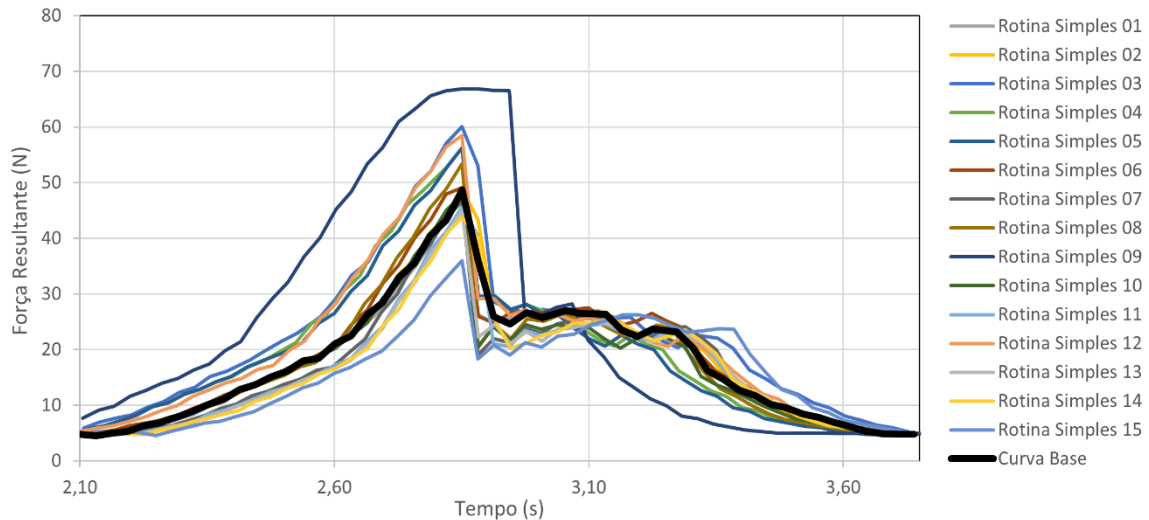


Figura 54 - Curvas do ensaio "Rotina Simples"

Imediatamente se observa a disparidade da magnitude da força necessária para o clipe passar no *bottleneck*. Esta disparidade era já prevista pelos engenheiros da Simoldes que a justificam com o desgaste do porta-clipes, que vai perdendo resistência e permite a entrada do clipe com maior facilidade à medida que se realizam os ensaios. No entanto, uma análise mais cuidada revela que, apesar de esta hipótese fazer sentido e provavelmente ser verdadeira, existem outros fatores mais determinantes a afetar a força medida. Para melhor compreensão dos fenómenos envolvidos analisa-se a Figura 55, na qual está representado o desvio máximo de cada ensaio em relação à curva base.

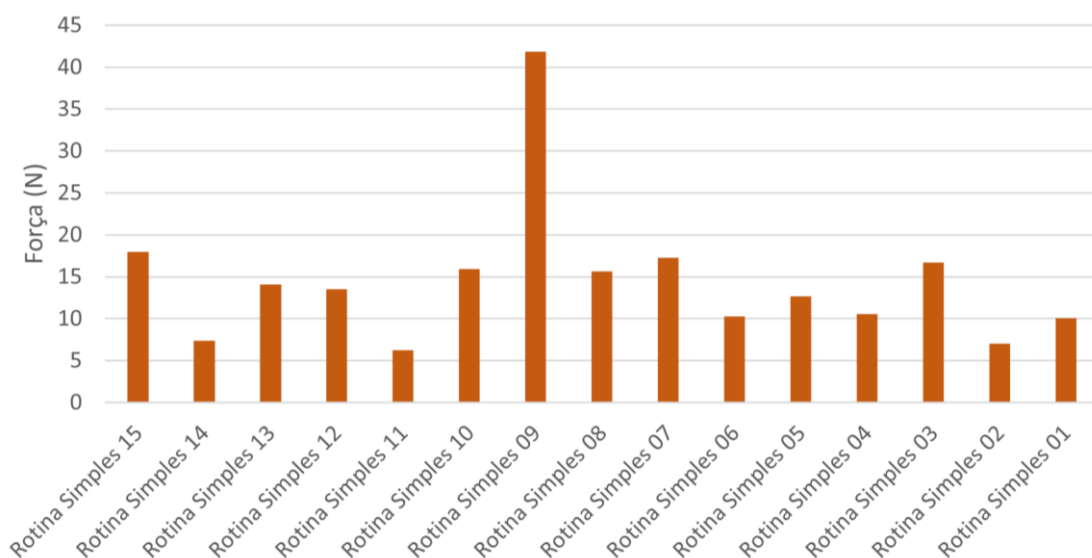


Figura 55 - Desvio máximo em relação à curva base dos ensaios "Rotina Simples"

Se o desgaste do porta-clipes fosse o fator decisivo, então da direita para a esquerda (da rotina 1 para a 15) verificar-se-ia um decréscimo no desvio máximo entre os ensaios e a curva base. No entanto, a análise dos desvios mostra que não há tendência crescente nem decrescente, desvalorizando o papel do desgaste do porta-clipes nos testes. Todos os ensaios exceto a rotina 9, que pode ser justificada como sendo uma anomalia onde na qual o clipe foi mal colocado no braço da estrela, demonstraram desvios máximos abaixo de 20 N, um resultado relativamente alto em função da magnitude das forças atingidas durante os ensaios.

Para maior esclarecimento foi criada uma nova rotina de inserção que difere da primeira no eixo concorrente com a linha de entrada que passou a ser o y, adicionalmente foram realizados ajustes à rota de inserção com a intenção de obter resultados mais regulares. Na Figura 56 observa-se a nova rotina denominada “Rotina Lateral” na qual o mesmo comportamento sem a anomalia da “Rotina Simples 9” pode ser verificado.

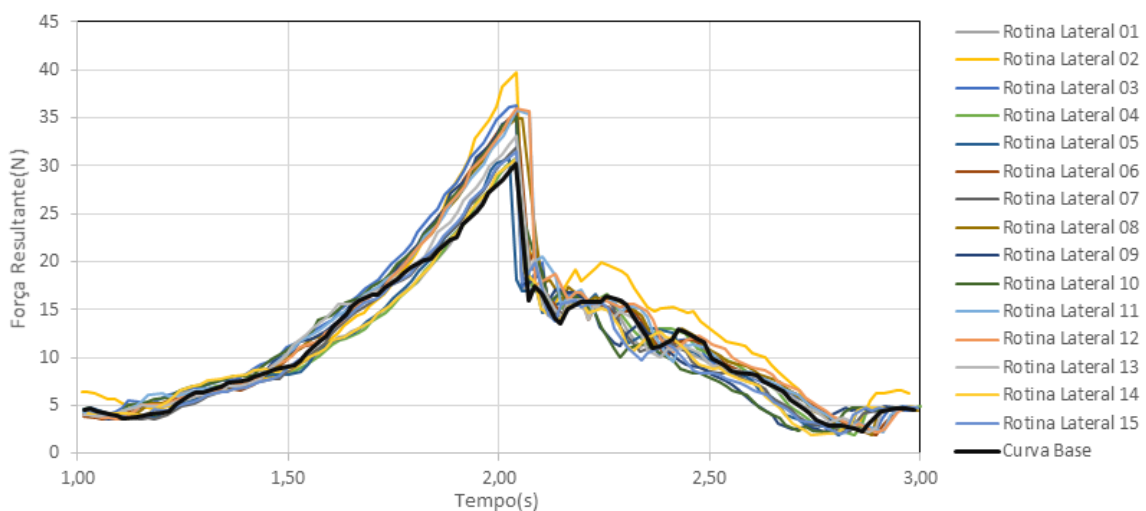


Figura 56 – Curvas da série de ensaios "Rotina Lateral"

Evidencia-se então que o ângulo de entrada no porta-clipes pode melhorar (ou piorar) a estabilidade no padrão das curvas de força, que estão claramente mais próximas da curva base. Evidenciam-se na Figura 57 os desvios máximos desta série de ensaios.

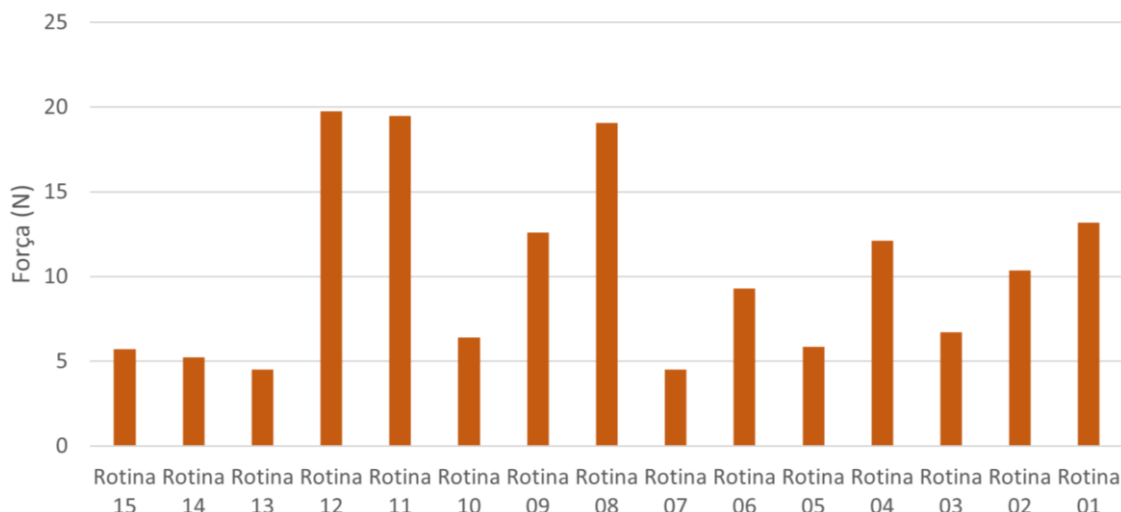


Figura 57 - Desvio máximo relação à curva base dos ensaios “Rotina Lateral”

Observa-se o que os desvios máximos continuam sem a tendência que se esperava, com alguns a chegar perto dos 20 N.

3.2.4.5 Conclusões do teste piloto

A primeira conclusão originada nestes ensaios é que a mesma velocidade de entrada com as mesmas coordenadas cartesianas com a mesma posição do encaixe pode originar forças de magnitudes drasticamente diferentes o que não pode ser atribuído ao desgaste do porta-clipes. Uma teoria que explica este acontecimento está diretamente relacionada com o *design* do sensor de força que possui uma parte de borracha que permite algum movimento durante a inserção tornando o processo mais incerto. Tratou-se de ensaios elucidativos que significam que, na próxima fase, o trabalho terá que ser repensado e reorganizado caso se verifique o mesmo comportamento com porta-clipes novos.

O teste piloto põe em questão imensos aspetos do projeto e descarta mesmo outros. Além do comportamento inesperado das inserções aparece outro problema nos números finais, nomeadamente o facto de que a margem para aceitar estas inserções é relativamente grande. O desvio máximo médio nos ensaios da “Rotina Simples” foi de 14,47 N e nos ensaios da “Rotina Lateral” foi de 10,31 N, mas em vários ensaios o desvio ultrapassou os 18 N. De notar que todos estes ensaios foram bem-sucedidos, ou seja, o clipe foi bem inserido. Esta constatação significa que, em produção, todos os ensaios teriam de ser considerados “ok”. Para que isto acontecesse, a margem do sistema de monitorização (responsável pelos limites nos quais se considera uma inserção “ok”) teria de ser de pelo menos 20 N o que corresponde a cerca de 2/3 do valor máximo registado nalguns ensaios, pelo que se esperava maior repetibilidade.

Além de a margem para a operação que se está a realizar ser grande, um detalhe que não está presente nos registos, mas foi apontado, é que os momentos torsores

exercidos aproximaram-se do valor máximo admitido nas capacidades do sensor tendo atingido máximos de 9,27 N·m. Considerando o facto de que a estrela foi escolhida por ser relativamente pequena e leve já para reduzir o momento torsor o valor é alarmante. A razão pela qual o momento torsor é mais alto do que o esperado é a combinação da pré-carga exercida pela estrela ao ser instalada com a carga do peso da estrela e com força de entrada no porta-clipes. Para todos os efeitos este parâmetro crítico será vigiado ao perto nos ensaios reais.

Estes são problemas que podem conduzir à paragem do projeto e à reorganização deste visto que o sensor de força tem que superar os sensores laser em alguns aspetos de forma a justificar o seu custo de aquisição bastante superior. Se o momento torsor máximo for superado simplesmente ao inserir cliques o sistema de monitorização não será confiável, e se as curvas de inserção forem instáveis o sistema acabará por ter de ser muito simplificado.

3.2.5 Teste real da inserção de cliques

No teste real planeava-se comissionar um programa que conecta o *robot* ao sensor e permitisse a gravação de dados em tempo real de forças, momentos de torção e posições do *robot*. No entanto numa fase inicial de preparação entendeu-se que não iria ser possível realizar estes testes pois o momento torsor excedia gravemente as capacidades do sensor. Segue-se a discussão dos eventos que levaram ao cancelamento do teste real.

Na Figura 58 a) observa-se uma célula robotizada que faz parte do projeto K9 com o sensor de forças já montado e pronto a utilizar. Iria ser nesta célula que o sensor de forças seria totalmente implementado. No entanto, após o teste piloto existia pessimismo quanto à capacidade torsional do sensor em carregamento complexo. Após adaptar a estrela do projeto (Figura 58 b)) ao sensor de forças programou-se uma inserção num dos porta-clipes e criou-se uma nova rotina intitulada “Inserção Clip K9 Momento Torsor”. Foram realizados três ensaios, cujos dados de momentos torsores se encontram na Figura 59.

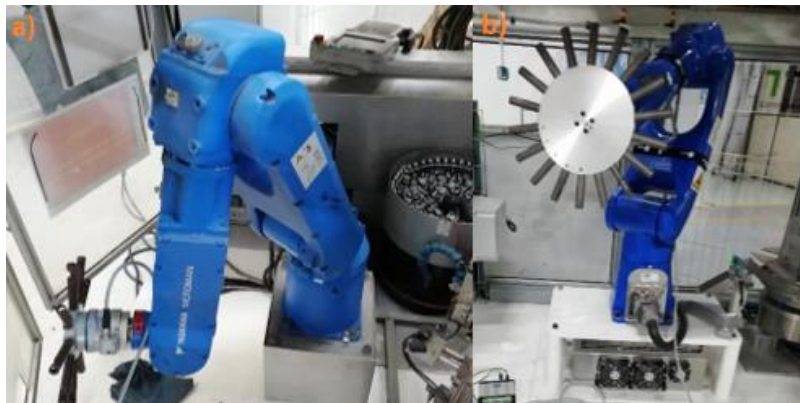


Figura 58 - a) *Robot* do ensaio real b) Estrela do projeto K9

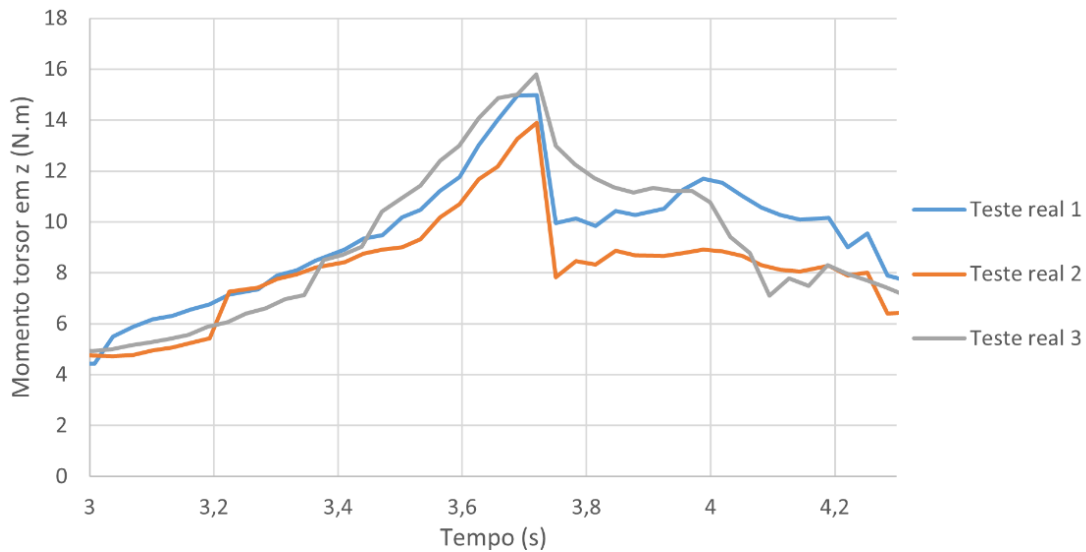


Figura 59 - Momentos torsores em torno de z registados antes do ensaio real

Analisando os resultados torna-se óbvio que a capacidade nominal de torção em z de 13 N·m do sensor está a ser ultrapassada com consistência, o que torna as leituras inconsistentes e pode causar danos no sensor de força. Desta forma, fica provado que o sensor não é apropriado para o trabalho.

Os três ensaios encontram-se detalhados no anexo 5. A decisão de parar com os ensaios foi tomada quando se mediu o deslocamento em torno do eixo z e apontaram-se cerca de 10°, muito mais do que os 3,5° à carga nominal apontados na ficha de parâmetros do sensor (subcapítulo 3.2.4.5).

3.2.6 Revisão da sequência de projeto

Visto que o projeto foi parado antes do teste real avança-se com uma proposta puramente teórica e conceptual, sendo a nova sequência de projeto a visível na Figura 60.

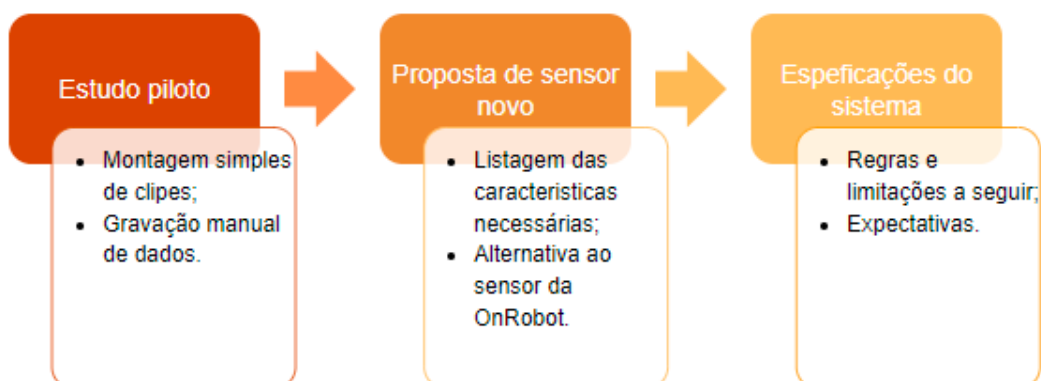


Figura 60 - Nova sequência de projeto

3.2.7 Proposta de sensor de força alternativo

Durante o teste piloto foram identificados vários problemas com o sensor de força. Apresenta-se de seguida a Tabela 14 que contém um resumo destes.

Tabela 14 – Tabela resumo: Problemas com o sensor da OnRobot

| Problema | Explicação |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carga nominal de momento torsor baixa | O fator decisivo acabou mesmo por ser a ultrapassagem do momento torsor no eixo z. A combinação da força de inserção de clipe com pré-esforço e o peso da estrela origina momentos torsores bastante superiores ao previsto. |
| Falta de rigidez | É normal que o sensor permita alguns deslocamentos, já que é com estes que as forças e os momentos torsores são detetados, no entanto, os 3,5° de deslocamento mencionados na ficha de parâmetros foram claramente superados com regularidade mesmo sem superar o momento torsor nominal. Suspeita-se que, como consequência, as curvas de inserção são menos repetíveis e mais incertas. |
| Funções limitadas | O sensor da OnRobot não possui forma rápida e simples de extrair e guardar dados. Apenas é possível definir respostas para valores lidos instantaneamente. |
| Falta de apoio de extração de dados | A Roboplan e a OnRobot mostraram interesse reduzido no projeto, o que forçou a utilização do Modbus Poll para extração de dados e a criação de um programa em excel para o tratamento destes. De realçar que o estagiário despendeu de cerca de um mês em discussão com a OnRobot no sentido de obter os dados necessários para o protocolo <i>Modbus</i> com sucesso após realização de acordo NDA. |

Como o fator que impede a implementação do sensor da OnRobot no projeto K9 é a capacidade de suportar momento torsor sugere-se o sensor de força RFT80-6A02 da Robotous, visível na Figura 61.



Figura 61 - Sensor de força da Robotous [83]

Além de suportar um momento torsor nominal de 20 N·m, este sensor apresenta tamanho compatível com o projeto e resolução ligeiramente melhor à do HEX Q/C da OnRobot. Não há menção da deformação à carga nominal nas especificações presentes no website da Robotous, mas, como a carga nominal é superior à do RFT80-6A02, assume-se que o problema da falta de rigidez estará pelo menos diminuído. Quanto às funções limitadas e falta de apoio em termos de implementação dar-se-ia a mesma situação visto que a empresa é coreana e não tem representantes no país. O kit completo do sensor custaria cerca de 2700 €.

O mercado para este tipo de sensores de força é pouco competitivo com duas a três empresas a destacarem-se. Uma consequência deste facto é que não existe uma opção com foco específico na adaptabilidade e implementação rápida em várias marcas de braços robóticos com gravação de dados e sistema de monitorização.

3.2.8 Discussão do *software* de monitorização e da sua implementação

Após montar o sensor de força no braço robótico e instalá-lo no controlador torna-se possível criar o sistema pretendido.

O primeiro passo a realizar no sistema imaginado seria gravar uma “curva base” para que o programa utilize esta informação para dar o “ok” ou o “nok” do clipe inserido. Idealmente cada rotina no *robot* teria a opção de “gravar curva base”, que ficaria associada a esta, e poderia ser chamada para verificar a curva de forças quando tal fosse requerido. No entanto, qualquer método de guardar forças associadas a posições seria aceite desde que a curva pudesse mais tarde ser acedida para comparação quando a rotina fosse ativada.

Durante o funcionamento normal (em produção) o programa verificaria a força resultante durante o seu movimento e compararia esta com os limites formados a partir da “curva base”. Relativamente aos limites gerados por uma dada margem definida, seria necessário certificar que a margem inferior é superior a zero durante uma inserção apenas para prevenir a aceitação de casos em que o *robot* não fez contacto com o porta-clipes.

Descrito desta maneira o programa seria simples, mas na realidade a implementação teria imensas regras e detalhes que não podem ser replicadas sem acesso aos *softwares* e aos equipamentos em questão. Pode-se, no entanto, tentar explicar os procedimentos que eram pretendidos de forma mais abstrata. Seguem-se na Figura 62 dois fluxogramas da implementação e do funcionamento do sistema da monitorização de inserção de cliques.

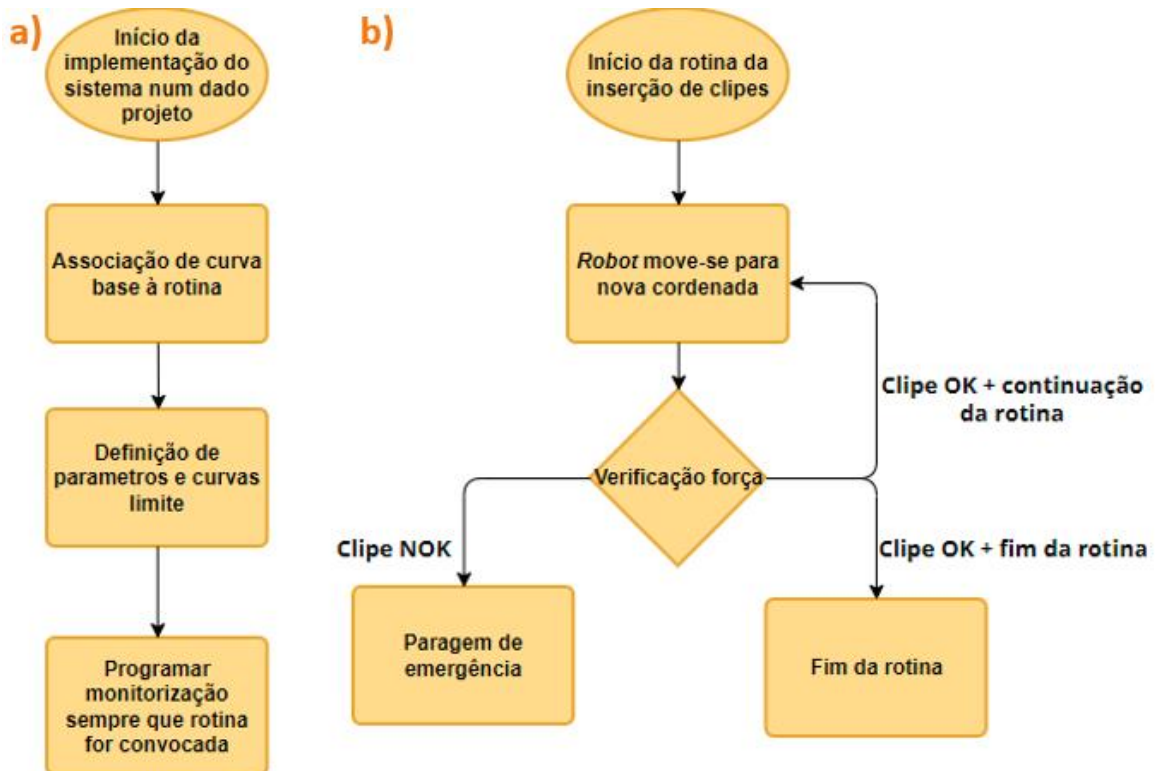


Figura 62 – Fluxogramas: a) implementação b) funcionamento do sistema de monitorização de cliques

Os controladores da Yaskawa podem ser programados em código *Ladder* da mesma forma que um PLC ou correr *softwares* para Windows OS. Como os projetos na Simoldes estão tipicamente em *Ladder* planeia-se criar um programa que emita um sinal “ok” ou “nok” de acordo com as inserções. Desta maneira, o sensor de força e o seu programa poderiam ser rapidamente implementados em qualquer célula robotizada com entrada *ethernet* em quatro passos, que se descrevem de seguida:

- Instalar o sensor e refazer as curvas de inserção - Ao instalar o sensor, as coordenadas da rotina ficam desalinhadas com a posição real da ferramenta tornando necessário reprogramá-las. Hoje em dia esta alteração é muito simples de realizar pois é possível alterar todas as coordenadas de um programa em simultâneo e a instalação do sensor de força adiciona uns centímetros ao eixo z da ferramenta;
- Instalar o *software* - existem várias maneiras de criar e implementar *softwares* nos controladores de braços robóticos. Para os objetivos deste trabalho seria

possível desenvolver o sistema em código *Ladder* ou criar um programa que corre em Windows OS, visto que estes são compatíveis com os *robots* Yaskawa. O *software* deve ser algo modular e fácil de implementar que emita sinais de “ok” e “nok” para fácil implementação;

- Definir e parametrizar os limites - associar uma curva base a uma rotina e definir a margem aceitável, que vai depender imenso do design dos porta-clipes, dos clipes e da trajetória de encaixe programada;
- Alterar o código do projeto - no código *Ladder* dos projetos chamar-se-ia o programa de monitorização sempre que se convocasse as rotinas. Caso a curva de força saísse dos limites o programa de monitorização devolveria um sinal de “nok” que acionava a paragem de emergência do *robot*.

Os maiores desafios na criação do programa de monitorização de inserção de clipes seriam guardar os valores das curvas de memória e simultaneamente otimizar o tratamento de dados de modo a não usar muita capacidade de processamento. Mesmo assim, o autor do trabalho considera esta tarefa acessível ainda que complexa.

3.2.9 Análise à viabilidade do sistema de monitorização de clipes

A tarefa de verificar a inserção correta de clipes já se encontra automatizada na Simoldes via uso de sensores laser exemplificados na Figura 63. O desafio do sensor de forças é justificar o seu investimento que será em princípio maior em comparação com os sensores laser. A melhor forma de concluir esta porção do trabalho é comparar os dois equipamentos.



Figura 63 – Sensor da marca OmRon (típico na SP)

Apresentam-se de seguida tópicos que tratam de comparar aspetos dos dois equipamentos em relação à monitorização de inserção de clipes.

3.2.9.1 Custo

O sensor de força apresenta um custo mais elevado comparativamente a um sensor laser. No entanto, para medir todas as inserções de clipes numa célula são necessários tantos sensores laser como porta-clipes. Utilizando a célula dos painéis-porta da frente no projeto K9 como referência assumem-se 26 sensores laser por célula. O valor típico

destes varia entre os 80 € e os 120 € por unidade, o que resulta num custo entre 2080 € e 3120 €. Considerando que o valor do sensor de força alternativo escolhido está entre é de 2700 € e 2900 € pode-se afirmar que neste caso não deveria existir grande diferença.

Generalizando, existem situações em que um sensor ficará mais barato do que o outro dependendo sobretudo do número de porta-clipes a vigiar, o que significa que o sensor de força é competitivo e terá lugar na IA desde que possua mais algumas vantagens em peças com muitos cliques.

3.2.9.2 *Precisão, fiabilidade e durabilidade*

O sensor laser pode ser considerado de baixa precisão no sentido em que apenas deteta a presença do clipe e não se este foi bem encaixado. Apesar deste ponto, possui fiabilidade e durabilidade alta. Em comparação com estes o sensor de força é muito preciso pois deteta qualquer variação no processo, a fiabilidade e a sua durabilidade pensam-se ser altas, mas por enquanto não foi possível confirmar este facto na prática. Concluindo este ponto em teoria, o sensor de forças pode ser melhor do que os sensores graças à sua precisão.

3.2.9.3 *Adaptabilidade*

Para colocar sensores laser em células robotizadas que não as possuíam originalmente é necessário:

- construir suportes para estes;
- posicionar os sensores com precisão;
- ligar os sensores ao sistema;
- alterar rotinas do *robot* (novas estruturas obrigam a alterar a trajetória do *robot*);
- programar cada sensor laser individualmente.

Para colocar o sensor de força basta:

- montá-lo no braço robótico;
- modificar as coordenadas da ferramenta do *robot* (+20 cm em z);
- instalar o programa no controlador;
- associar curva base a rotina.

A grande diferença entre estes dois sensores é que não é necessário alterar a célula em si com o sensor de força sendo que este é apenas adicionado ao braço robótico e se o programa estiver com as coordenadas da ferramenta (normalmente o caso) é possível não ter de alterar as rotinas já existentes.

A programação também é mais simples no sensor que apenas usa uma porta *ethernet* do controlador e vem com um programa modular, restando apenas definir a margem e as consequências dos sinais “ok” e “nok”.

Por estas razões considera-se que em teoria o sensor de força é o equipamento mais adaptável.

3.2.9.4 Viabilidade

Com base nos pontos de comparação anteriores conclui-se que o projeto ainda é viável, já que este consegue competir com os sensores laser em termos de adaptabilidade, e precisão. A variação observada nas curvas de inserção de força levanta algumas dúvidas, mas desde que a margem tenha esta em conta essas dúvidas podem ser dispensadas.

3.3 Projeto de automação do controlo da conformidade final de uma peça

3.3.1 Solução final

Foi desenvolvido e implementado um periférico com um *scanner* 3D da marca Photoneo capaz de distinguir as todas as gamas e versões de painéis porta do projeto M3M4 e verificar se os vários componentes destas estão montados corretamente. Também foram desenvolvidas quatro bases de apoio ao todo para garantir a afixação correta dos painéis porta. Estas estão visíveis na Figura 64.

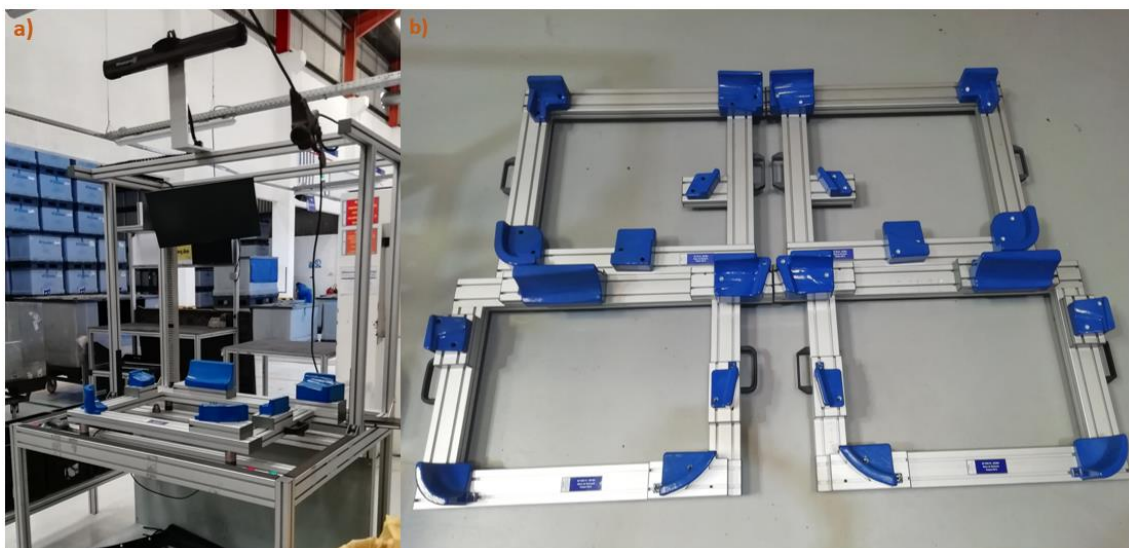


Figura 64 - a) Periférico "Photoneo" b) Bases de apoio

O periférico final é móvel e fácil de implementar noutras linhas de modo que pode funcionar como *pivot* para outros projetos. Este possui, no entanto, alguma falta de rigidez, que poderá originar desalinhamentos do *scanner* e falta de gavetas em baixo

para arrumar bases adicionais. Apesar destas limitações o periférico passou no teste industrial e encontra-se no ativo.

3.3.2 Sequência do projeto

Os passos seguidos durante o projeto estão resumidos no diagrama representado na Figura 65. Cada passo representa de forma simplificada um subcapítulo que se poderá encontrar mais à frente no trabalho.

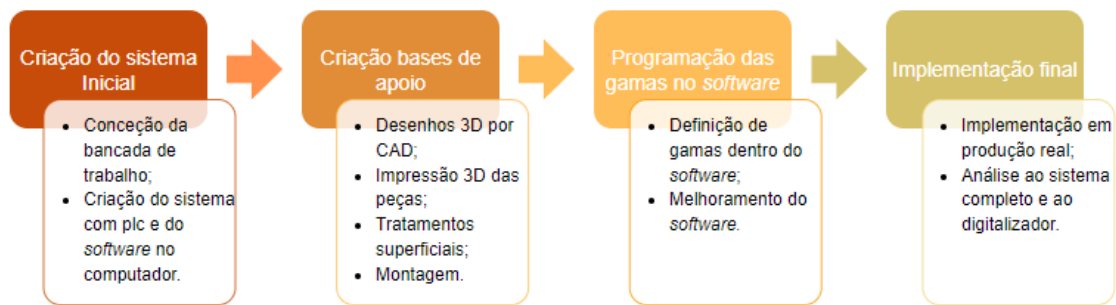


Figura 65 – Sequência do projeto do scanner

3.3.3 Equipamentos relevantes

Para a monitorização da presença e da boa montagem de componentes foram utilizados equipamentos cujos parâmetros limitam e definem as capacidades do periférico criado.

3.3.3.1 Scanner 3D



Figura 66 - Scanner PhoXy 3D L (adaptado de [84])

O scanner empregue no projeto trata-se do PhoXy 3D L (Figura 66) criado pela empresa Photoneo. Este utiliza padrões de luz estruturada para reconstruir uma superfície em 3D criando uma nuvem de pontos em três fases: captura, processamento e transferência. Na Tabela 15 listam-se os parâmetros mais importantes do scanner, sendo que os restantes podem ser consultados no anexo 6.

Tabela 15 - Parâmetros do *scanner* (adaptada do anexo 6)

| Parâmetro | Valor |
|--------------------------|----------------|
| Alcance de digitalização | 870-2150 mm |
| Distancia ótima | 1239 mm |
| Ruído (1σ) | $\pm 0,190$ mm |
| Tempo por digitalização | 250-2500 ms |
| Peso | 1100 g |

3.3.3.2 Impressoras 3D

Durante o trabalho pretende-se utilizar 2 impressoras diferentes para agilizar o processo, uma Delta Wasp 4070 e uma Prusa i3Mk3 visíveis na Figura 67. Cada impressora possui *software* específico, sendo o da Delta caro e inacessível ao público, e o da Prusa grátis e fácil de encontrar no *website* da Prusa.

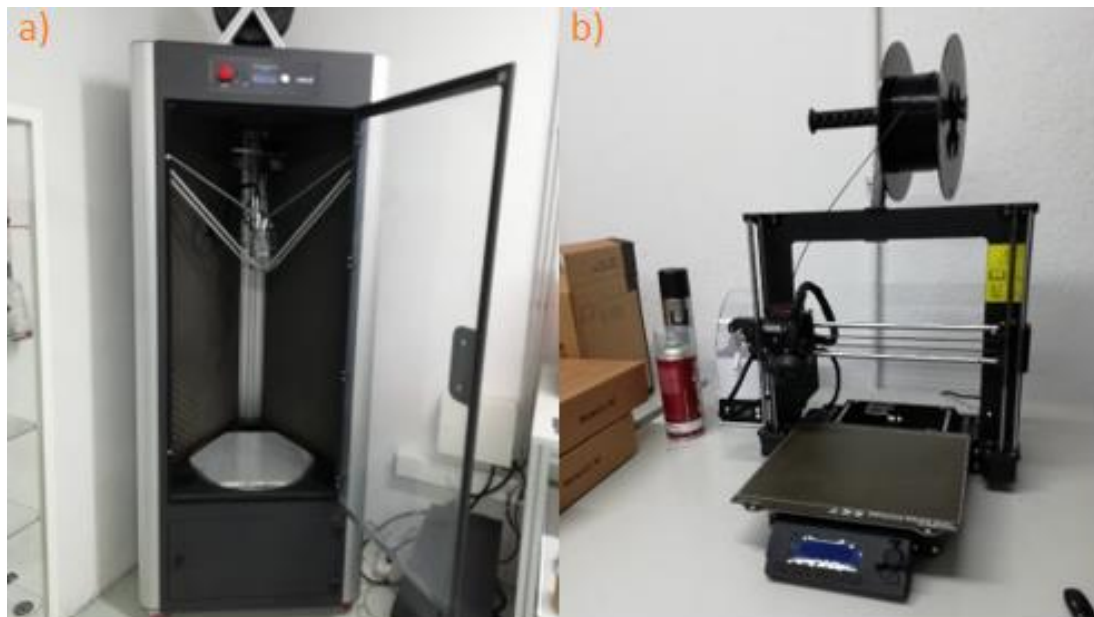


Figura 67 - Impressoras 3D a) Delta Wasp 4070 b) Prusa i3Mk3

As capacidades das impressoras são detalhadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Parâmetros das impressoras 3D (adaptada do anexo 7)

| Parâmetro | Delta Wasp 4070 | Prusa i3Mk3 |
|--------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Volume de impressão | ø400x670 mm ³ | 250x210x210 mm ³ |
| Resolução de camadas | 50 - 350 µm | 50 - 350 µm |
| Bocal | 0,7 mm | 0,6 mm |
| Velocidade de impressão máxima | 200 mm/s | 200 mm/s |
| Consumo energético (em média) | 600 W | 100 W |

Outros parâmetros das impressoras podem ser consultados no anexo 7.

3.3.3.3 Computador

O computador visível na Figura 68 vai ser a central do sistema.



Figura 68 - Computador utilizado no trabalho

O computador possui o Windows 10 e o *software* do digitalizador. Neste é instalado o *software* do *scanner* e o programa principal responsável pelo controlo do sistema, cujo desenvolvimento ocorreu na MCM Systems juntamente com o estagiário. O computador tem placa gráfica GTX 1660 e processador intel core i7 de nona geração para que consiga correr o programa do *scanner* 3D e gerir todo o sistema em simultâneo o mais rápido possível de modo a não afetar o tempo de produção. Estima-se que tenha custado 1200 €.

3.3.3.4 Conjunto do PLC

O conjunto PLC é empregue como se fosse um módulo de entradas e saídas, ou seja, serve apenas para ligar o *software* no computador aos restantes componentes utilizados no trabalho.

O modelo escolhido do PLC é o DVP12SE11T da Delta (Figura 69), que vai comunicar com o computador via *ethernet*. O seu custo é de 182,74 €.



Figura 69 - PLC escolhido

A fonte de alimentação é da Weidmüller nomeadamente o modelo com 48 W, 24 V e 2 A visível na Figura 70. Esta fonte custa cerca de 81,76 €.



Figura 70 – Fonte de alimentação do PLC

Os disjuntores têm o propósito de proteger o equipamento caso a intensidade da corrente elétrica supere a capacidade deste ou ocorra curto-circuito. No projeto instalou-se um da marca Siemens versão 5SY32 (Figura 71) que custa cerca de 42,05 € e outro da General Electric (Figura 71) de 47,68 €.



Figura 71 – Disjuntores do projeto: a) Siemens 5SY32 b) General Electric 2P40A300ma classe AC

3.3.3.5 Sensor, componentes de sinalética e botões

É empregue um sensor ótico da marca Akusense, dois leds com disjuntores e botões com luzes da marca Namicam, num valor que totaliza cerca de 140,30 €.

3.3.4 Criação da bancada de trabalho

O sistema é montado numa bancada de trabalho que deve ser ergonómica, mas prática para permitir alterações e movimento. Um aspeto muito importante a ter em conta é a posição do *scanner* 3D em relação à mesa. Os parâmetros do *scanner* 3D referem que a distancia ótima de funcionamento fica a 1239 mm do *scanner*. Com esta informação em mente procede-se à definição da bancada.

Na estrutura base são utilizados perfis de liga de alumínio Al Mg Si 6060 da Minitec. Para conectar todos estes perfis numa fase inicial são empregues acessórios da Minitec, nomeadamente *power-locks* de afixação representados na Figura 72. A forma de montagem pode ser verificada mais detalhadamente no anexo 8.

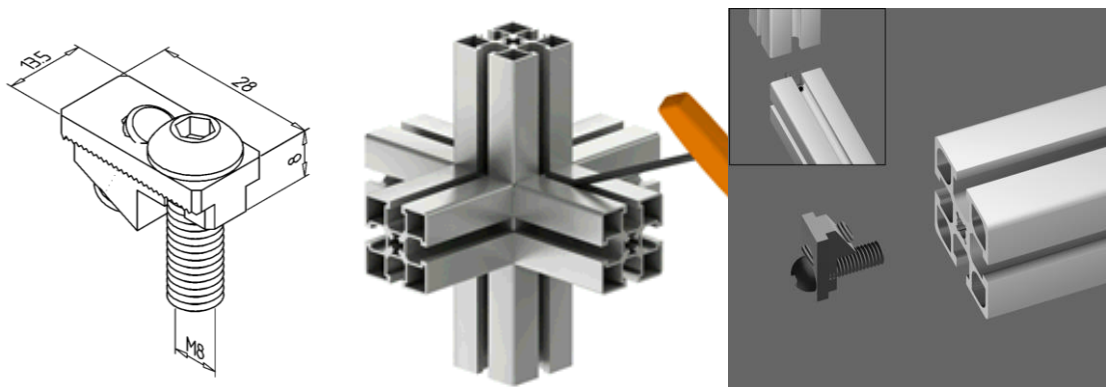
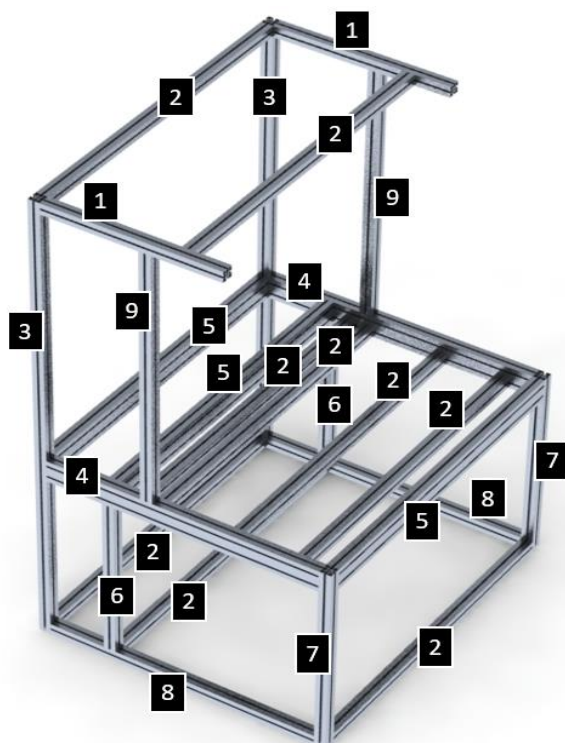


Figura 72 – Power-locks da Minitec (adaptado do anexo 8)

A estrutura inicial composta apenas pelos perfis de alumínio e *power-locks* fica definida com a Figura 73 e os desenhos nº1 e 4 no anexo 9, no qual onde se podem verificar as cotas que não ficam subentendidas.

Os cuidados principais tomados ao desenhar a estrutura foram:

- manter uma posição de trabalho ergonómica para os trabalhadores;
- balancear o espaço disponível no chão da fábrica com a área de alcance do *scanner*;
- posicionar o *scanner* à distância ótima;
- diminuir o peso da estrutura para que esta seja móvel.



| Número | Tipo de perfil | Tamanho [mm] |
|--------|----------------|--------------|
| 1 | 45 × 45 UL | 655 |
| 2 | 45 × 45 UL | 1210 |
| 3 | 45 × 45 UL | 1900 |
| 4 | 45 × 90 UL | 1010 |
| 5 | 45 × 90 UL | 1210 |
| 6 | 45 × 45 UL | 665 |
| 7 | 45 × 45 UL | 800 |
| 8 | 45 × 45 UL | 1010 |
| 9 | 45 × 45 UL | 1055 |

Figura 73 - Perfis de alumínio da estrutura

Para suportar a estrutura foram escolhidas quatro rodas da Minitec com 100 mm de diâmetro, representadas na Figura 74 e com desenho acessível no anexo 8. Estas possuem capacidade para aguentar 90 kg cada uma, o que garante a sua integridade estrutural visto que a estrutura de alumínio anterior pesa cerca de 70 kg e as estruturas adicionadas à frente elevam o peso para 140 kg, como se calculou no anexo 10.



Figura 74 - Rodas Minitec com travão 100 mm de diâmetro (Adaptado do anexo 8)

Para aproveitar espaço de arrumação para as bases de apoio, fixar o computador e o conjunto PLC, considera-se a instalação de chapas de aço inoxidável AISI 304 com 1 mm de espessura, ambas cortadas com broca e serra e uma delas quinada. Estas estão representadas na Figura 75 e definidas nos desenhos nº4, 22 e 24 do anexo 9. Na Simoldes estas placas são tipicamente montadas com parafusos CHC e anilhas planas.

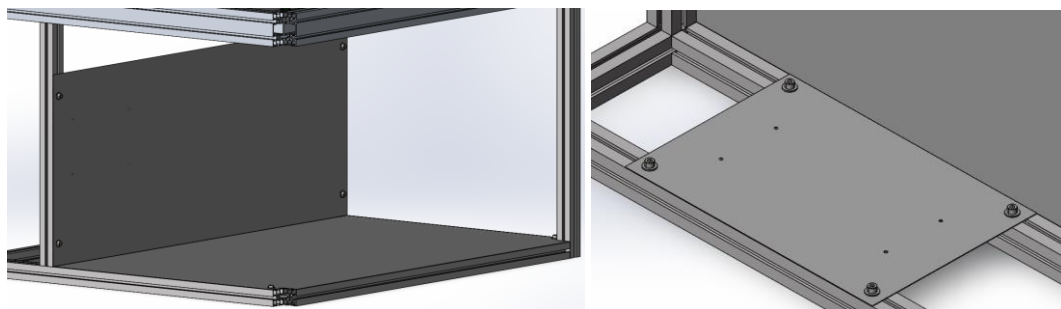
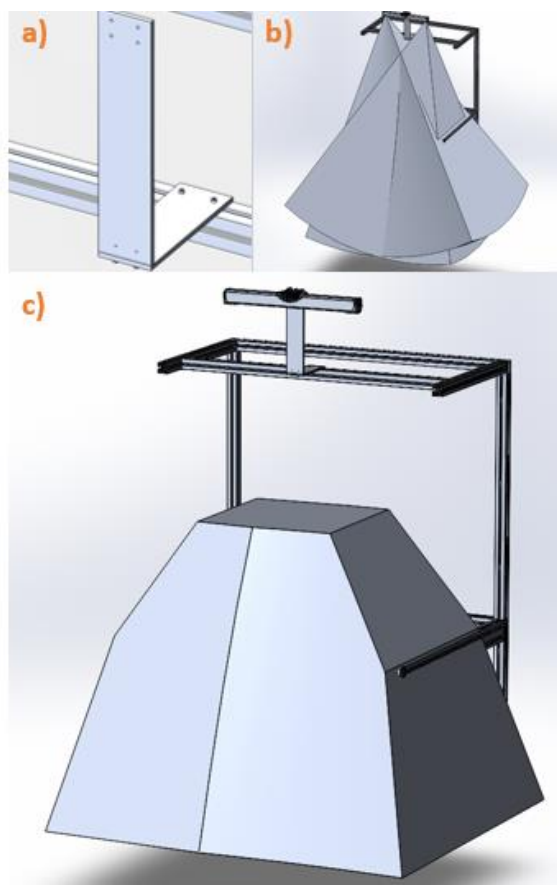


Figura 75 - Chapas instaladas no periférico

Relativamente ao *scanner* 3D, este é montado diretamente acima da bancada, com duas chapas de 7 mm de espessura cada (anexo 9 desenhos nº16, 17 e 26). Na Figura 76 encontra-se o conjunto das chapas de suporte representado com a visão do *scanner*, para mostrar que esta se encontra desimpedida. É também representado o alcance do *scanner* para mostrar que a posição ótima coincide aproximadamente com a altura a que se encontram os painéis porta.

Figura 76 – a) Chapas de apoio para o *scanner* 3D b) Visão do *scanner* c) Alcance real do *scanner*

Debaixo dos painéis porta é montado um sensor ótico para detetar a sua presença. Para posicionar o sensor de modo que detete os painéis são necessários os componentes que ficam representados na Figura 77. A utilização de um parafuso para prender a chapa à

mesa permite que se possa facilmente ajustar o ângulo caso uma peça possua um furo no local diretamente na vertical ao laser. Os componentes encontram-se no anexo 9 nos desenhos nº18,19 e 27 e a posição do conjunto está definida no desenho 4.

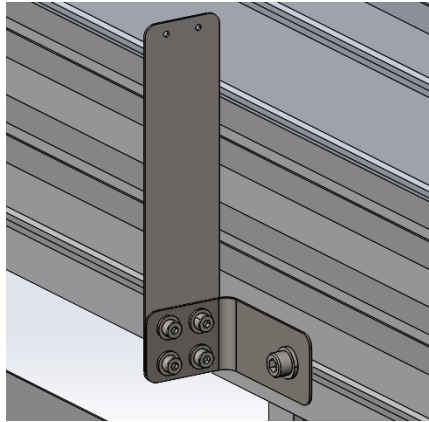


Figura 77 - Conjunto para posicionar o sensor laser

Na continuação do trabalho foram acrescentadas peças para segurar luzes de presença e botões, criadas a partir de perfis cortados (anexo 9 desenho 20). Para esconder/proteger os fios dos botões e das luzes projetaram-se e imprimiram-se peças em PETG que encaixam por deslizamento (anexo 9 desenho nº21). O conjunto encaixado está representado na Figura 78 a) e a sua posição no projeto está definida no anexo 9 desenho nº4.

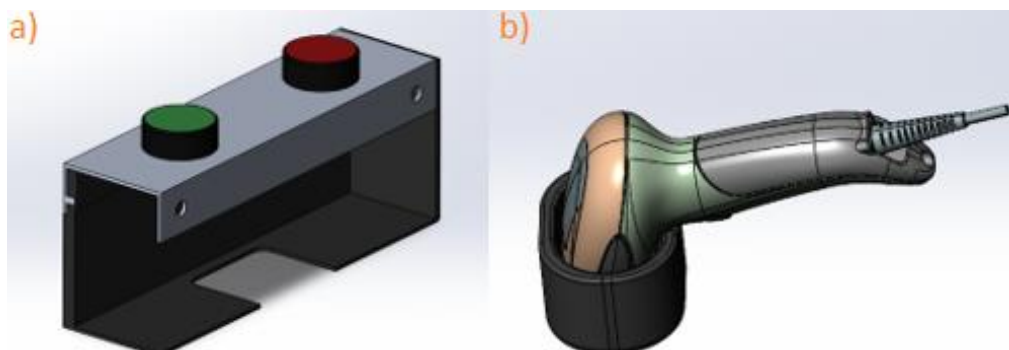


Figura 78 - a) Conjunto botões b) Conjunto suporte com scanner código de barras

Adicionalmente projetou-se um suporte para o leitor de códigos de barras (Figura 78 b) que também foi impresso em 3D. O leitor encontra-se no anexo 9 desenho nº23 e a sua posição está explícita no desenho nº4.

Apenas com estes componentes a estrutura falta de rigidez. Como solução colocaram-se chapas triangulares (anexo 9 desenho nº26) nas barras mais soltas representadas na Figura 79 a) e os acessórios de montagem de fixação angular da Minitec visíveis na Figura 79 b) (desenho no anexo 8).

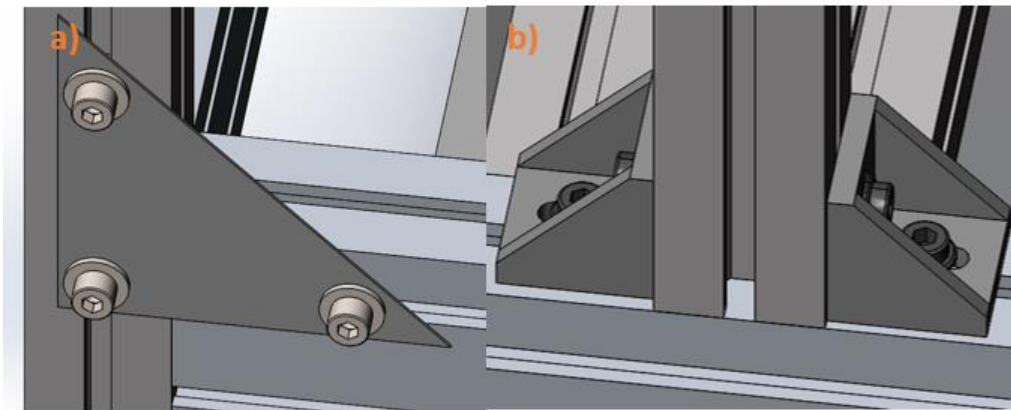
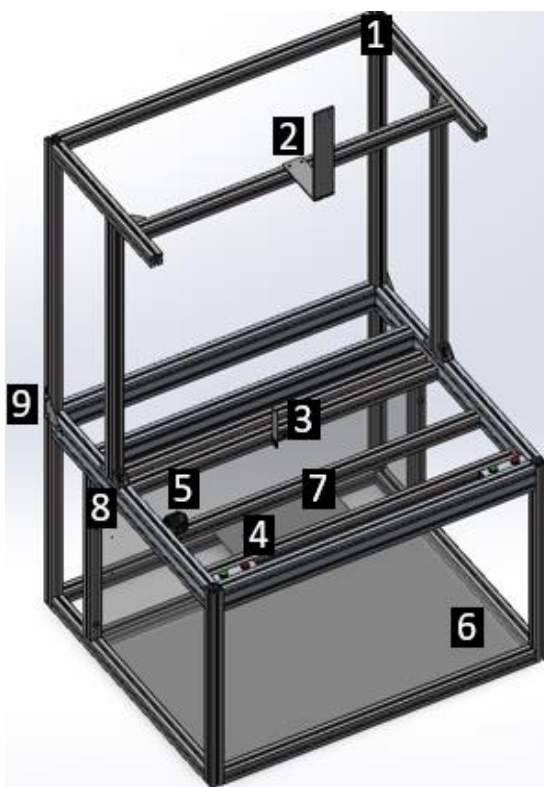


Figura 79 - a) Chapa triangular b) Acessórios de fixação angular

Por fim, apresentam-se na Figura 80 os conjuntos mencionados até momento. Todas as ligações não especificadas assumem-se com parafusos CHC e anilhas do tamanho do respetivo furo.



| Nº | Nome |
|----|---------------------------------------------|
| 1 | Estrutura perfis de alumínio |
| 2 | Suporte do <i>scanner</i> |
| 3 | Suporte do sensor ótico |
| 4 | Conjunto chapa do botão e proteções de fios |
| 5 | Suporte leitor de códigos de barras |
| 6 | Placa para arrumamentos |
| 7 | Placa para computador |
| 8 | Fixadores angulares ×6 |
| 9 | Chapas triangulares ×2 |

Figura 80 - Estrutura montada sem as bases, o sistema elétrico, os *inter-locks* e o *scanner*

3.3.5 Criação das bases de apoio

A linha de produção M3M4 engloba a produção dos painéis das quatro portas do Citroen C3, sendo que cada uma destas tem cerca de quatro variantes. As bases devem ser

montadas na mesa com o digitalizador. O objetivo das bases é garantir que os painéis porta estejam sempre na mesma posição de modo a que o *scanner* 3D possa encontrar e verificar de forma precisa se os componentes estão presentes e bem montados, e que a versão do painel é a pretendida.

A mesma base deve conseguir acomodar todas as variantes de cada painel porta de modo a garantir que estas fiquem sempre na mesma posição sem folgas consideráveis. Adicionalmente deve-se ter em consideração a quantidade de material utilizado e a segurança dos operadores.

Para melhor organização menciona-se na Tabela 17 as siglas que se utilizam para referir aos painéis e às respetivas bases de apoio:

Tabela 17 - Siglas dos painéis porta

| Sigla | Painel Porta |
|-------|-----------------|
| FRE | Frente-esquerdo |
| FRD | Frente-direito |
| TRE | Trás-esquerdo |
| TRD | Trás-direito |

3.3.5.1 *Desenhos das bases de apoio*

As bases de apoio são desenhadas utilizando o Solidworks. Os desenhos 3D dos perfis de alumínio da Minitec e dos painéis porta (Figura 81) já são conhecidos na Simoldes, pelo que apenas é necessário desenhar os postigos para apoiar os painéis.

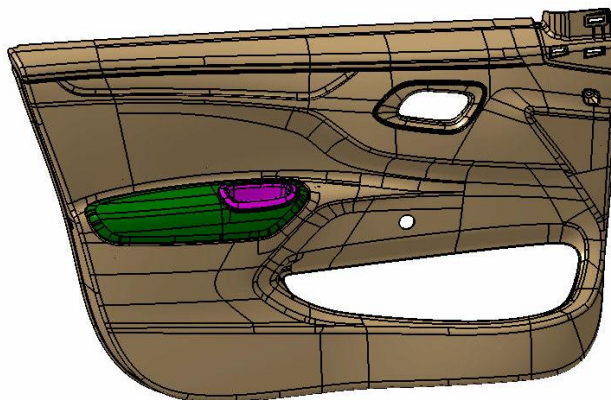


Figura 81 - Painel porta FRE

O processo de desenho consiste em copiar as faces dos painéis porta para que seja possível encaixar estes na perfeição (tirar o negativo), e desenhar o resto dos suportes

a partir dessas faces. Seguidamente colocam-se os suportes em cima dos perfis da Minitec e criam-se os furos nos suportes que coincidam com as calhas dos perfis de alumínio para efetuar a ligação entre estes componentes. O conjunto completo pode ser verificado na Figura 82.

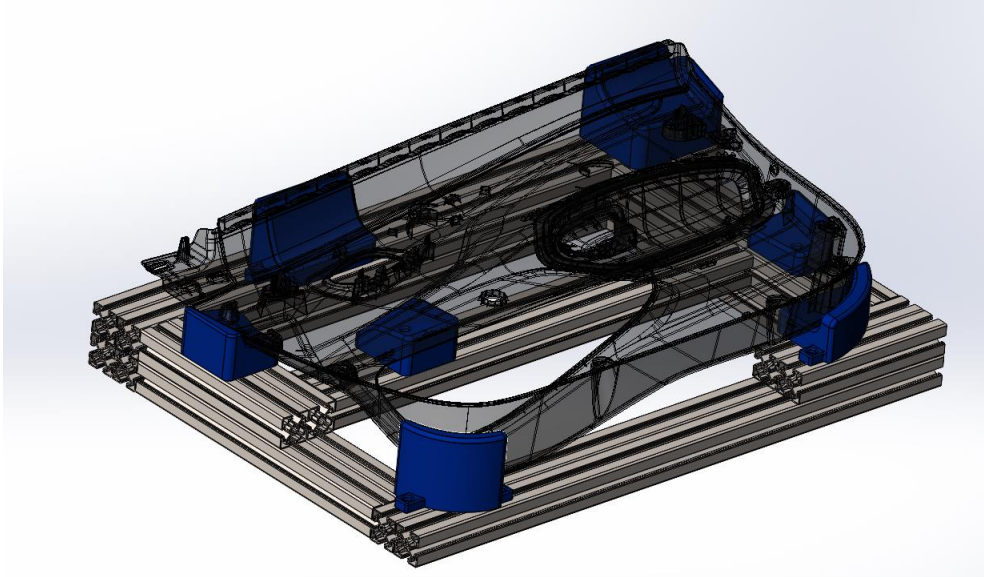


Figura 82 - Conceção do conjunto do painel porta FRE

Evitam-se todo o tipo de faces pontiagudas ou afiadas nos suportes. Para diminuir a hipótese de cortes ou lesões na bancada de trabalho criam-se *fillets* de 5 ou 10 mm entre os negativos dos painéis porta e as restantes faces dos postigos. Os desenhos dos postigos encontram-se no anexo 9 numerados entre 5 e 15. Nestes desenhos apenas se encontram representadas as bases desenhadas, sendo que os negativos das portas são demasiado detalhados e não possuem valor prático, salvo os furos que são sempre constituídos por caixas com 12,3 mm de diâmetro para furos lisos de 5,5 mm de diâmetros com 6 mm de profundidade.

Apresentam-se de seguida então os projetos dos lados esquerdos (FRE e TRE), sendo que os projetos do lado oposto (FRD e TRD) são simétricos e como tal não são descritos.

3.3.5.1.1 Painéis porta da frente esquerdos (FRE)

Através do processo já descrito foram desenhados 10 postigos, que foram montados dentro do *software* CAD nos perfis de alumínio, de modo a garantir que encaixam na perfeição. A primeira versão da montagem encontra-se visível na Figura 82 e na Figura 83.

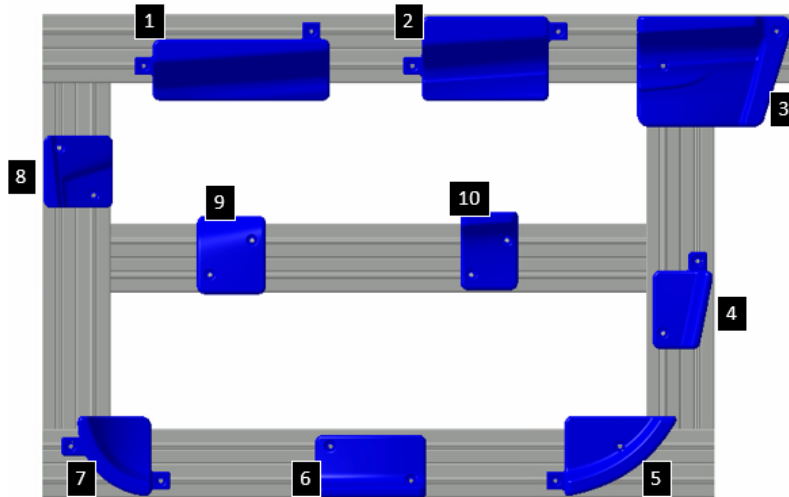


Figura 83 - Primeira iteração da base de apoio para o painel porta FRE

Após observar a rigidez e o tamanho dos painéis porta considerou-se que os elementos no centro e o postigo 2 não são necessários, uma vez que o painel porta encaixaria bem na base sem estes. Adicionalmente, foram alterados alguns componentes para poupar material e tempo de impressão. Estas alterações estão detalhadas na Figura 84.

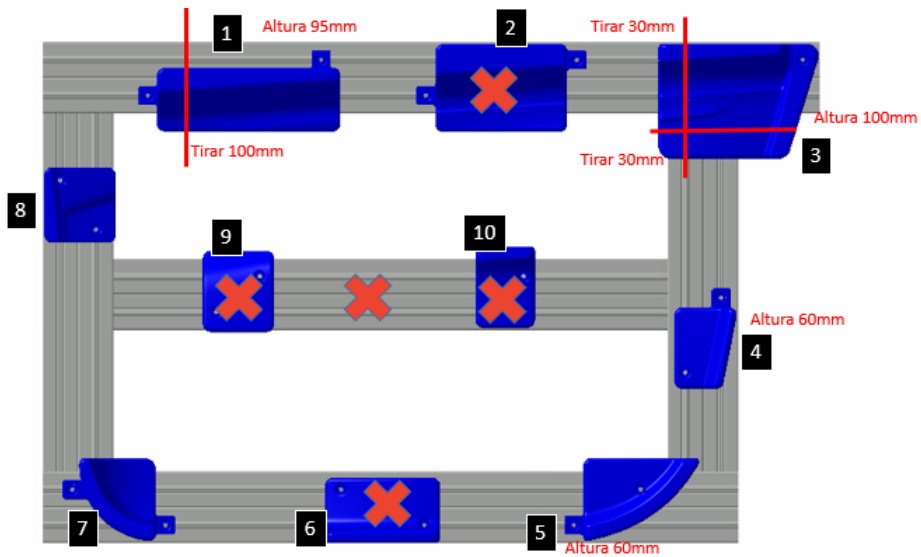


Figura 84 - Alterações à base de apoio do painel FRE

Após as alterações considerou-se que a fase de desenho da base estava terminada. Na Figura 85 sublinham-se os postigos numerados para que estes possam ser referenciados nos desenhos mais tarde.

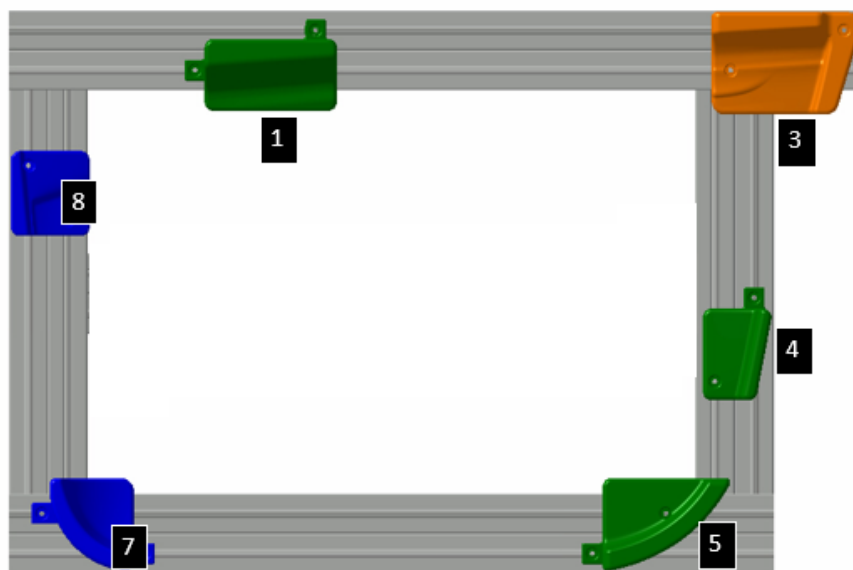


Figura 85 - Base de apoio FRE Postiços

Os perfis de alumínio são todos do tipo “45 × 90 UL” e encontram-se representados na Figura 86. De seguida, na Tabela 18 verificam-se os tamanhos dos respetivos perfis. As poucas cotas que não se retiram da combinação da tabela com a figura podem ser verificadas no desenho nº2 do anexo 9.

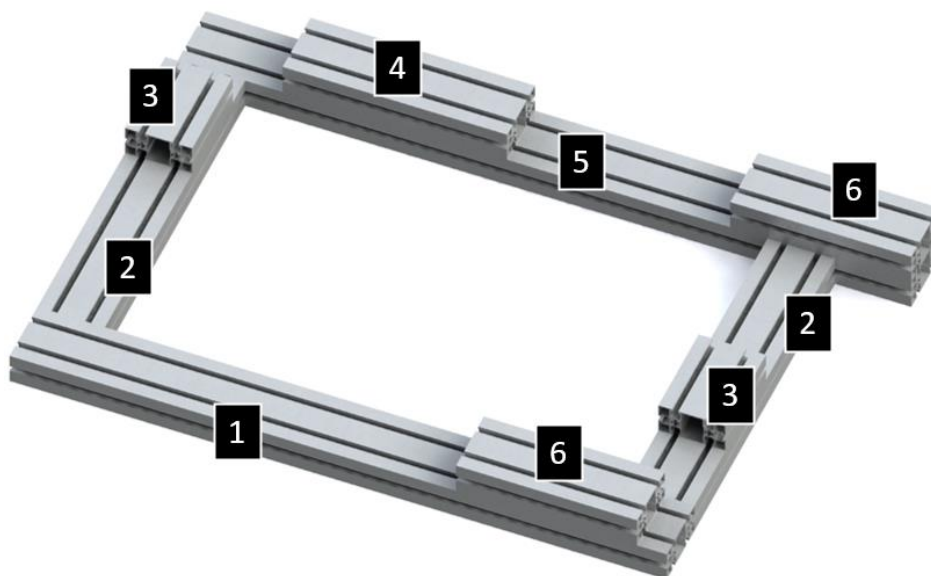


Figura 86 - Perfis de alumínio para a base de apoio FRE

Tabela 18- Tamanho dos perfis da base FRE

| Número de perfil | Tamanho [mm] |
|------------------|--------------|
| 1 | 878 |
| 2 | 452 |
| 3 | 130 |
| 4 | 300 |
| 5 | 980 |
| 6 | 242 |

3.3.5.1.2 Painéis porta de trás esquerdos (TRE)

Com a experiência adquirida da criação de bases da frente, o processo de criação das bases dos painéis porta de trás foi mais direto. Os postigos foram pensados já com a poupança de material e tempo em mente e sem componentes desnecessários para suportar a zona central visto que os painéis não descaem no centro caso estes não se encontrem apoiados. A primeira iteração encontra-se representada na Figura 87. Na segunda e última iteração otimizaram-se os perfis de alumínio.

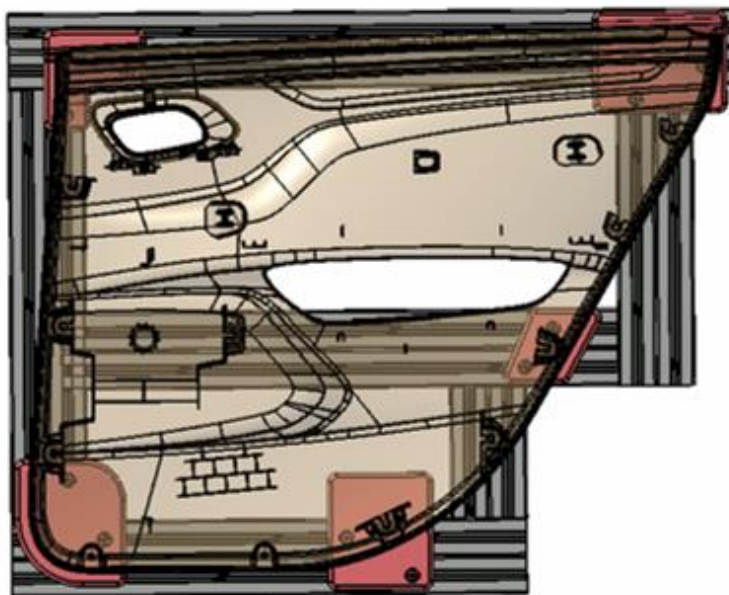


Figura 87- Base de apoio TRE com o painel porta encaixado

Apresenta-se na Figura 88 a numeração dos postigos.

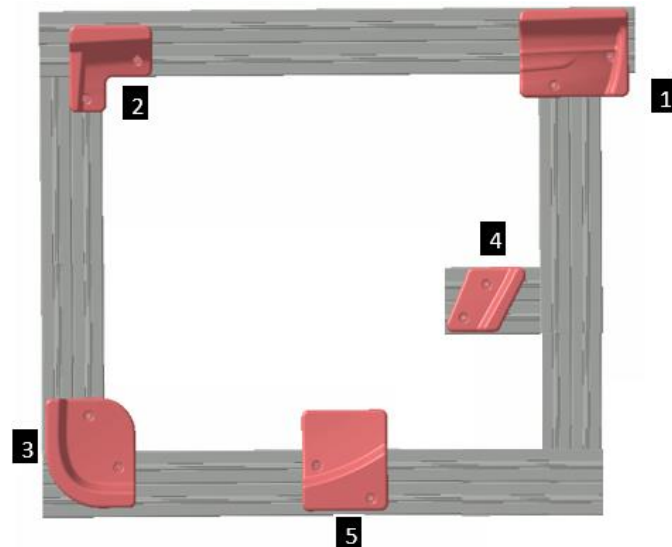


Figura 88 - Base de apoio TRE postigos

É também possível visualizar na Figura 89 e Tabela 19 imagem a numeração e definição do tamanho destes.

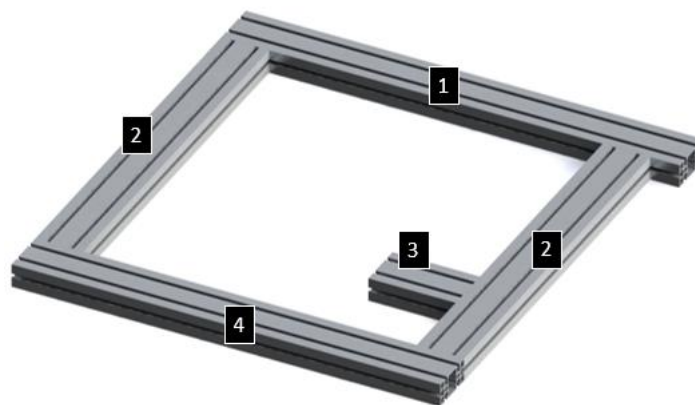


Figura 89 – Perfis de alumínio para a base de apoio TRE

Tabela 19 - Tamanho dos perfis da base TRE

| Número de perfil | Tamanho [mm] |
|------------------|--------------|
| 1 | 865 |
| 2 | 690 |
| 3 | 165 |
| 4 | 810 |

As cotas que não podem ser extrapoladas desta informação ficam assinaladas no desenho nº3 do anexo 9.

3.3.5.1.3 Fixação das bases de apoio na mesa de trabalho

A montagem das bases de apoio na bancada de trabalho é realizada com *inter-locks* (Figura 90).



Figura 90 – *Inter-locks*

Um dos objetivos do trabalho é que seja possível adaptar rapidamente a mesa de trabalho a novos projetos. Conta-se que com seis *inter-locks* seja possível trocar de bases e projetos com maior facilidade sem comprometer a boa fixação das bases na mesa.

Os *inter-locks* serão montados em quatro perfis de alumínio juntamente com o sensor de presença e o conjunto do leitor de códigos de barras que se encontram representados na Figura 91. Os perfis são do tipo 45 × 90 UL e as distâncias destes coincidem com as alturas das bases de apoio. O perfil de alumínio que não possui *inter-locks* servirá apenas para montar elementos adicionais como o suporte para o leitor de códigos de barras.

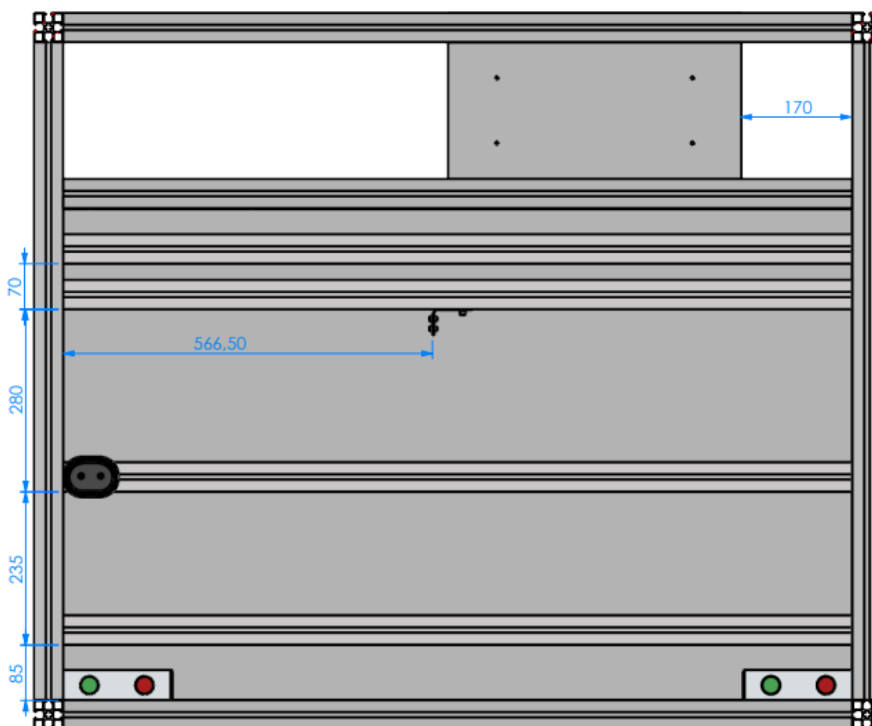


Figura 91 - Definição da posição das barras e de outros componentes

3.3.5.2 Impressão 3D de posições

Assumindo que o leitor já se familiarizou com os parâmetros da impressão 3D por extrusão explicados no capítulo 2 do trabalho avança-se para a fase de impressão 3D dos posições.

Como o processo é o mesmo para todas as peças entende-se melhor utilizar imagens dos posições 7 e 5 da base de apoio FRE como exemplo representativo dos diferentes apoios. Na Figura 92 apresentam-se os mesmos após terem sido desenhados no *software* CAD Abaqus e transferidos para o Solidworks.

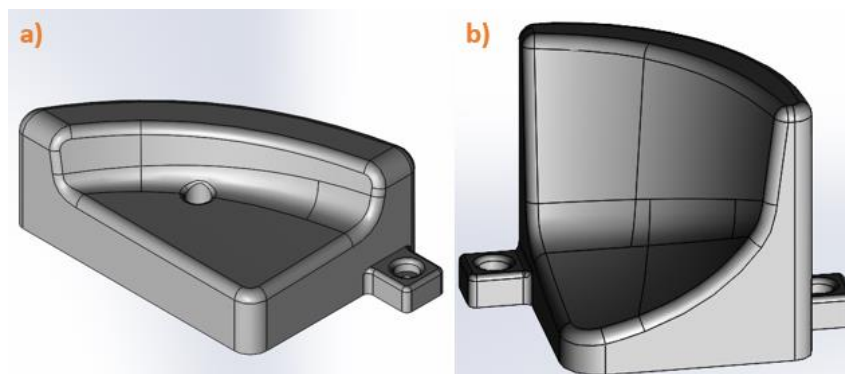


Figura 92 - a) Posição 5 da base FRE b) Posição 7 da base FRE

Importando os ficheiros de desenho 3D para o *software* das impressoras verifica-se que, imprimindo várias peças ao mesmo tempo e otimizando a posição destas, se consegue poupar consideravelmente o tempo despendido. No caso das peças 5 e 7 a posição mais favorável ao tempo de impressão encontra-se representada na Figura 93.

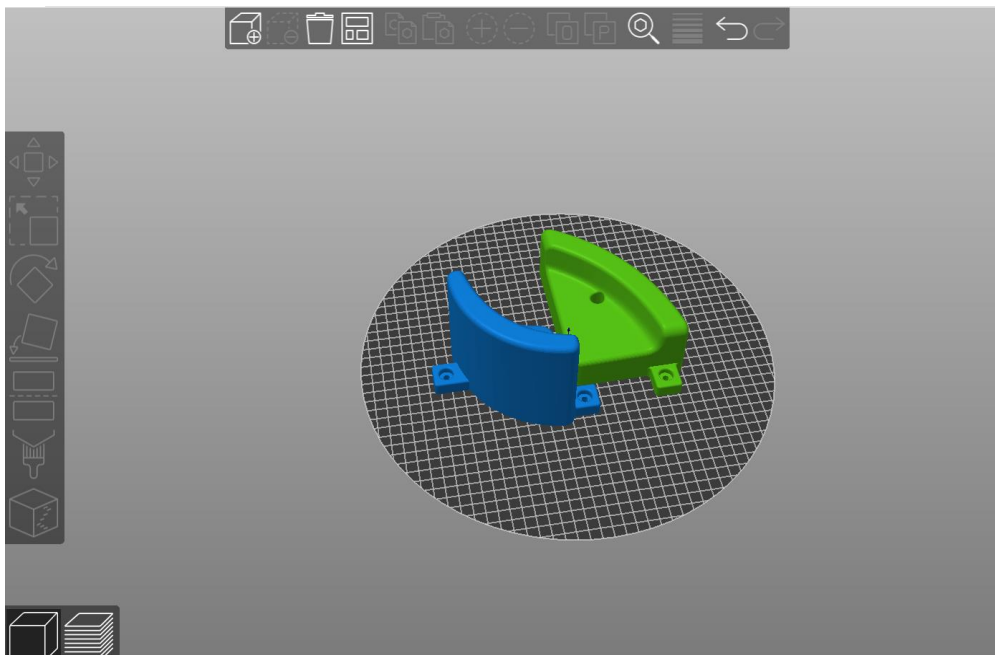


Figura 93 – Previsão das peças 5 e 7 no *software* da impressora

A impressora escolhida para a impressão destas duas peças é a Delta Wasp 4070, fazendo uso do seu *software* específico para definir os parâmetros ótimos de impressão destas. A Prusa i3Mk3 tem menos área útil e é mais lenta, por estas razões, foi menos utilizada e as propriedades para esta apresentam-se mais alteradas para poupar tempo. Os parâmetros utilizados nas peças 5 e 7 apresentam-se na Tabela 20 juntamente com uma pequena justificação da escolha destes.

Tabela 20 - Valores e razões dos parâmetros utilizados nas peças 5 e 7

| Variável | Valor | Razão |
|---------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espessura da camada | 0,22 mm | Optou-se por este valor pois permite um bom compromisso entre o material gasto e as propriedades. |
| Fill density | 50% | A <i>fill density</i> por norma varia entre 15% e 50%. Foi escolhido o valor máximo para garantir que as peças suportam cargas altas. Na Prusa, este valor é metade devido ao longo tempo de impressão. |
| Padrão de infill | Favo de abelha (<i>Honeycomb</i>) | Esta estrutura permite, em teoria, utilizar uma quantidade de material reduzida sacrificando tempo de impressão devido à mudança constante de direção durante a impressão. Em termos de cargas a estrutura apresenta comportamento ortotrópico. O eixo com maior resistência é o perpendicular aos hexágonos, que vai estar sujeito a maiores pressões. |
| Perímetros | 1 | Numa fase inicial do projeto consideram-se 2 perímetros para garantir que o tratamento superficial não compromete a peça. Verifica-se que isso é verdade apenas na Prusa i3MK3 onde o valor de 1 é alterado para 2. |
| Camadas de base | 5 | 5 camadas na base provaram ser suficientes noutros projetos na Simoldes, pelo que se mantém este parâmetro. |
| Camadas de topo | 9 | As camadas de topo devem cobrir o <i>infill</i> sem descaimentos. Para este projeto consideram-se necessárias 9 camadas para garantir uma boa dureza e durabilidade após os tratamentos superficiais. |

A otimização deste processo foi realizada em grande parte pelos próprios *softwares* das impressoras e as alterações foram aconselhadas pelos engenheiros da Simoldes já habituados a trabalhar com estes.

Para sublinhar a diferença entre as duas impressoras, na Figura 94 verifica-se que para imprimir as peças 5 e 7 na Prusa com os mesmos parâmetros seria necessário 1 dia e 16 horas. As mesmas foram impressas em 14 horas com a Delta Wasp. Este processo evidencia-se na Figura 95.

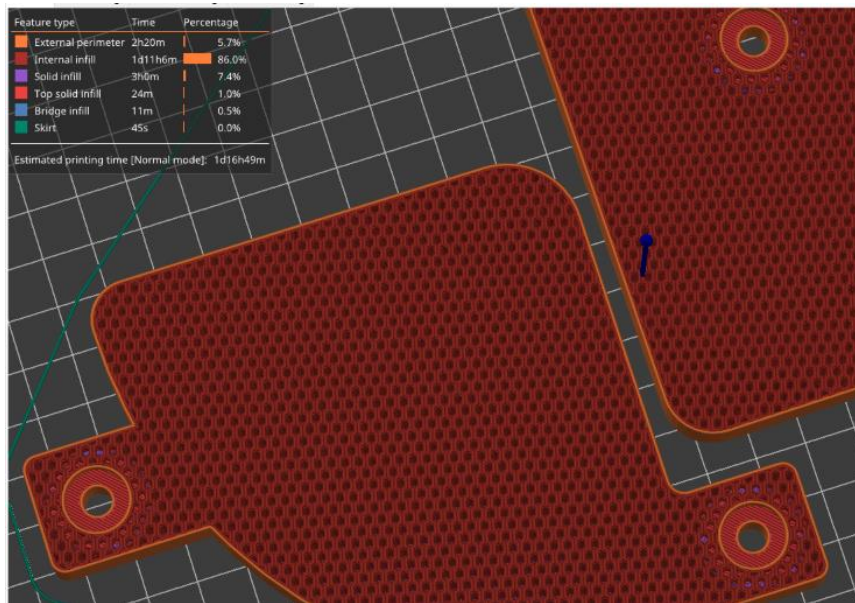


Figura 94 - Tempo da impressão das peças 5 e 7 no software da Prusa

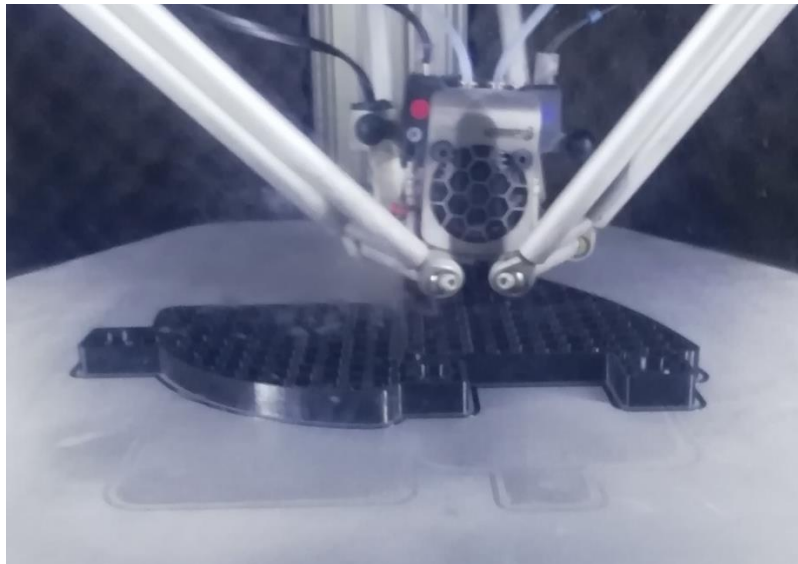


Figura 95 - Impressão das peças 5 e 7 na Delta Wasp 4070

No anexo 11 encontram-se as propriedades de todas as impressões realizadas no trabalho. A partir destes podemos realizar o balanço final da impressão de 30 peças, 5

das quais saíram desfeitas por velocidade a mais ou falta de manutenção no bico de extrusão. Durante este processo passaram 11 dias, 21 horas e 44 minutos.

3.3.5.3 *Tratamento superficial*

Após remover as peças da base da impressora e deixá-las arrefecer inicia-se o tratamento superficial, cujos objetivos são conferir melhor funcionalidade, segurança, durabilidade e, se possível, aspeto às peças.

As peças pós impressão são muito rugosas e irregulares. Para evitar possíveis riscos nos painéis é necessário reduzir o tamanho de grão e homogeneizar a superfície. Passam-se 2 demãos, a primeira com uma lixa de 120PP e a segunda com uma lixa de 400PP. Os efeitos na peça são óbvios e ficam evidenciados na Figura 96.

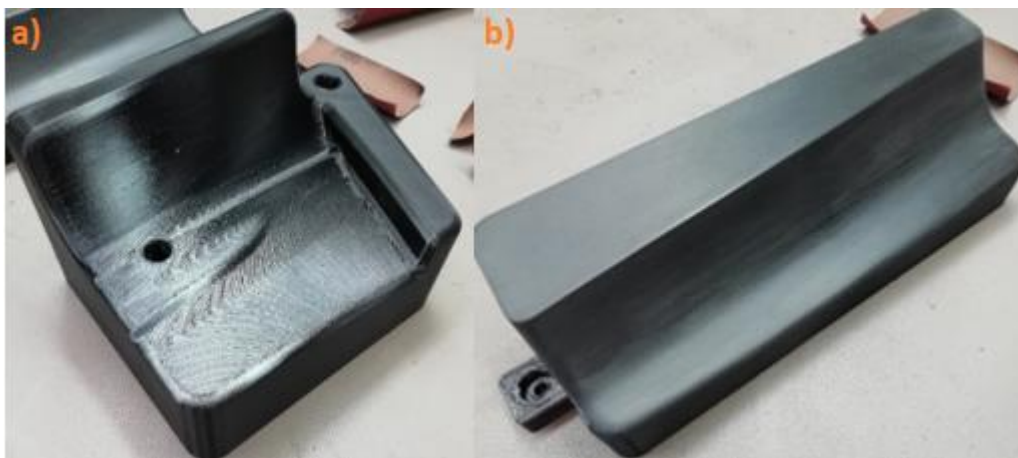


Figura 96 – a) Peça por lixar b) Peça lixada

Seguidamente são aplicadas 4 demãos de uma mistura de tinta com endurecedor passando de novo a lixa de 400PP no fim. Apesar de aparentar excessivo à primeira vista este método já foi utilizado noutros equipamentos e está comprovado que confere muita durabilidade e resiliência às peças. Na Figura 97 apresentam-se 4 peças após a última mão de tinta com endurecedor.



Figura 97 - Peças a secar após tinta com endurecedor

3.3.6 Conceção do *software* e do sistema elétrico

O *software* é criado em LabVIEW, uma linguagem de programação gráfica que faz uso de blocos de funções num IDE (*Integrated Development Environment*) com o mesmo nome. As vantagens principais desta escolha é que permite criar um *software* DAQ com interfaces de instrumentos de uma forma rápida e simples. Infelizmente, como o código fonte é desenvolvido a trabalhar em conjunto com a MCM Systems, este não pode ser divulgado no trabalho para que não seja replicado nem distribuído.

Pode-se, no entanto, descrever o funcionamento do programa por intermédio fluxogramas e respetivas descrições para que se consiga ter uma ideia das regras de funcionamento normal. Inicia-se a descrição pelo caso mais simples onde a peça é considerada “ok” na Figura 98.

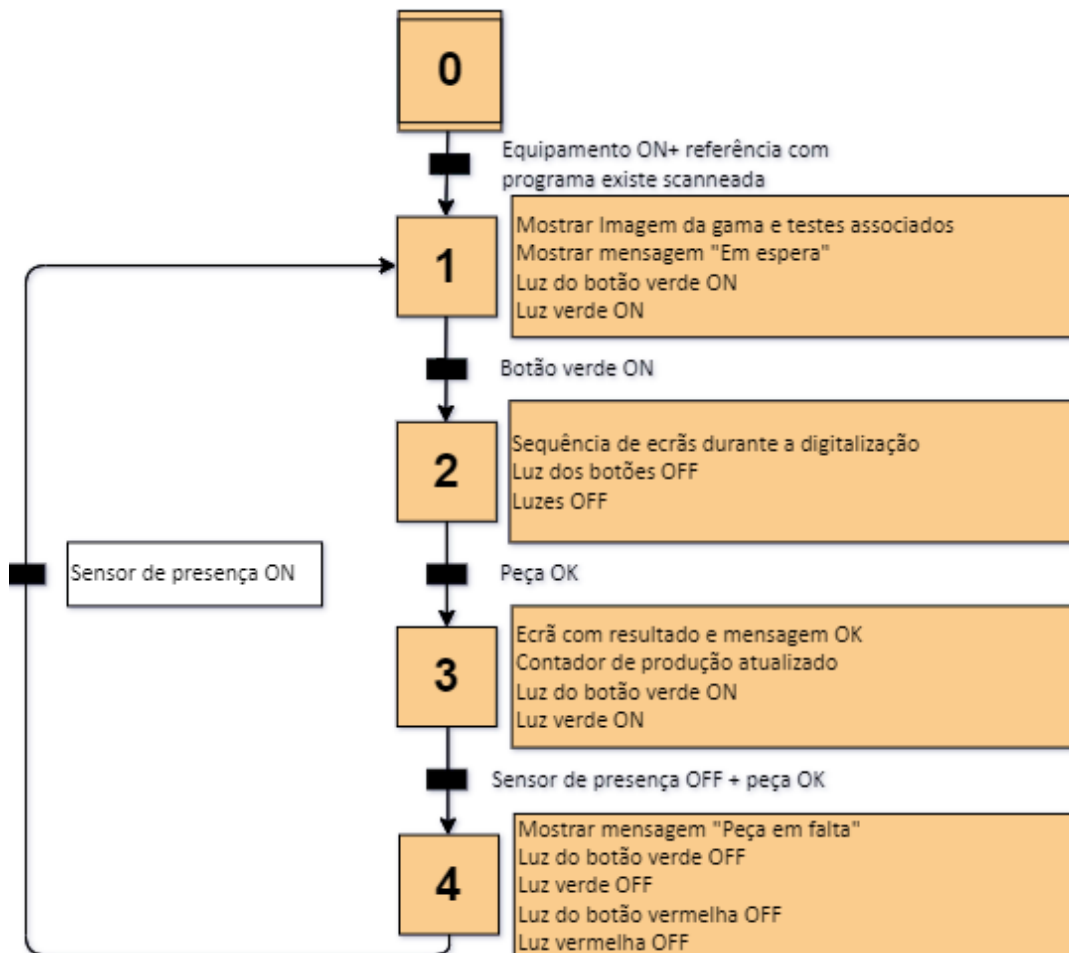


Figura 98 – Fluxograma do funcionamento do sistema quando a peça está “ok”

Se a peça for “nok” tem lugar uma divergência na etapa dois da Figura 98 e convergência na etapa quatro, como se pode verificar na Figura 99.

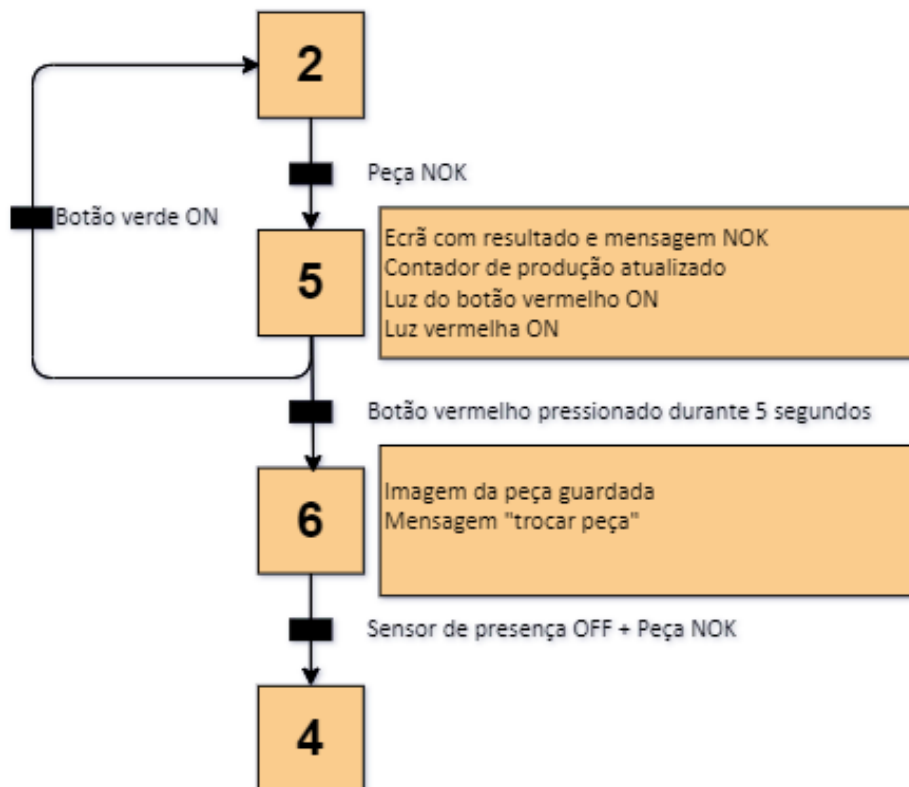


Figura 99 - Fluxograma do funcionamento do sistema quando a peça está “nok”

Alguns detalhes tornariam os fluxogramas difíceis de ler, de modo que ficam apontados de seguida:

- Sempre que o sensor de presença estiver desligado o sistema está bloqueado com a mensagem “Peça em falta”;
- Sempre que o sensor de presença se ligar e desligar sem ser realizada uma digitalização é necessário carregar no botão vermelho;
- Quando a produção acaba o periférico é simplesmente desligado;
- Se for lida uma referência (código de barras) que não esteja inserida no programa este bloqueia o ecrã e mostra a mensagem “Ref. Interna inválida”;
- Se for lida uma nova referência válida a meio da produção o programa muda imediatamente e os contadores descem para zero.

A porção física do sistema resultou de uma colaboração entre engenheiros da MCM Systems e o autor. Para representar a porção física do sistema apresenta-se na Figura 100 o diagrama de fios do conjunto.

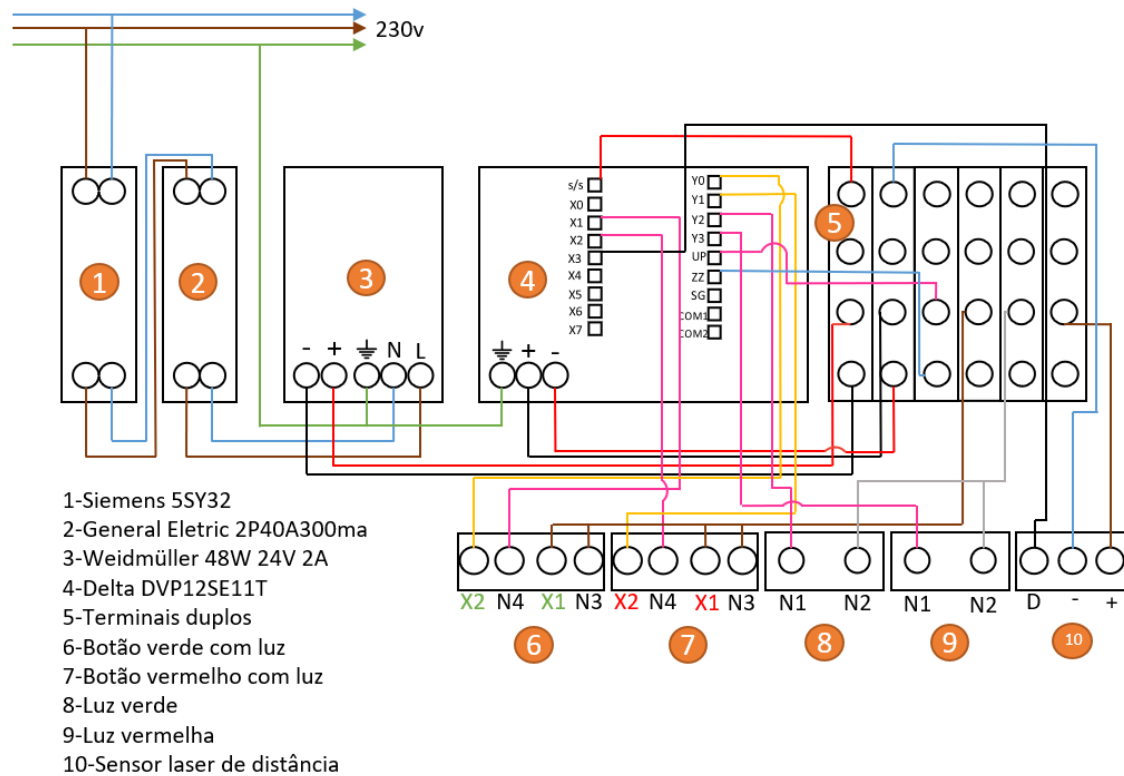


Figura 100 - Diagrama de fios do sistema

De seguida é apresentada a descrição do funcionamento do sistema. O disjuntor da Siemens permite desligar a corrente quando conveniente e fornece um primeiro nível de proteção reforçado pelo disjuntor diferencial da General Electrics. Com estes dois componentes o sistema está protegido contra saltos de voltagens e correntes altas. De seguida a fonte de alimentação baixa a voltagem dos 230 V fornecidos pela ficha monofásica para 24 V. A corrente é então distribuída para os restantes dispositivos nos blocos terminais. Entre estes destaca-se o PLC que por norma é o componente que controla os atuadores do sistema e recebe sinais dos detetores via suas entradas e saídas. Neste caso, o PLC encontra-se ligado ao computador por *ethernet* e é neste que ocorre o controlo do sistema. Os restantes dispositivos ligam-se aos blocos terminais ou às entradas e saídas, com a exceção do leitor código de barras e o monitor, que ficam ligados diretamente ao computador.

No caso deste projeto optou-se por fazer do *software* no computador a central do sistema, o que significa que o conjunto PLC está apenas a funcionar como um bloco de entradas e saídas, o que torna por sua vez o sistema menos eficiente. A justificação inicial de escolha do PLC era a opção de rapidamente o programar em *Ladder* caso fosse necessário alterar o projeto. No futuro próximo, o PLC não vai ser removido visto que o *software* criado já permite a criação de novas gamas e configurabilidade dos testes destas. Em termos de adaptabilidade esta solução é flexível e não se justifica recriar o sistema, mas fica apontado como algo a ter em conta no futuro caso surja a

oportunidade. Outra desvantagem de ter o *software* no computador como central é que não é possível acrescentar elementos ao sistema sem pedir a intervenção da MCM Systems, que guarda o código fonte.

3.3.7 Programação da monitorização de painéis porta com o periférico

Com a mesa, as bases de apoio e o sistema terminados, o passo seguinte do projeto consiste em inserir todas as gamas pertinentes ao projeto M3M4 da Simoldes no *software*, criar os testes e inserir as condições de conformidade. Recapitulando, o objetivo é monitorizar a conformidade do produto através de testes realizados pelo sistema. Convém, no entanto, explorar o programa para compreender a adaptabilidade que este permite.

3.3.7.1 UI (User interface) para os operadores

Apresenta-se na Figura 101 o ecrã a apresentar ao trabalhador durante a produção de painéis porta.

1 - Referência da gama atualmente selecionada

2 - Contagem da produção desde a seleção da gama

3 - Imagem digitalizada em 2D com indicação de resultado dos testes sobreposta (OK a verde e NOK a vermelho)

4 - Imagem da gama selecionada e dos seus componentes

5 - Lista dos testes realizados com indicação do resultado (OK a verde e NOK a vermelho)

6 - Estado do sistema

7 - Mensagem "estado do sistema"

Figura 101 - Ecrã de trabalho

No início da produção, os trabalhadores recebem a ordem de trabalho com um código de barras correspondente à referência a produzir, que deve ser lido com o leitor de código de barras de modo a puxar a gama correspondente. Por esta razão o nome das gamas dentro do software tem de corresponder à sua referência interna da Simoldes.

Os códigos de barras seguem a simbologia linear compacta “código 128” e podem ser facilmente recriados para testes via *website* da Barcode Tec. Após digitalizar o código, a gama deve aparecer na imagem para que os trabalhadores confirmem que é a correta.

A contagem de “ok’s” e “nok’s” começa após seleção da gama e não corresponde à oficial, visto que os painéis porta podem ser rejeitados por outras razões para além da não presença de componentes.

A lista dos testes combinada com a localização na imagem digitalizada em 2D destes vão ser coloridos de verde para “ok” e vermelho para “nok”, fornecendo uma forte ajuda visual para o operador entender o resultado, além das outras medidas empregues como a mensagem de estado colorida, as luzes dos botões e os indicadores luminosos.

Por fim, no canto inferior esquerdo verifica-se se os equipamentos do projeto Photoneo estão conectados ao *software* e na zona inferior do ecrã existe uma barra que mostra várias mensagens com cores diferentes que guiará sempre o trabalhador para melhor entendimento do programa.

Esta é a única porção do *software* disponível aos operadores. Quando se liga o sistema o programa abre automaticamente neste ecrã e a única forma de interagir com este é com o leitor de códigos de barras, pois não vão estar disponíveis o rato e o teclado.

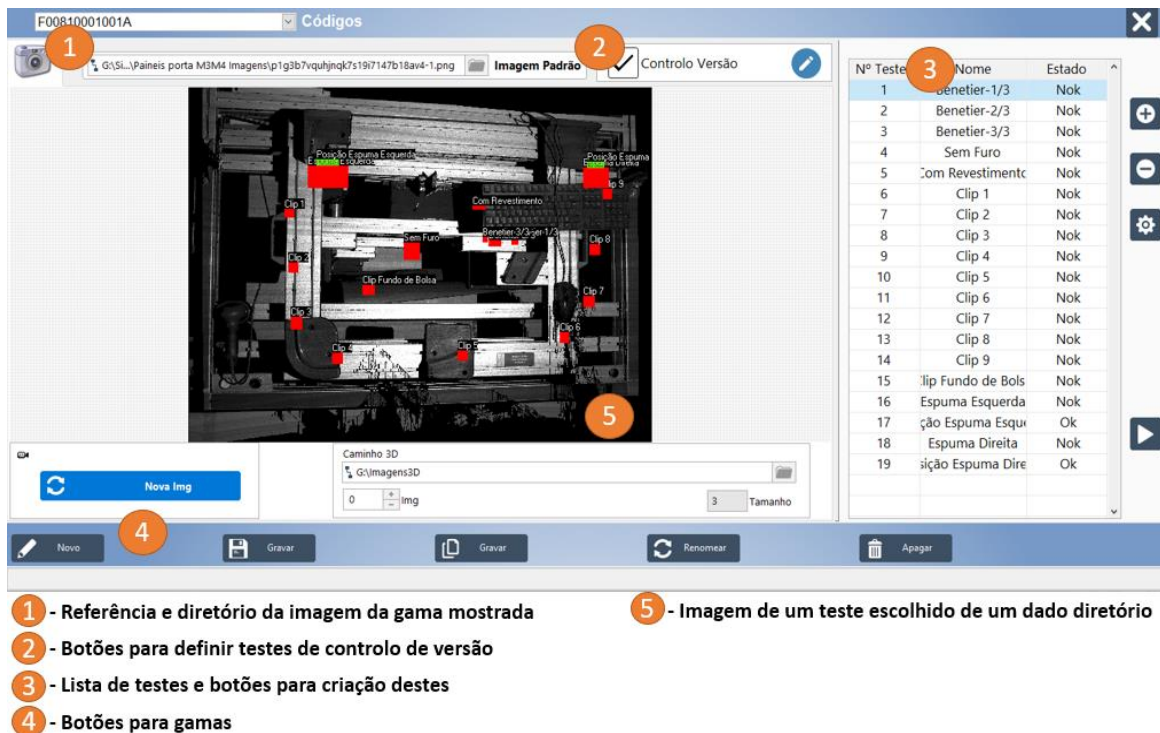
3.3.7.2 Criação e definição de testes no software

Os testes consistem em definir quantidades de pontos a encontrar em áreas escolhidas e margens de distâncias entre pontos de referências. O formato destes ficará evidenciado mais à frente nesta porção do trabalho.

A partir do ecrã de trabalho é possível aceder ao *login* de acesso administrativo. Inserindo uma combinação nome de usuário/palavra-passe correta ganha-se acesso ao resto do programa. Para a presente dissertação apenas serão explicados os ecrãs pertinentes para a criação e definição de testes, sendo omitidos os ecrãs das seguintes funções:

- Manipulação de entradas e saídas;
- Criação de novos administradores;
- Criação de *backup* do programa;
- Configuração dos equipamentos (por exemplo: I.P. do PLC);
- Condições e diretórios para guardar testes.

Na Figura 102 apresenta-se o ecrã de criação e edição de testes visível com a interface explicada.



- 1 - Referência e diretório da imagem da gama mostrada 5 - Imagem de um teste escolhido de um dado diretório
- 2 - Botões para definir testes de controlo de versão
- 3 - Lista de testes e botões para criação destes
- 4 - Botões para gamas

Figura 102 - Ecrã de criação de testes

A partir deste ecrã é possível criar testes e seguir para a definição/edição via outras janelas que permitem definir parâmetros de aceitação.

O primeiro ecrã deste conjunto permite definir:

- a zona de análise desenhando um retângulo na imagem;
- se o programa vai procurar o ponto máximo ou o ponto médio da altura na área detetada;
- os limites das alturas entre os quais se mede uma dada área de material (em pixéis na imagem 2D);
- os limites das áreas de material consideradas “ok” (em pixéis na imagem 2D).

Estas definições já são suficientes para realizar testes de verificação de presença dos componentes. Mesmo assim, acrescentaram-se mais opções presentes noutros ecrãs que permitem:

- definir um ponto de referência;
- escolher os limites da distância considerada “ok”.

Explicadas as opções e funções principais avança-se para a explicação da aplicação desta ferramenta no projeto M3M4. Cada gama criada vai possuir alguns testes iguais e outros testes diferentes dependendo dos componentes que possui.

3.3.7.3 Testes nos componentes comuns a todas as gamas

Todas as gamas e versões dos painéis possuem pelo menos oito cliques e duas espumas (Figura 103).



Figura 103 - Espuma e clipe montados num painel porta

As espumas são as mais simples de detetar presença pois vão acusar uma grande área digitalizada (Figura 104 a) e quando não estiverem presentes essa área vai diminuir apenas para a do encaixe (Figura 104 b).

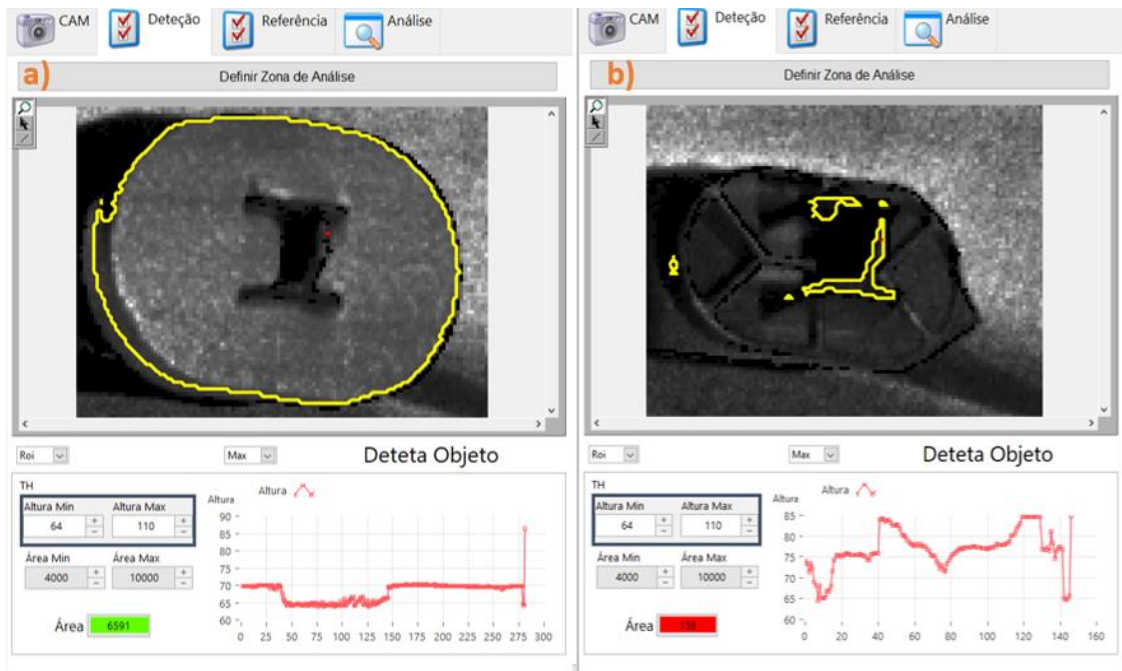


Figura 104 - a) Área detetada com espuma b) Área detetada sem espuma

Outras situações a ter em conta é se a espuma for mal encaixada e cair de lado acrescentando a sua área parcial à do encaixe. Desde que se considere que o mínimo da área aceitável está perto da área da espuma completa, garante-se que o teste apenas aceita a espuma bem inserida. É por esta razão que na Figura 104 se verifica que a área

mínima é de 4000 pixéis. Entretanto, a pedido de um superior da Simoldes e apenas para provar o conceito do projeto Photoneo foi acrescentado um teste intitulado de “Posição da espuma” onde é garantido que a espuma não foi mal encaixada, procurando por material onde este não existiria se a espuma estivesse bem encaixada acima da espuma, como é visível na Figura 105.

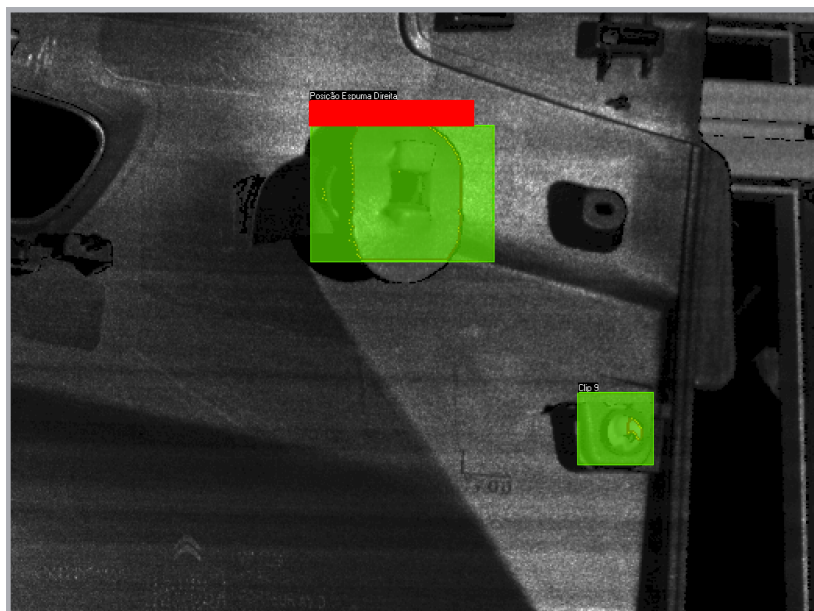


Figura 105 - Espuma propositalmente mal encaixada com teste a acusar “nok”

Cada espuma no projeto possui estes dois testes. Se fosse necessário poderiam ser adicionados mais testes para verificação da correta inserção da espuma.

À semelhança das espumas, os cliques também possuem dois testes. O primeiro serve para detetar a presença dos cliques, e é uma operação simples. O segundo tenta verificar a montagem correta destes e provou-se o maior desafio nesta fase do projeto.

A deteção de presença depende da altura mínima escolhida. Devido à incerteza do *scanner* considerou-se que a melhor escolha para esta fica 5 a 7 milímetros do ponto máximo como se representa na Figura 106. Define-se que se existir um ponto de material acima da altura mínima o clipe está presente.



Figura 106 – Altura mínima alvo nos cliques

A verificação de montagem correta passou por várias iterações e expôs uma das fraquezas do Photoneo, discutida mais à frente no trabalho. A solução final consistiu em não detetar fixar o ponto de referência no canto superior esquerdo ao não detetar pontos como demonstrado na Figura 107.

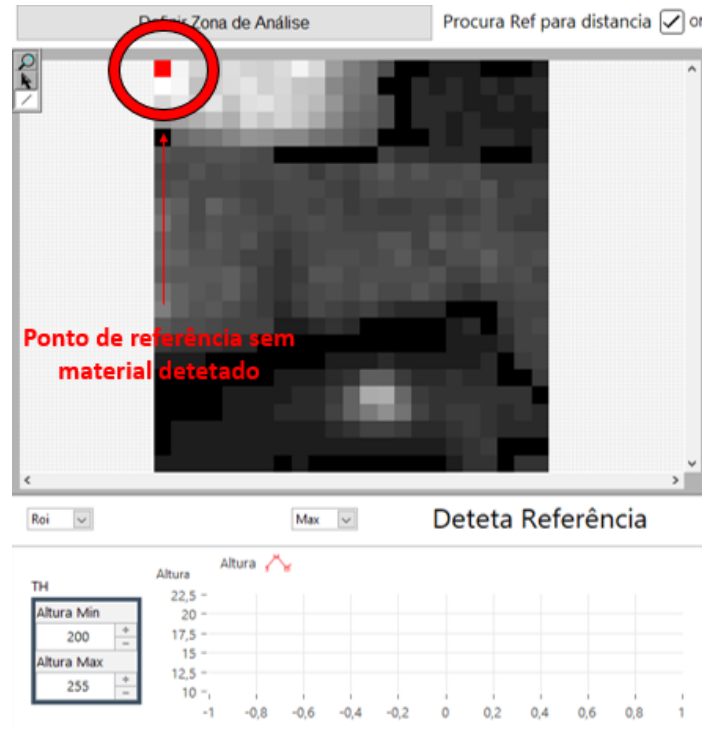


Figura 107 - Ponto de referência utilizado nos cliques

A zona aceitável na qual o clipe estará bem inserido é descoberta digitalizando o clipe e verificando a sua posição nos limites. Após estes definidos fazem-se vários testes e ajustam-se os limites até que a margem da distância representada na Figura 108 funcione na perfeição.



Figura 108 – Parâmetros de um teste de distância num clipe

De notar que as opções debaixo de método permitem indicar em que eixo(s) se deve medir a distância e na opção de cálculo indica-se a medida. Neste projeto foram sempre utilizados pixéis.

3.3.7.4 Testes de base de apoio

Durante a criação do *software* imaginou-se uma situação futura em que as bases de apoio são semelhantes ao ponto de permitir o encaixe das mesmas peças. Apesar de não ser o caso para este projeto, um teste que verifica se a base é a correspondente à gama pode vir a ser útil no futuro. Por esta razão foi acrescentado ao programa o botão para criar “controlo de versão” que possui um número dois na Figura 102. Pressionar o botão abre a janela habitual de teste.

No âmbito do projeto M3M4 não seria necessário verificar a base de apoio uma vez que os painéis porta correspondentes a uma não encaixam na outra, mas para explorar o equipamento esta opção foi ativada. Para cada base de apoio é verificada a presença de uma extremidade exclusiva a esta. Como exemplo representativo o teste da base de apoio FRD pode ser consultado na Figura 109.

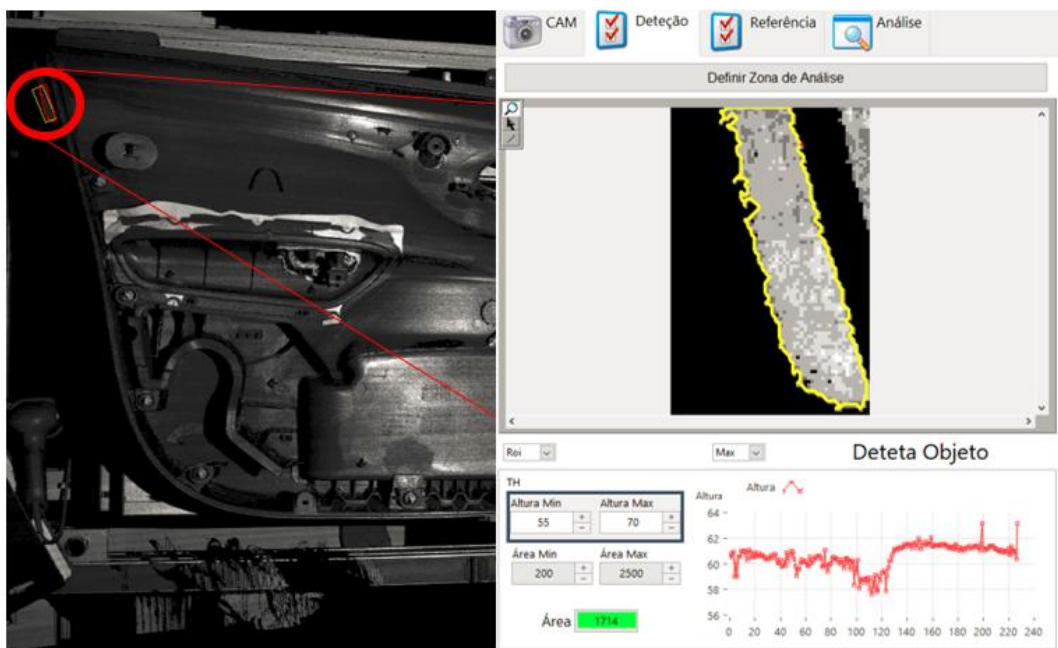


Figura 109 - Teste de diferenciação de base de apoio FRD

3.3.7.5 Testes gama do painel porta

Inicialmente cada painel-porta do projeto M3M4 possuía oito versões. No entanto, estas oito versões foram reduzidas para quatro em 2016 quando se deixou de produzir os painéis-porta com tecido de revestimento bege. Os elementos que podem variar de versão para versão e a forma de as distinguir estão resumidos na Figura 109.



Figura 110 – Elementos de distinção de gamas a) *Bénitier* (copo do encosto de braço) b) *poigné* (pega do painel porta) c) encosto de braço com/sem revestimento d) painel porta com/sem furo

3.3.7.5.1 *Bénitier*

O *bénitier* é montado à mão após a soldadura. É possível que apenas parte deste esteja encaixado, pelo que a melhor forma de verificar a montagem correta é realizar dois testes nos cantos inferiores e um no meio a procurar por material (tal como nos cliques). Na Figura 111 apresenta-se um exemplo.



Figura 111 -Exemplo de testes no *bénitier*

Algumas versões possuem uma pega em vez do *bénitier*. Com estes testes assegura-se que a versão com a pega falharia.

3.3.7.5.2 *Pega e parafusos*

A pega é aparafusada com uma chave de parafusos elétrica com binário definido. Ao definir os parâmetros para deteção da pega no *software* certifica-se que as versões com *bénitier* falham o mesmo teste graças à altura mínima. Os parafusos seguem a mesma lógica que a deteção de presença nos cliques. Os testes para detetar a presença e boa montagem da pega estão visíveis na Figura 112.

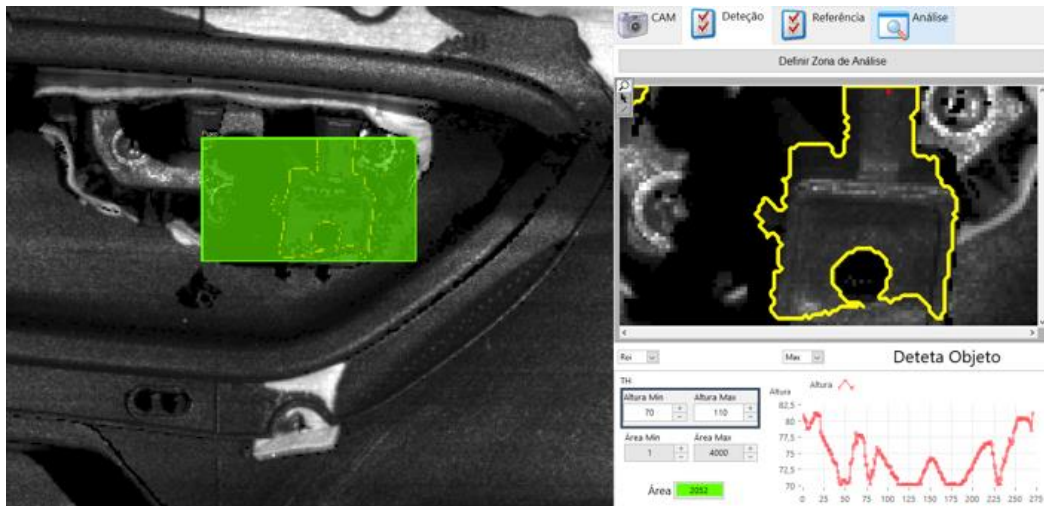


Figura 112 - Teste do para deteção da pega

3.3.7.5.3 Encosto de braço com/sem revestimento

Inicialmente, não se contava que fosse possível diferenciar as gamas com e sem revestimento. No entanto, pela análise do processo de criação do encosto de braço com revestimento verifica-se que há sempre um pedaço de sobra com imensa consistência que fica bem acima do painel porta por uma boa margem. É possível detetar (ou não) um pouco desse material e utilizar essa informação para dar o veredicto da correta montagem. Na Figura 113 verifica-se a posição típica do material no painel porta FRD, sendo esta muito semelhante a todas as outras gamas.

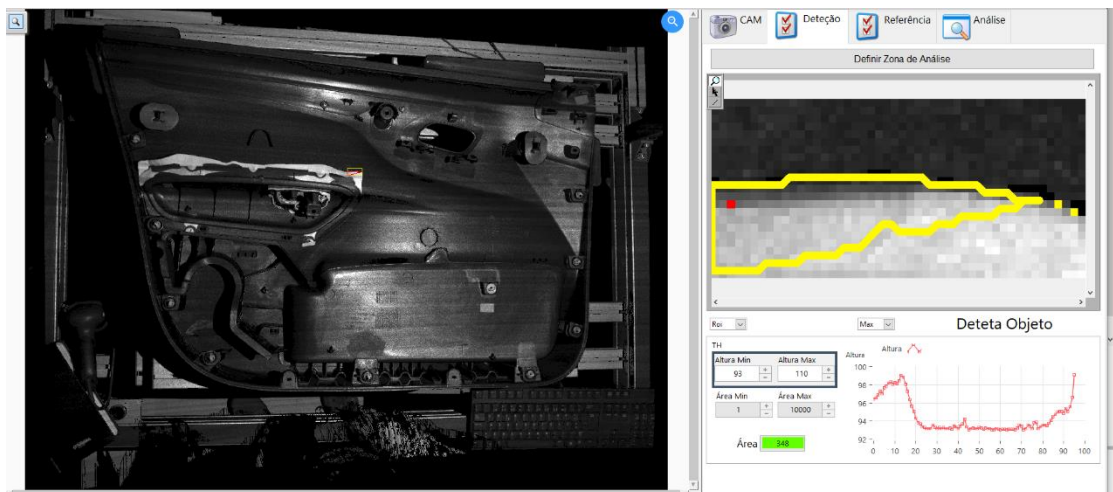


Figura 113 - Testes de revestimento no painel FRD

Invertendo o teste da Figura 113 define-se que não se deve encontrar pontos na área para confirmar que não há revestimento. Nesse caso tanto a área mínima como a máxima são de 0 pixéis.

3.3.7.5.4 Painel porta com/sem furo

Tal como para o encosto de braço, um simples teste para detetar se há material facilmente decide o veredito.

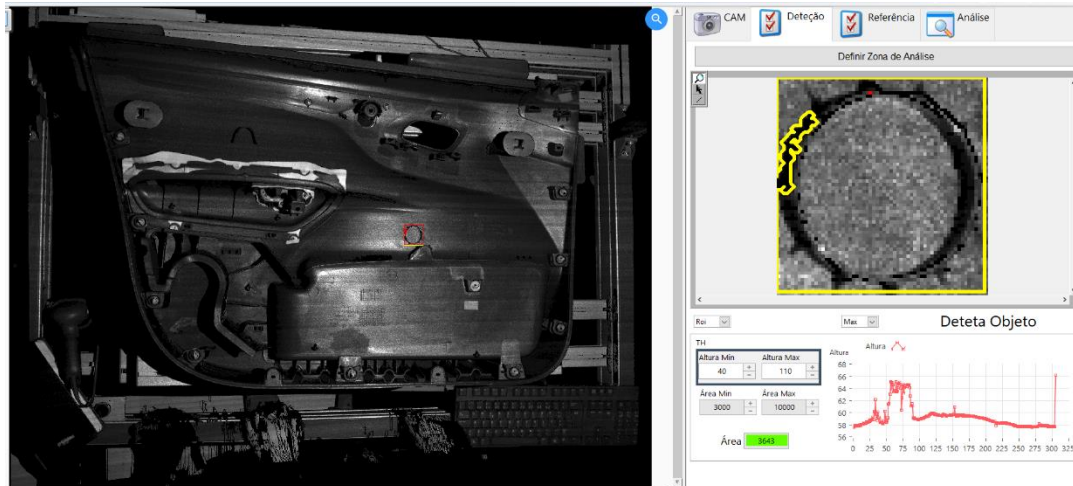


Figura 114 - Teste de furo

A diferença aqui é que a área mínima não é um, mas sim 3000 pixéis. Devido a forma como se escolheu a zona de deteção quando há um furo a área máxima é 3000 e a mínima zero. Para o caso do painel porta sem furo a área mínima passa a ser os 3000 pixéis e a máxima 8000. Desta forma, é garantido que os testes são confiáveis e mutuamente exclusivos.

3.3.7.6 Limitações e dificuldades encontradas

A programação das gamas foi um longo processo ao longo do qual as capacidades do periférico desenvolvido foram exploradas ao máximo. Naturalmente foram encontrados alguns limites e defeitos no equipamento.

Em termos de detetar componentes, o periférico é muito confiável e nunca houve problemas em torno dos testes mais simples. No entanto, o tipo de testes em que se define um ponto de referência e a distância aceitável entre este e o clipe provou ser muito difícil de aplicar pelas razões que se passam a explicar.

Para garantir que um clipe está bem encaixado o intervalo da distância admissível entre o ponto de referência escolhido e o máximo do clipe deve englobar a folga permitida pelo porta-clipes quando o clipe está corretamente montado.

No entanto, o mesmo *scan* pode variar o ponto máximo do clipe. Ou seja, deve-se alargar o intervalo admissível espaço para ter em conta a incerteza. O importante é garantir que, quando o clipe está mal encaixado, a peça não é aceite. Na Figura 115 encontram-se representadas as margens de incerteza medidas ao longo de 100 ensaios onde não se moveram os cliques de lugar. A verde representa-se a situação em que o

clipe está encostado ao *bottleneck* e bem inserido. A vermelho é representado o cenário em que o clipe está encostado ao *bottleneck* mas mal inserido.

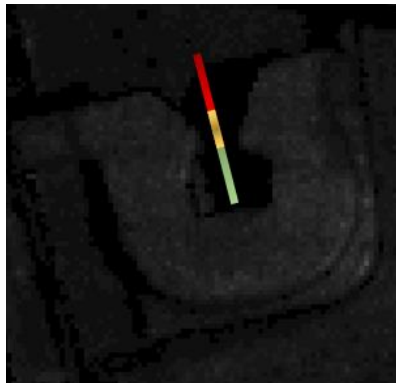


Figura 115 – Margens de imprecisão

Como é visível existe uma sobreposição. É necessário ter cuidado para não deixar passar peças não conformes, mas isto significará alguns falsos “nok’s”. De notar que foi escolhido um dos piores casos de propósito para comprovar que quando é utilizado o ponto de referência desta maneira torna-se impossível distinguir a inserção na perfeição.

As explicações para a incerteza verificada são:

- o ruído base do *scanner*;
- a variabilidade de cada painel porta;
- o facto de que se existir mais do que um ponto máximo o scanner escolhe um destes aleatoriamente;
- o facto de que todos os scans possuem pontos cegos diferentes cuja posição varia de tal maneira que não seria um exagero dizer que são a impressão digital de cada digitalização.

Com estes fatores em conta a variação possível da incerteza no caso demonstrado acabou por ser aproximadamente de 10 pixéis, mas como se está a utilizar um ponto de referência físico, este também varia outros 10, resultando nos 20 pixéis de incerteza totais visíveis na Figura 115.

A forma de diminuir a margem de erro para metade acaba por ser não detetar material para o ponto de referência. Se não for detetado material, o ponto de referência passa a ser o pixel que está no canto superior esquerdo da área definida pelo programador. Não detetar material torna o ponto de referência um ponto fixo e remove a metade da incerteza deste visto que deixa de haver variações. Com este ajustamento a margem de incerteza é reduzida, o que permitiu alcançar resultados mais satisfatórios relativamente à verificação das inserções dos cliques, mas não eliminou o problema em todos os porta-clipes.

Uma curiosidade a mencionar é que o máximo escolhido nem sempre está correto. Se existirem duas áreas separadas o programa procurará o máximo na área maior. Como já foi mencionado a posição dos pontos cegos varia imenso. No decorrer trabalho verificava-se que um ponto de referência variava imenso de 40 em 40 ciclos e a razão acabou por ser que os pontos cegos criavam uma fronteira que dividia a área definida em dois e a maior área não possuía o ponto máximo induzindo a verificação em erro. Este fenómeno está demonstrado na Figura 116.

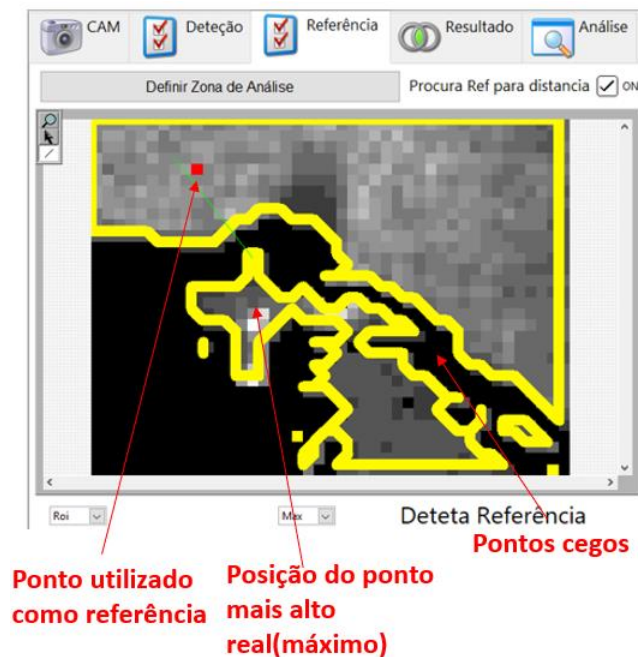


Figura 116 - Fronteira de pontos cegos divide área

Por fim, o último defeito está ligado à estrutura em si que não tem grande estabilidade. Ao montar e desmontar o *scanner* para transporte, o scanner acabou numa posição ligeiramente diferente o que desalinhou todos os testes. Outro desalinhamento ocorreu durante a organização de fios e cabos quando alguém se apoiou nas chapas que suportam o *scanner*. Estes acontecimentos demonstraram que, ainda que improvável, um pequeno acidente envolvendo o periférico é o suficiente para ter de refazer as gamas todas. De momento, não foram realizados melhoramentos à estrutura, mas fica apontado para que no futuro se melhore o periférico.

3.3.8 Implementação final na linha de montagem

Após desenvolver o periférico, criar gamas e testes capazes de as distinguir, iniciaram-se os planos para testar e validar o equipamento.

3.3.8.1 Planeamento do teste industrial

O periférico é implementado na linha de montagem final do projeto M3M4 durante duas semanas para permitir realizar ajustes aos programas na primeira e um teste industrial a todas as gamas e bases na segunda, para validar a implementação. Na Figura 117 encontra-se a linha antes de se incorporar o Photoneo para os testes industriais.

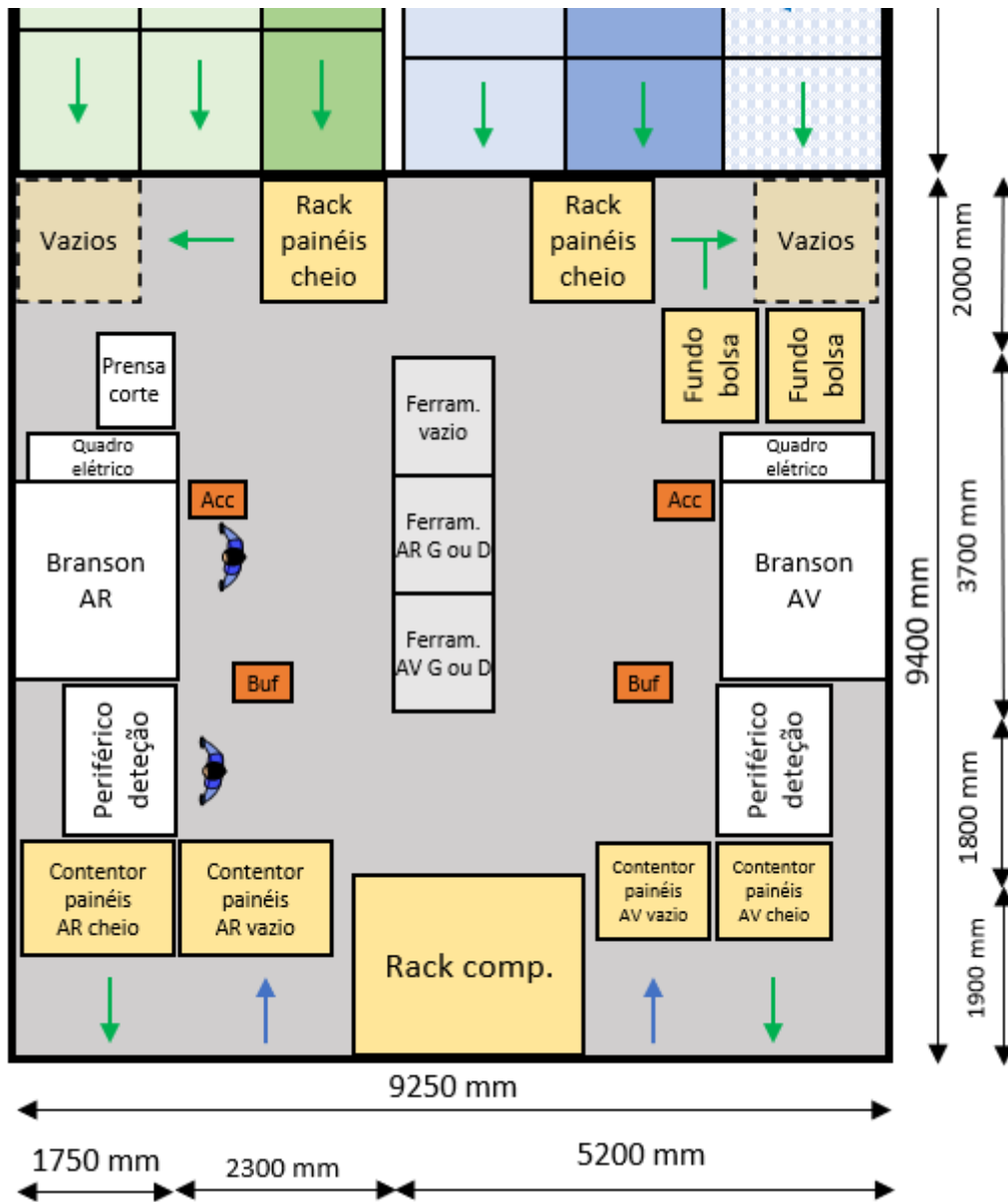


Figura 117 – Layout da linha de montagem do projeto M3M4 antes de colocar o Photoneo

É possível observar que a linha de montagem é praticamente simétrica, já que no início do projeto era necessário produzir painéis porta dianteiros e traseiros em simultâneo. Entretanto já se passaram 10 anos e a produção diminuiu consideravelmente, de modo que apenas trabalha um lado de cada vez.

A prensa de corte é móvel, mas encontra-se no lado da linha dos painéis traseiros pois é raro produzir painéis porta dianteiros com furos. As ferramentas no centro da linha contêm os moldes para as máquinas de soldadura que não estão a produzir no momento. As máquinas de soldadura estão identificadas com a sua marca Branson. Os componentes a colocar para soldar são os painéis nos *racks*, os encostos de braços identificados com “Acc.” e os fundos de bolsa. Após a soldadura é montado o copo ou a pega de acordo com a versão na mesa ao lado do *buffer*. Na Figura 118 verifica-se a revisão que foi realizada para colocar o Photoneo para os testes industriais.

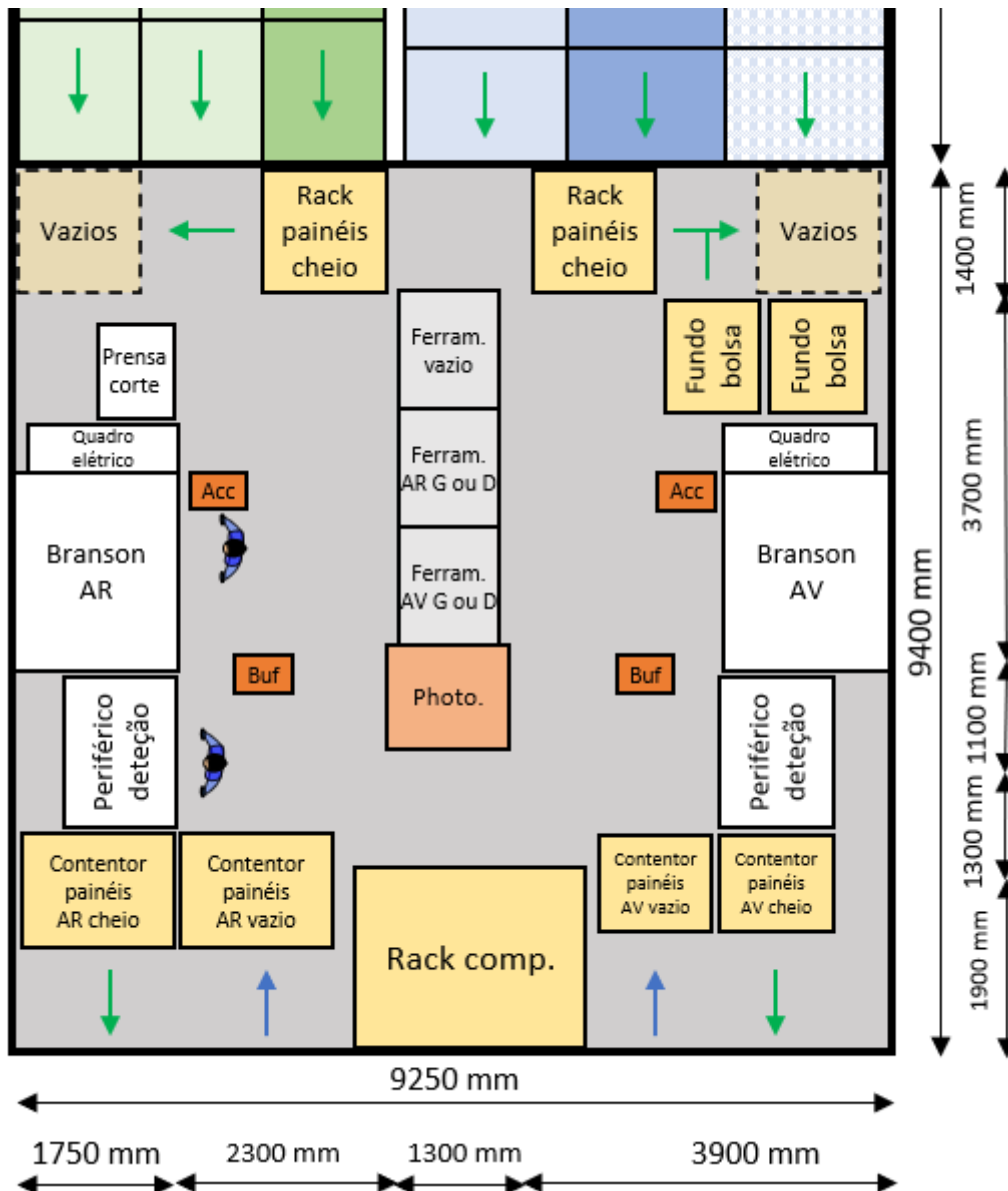


Figura 118 - Layout da linha de montagem do projeto M3M4 com o Photoneo

O Photoneo é fácil de mover. Mas, como nesta fase ainda não se pretende substituir o periférico de deteção escolheu-se posicionar este no centro com a opção de rodar para ficar oposto ao lado ativo. Durante a produção, após a fase de colocar o copo/pega, os

painéis porta são colocados no *buffer* (equipamento visível na Figura 119). Para o teste industrial os painéis porta passam do *buffer* para o Photoneo e, após testagem, são devolvidos de novo ao *buffer*. Como a soldadura e montagem do puxo ou copo (dependendo da versão) demora mais tempo do que as verificações, tanto manuais como do Photoneo, o tempo de produção total não será afetado.



Figura 119 – Buffer

3.3.8.2 Resultados do teste industrial

O teste industrial decorreu ao longo de duas semanas nos quais se produziram 1409 painéis porta. Os resultados encontram-se resumidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Resumo dos resultados do teste industrial

| Base de apoio | FRE | FRD | TRE | TRD | Total |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-------|
| Ciclos realizados | 452 | 409 | 503 | 306 | 1670 |
| “ok's” corretos | 423 | 389 | 495 | 302 | 1609 |
| “nok's” corretos | 23 | 11 | 6 | 3 | 43 |
| “nok's” incorretos | 6 | 9 | 2 | 1 | 18 |
| “ok's” incorretos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Cada ciclo refere-se a uma digitalização e subsequente veredicto. O valor total dos ciclos é maior do que o da produção pois os painéis porta “nok's” incorretos foram corrigidos e digitalizados de novo. Houve também muitos momentos em que o autor procurou induzir o periférico em erro criando situações anormais e testando os limites dos cliques digitalizando o mesmo painel duas a três vezes. Observando a tabela para a zona dos incorretos verifica-se que muitos destes testes de limites foram de facto bem-sucedidos em enganar o periférico 18 vezes. Por outro lado, o periférico nunca deixou passar uma

peça má para o cliente (não houve “ok’s” incorretos). O que se considera ser o mais relevante já que não se entregam peças defeituosas ao cliente.

Os resultados são conclusivos, pelo que o periférico passou no teste industrial e encontra-se aprovado.

3.3.9 Análise final e discussão do futuro do periférico desenvolvido na Simoldes

O periférico desenvolvido no trabalho não é perfeito e ainda vai ser grandemente melhorado em termos de precisão, rigidez e usabilidade. Mas para a implementação na linha de montagem do projeto M3M4 o seu estado atual já se considera suficiente visto que passou no teste industrial. Este periférico pode também ser implementado em qualquer outra linha desde que se façam as bases de apoio requeridas e que as linhas não trabalhem ao mesmo tempo. O periférico do Photoneo desenvolvido neste projeto pode mesmo fazer parte de múltiplas linhas dentro da mesma fábrica. É neste momento o periférico mais móvel e fácil de implementar nas linhas de montagem da SP e vai certamente ser aproveitado além do projeto M3M4.

Para realizar uma análise rápida apresentam-se os custos estimados na Tabela 22.

Tabela 22 - Custos estimados

| Equipamento/Material/Recurso | Justificação | Custo |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------|----------------|
| Photoneo | Custo listado <i>online</i> | 12 450 € |
| Computador | Custo de computadores semelhantes <i>online</i> | 1200 € |
| Placas de aço | Aproximadamente 4 m ² x 30 €/m ² | 120 € |
| Conjunto PLC | Soma dos componentes e arredondamento | 400 € |
| PETG | Aproximadamente 8 kg x 30,60 € | 245 € |
| Eletricidade gasta ao imprimir peças | Aproximadamente (800 W x 202 h+ 100 W x 80 h) x 0,18150 €/kWh | 30,80 € |
| Perfis de alumínio e acessórios | Aproximadamente 1,50x46+1013€ | 1082 € |
| Transportes e comissões | Aproximadamente segundo departamento financeiro Simoldes | 10 000 € |
| Total | | 25528 € |

Esta estimativa de custos indica que o Photoneo foi ligeiramente mais caro do que outros equipamentos de verificação de montagem de componentes na Simoldes, mas há que lembrar que este equipamento é versátil e será utilizado em mais do que uma linha, o que aumenta consideravelmente o seu valor na prática. Imaginando que ocorrem problemas com um periférico homologado numa outra linha de montagem, o Photoneo é capaz de o substituir no espaço de uma semana devido sobretudo à construção das bases de apoio. Salienta-se também que os periféricos que realizam verificação de presença de componentes, atualmente presentes na Simoldes, não conseguem competir em termos de precisão com o *scanner* empregue.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Propostas de trabalhos futuros



4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

A pesquisa de novos métodos e equipamentos é imprescindível para uma empresa se manter competitiva na IA. Neste trabalho, exploraram-se dois equipamentos diferentes com o grande objetivo de desenvolver e validar periféricos de modo a averiguar sem sombra de dúvidas a possibilidade do uso regular dos equipamentos em projetos futuros. Enquanto o scanner PhoXy 3D L da Photoneo teve todo um projeto concluído com validação em fábrica no final, o sensor de forças Hex Q/C não chegou a ser implementado. No entanto ambos são igualmente válidos. De destacar que o scanner 3D teve nota muito positiva, visto que foi possível ser validado apesar de não estar a ser aproveitado ao máximo. Por outro lado, o sensor de forças teve nota negativa devido a não conseguir aguentar cargas mesmo com vários fatores a seu favor.


Começando com o “Projeto de automação de monitorização de inserção de cliques” apresenta-se na Tabela 23 um resumo com os seus objetivos mais específicos.

Tabela 23 – Conclusão dos objetivos do projeto de automação de monitorização de inserção de cliques

| Objetivo | Ações tomadas | Avaliação |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Explorar capacidades | Realização de testes piloto e análise de dados. |  |
| Desenvolver método de extrair e guardar dados | Os dados foram extraídos e guardados por protocolo <i>Modbus</i> . Foi também desenvolvido um programa em VBA no excel capaz de tratar os dados e comparar as curvas de força. |  |

Desenvolver periférico de monitorização na inserção de cliques em peças

Não foi possível desenvolver nenhum periférico com o sensor de força. Após análise de dados entendeu-se que o mesmo não era apropriado para as tarefas que eram pedidas. Foi sugerido um sensor de forças mais apropriado e o seu sistema foi descrito de uma forma abstrata, para análise e possível implementação na empresa.






Objetivos relacionados com o periférico (adaptabilidade, durabilidade, confiabilidade e compreensão fácil)







Nenhum foi cumprido pois não foi possível criar o periférico.



Apresenta-se na Tabela 24 o resumo com os objetivos mais específicos para o “Projeto de automação do controlo da conformidade final de uma peça”.

Tabela 24 - Conclusão dos objetivos do projeto de automação do controlo da conformidade final de uma peça

| Objetivo | Ações tomadas | Avaliação |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Explorar capacidades | Múltiplos testes e ajustes foram realizados durante o desenvolvimento do <i>software</i> junto da MCM Systems. |  |
| Projetar e construir periférico capaz de acomodar o <i>scanner</i> | O periférico foi criado com perfis de alumínio, placas de aço e peças de plástico imprimidas em 3D. O <i>scanner</i> 3D foi posicionado à distância ótima da mesa. |  |
| Criar um sistema de monitorização versátil | O sistema do periférico é facilmente programável e permite medir distâncias e áreas em alturas especificadas pelos utilizadores. Desde que a base de apoio seja apropriada é possível monitorizar qualquer produto. |  |

| | | |
|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Dominar o <i>software</i> criado | O autor adquiriu experiência significativa através da programação repetida e intensiva de gamas diferentes e a exploração dos limites do periférico. |  |
| Validar o periférico para aplicação numa linha de produção real | Foi realizado um teste industrial na produção de 1409 painéis portas onde o periférico mostrou ser capaz de acompanhar a produção e não deixou passar nenhuma peça não conforme. |  |
| Periférico fácil de compreender | O <i>software</i> foi alterado várias pela MCM Systems vezes a pedido do autor para que fosse mais fácil entender o veredicto final e que as mensagens no ecrã fossem claras. |  |
| Periférico confiável | O periférico tem uma margem de erro reduzida e provou ser confiável no teste industrial. |  |
| Periférico adaptável | A maior parte da estrutura foi criada com elementos <i>standard</i> , os inter-locks permitem a substituição de bases de apoio e é fácil de entender o programa para criar novos testes e gamas. Adicionalmente a estrutura é de fácil transporte na fábrica. |  |
| Periférico duradouro | A estrutura deverá durar mais de cinco anos sem problemas. |  |

Para além dos pontos referidos nos objetivos mencionados nas tabelas, existiram outros pontos que também foram alvo de análise na presente dissertação, nomeadamente o estudo de processo de conceção dos painéis porta, a parametrização da impressão em 3D de materiais em PETG e definição de tratamento de superfície.

Num dos projetos concluiu-se que o sensor de forças da OnRobot não é apropriado para monitorizar a inserção de cliques. No outro desenvolveu-se um equipamento polivalente utilizando o scanner 3D da Photoneo, e há lições em torno da aplicação deste equipamento:

- Ao conceber a estrutura deve-se garantir rigidez suficiente para evitar desalinhamentos futuros;
- A zona ótima de digitalização não é o único fator a ter em conta para a incerteza das medições, já que também convém inclinar a mesa de apoio ou o *scanner* 3D para diminuir os pontos cegos.

Por razões de incompatibilidade de prazo do trabalho estas lições não puderam ser aplicadas, mas ficam apontadas pois no futuro certamente haverá oportunidades de o fazer.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

No projeto do sensor de força ficou uma sugestão de compra de outro sensor e seguimento do projeto como foi visionado neste trabalho. Esta é uma via prometedora que pode mesmo abrir toda uma nova ala no mercado de sensores de força, se a sua implementação for bem-sucedida.

Na impossibilidade de se concretizarem todos os projetos dentro do prazo estipulado, o periférico com o *scanner* 3D foi validado com melhoramentos importantes a realizar a nível de rigidez no suporte do *scanner*. Podem-se também adicionar gavetas no espaço em baixo para aumentar o número de bases de apoio que se pode guardar e melhorar a forma como se arrumam as já existentes. É também sugerido analisar a possibilidade de implementar o periférico noutros projetos para o aproveitar ao máximo seria interessante.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- [1] M. J. R. Soares, “Desenvolvimento de sistemas automáticos de alimentação e descarga de injetora de plásticos,” Tese de mestrado, ISEP, Porto, 2015.
- [2] P. Khemka, “Plastic Automotive Industry - Wich Materials will be winners and loser,” Resource Inovations, 27 Fevereiro 2017. [Online]. Available: <https://www.resource-innovations.com/resources/plastics-automotive-industry-which-materials-will-be-winners-and-losers>. [Acedido em 26 November 2021].
- [3] N. E. F. F. d. Oliveira, “A evolução organizacional das empresas nacionais nas cadeias de fornecimento da indústria de componentes para automóvel,” Tese Mestrado, FEUP, Porto, 2009.
- [4] L. C. P. B. Reis, “Factores Estratégicos de Desenvolvimento da Industria de Componentes para Automóvel em Portugal - Os Determinantes da Qualidade das Empresas,” Tese de mestrado, IST, Lisboa, 2001.
- [5] P. M. S. Nunes e F. J. G. Silva, “Increasing Flexibility and Productivity in Small Assembly Operations: A Case Study,” em *23rd International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, Porto, 2013.
- [6] O. Soroka e R. Luman, “Automotive Sector Update: Recovery underway, stirred but undeterred,” *ING Think*, pp. 2-3, 2021.
- [7] U. Author, “2021 Production Statistics,” International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, [Online]. Available: <https://www.oica.net/category/production-statistics/2021-statistics/>. [Acedido em 14 Oct. 2021].
- [8] Aicep, “Industria Automóvel e Componentes,” *Portugal Global*, nº 87, 2016.
- [9] P. Ascensão, “Compete2020,” Portugal2020, 16 November 2017. [Online]. Available: https://www.compete2020.gov.pt/pesquisa/detalhe/NL_Inovacao_automovel. [Acedido em 14 October 2021].
- [10] AFIA, “Indústria de Componentes para Automoveis,” 2021.

- [11] A. M. D. T. Ferreira, "Integração e Melhoria de Processos na Vulcanização de Pneus," Tese de Mestrado, ISEP, Porto, 2018.
- [12] M. E. Porter, "The competitive Advantage of Nations," *Harvard Business Review*, March-April 1990.
- [13] V. Borges, "Lands," Lands Agencia Web, 15 Agosto 2020. [Online]. Available: <https://landsagenciaweb.com.br/blog/analise/o-que-sao-5-forcas-de-porter/>. [Acedido em 7 Outubro 2021].
- [14] Unknown, "IATF 16949," [Online]. Available: <http://www.iatf16949.co.uk/>. [Acedido em 25 October 2021].
- [15] S. d. Treville, R. D. Shapiro e A. P. Hameri, "From supply chain to demand chain: the role of lead time reduction in improving demand chain performance," *Journal of Operations Management*, vol. 21, nº 6, pp. 613-627, 2004.
- [16] A. Andjelkovic, "Implementation of Just-in-sequence concept in automotive industry: Comparison of Austrian and Serbian model," *Industrija*, vol. 45, nº 3, pp. 83-99, 2017.
- [17] J. Leite, "Iper-Industrial Performance," 22 Abril 2015. [Online]. Available: <http://industrialperformance.blogspot.com/2015/04/ppap-production-part-approval-process.html>. [Acedido em 10 Outubro 2021].
- [18] M. Wayland, "CNBC.com," CNBC, 9 February 2021. [Online]. Available: <https://www.cnbc.com/2021/02/09/gm-extending-plant-shutdowns-at-three-plants-due-to-chip-shortage.html>. [Acedido em 25 10 2021].
- [19] A. Chatterjee, "Inspirage," Inspirage, 20 April 2021. [Online]. Available: <https://www.inspirage.com/2021/04/three-major-trends-and-challenges-for-the-automotive-industry-in-2021/>. [Acedido em 25 October 2021].
- [20] H. Ahmad, A. Markina, M. Porotnikov e F. Ahmad, "A review of carbon fiber materials in automotive industry," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 971, p. 2, 2020.
- [21] Mayco International, LLC, "What Are Cars Made Of? 10 Of The Top Materials Used In Auto Manufacturing," Mayco International, LLC, 18 Julho 2019. [Online]. Available: <https://maycointernational.com/blog/what-are-cars-made-of/>. [Acedido em 10 November 2021].

- [22] J. Maverick, "What Raw Materials do Auto Manufacturers Use?," Investopedia.com, 11 Fevereiro 2020. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/ask/answers/062315/what-types-raw-materials-would-be-used-auto-manufacturer.asp>. [Acedido em 10 Novembro 2021].
- [23] A. Ajeya, "Go Mechanic," 16 Dezembro 2018. [Online]. Available: <https://gomechanic.in/blog/car-spare-parts/>. [Acedido em 11 November 2021].
- [24] J. M. Lee, H. J. Yim e J.-H. Kim, "Flexible Chassis Effects on Dynamic Response of Engine Mount Systems," *Journal of Passenger Cars*, vol. 104, nº 6, pp. 1957-1966, 1995.
- [25] Alexander Falchenko, "Qual é o chassi, Principio de Operação e Necessidades," ATV Otachki, 20 Agosto 2020. [Online]. Available: <https://avtotachki.com/pt/chto-takoe-shassi-princzip-raboty-i-dlya-chego-ono-nuzhno/>. [Acedido em 26 Novembro 2021].
- [26] Pressmark Editor, "What Raw Materials do Auto Manufacturers Use?," Pressmark Pressings, Ltd, 19 Outubro 2016. [Online]. Available: <https://www.pressmark.co.uk/chassis-manufacturing-process/>. [Acedido em 15 Novembro 2021].
- [27] E. Spišák e Ľ. Kaščák, "Mechanical Joining Methods In Car Body Construction," *Transfer inovácií*, vol. 28/2013, pp. 168-171, 2013.
- [28] R. W. Emerson, "Engine Manufacturing," MCR Safety, [Online]. Available: <https://www.mcrcsafety.com/industry/automotive/engine-manufacturing>. [Acedido em 15 Novembro 2021].
- [29] "Componentes e sistemas de precisão para transmissões de automóveis e veículos comerciais," Schaeffler, [Online]. Available: <https://www.schaeffler.es/content.schaeffler.es/pt/produtos-e-solucoes/automotive-oem/sistemas-de-transmissao/index.jsp>. [Acedido em 15 Novembro 2021].
- [30] "The Application of Injection Molding in Automotive Parts Productions," Rapid Direct, 15 Maio 2019. [Online]. Available: <https://www.rapiddirect.com/knowledge-base/article/injection-molding-for-automotive-applications/>. [Acedido em 26 Novembro 2021].

- [31] "Injection Moulding for Automotive Applications," Rapid Direct, 15 Maio 2019. [Online]. Available: <https://www.rapiddirect.com/knowledge-base/article/injection-molding-for-automotive-applications/>. [Acedido em 06 Dezembro 2021].
- [32] G. Kramer, "4 Types Of Plastic Used In Cars And Car Parts," A&C Plastics inc, [Online]. Available: <https://www.acplasticsinc.com/informationcenter/r/plastic-used-in-cars>. [Acedido em 26 November 2021].
- [33] I. Meekers, A. Rochman e P. Refalo, "Analysis of Process Parameters affecting Energy Consumption in Plastic Injection Moulding," em *Procedia CIRP*, Copenhagen, Denmark, 2018.
- [34] T. Cities, "Twin Cities," College of Science and Engineering, 15 July 2020. [Online]. Available: <https://twin-cities.umn.edu/news-events/researchers-3d-print-working-heart-pump-real-human-cells>. [Acedido em 18 April 2022].
- [35] Tess, "Indian jewelry brand Isharya unveils 'Infinite Petals' 3D printer jewelry collection," 3D Printer and 3D Printing News, 12 April 2017. [Online]. Available: <http://www.3ders.org/articles/20170412-indian-jewelry-brand-isharya-unveils-infinite-petals-3d-printed-kewelry-collection.html>. [Acedido em 18 April 2022].
- [36] S. Ulag, E. Ilhan, A. Sahin, B. K. Yilmaz, D. Kalaskar, N. Ekren, O. Kilic, F. N. Oktar e O. Gunduz, "3D printed artificial cornea for corneal stromal transplantation," *European Polymer Journal*, vol. 133, p. 109744, 2020.
- [37] David, "MX3D to install world's first 3D printed steel bridge over Amsterdam canal," 3D printer and 3D printing news, 3 April 2018. [Online]. Available: <https://www.3ders.org/articles/20180403-mx3d-to-install-worlds-first-3d-printed-steel-bridge-over-amsterdam-canal.html>. [Acedido em 19 April 2022].
- [38] A. M. T. Syed, P. K. Elias, B. Amit, B. Susmita, O. Lisa e C. Charitidis, "Additive manufacturing: scientific and technological challenges," *Materials today*, vol. 1, pp. 1-16, 2017.
- [39] V. Sreehitha, "Impact of 3D printing in automotive industry," *International Jurnal of Mechanical and Production Engineering*, vol. 5, nº 2, pp. 91-94, 2017.
- [40] M. Petch, "Audi gives update on use of SLM metal 3D printing for the automotive industry," 3D Printing Industry, 2018. [Online]. Available:

- <https://3dprintingindustry.com/news/audi-gives-update-use-slm-metal-3d-printing-automotive-industry-129376/>. [Acedido em 19 Abril 2022].
- [41] J. W. Stansbury e M. J. Idacavage, "3D Printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities," *Dental Materials*, vol. 32, pp. 54-64, 2016.
- [42] P. Research, "Prusa Knowledge Base," Prusa Research, [Online]. Available: <https://help.prusa3d.com/>. [Acedido em 21 Abril 2022].
- [43] M. Bevilacqua, F. E. Ciarapica, I. D. Sanctis, G. Mazzuto e C. Paciarotti, "The automation of an assembly system: a business process re-engineering (BPR) perspective," em *6th IESM Conference*, Ancona, Italy, 2015.
- [44] L. Wang, "India: Manufacturing Activity Touches 8-Month High," *Brics Info*, 05 Abril 2016. [Online]. Available: <http://www.brics-info.org/india-manufacturing-activity-touches-8-month-high/>. [Acedido em 06 Dezembro 2021].
- [45] Assembly Mag, "Understanding and selecting the right process for plastic part assembly," *Assembly Mag*, 1 Junho 2017. [Online]. Available: <https://www.assemblymag.com/articles/94896-understanding-and-selecting-the-right-process-for-plastic-part-assembly>. [Acedido em 18 Novembro 2021].
- [46] J. A. P. Pereira, "Projeto de célula robotizada para a indústria automóvel," Tese de Mestrado, ISEP, Porto, 2019.
- [47] R. J. S. Costa, F. Silva e R. Campilho, "A novel concept of agile assembly machine for sets applied in the automotive industry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 91, p. 4043–4054, 2017.
- [48] W. Grzechca, "Assembly Line Balancing Problem with Reduced Number of Workstations," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, nº 3, pp. 6180-6185, 2014.
- [49] A. K. Gupta e S. K. Arora, *Industrial Automation and Robotics*(3rd edition), Delhi: University Science Press, 2013.
- [50] C. Z. Boscoli, "Eu Quero Investir," *Grupo EQI*, 5 Maio 2021. [Online]. Available: <https://www.euqueroinvestir.com/producao-industrial-ibge/>. [Acedido em 11 Novembro 2021].
- [51] M. P. Groover, *Automation, Production systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 2nd edition, Bethlehem: Lehigh University, 2022.

- [52] M. J. R. Costa, R. M. Gouveia, F. J. G. Silva e R. D. S. G. Campilho, "How to solve quality problems by advanced fully-automated manufacturing systems," *Springer*, pp. 8-9, 11 March 2017.
- [53] S. Thomas, "Gulf Company," Bloomberg, 19 October 2020. [Online]. Available: <https://gulfnews.com/auto/news/exoskeleton-suits-turn-car-factory-workers-into-human-robots-1.1603120315450>. [Acedido em 28 October 2021].
- [54] J. P. M. J. Vilas, "Projeto de Melhoria de Equipamento para a Produção de cabos de Comando para Veiculos," Tese de Mestrado, ISEP, Porto, 2018.
- [55] R.-E. Breaz, O. Bologa, G. Racz, O. Valentin e G. Claudia, "Low-cost solutions for manipulation tasks in manufacturing systems: balancing costs and performances," em *5th IFAC Conference on Management and Control of Production Logistics*, Coimbra, 2010.
- [56] W. F. S. Araújo, F. J. G. Silva, R. D. S. G. Campilho e J. A. Matos, "Manufacturing cushions and suspension mats for vehicle seats: a novel cell concept," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 90, pp. 1539-1545, 2017.
- [57] "Main Page," MTI Brasil, [Online]. Available: <https://www.mtibrasil.com.br/>. [Acedido em 06 Dezembro 2021].
- [58] "SUS America Main Page," SUS, [Online]. Available: <https://www.susamericainc.com/featured/video/>. [Acedido em 06 Dezembro 2021].
- [59] T. Costa, F. Silva e L. P. Ferreira, "Improve the extrusion process in tire production using Six Sigma methodology," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 1104-1111, 2017.
- [60] N. G. O. Martins, "Desenvolvimento de Novo Conceito de Equipamento Flexível para o Fabrico de cabos de Comando para Automoveis," Tese de Mestrado, ISEP, Porto, 2019.
- [61] F. Silva e L. P. Ferreira, *Lean Manufacturing: Implementation, Opportunities and Challenges*, Porto: Nova Science Publishers, 2019.
- [62] H. T. Goranson e T. Goranson, *The Agile Virtual Enterprise: Cases, Metrics, Tools*, Greenwood Publishing Group, 1999.

- [63] M. Barbosa, F. J. G. Silva, C. Pimentel e R. M. Gouveia, "A Novel Concept of CNC Machining Center Automatic Feeder," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 952-959, 2018.
- [64] G. B. Silva, F. Silva, R. Campilho e R. Gouveia, "Designing a Novel Feeding System for CNC Turning Machines," *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 1144-1153, 2018.
- [65] "Juice Filling line," Fillex Packer, [Online]. Available: <https://www.fillex-packer.com/juice-filling-line.html>. [Acedido em 06 Dezembro 2021].
- [66] L. Duarte, "Mercedes Benz para a produção de camiões por uma semana," *Camiões e Carretas*, 01 Abril 2015. [Online]. Available: <https://www.caminhoes-e-carretas.com/2015/04/mercedes-benz-para-producao-de.html>. [Acedido em 06 Dezembro 2021].
- [67] A. J. A. Magalhães, "Projeto de Sistema de Manipulação de Arames," Tese de Mestrado, ISEP, Porto, 2017.
- [68] J. Pires, *Automação Industrial*, Coimbra: Edições Técnicas e Profissionais, 2007.
- [69] A. F. d. Silva, *Diapositivos usados nas aulas de Automação e Controlo Industrial*, Porto: ISEP, 2014.
- [70] "Sulzer HMI repair," Sulzer, [Online]. Available: <https://www.sulzer.com/en/shared/services/hmi-and-operator-interface-repairs>. [Acedido em 17 Novembro 2021].
- [71] M. Kaltenbrunner, M. A. Huka e M. Gronalt, "Automating production planning and control in pallet manufacturing – A case study," *Procedia Manufacturing*, vol. 42, p. 119–124, 2020.
- [72] C. Rosa, F. J. G. Silva, L. P. Ferreira, T. Pereira e R. Gouveia, "Establishing Standard Methodologies To Improve The Production Rate Of Assembly Lines Used For Low Added-Value Products," *Procedia Manufacturing*, n.º 17, pp. 555-562, 2018.
- [73] S. K. Vishnoi, A. Tripathi e T. Bagga, "Intelligent Automation, Planning & Implementation: A Review of Constraints," *International Journal on Emerging Technologies*, vol. 10, n.º 1a, pp. 174-178, 2019.

- [74] H. T. M. L. Bernd Scholz-Reiter, "Optical Quality Assurance in Micro Production," em *Lecture Notes in Engineering and Computer Science*, Hong-Kong, 2010.
- [75] P. Woolf, "Common Control Loops and Model for Temperature Control," em *Chemical Process Dynamics and Controls*, University of Michigan, 2020, p. <https://eng.libretexts.org/@go/page/22513> (Documento na biblioteca LibreTexts).
- [76] Marcel de Roure, "Instrumentação e Controlo," Lince, Automação e Controlo, 2017. [Online]. Available: <https://instrumentacaoecontrole.com.br/instrumentacao-industrial-guia-completo/>. [Acedido em 22 Novembro 2021].
- [77] S. M. John Park, *Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems*, ELSEVIER, 2003.
- [78] A. Mejías, R. S. Herrera, M. A. Márquez, A. J. Calderón, I. González e J. M. Andújar, "Easy Handling of Sensors and Actuators over TCP/IP Networks by Open Source Hardware/Software," *MDPI (Special Issue)*, 2016.
- [79] T. Lojka, M. Bundzel e I. Zolotová, "Industria Gateway for Data Aquisition and Remote Control," *Acta Electrotechnica et Informatica*, vol. 15, nº 2, pp. 43-48, 2015.
- [80] M. Kumar, R. Vaishya e Parag, "Real-Time Monitoring System to Lean Manufacturing," *Procedia Manufacturing*, vol. 20, pp. 135-140, 2018.
- [81] C. Rosa, F. J. G. Silva e L. P. Ferreira, "Improving the quality and productivity of steel wire-rope assembly lines for the automotive industry," *Procedia Manufacturing*, vol. 11, pp. 1035-1042, 2017.
- [82] OnRobot, "HEX FORCE/TORQUE SENSOR," OnRobot, [Online]. Available: <https://onrobot.com/en/products/hex-6-axis-force-torque-sensor>. [Acedido em 3 Maio 2022].
- [83] Robotous, "Innovative 6-Axis Force Torque Sensor," Robotous, [Online]. Available: <http://www.robotous.com/product/robot/force-torque-sensor>. [Acedido em 4 April 2022].

- [84] Photoneo, "PhoXi 3D Scanner M," Photoneo, [Online]. Available: <https://www.photoneo.com/products/phoxi-scan-m/>. [Acedido em 11 Fevereiro 2022].
- [85] H.-S. Park e X.-P. Dang, *Design and Simulation-Based Optimization of Cooling Channels for Plastic Injection Mold*, 2011.
- [86] S. L. Silva, "Sistemática para o Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros," Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- [88] P. Woolf, "Common Control Loops and Model for Temperature Control," University of Michigan, 5 Março 2021. [Online]. Available: <https://eng.libretexts.org/@go/page/22513>. [Acedido em 22 Novembro 2021].
- [89] D. W. M. a. E. L. Wilson, "Finite-element postbuckling analysis of thin elastic plates," *AIAA Journal*, vol. 7, nº 10, pp. 1915-1930, 1969.
- [90] A. Ross, "Welding a Pipeline from Start to Finish," 14 Dezembro 2018. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=dMD-Z-w9QFU>. [Acedido em 30 Novembro 2021].
- [91] W. Kern, "Alternatives to assembly line production in the automotive industry," Universität Stuttgart, Stuttgart, 2015.
- [92] J. K.G.Swift, *Process Selection (Second Edition) From Design to Manufacture*, Hull: Elsevier Ltd, 2003.
- [93] G. Garcea, G. Armentano, S. Petrolo e R. Casciaro, "Finite element shakedown analysis of two-dimensional structures," *International Journal for Numerical Methods in Engeneering*, vol. 63, nº 8, pp. 1174-1202, 2005.
- [94] J. Fish e T. Belytschko, *A first Course on Finite Elements*, Wiley, 2007.
- [95] D. Evans, "Pipeline route selection – the route to success," *Oil and Gas Technology*, 6 Novembro 2013. [Online]. Available: <http://www.oilandgastechnology.net/news/pipeline-route-selection-%E2%80%93-route-success>. [Acedido em 30 Novembro 2021].

- [96] M. A. Calcetero, "Robotic Arms and Assembly Lines," RobotLab, 11 Janeiro 2019. [Online]. Available: <https://www.robotlab.com/blog/robotic-arms-and-assembly-lines>. [Acedido em 18 November 2021].
- [97] T. Batey, "The installation of underground pipelines: effects on soil properties," *Soil use and management*, vol. 31, nº 1, pp. 60-66, 2015.
- [98] I. Antonioli, P. Guariente, T. Pereira e L. Pinto Ferreira, "Standardization and optimization of an automotive components production line," *Procedia Manufacturing*, vol. 13, pp. 2-3, 2017.
- [99] "ROLLER CRADLES," Vietz, [Online]. Available: <https://vietz.de/en/machine/roller-cradles>. [Acedido em 30 Novembro 2021].
- [100] Fuel Curve, "Fuel Curve," 12 Junho 2020. [Online]. Available: <https://www.fuelcurve.com/morrison-gt-sport-chassis-c1-c2-corvettes/>. [Acedido em 15 Novembro 2021].
- [101] Unknown Author, "TOYOTA MOTOR CORP.," [Online]. Available: <https://www.toyota.co.jp/en/kids/faq/d/01/04/>. [Acedido em 14 October 2021].
- [102] "Help Prusa 3D," Prusa Research, [Online]. Available: <https://help.prusa3d.com/>. [Acedido em 21 March 2022].

ANEXOS

ANEXO 1

Parâmetros do sensor de força



HEX QC SENSORS

Datasheet

22nd November 2019

HEX-H QC

| General Properties | 6-Axis Force/Torque Sensor | | | | Unit |
|--------------------------------------------|------------------------------------|-------------------|------------|----------------|------------------------|
| | Fxy | Fz | Txy | Tz | |
| Nominal Capacity (N.C) | 200 | 200 | 20 | 13 | [N] [Nm] |
| Single axis deformation at N.C (typical) | ± 0.6 ± 0.023 | ± 0.25 ± 0.009 | ± 2 ± 2 | ± 3.5 ± 3.5 | [mm] [°] [inch] [°] |
| Single axis overload | 500 | 400 | 300 | 300 | [%] |
| Signal noise* (typical) | 0.1 | 0.2 | 0.006 | 0.002 | [N] [Nm] |
| Noise-free resolution (typical) | 0.5 | 1 | 0.036 | 0.008 | [N] [Nm] |
| Full scale nonlinearity | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | [%] |
| Hysteresis (measured on Fz axis , typical) | < 2 | < 2 | < 2 | < 2 | [%] |
| Crosstalk (typical) | < 5 | < 5 | < 5 | < 5 | [%] |
| IP Classification | 67 | | | | |
| Dimensions (H x W x L) | 50 x 71 x 93 1.97 x 2.79 x 3.66 | | | | [mm] [inch] |
| Weight (with built-in adapter plates) | 0.35 0.77 | | | | [kg] [lb] |

* Signal noise is defined as the standard deviation (1 σ) of a typical one second no-load signal.

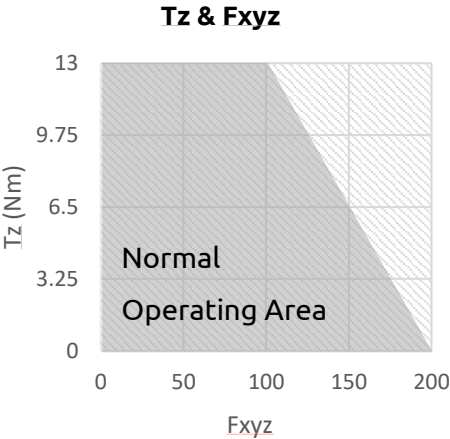
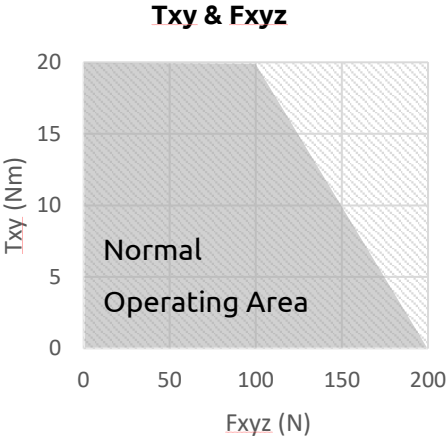
| Operating Conditions | Minimum | Typical | Maximum | Unit |
|------------------------------------|---------|---------|-----------|--------------|
| Power supply | 7 | - | 24 | [V] |
| Power consumption | - | - | 0.8 | [W] |
| Operating temperature | 0 32 | - - | 55 131 | [°C] [°F] |
| Relative humidity (non-condensing) | 0 | - | 95 | [%] |
| Calculated MTBF (operating life) | 30.000 | - | - | [Hours] |

Complex loading

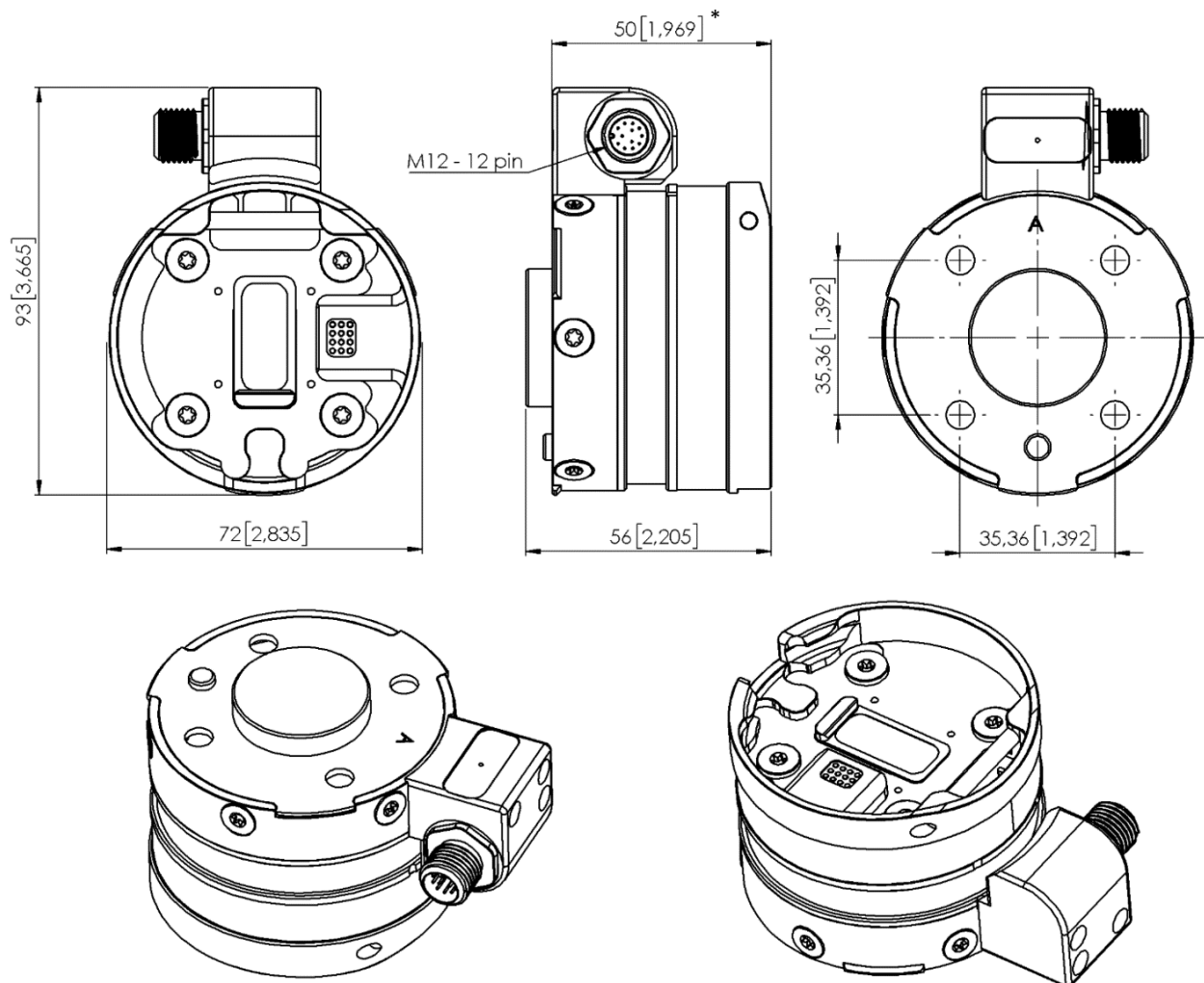
During single-axis loading, the sensor can be operated up to its nominal capacity. Above the nominal capacity the reading is inaccurate and invalid.

During complex loading (when more than one axis is loaded) the nominal capacities are reduced. The following diagrams show the complex loading scenarios.

The sensor cannot be operated outside of the Normal Operating Area.



HEX-E QC
HEX-H QC



* Distance from Robot flange interface to OnRobot tool
All dimensions are in mm and [inches].

ANEXO 2

Parâmetros do braço robótico

MOTOMAN GP7

Handling & General Applications
with the GP-series



The MOTOMAN GP7 is an extremely fast and precise 6-axis industrial robot with a payload capacity of up to 7 kg. With a reach of 927 mm and a high repeatability of ± 0.01 mm, it is ideally suited to assembly tasks, but also universal handling tasks, CNC machine tool tending or packaging. Its smooth and streamlined modern industrial design is attractive and minimizes the space requirements at the installation site.

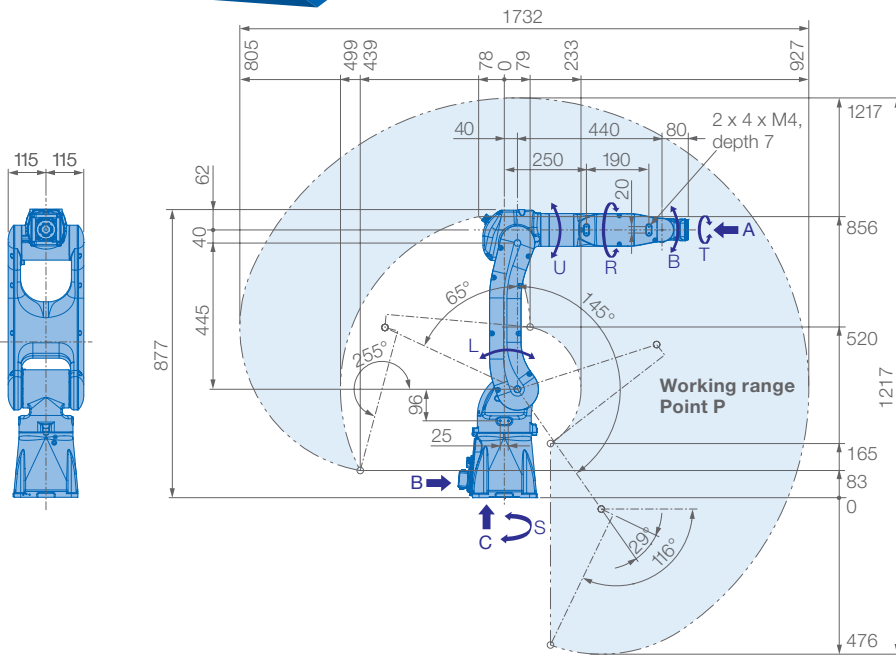
Cable entry is optionally from the side at the pedestal or from underneath through the base plate, thus enabling space-saving and uncluttered integration into its environment, irrespective of the intended installation position. The prepared routing of the supply lines in the arm enables optimal integration of the grippers or sensor systems, often dispensing with the need for an external media package.

A world of possibilities is open to the MOTOMAN GP7 with the numerous functions of the MOTOMAN YRC1000 controller or the compact MOTOMAN YRC1000micro controller. In conjunction with the conventional teach pendant, this robot is a reliable mechanical engineering partner. With the innovative operator control concept of the SmartPendant, it provides an excellent point of entry into the world of robotics.

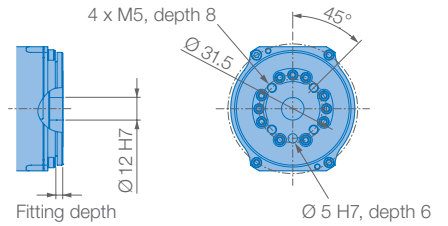
As standard, the MOTOMAN GP7 is designed with the high protection classification IP67. Other variants (e.g. with food-compatible grease in the food industry, special anti-corrosion coating for applications in aggressive ambient conditions, or as a cleanroom version CR5) are optionally available.

KEY BENEFITS

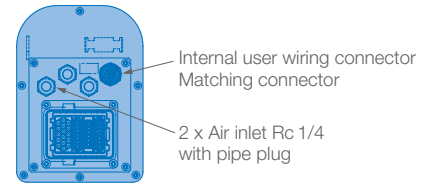
- Extremely fast and powerful
- Compact and flexible
- Large working range: 927 mm
- Reduced interference contours due to optimized design
- Simple commissioning and maintenance



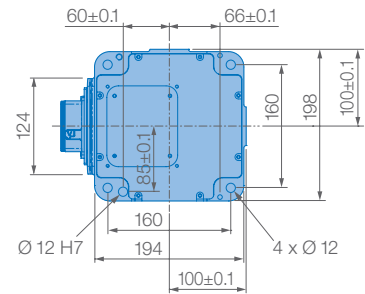
View A



View B



View C



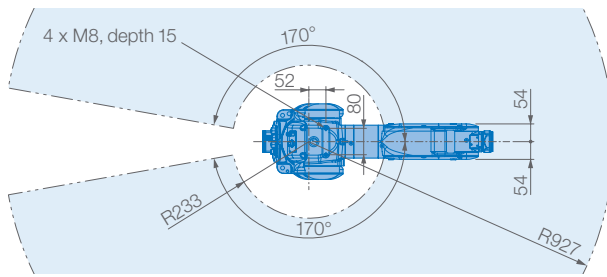
Mounting options: Floor, ceiling, wall, tilt*

IP Protection: IP67

Option: Cleanroom class 5

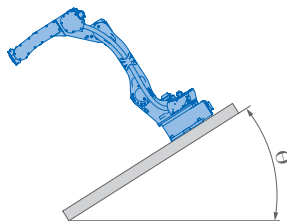
* tilt with condition of angle – see table below

| Robot installation angle θ [deg.] | S-axis operating range [deg.] |
|------------------------------------------|--------------------------------------|
| $0 \leq \theta \leq 30$ | ± 170 degrees or less (no limit) |
| $30 < \theta \leq 35$ | ± 60 degrees or less |
| $35 < \theta \leq 45$ | ± 45 degrees or less |
| $45 < \theta$ | ± 30 degrees or less |

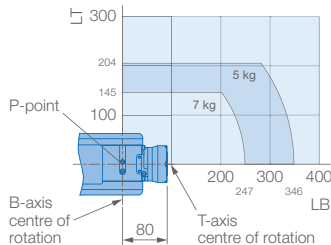


Prevent interaction of the robot with:

- Corrosive gases, liquids or explosive gases
- Exposure to water, oil or dust
- Excessive electrical noise (plasma)



Allowable wrist load



| Specifications GP7 | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------|--------------|
| Axes | Maximum motion range [°] | Maximum speed [°/s] | Allowable moment [Nm] | Allowable moment of inertia [kg · m ²] | Controlled axes | 6 |
| S | ± 170 | 375 | – | – | Max. payload [kg] | 7 |
| L | +145/–65 | 315 | – | – | Repeatability [mm] | $\pm 0.01^*$ |
| U | +190/–70 | 410 | – | – | Max. working range R [mm] | 927 |
| R | ± 190 | 550 | 17 | 0.5 | Temperature [°C] | 0 to +45 |
| B | ± 135 | 550 | 17 | 0.5 | Humidity [%] | 20 – 80 |
| T | ± 360 | 1000 | 10 | 0.2 | Weight [kg] | 37 |
| | | | | | Power supply, average [kVA] | 1** |

* Conforms to ISO 9283 ** Varies in accordance with applications and motion patterns **Note:** SI units are used for specifications.

Yaskawa Europe GmbH

Robotics Division
Yaskawastraße 1
85391 Allershausen
Germany

Tel. +49 (0) 8166 90-0
robotics@yaskawa.eu.com
www.yaskawa.eu.com

YR-1-06VX7-A00
D-10-2021, A-No. 206020

ANEXO 3

Código VBA do programa de extração de dados

```
Sub callBase()
```

```
'PASSO 1
```

```
Call ImportFXDatafromotherworksheetbase
```

```
Call ImportFYDatafromotherworksheetbase
```

```
Call ImportFZDatafromotherworksheetbase
```

```
Sheets("Capa").Select
```

```
Call Lim_perfe
```

```
End Sub
```

```
Sub ImportFXDatafromotherworksheetbase()
```

```
Sheets("Curva Base").Select
```

```
Dim wkbCrntWorkBook As Workbook
```

```
Dim wkbSourceBook As Workbook
```

```
Dim rngSourceRange As Range
```

```
Dim rngDestination As Range
```

```
Set wkbCrntWorkBook = ActiveWorkbook
```

```
With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
```

```
.Filters.Clear
```

```
.Filters.Add "Excel 2007-13", "*.xlsx; *.csv"
```

```
.AllowMultiSelect = False
```

```
.Show
```

```
If .SelectedItems.Count > 0 Then
```

```
Workbooks.Open .SelectedItems(1), Local:=True
```

```
Set wkbSourceBook = ActiveWorkbook
```

```
Set rngSourceRange = Range("A1:B10110")
```

```
wkbCrntWorkBook.Activate
```

```
Set rngDestination = Range("A2:B10110")
```

```
rngSourceRange.Copy rngDestination
```

```
rngDestination.CurrentRegion.EntireColumn.AutoFit
```

```
wkbSourceBook.Close False
```

```
End If
```

```
End With
```

```
End Sub
```

```
Sub ImportFYDatafromotherworksheetbase()
```

```
Sheets("Curva Base").Select
```

```
Dim wkbCrntWorkBook As Workbook
```

```
Dim wkbSourceBook As Workbook
```

```
Dim rngSourceRange As Range
```

```
Dim rngDestination As Range
```

```
Set wkbCrntWorkBook = ActiveWorkbook
```

```
With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
```

```
.Filters.Clear
```

```
.Filters.Add "Excel 2007-13", "*.xlsx;*.csv"
```

```
.AllowMultiSelect = False
```

```
.Show
```

```
If .SelectedItems.Count > 0 Then
```

```
Workbooks.Open .SelectedItems(1), Local:=True
```

```
Set wkbSourceBook = ActiveWorkbook
```

```
Set rngSourceRange = Range("A1:B10110")
```

```
wkbCrntWorkBook.Activate
```

```
Set rngDestination = Range("C2:D10110")
```

```
rngSourceRange.Copy rngDestination
```

```
rngDestination.CurrentRegion.EntireColumn.AutoFit
```

```
wkbSourceBook.Close False
```

```
End If
```

```
End With
```

```
End Sub
```

```
Sub ImportFZDatafromotherworksheetbase()
```

```
Sheets("Curva Base").Select
```

```
Dim wkbCrntWorkBook As Workbook
```

```
Dim wkbSourceBook As Workbook
```

```
Dim rngSourceRange As Range
```

```
Dim rngDestination As Range
```

```
Set wkbCrntWorkBook = ActiveWorkbook
```

```
With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
```

```
.Filters.Clear
```

```
.Filters.Add "Excel 2007-13", "*.xlsx;*.csv"
```

```
.AllowMultiSelect = False
```

```
.Show
```

```
If .SelectedItems.Count > 0 Then
```

```

        Workbooks.Open .SelectedItems(1), Local:=True
        Set wkbSourceBook = ActiveWorkbook
        Set rngSourceRange = Range("A1:B10110")
        wkbCrntWorkBook.Activate
        Set rngDestination = Range("E2:F10110")
        rngSourceRange.Copy rngDestination
        rngDestination.CurrentRegion.EntireColumn.AutoFit
        wkbSourceBook.Close False
    End If
End With
Sheets("Capa").Select
End Sub

Sub Lim_perfe()
' Converter decinewton para newton
Sheets("Curva Base").Select
Range("A2").Select
Range("A2:A10110").Select
Selection.Copy
Range("H2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("C2").Select
Range("C2:C10110").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("J10110").Select
Range("J2:J10110").Select
Range("J10110").Activate
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("E2").Select
Range("E2:E10110").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("L2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("I2").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-7]*0.1"
Range("I2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("I2:I10110"), Type:=xlFillValues
Range("I2:I10110").Select
ActiveWindow.SmallScroll Down:=-12
Range("K2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-7]*0.1"
Range("K2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("K2:K10110"), Type:=xlFillValues
Range("K2:K10110").Select
Range("F2").Select
Range("M2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-7]*0.1"
Range("M2").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("M2:M10110"), Type:=xlFillValues
Range("M2:M10110").Select
Sheets("Capa").Select
' Força resultante
Sheets("Curva Base").Select
Range("H2").Select
Range("H2:H10110").Select
Selection.Copy
Sheets("Criador").Select
Range("B3").Select
ActiveSheet.Paste
Range("A3").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=SQRT('Curva Base'!R[-1]C[8]^2+'Curva Base'!R[-1]C[10]^2+'Curva Base'!R[-1]C[12]^2)"
Range("A3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("A3:A10111"), Type:=xlFillDefault
Range("A3:A10111").Select
Range("B3").Select
Range("B3:B10111").Select
Selection.Copy

```

```
Range("F3").Select
ActiveSheet.Paste
Range("I3").Select
ActiveSheet.Paste
Range("G3").Select
Application.CutCopyMode = False
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-6]+R5C4"
Range("G3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("G3:G10111"), Type:=xlFillDefault
Range("G3:G10111").Select
Range("J3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-9]-R5C4"
Range("J3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("J3:J10111"), Type:=xlFillDefault
Range("J3:J10111").Select
Sheets("Capa").Select
End Sub

Sub Filtrar_e_guardar_Curva_base()
'PASSO 3
'Procuram-se as células correspondentes ao tempo mínimo e máximo para se isolar estes dados
Sheets("Criador").Select
Dim i As Long
Dim min As Long
Dim max As Long
min = 10111
max = 0
For i = 4 To 10111
If IsNumeric(Cells(i, 2).Value) = True Then
If (Cells(i, 2).Value > Range("Q1").Value) And i < min Then
min = i
End If
If Cells(i, 2).Value < Range("Q2").Value And i > max Then
max = i
End If
If max <> i Then
i = 10111
End If
End If
Next i
Range(Cells(min, 2), Cells(max, 2)).Select
Selection.Copy
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("L3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Criador").Select
Range(Cells(min, 1), Cells(max, 1)).Select
Selection.Copy
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("K3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
'Limpar possíveis restos da curva base anterior
Range(Cells(max - min + 4, 11), Cells(10111, 12)).Select
Selection.ClearContents
Sheets("Capa").Select
End Sub

Sub callAtual()
'PASSO 5
Call ImportFXDatafromotherworksheetAtual
Call ImportFYDatafromotherworksheetAtual
Call ImportFZDatafromotherworksheetAtual
Call Converter_dados_atual
Call CriarCurvaAtual
Call Corretor_Certo
Sheets("Capa").Select
End Sub

Sub ImportFXDatafromotherworksheetAtual()
```

```
Sheets("Curva Atual").Select
Dim wkbCrntWorkBook As Workbook
Dim wkbSourceBook As Workbook
Dim rngSourceRange As Range
Dim rngDestination As Range
Set wkbCrntWorkBook = ActiveWorkbook
With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
    .Filters.Clear
    .Filters.Add "Excel 2007-13", "*.xlsx;*.csv"
    .AllowMultiSelect = False
    .Show
    If .SelectedItems.Count > 0 Then
        Workbooks.Open .SelectedItems(1), Local:=True
        Set wkbSourceBook = ActiveWorkbook
        Set rngSourceRange = Range("A1:B10110")
        wkbCrntWorkBook.Activate
        Set rngDestination = Range("A2:B10110")
        rngSourceRange.Copy rngDestination
        rngDestination.CurrentRegion.EntireColumn.AutoFit
        wkbSourceBook.Close False
    End If
End With
End Sub
```

```
Sub ImportFYDatafromotherworksheetAtual()
Sheets("Curva Atual").Select
Dim wkbCrntWorkBook As Workbook
Dim wkbSourceBook As Workbook
Dim rngSourceRange As Range
Dim rngDestination As Range
Set wkbCrntWorkBook = ActiveWorkbook
With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
    .Filters.Clear
    .Filters.Add "Excel 2007-13", "*.xlsx;*.csv"
    .AllowMultiSelect = False
    .Show
    If .SelectedItems.Count > 0 Then
        Workbooks.Open .SelectedItems(1), Local:=True
        Set wkbSourceBook = ActiveWorkbook
        Set rngSourceRange = Range("A1:B10110")
        wkbCrntWorkBook.Activate
        Set rngDestination = Range("C2:D10110")
        rngSourceRange.Copy rngDestination
        rngDestination.CurrentRegion.EntireColumn.AutoFit
        wkbSourceBook.Close False
    End If
End With
End Sub
```

```
Sub ImportFZDatafromotherworksheetAtual()
Sheets("Curva Atual").Select
Dim wkbCrntWorkBook As Workbook
Dim wkbSourceBook As Workbook
Dim rngSourceRange As Range
Dim rngDestination As Range
Set wkbCrntWorkBook = ActiveWorkbook
With Application.FileDialog(msoFileDialogOpen)
    .Filters.Clear
    .Filters.Add "Excel 2007-13", "*.xlsx;*.csv"
    .AllowMultiSelect = False
    .Show
    If .SelectedItems.Count > 0 Then
        Workbooks.Open .SelectedItems(1), Local:=True
        Set wkbSourceBook = ActiveWorkbook
        Set rngSourceRange = Range("A1:B10110")
        wkbCrntWorkBook.Activate
        Set rngDestination = Range("E2:F10110")
        rngSourceRange.Copy rngDestination
        rngDestination.CurrentRegion.EntireColumn.AutoFit
        wkbSourceBook.Close False
    End If
End With
Sheets("Capa").Select
```

End Sub

```

Sub Converter_dados_atual()
' Converter_dados_atual Macro
  Sheets("Curva Atual").Select
  Range("A2").Select
  Range("A2:A10110").Select
  Selection.Copy
  Range("H2").Select
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
  Range("C2").Select
  Range("C2:C10110").Select
  Application.CutCopyMode = False
  Selection.Copy
  Range("J10110").Select
  Range("J2:J10110").Select
  Range("J10110").Activate
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
  Range("E2").Select
  Range("E2:E10110").Select
  Application.CutCopyMode = False
  Selection.Copy
  Range("L2").Select
  Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
    :=False, Transpose:=False
  Range("I2").Select
  Application.CutCopyMode = False
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-7]*0.1"
  Range("I2").Select
  Selection.AutoFill Destination:=Range("I2:I10110"), Type:=xlFillValues
  Range("I2:I10110").Select
  ActiveWindow.SmallScroll Down:=-12
  Range("K2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-7]*0.1"
  Range("K2").Select
  Selection.AutoFill Destination:=Range("K2:K10110"), Type:=xlFillValues
  Range("K2:K10110").Select
  Range("F2").Select
  Range("M2").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-7]*0.1"
  Range("M2").Select
  Selection.AutoFill Destination:=Range("M2:M10110"), Type:=xlFillValues
  Range("M2:M10110").Select
End Sub

```

```

Sub CriarCurvaAtual()
' Força resultante
  Sheets("Curva Atual").Select
  Range("H2").Select
  Range("H2:H10110").Select
  Selection.Copy
  Sheets("Criador").Select
  Range("L3").Select
  ActiveSheet.Paste
  Range("M3").Select
  Application.CutCopyMode = False
  ActiveCell.FormulaR1C1 = _
    "=SQRT('Curva Atual'!R[-1]C[-4]^2+'Curva Atual'!R[-1]C[-2]^2+'Curva Atual'!R[-1]C^2)"
  Range("M3").Select
  Selection.AutoFill Destination:=Range("M3:M10111"), Type:=xlFillDefault
  Range("M3:M10111").Select
  Range("N3").Select
  ActiveCell.FormulaR1C1 = "=IF(RC[-2]-R6C17>0,RC[-2]-R6C17,NA())"
  Range("N3").Select
  Selection.AutoFill Destination:=Range("N3:N10111"), Type:=xlFillDefault
  Range("N3:N10111").Select
  Sheets("Capa").Select
End Sub

```

```
Sub Corretor_Certo()
'Elimina zeros que afetam o gráfico
Sheets("Criador").Select
If Range("Q6").Value < 0 Then
    For i = 4 To 10111
        If Cells(i, 14).Value = Range("Q7").Value Then
            Cells(i, 14).Clear
        End If
    Next i
End If
Sheets("Capa").Select
End Sub
```

```
Sub Analise_Completa()
'PASSO 7
Call Filtrar_e_guardar_Curvas
Call Portar_Curvas
Call erros_e_médias
Call auto_adapta
Call ErrosGuardar
Sheets("Folha Anexo").Select
End Sub
```

```
Sub Filtrar_e_guardar_Curvas()
Sheets("Criador").Select
Dim i As Long
Dim min As Long
Dim max As Long
min = 10111
max = 0
'Copia células do tempo corrigido para encaixar com a curva base
For i = 4 To 10111
    If IsNumeric(Cells(i, 14).Value) = True Then
        If (Cells(i, 14).Value > Range("Q1").Value) And i < min Then
            min = i
        End If
        If Cells(i, 14).Value < Range("Q2").Value And i > max Then
            max = i
        End If
        If max <> i Then
            i = 10111
        End If
    End If
Next i
Range(Cells(min, 14), Cells(max, 14)).Select
Selection.Copy
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("N3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Criador").Select
Range(Cells(min, 13), Cells(max, 13)).Select
Selection.Copy
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("M3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
'Apagar possíveis restos de curvas base anteriores
Range(Cells(max - min + 4, 13), Cells(10111, 14)).Select
Selection.ClearContents
End Sub
```

```
Sub Portar_Curvas()
' Transportar curvas para analise
Range("M3:N10111").Select
With Selection.Interior
    .Pattern = xlNone
    .TintAndShade = 0
    .PatternTintAndShade = 0
End With
```

```

Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeLeft).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeTop).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeBottom).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlEdgeRight).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlInsideVertical).LineStyle = xlNone
Selection.Borders(xlInsideHorizontal).LineStyle = xlNone
Range("M1:N1").Select
Selection.Copy
Range("O1:P1").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("M3:N10111").Select
Selection.Copy
Range("O3").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
' Mover curvas já existentes sem perder nenhuma (parte muito otimizada devido a carga computacio
nal elevada)
Dim n As Long
Dim t As Long
t = Range("J8").Value
n = t + 1
Range("M1:N1").Select
Selection.Copy
Range(Cells(1, t), Cells(1, n)).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("M3:N10111").Select
Selection.Copy
Cells(3, t).Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

Range("J8").Value = t + 2
End Sub

Sub erros_e_médias()
Sheets("Curvas Guardadas").Select
' 1º calculo de erros_e_médias
Dim r As Long
Range("A3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[10]-RC[14]"
Range("A3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("A3:A10111")
Range("A3:A54").Select
Range("B3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=(ABS(RC[-1]))"
Range("B3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("B3:B10111")
Range("B3:B54").Select
Range("C3").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=RC[-1]/Capa!R9C14"
Range("C3").Select
Selection.AutoFill Destination:=Range("C3:C10111")
Range("C3:C54").Select
Range("A1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=AVERAGE(R[2]C:R[10110]C)"
Range("A2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MAX(R[1]C:R[10109]C)"
Range("B1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=AVERAGE(R[2]C:R[10110]C)"
Range("B2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MAX(R[1]C:R[10109]C)"
Range("C1").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=AVERAGE(R[2]C:R[10110]C)"
Range("C2").Select
ActiveCell.FormulaR1C1 = "=MAX(R[1]C:R[10109]C)"
Range("C3").Select
For i = 2 To 10111
If Cells(i, 1).Value = 0 Then
r = i
i = 10111
End If
Next i

```

```
Range(Cells(r, 1), Cells(10111, 3)).Clear  
End Sub
```

```
Sub auto_adapta()  
Sheets("Curvas guardadas").Select  
'Caso 0: É preciso recuar 2 células  
If Range("J19").Value = 1 Then  
Range("O3:P54").Select  
Selection.Copy  
Range("O5").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Range("O3:P3").Select  
Selection.ClearContents  
Range("A3:C3").Select  
Selection.ClearContents  
End If  
'Caso 1: É preciso recuar uma célula  
If Range("J20").Value = 1 Then  
Range("O3:P54").Select  
Selection.Copy  
Range("O4").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Range("O3:P3").Select  
Selection.ClearContents  
Range("A3:C3").Select  
Selection.ClearContents  
End If  
'Caso 3 Os tempos devem ser avançados uma célula  
If Range("J22").Value = 1 Then  
Range("O3:P3").Select  
Selection.ClearContents  
Range("O4:P510111").Select  
Selection.Copy  
Range("O3").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
End If  
'Caso 2: Os tempos já estão otimizados  
If Range("J21").Value = 1 Then  
Não fazer nada  
End If  
'Caso 4 Os tempos devem ser avançados duas células  
If Range("J23").Value = 1 Then  
Range("O3:P3").Select  
Selection.ClearContents  
Range("O5:P510111").Select  
Selection.Copy  
Range("O3:P4").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
End If  
End Sub
```

```
Sub ErrosGuardar()  
' Apontar dados do teste específico para posterior análise em conjunto  
Sheets("Curvas Guardadas").Select  
Range("C1").Select  
Selection.Copy  
Range("G2").Select  
ActiveSheet.Paste  
Range("B1").Select  
Application.CutCopyMode = False  
Selection.Copy  
Range("F2").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False  
Range("C1").Select  
Application.CutCopyMode = False  
Selection.Copy  
Range("G2").Select  
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _  
:=False, Transpose:=False
```

```

Range("B2").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("E2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Sheets("Capa").Select
Range("I11").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("D2").Select
ActiveSheet.Paste
Sheets("Folha Anexo").Select
Range("F33").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("I2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("C2").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("H2").Select
Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
Range("D2:I10111").Select
Application.CutCopyMode = False
Selection.Copy
Range("D3").Select
ActiveSheet.Paste
End Sub

```

```

Sub GuardarcomoPDF()
'PASSO 9
Sheets("Folha Anexo").Select
Dim localguardar As String
localguardar = "C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Pdf_ensaios\
"
ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Pdf_ensaios\" & R
Range("Y3").Value
' 1° grafico
Dim objChrt As ChartObject
Dim myChart As Chart
Set objChrt = Sheets("Folha Anexo").ChartObjects("Gráfico 2")
Set myChart = objChrt.Chart
myChart.Export Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Im
agens_Gráficos_Resultantes\" & Range("Y4").Value & ".png", Filtername:="PNG"
'OUTRO GRáfico
Dim objChrt2 As ChartObject
Dim myChart2 As Chart
Set objChrt2 = Sheets("Folha Anexo").ChartObjects("Gráfico 4")
Set myChart2 = objChrt2.Chart
myChart2.Export Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\I
magens_Gráficos_Componentes\" & Range("Y4").Value & ".png", Filtername:="PNG"
Sheets("Capa").Select
End Sub

```

```

Sub GuardarcomoPDFGlobal()
'PASSO 11
Sheets("Análise Global").Select
Dim localguardar As String
localguardar = "C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Pdf_global\"
ActiveSheet.ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Pdf_global\" & R
Range("D6").Value
'1° grafico
Dim objChrt As ChartObject
Dim myChart As Chart
Set objChrt = Sheets("Análise Global").ChartObjects("Gráfico 1")
Set myChart = objChrt.Chart

```

```

myChart.Export Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Imagens_Gráfico_Final_Global\" & Range("D6").Value & ".png", Filtername:="PNG"
'2º grafico
Dim objChrt2 As ChartObject
Dim myChart2 As Chart
Set objChrt2 = Sheets("Análise Global").ChartObjects("Gráfico 6")
Set myChart2 = objChrt2.Chart
myChart2.Export Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Erro_Absoluto_Global\" & Range("D6").Value & ".png", Filtername:="PNG"
'3º grafico
Dim objChrt3 As ChartObject
Dim myChart3 As Chart
Set objChrt3 = Sheets("Análise Global").ChartObjects("Gráfico 10")
Set myChart3 = objChrt3.Chart
myChart3.Export Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Erro_Média_Final\" & Range("D6").Value & ".png", Filtername:="PNG"
Dim objChrt4 As ChartObject
Dim myChart4 As Chart
Set objChrt4 = Sheets("Análise Global").ChartObjects("Gráfico 11")
Set myChart4 = objChrt4.Chart
myChart3.Export Filename:="C:\Users\binov\Desktop\Lucas_trabalhos\Tese_Mestrado\0_0Ensaio_Atuais\Imagem_Máximos\" & Range("D6").Value & ".png", Filtername:="PNG"
Sheets("Capa").Select
End Sub

Sub Apagar_tudo()
'PASSO 12
' Apagar_tudo Macro
Range("I11").Select
Selection.ClearContents
Sheets("Criador").Select
Range("A3").Select
Range("A3:B10285").Select
Selection.ClearContents
Sheets("Curva Base").Select
Range("A2").Select
Range("A2:M10110").Select
Selection.ClearContents
Sheets("Curva Atual").Select
Range("A2").Select
Range("A2:M10110").Select
Selection.ClearContents
Sheets("Curvas guardadas").Select
Range("J8").Value = "17"
Range("O1:LJ1").Select
Selection.ClearContents
Range("A3").Select
Range("A3:C10112").Select
Selection.ClearContents
Range("D2").Select
Range("D2:I10114").Select
Selection.ClearContents
Range("K3").Select
Range("K3:JY10114").Select
Selection.ClearContents
Sheets("Capa").Select
End Sub

Function setChartAxis(sheetName As String, chartName As String, MinOrMax As String, _
ValueOrCategory As String, PrimaryOrSecondary As String, Value As Variant)
'função retirada da internet que permite que o grafico altere máximos e mínimos conforme valores em células
'create variables
Dim cht As Chart
Dim valueAsText As String

'Set the chart to be on the same worksheet as the function
'Set cht = Application.Caller.Parent.ChartObjects(chartName).Chart
Set cht = Application.Caller.Parent.Parent.Sheets(sheetName) _
.ChartObjects(chartName).Chart

'Set Value of Primary axis

```

```
If (ValueOrCategory = "Value" Or ValueOrCategory = "Y") _
And PrimaryOrSecondary = "Primary" Then

With cht.Axes(xlValue, xlPrimary)
If IsNumeric(Value) = True Then
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScale = Value
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScale = Value
Else
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScaleIsAuto = True
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScaleIsAuto = True
End If
End With
End If

'Set Category of Primary axis
If (ValueOrCategory = "Category" Or ValueOrCategory = "X") _
And PrimaryOrSecondary = "Primary" Then

With cht.Axes(xlCategory, xlPrimary)
If IsNumeric(Value) = True Then
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScale = Value
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScale = Value
Else
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScaleIsAuto = True
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScaleIsAuto = True
End If
End With
End If

'Set value of secondary axis
If (ValueOrCategory = "Value" Or ValueOrCategory = "Y") _
And PrimaryOrSecondary = "Secondary" Then

With cht.Axes(xlValue, xlSecondary)
If IsNumeric(Value) = True Then
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScale = Value
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScale = Value
Else
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScaleIsAuto = True
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScaleIsAuto = True
End If
End With
End If

'Set category of secondary axis
If (ValueOrCategory = "Category" Or ValueOrCategory = "X") _
And PrimaryOrSecondary = "Secondary" Then
With cht.Axes(xlCategory, xlSecondary)
If IsNumeric(Value) = True Then
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScale = Value
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScale = Value
Else
If MinOrMax = "Max" Then .MaximumScaleIsAuto = True
If MinOrMax = "Min" Then .MinimumScaleIsAuto = True
End If
End With
End If

'If is text always display "Auto"
If IsNumeric(Value) Then valueAsText = Value Else valueAsText = "Auto"

'Output a text string to indicate the value
setChartAxis = ValueOrCategory & " " & PrimaryOrSecondary & " " _
& MinOrMax & ": " & valueAsText

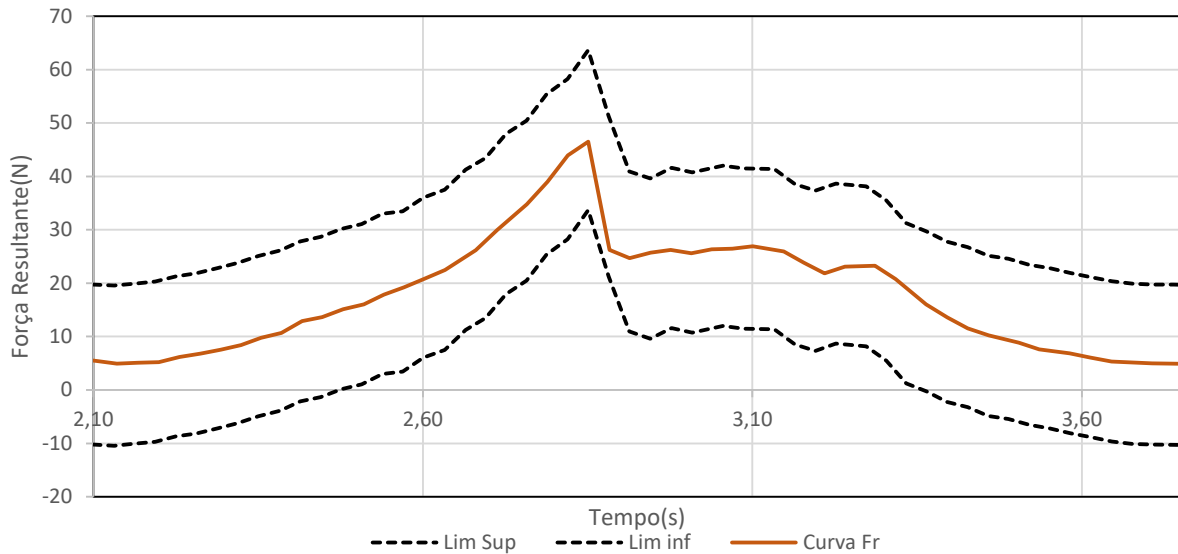
End Function
```

ANEXO 4

Documentação gerada no teste

piloto

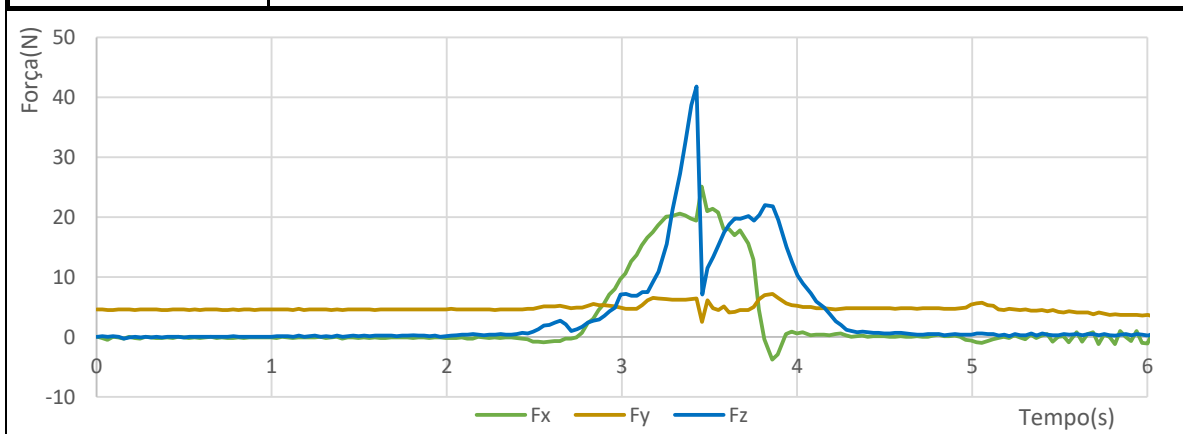
Rotina Simples 01



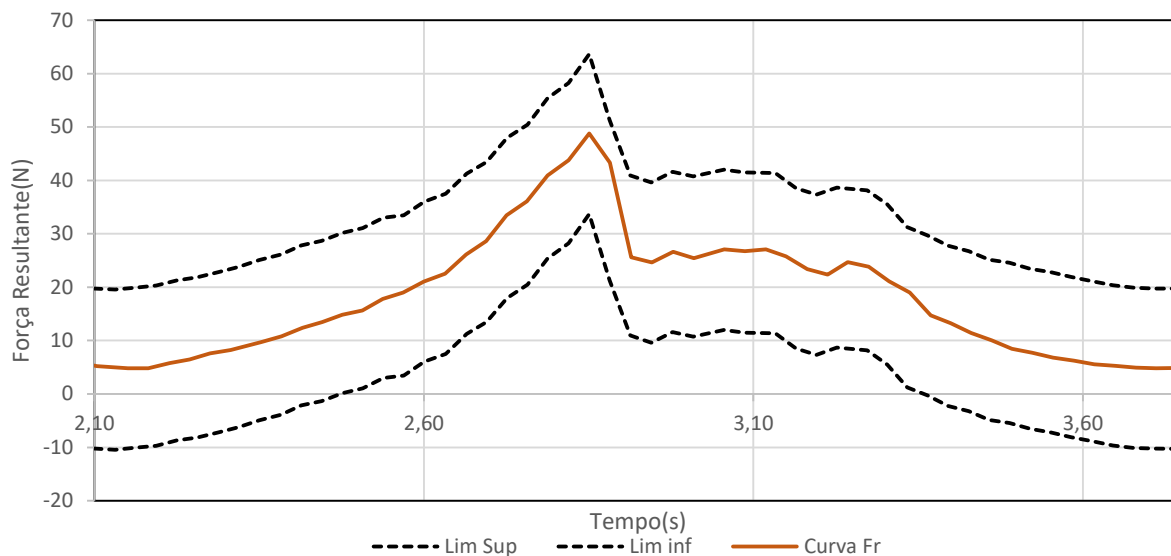
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,5730 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 10,09 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 1,42 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio correu normalmente |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



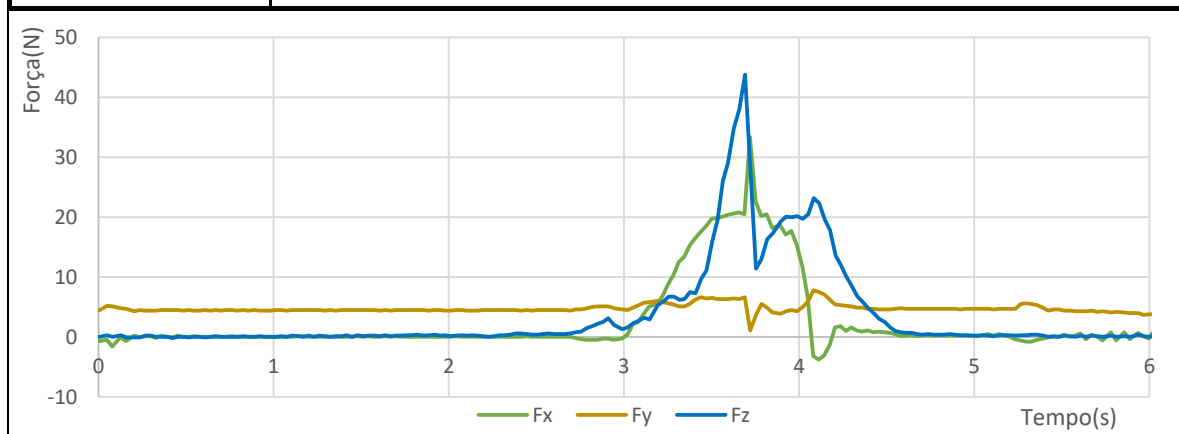
Rotina Simples 02



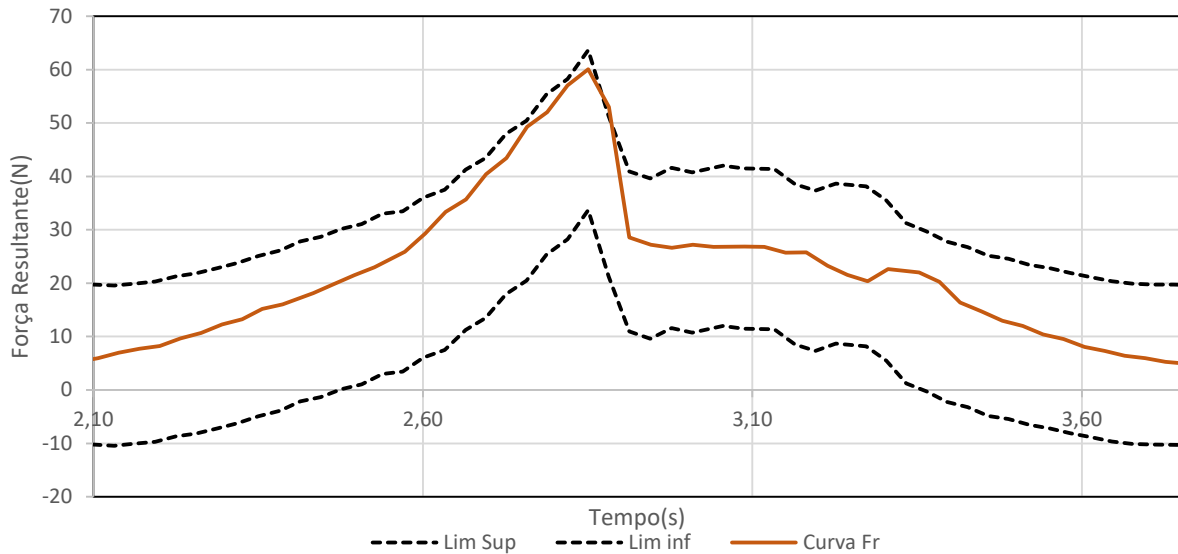
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,8374 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 7,05 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 0,83 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio correu normalmente |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



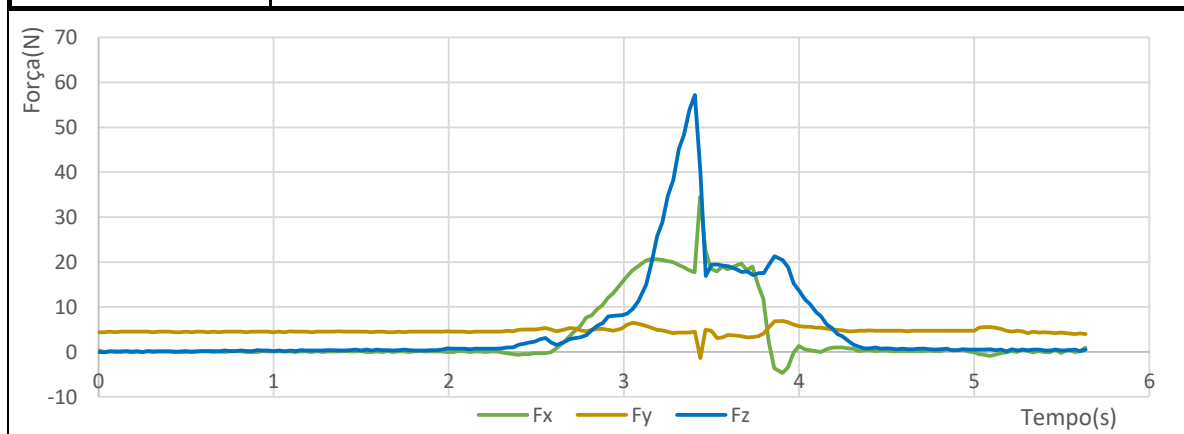
Rotina Simples 03



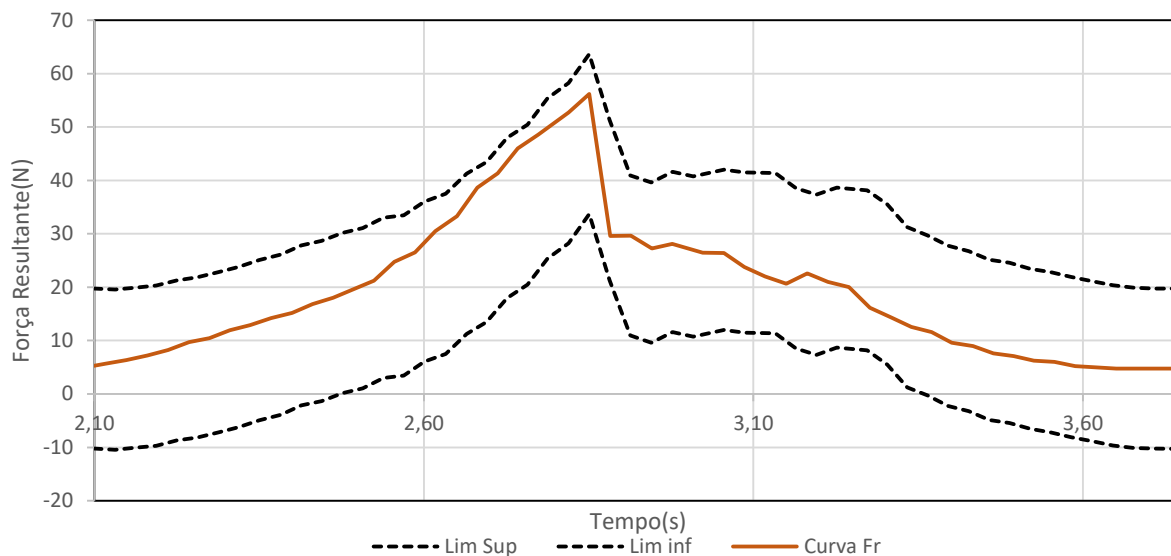
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,5519 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 16,70 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 4,66 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | O clip encaixou na mesma apesar de haver um desvio superior a 15N. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



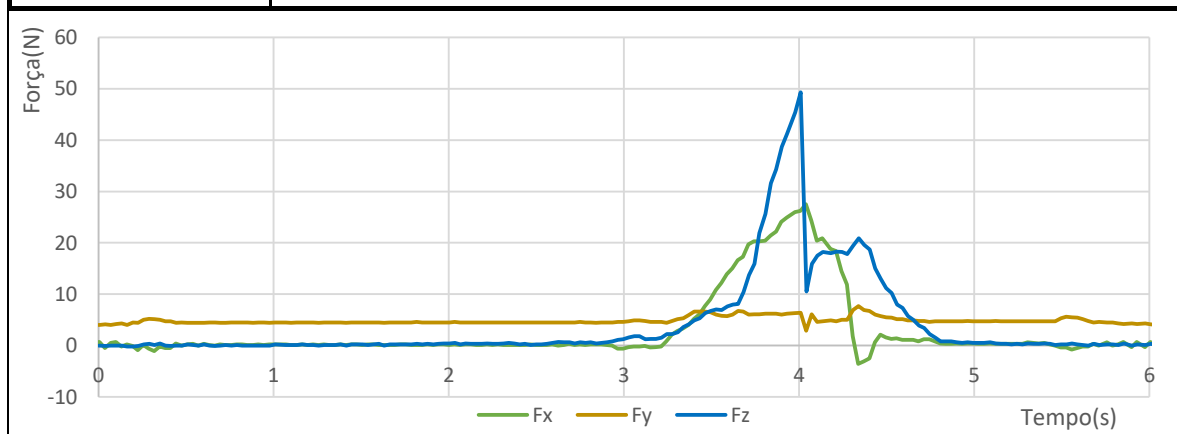
Rotina Simples 04



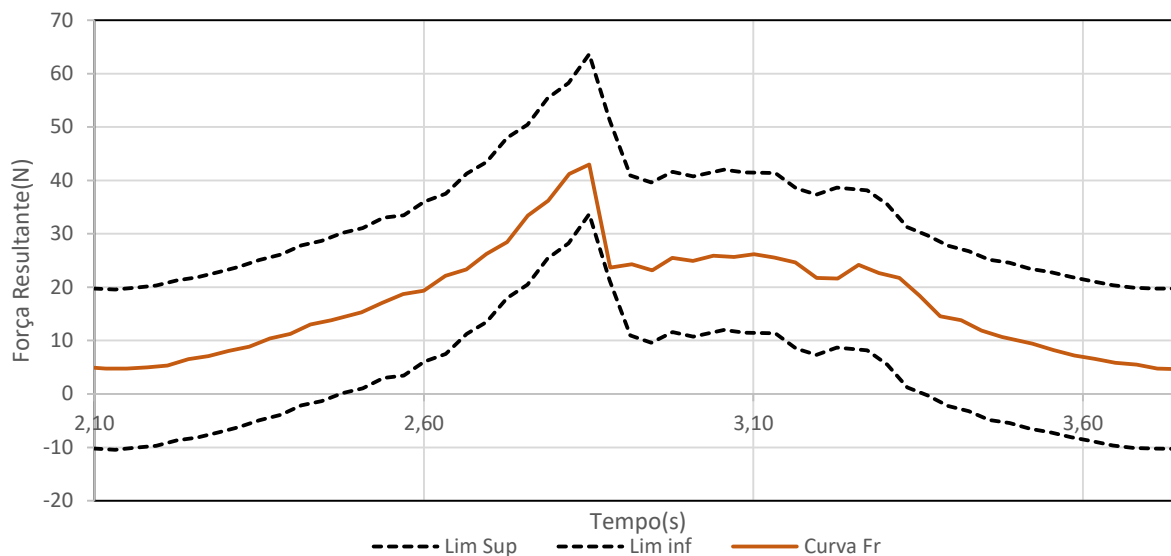
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,1562 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 10,52 N | Tempo: 2,75705 s |
| Desvio médio verificado: | 3,32 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normal. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



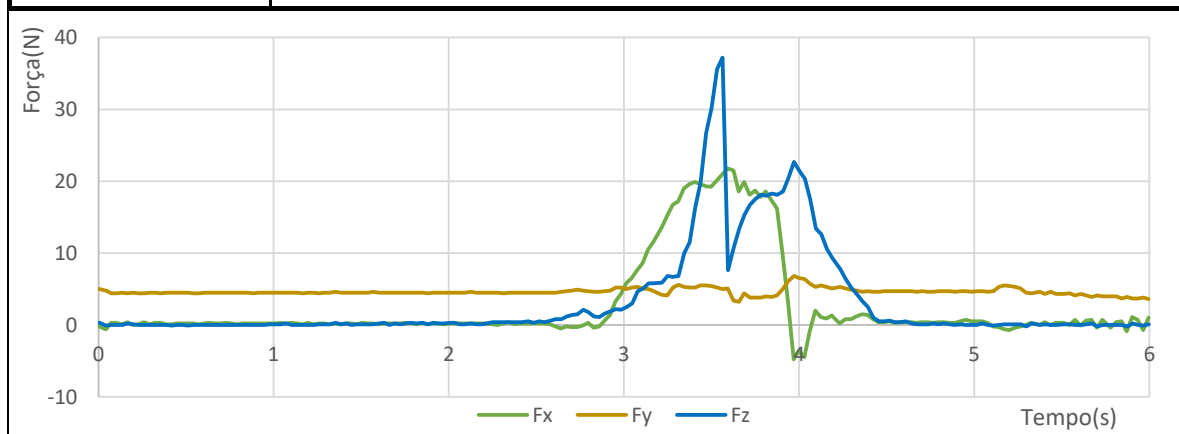
Rotina Simples 05



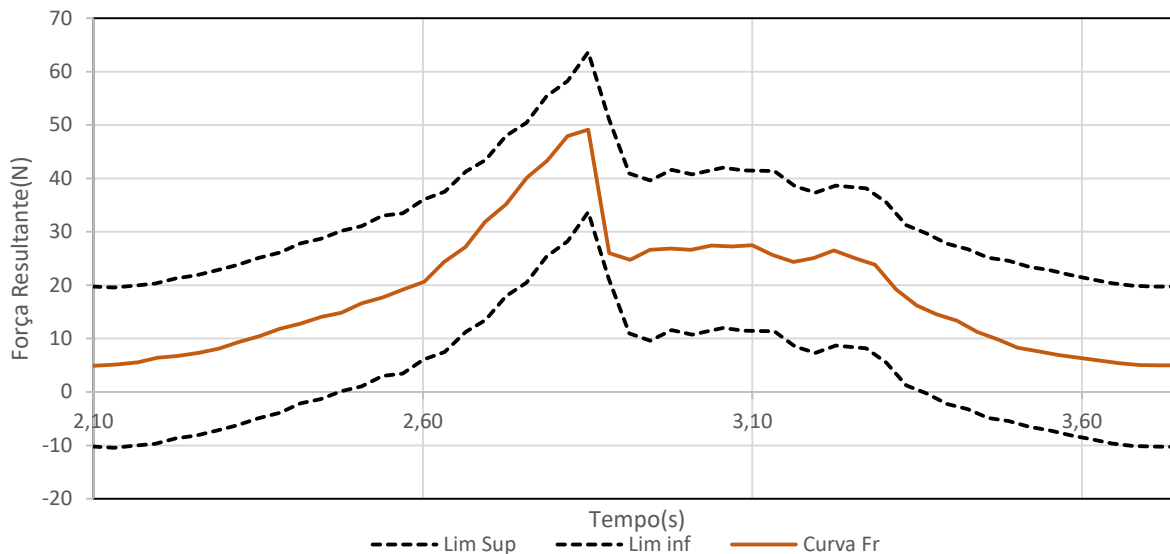
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,7093 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 12,65 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 2,06 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normal. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



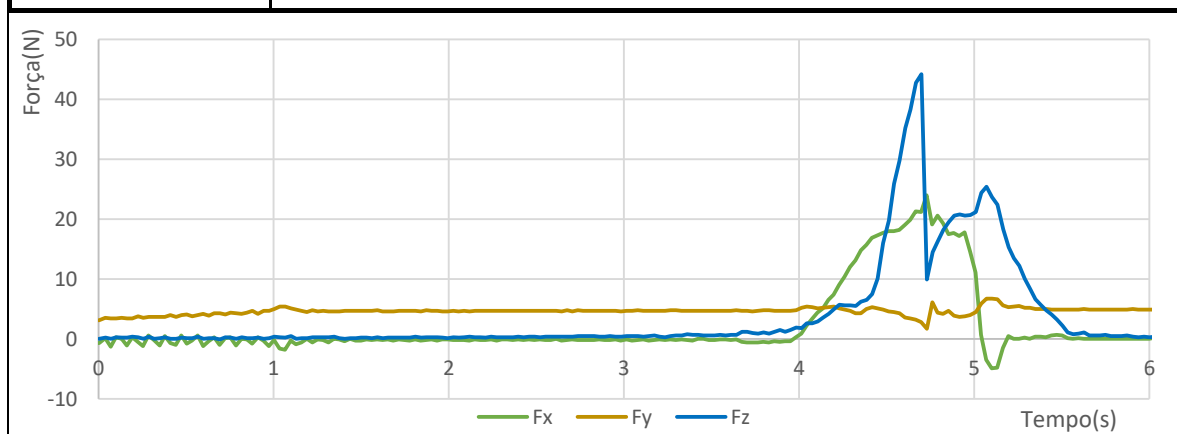
Rotina Simples 06



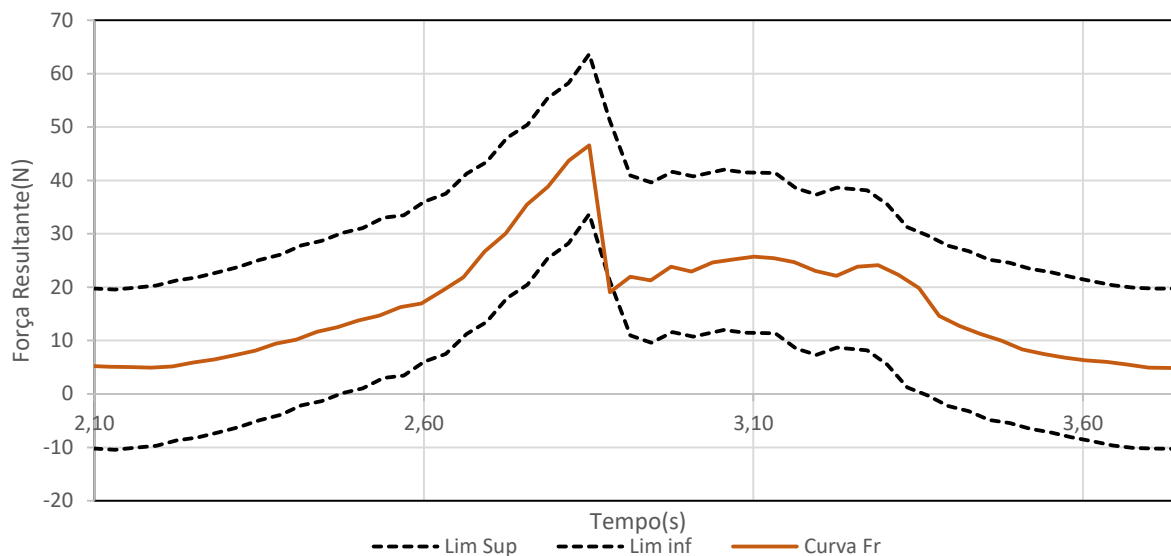
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,8457 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 10,28 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 1,84 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normal. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



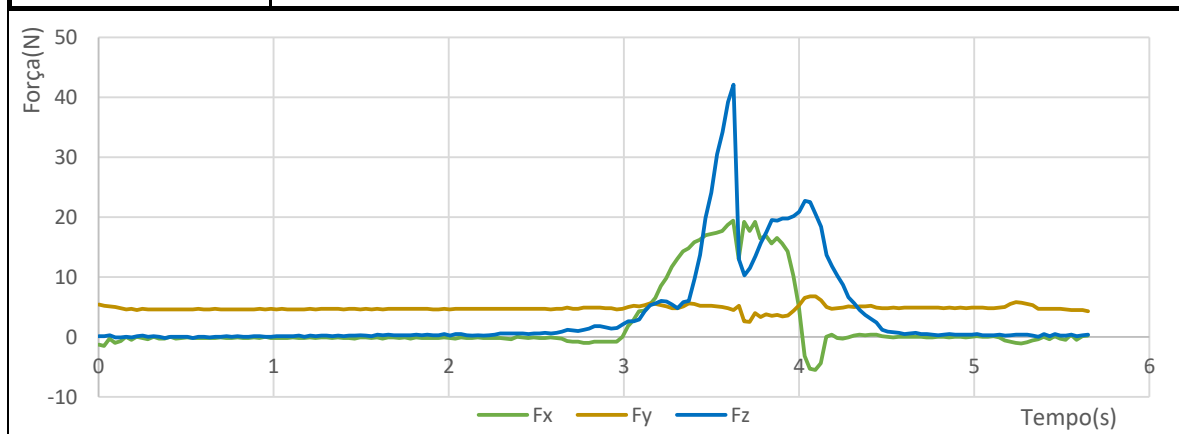
Rotina Simples 07



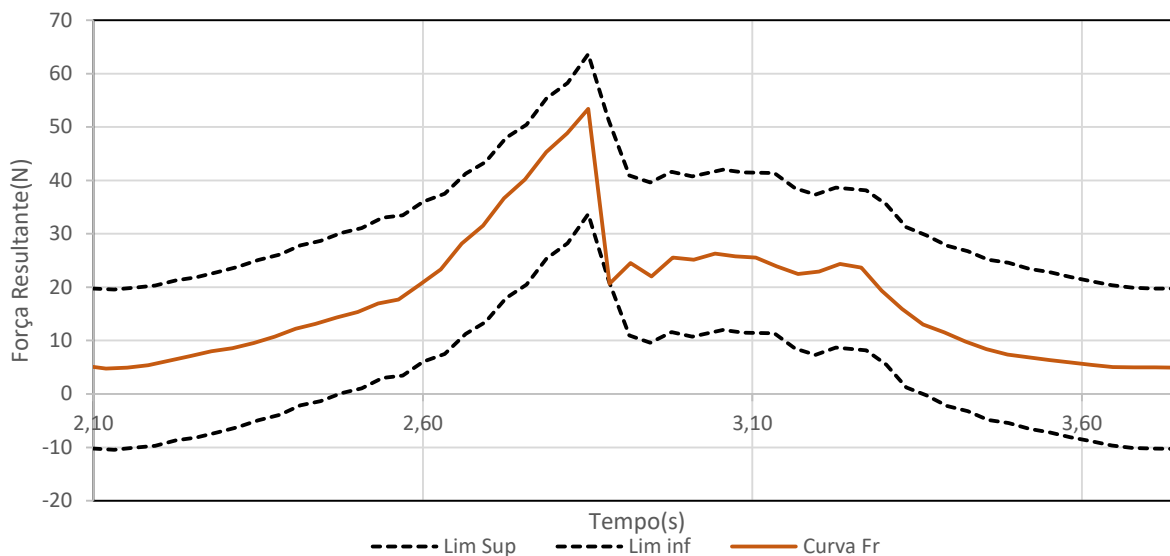
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,7732 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 17,26 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 2,45 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normal. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



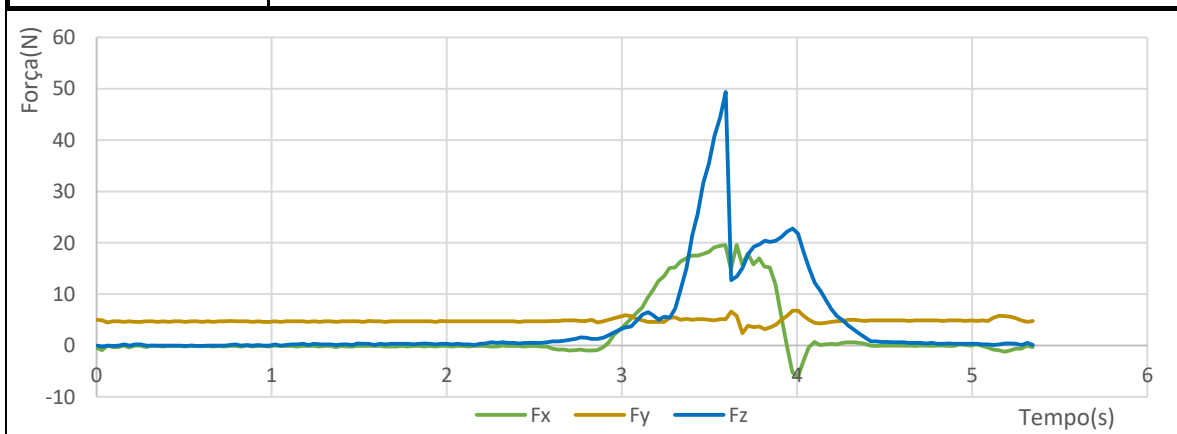
Rotina Simples 08



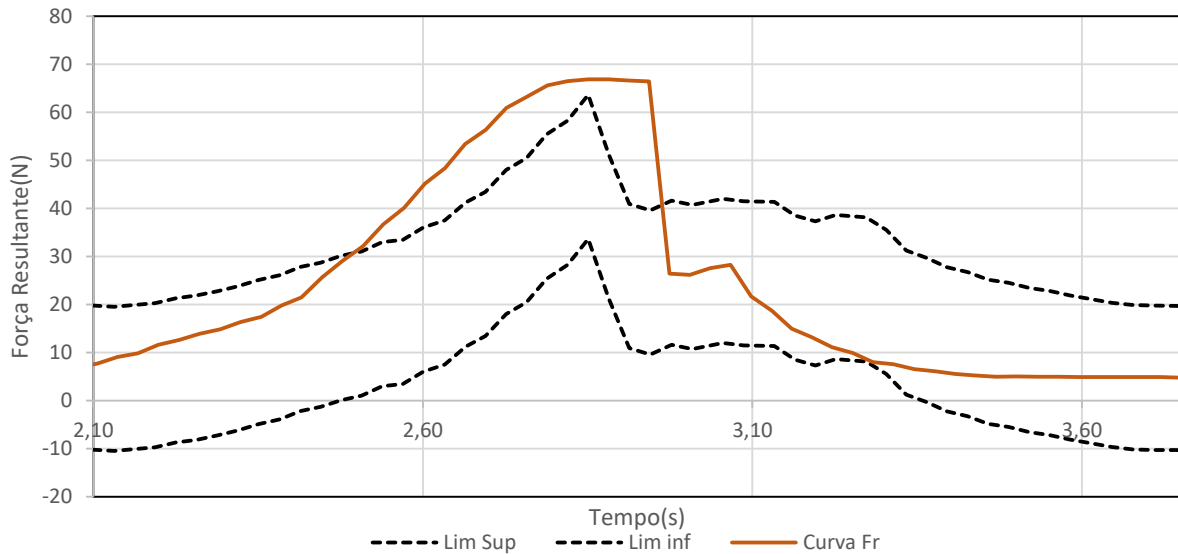
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,7399 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 15,64 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 1,48 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normal. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



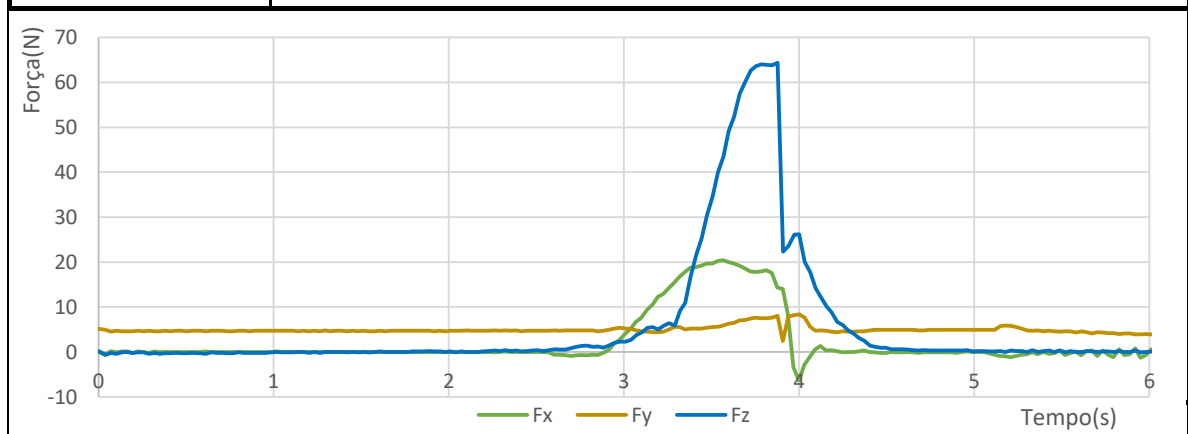
Rotina Simples 09



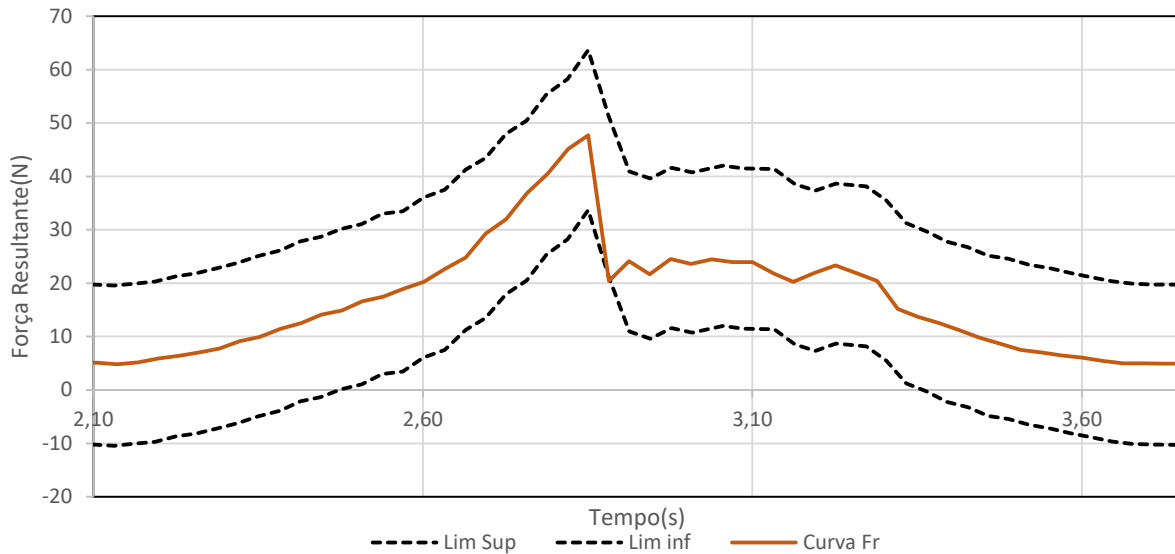
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,9323 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 41,85 N | Tempo: 2,94521 s |
| Desvio médio verificado: | 11,17 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Houve um pequeno empancamento mas o clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



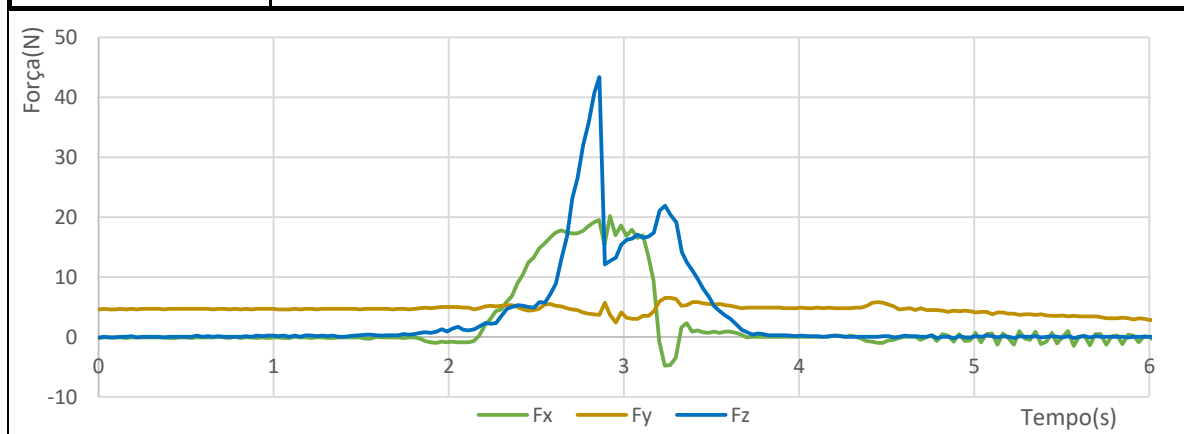
Rotina Simples 10



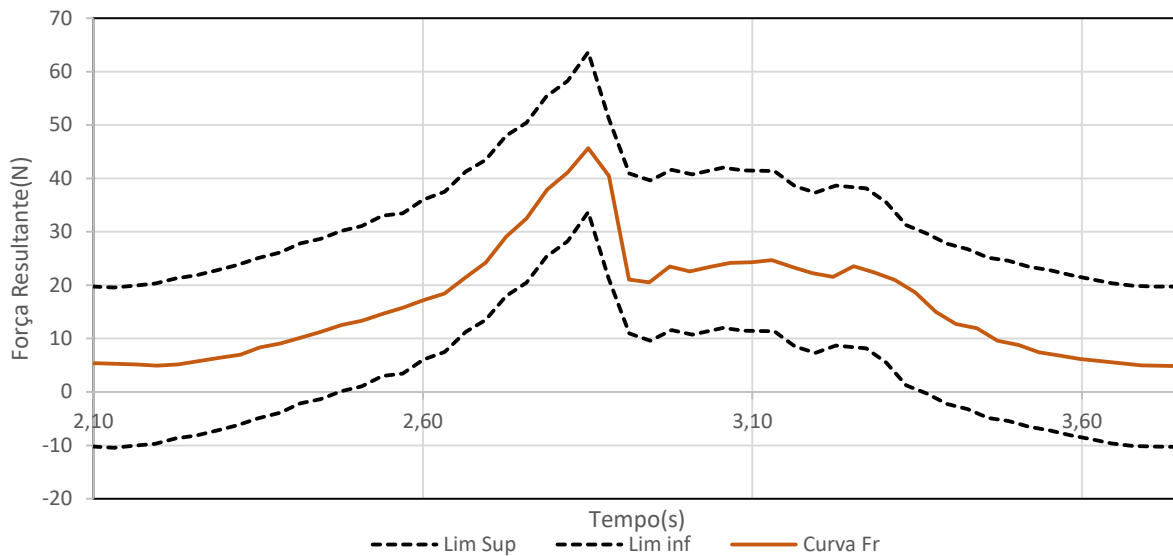
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,0075 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 15,90 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 1,30 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



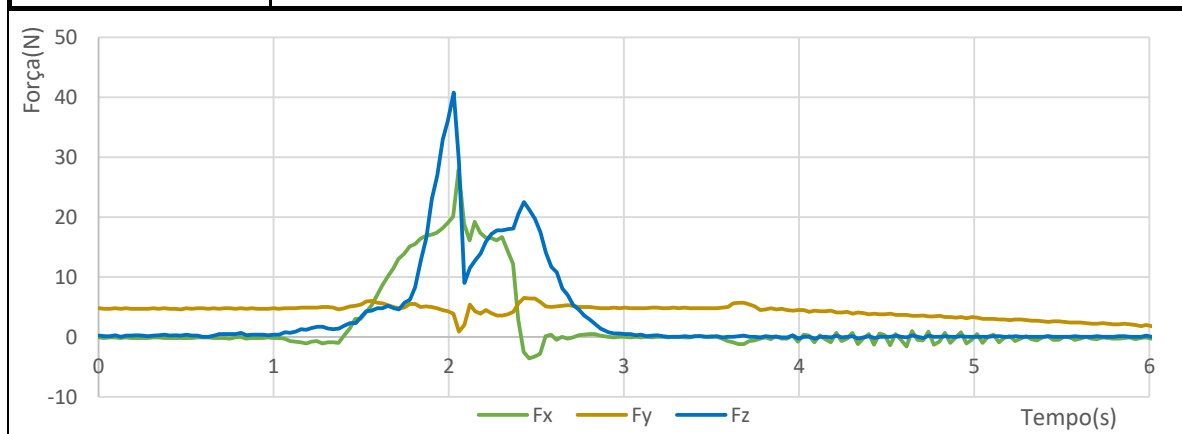
Rotina Simples 11



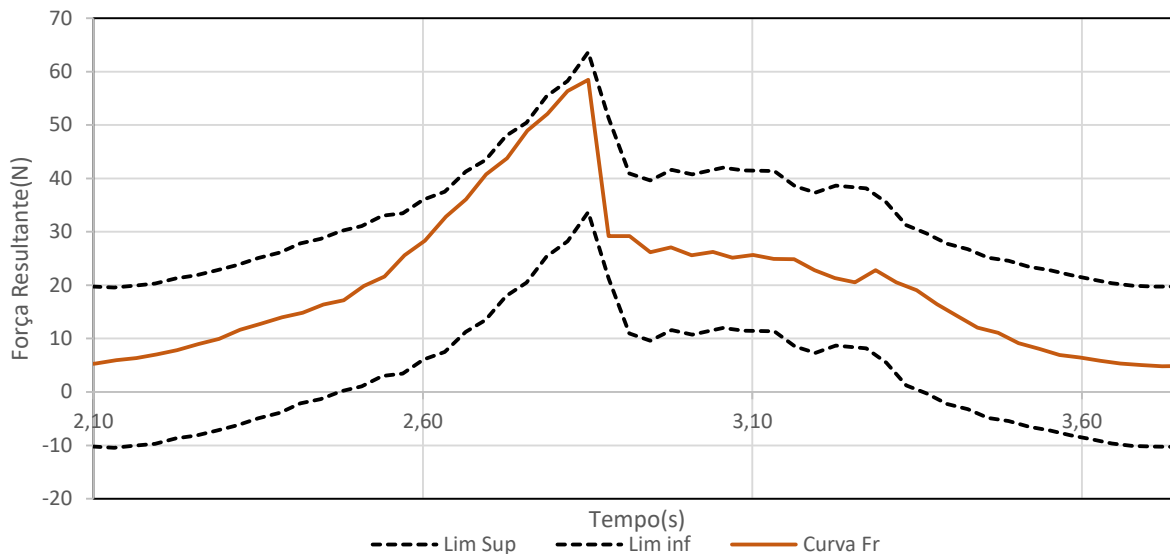
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | -0,8256 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 6,24 N | Tempo: 3,36427 s |
| Desvio médio verificado: | 2,49 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



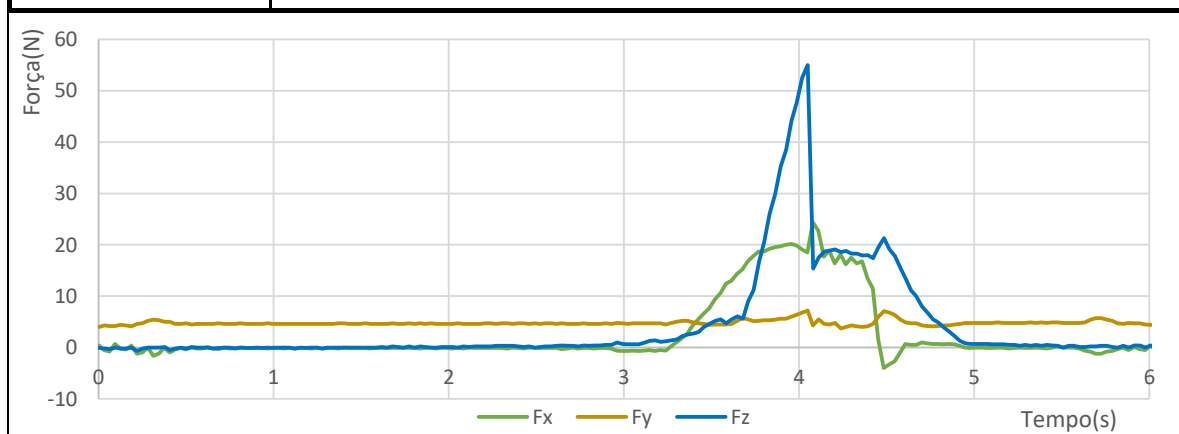
Rotina Simples 12



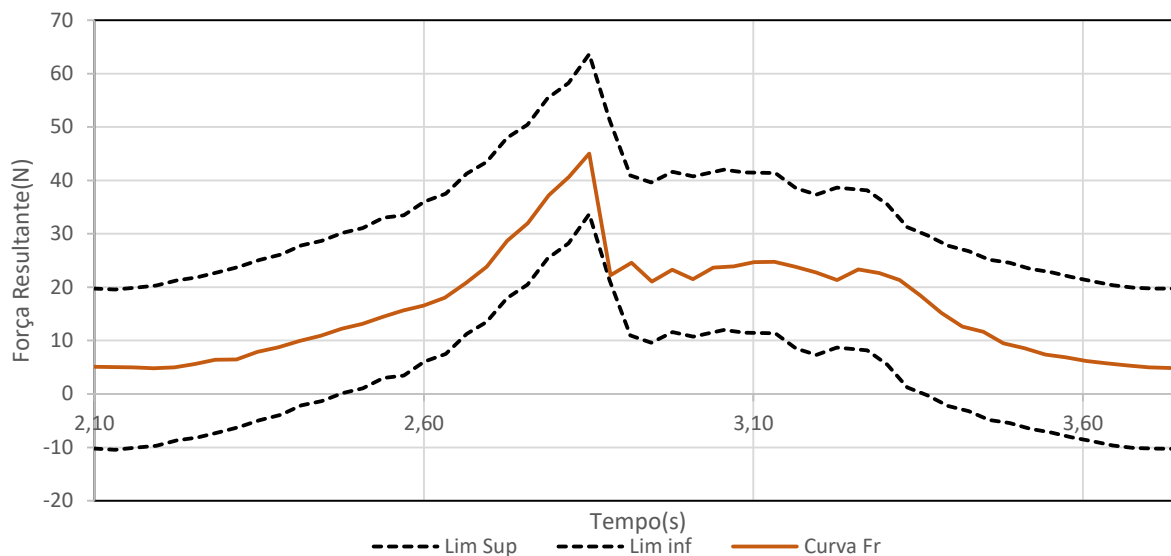
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,1967 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 13,50 N | Tempo: 2,75705 s |
| Desvio médio verificado: | 3,87 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



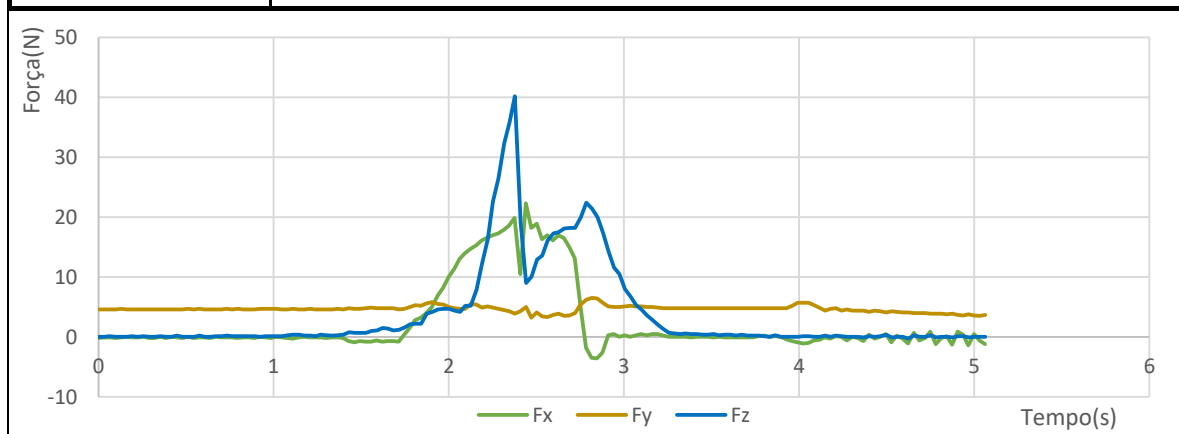
Rotina Simples 13



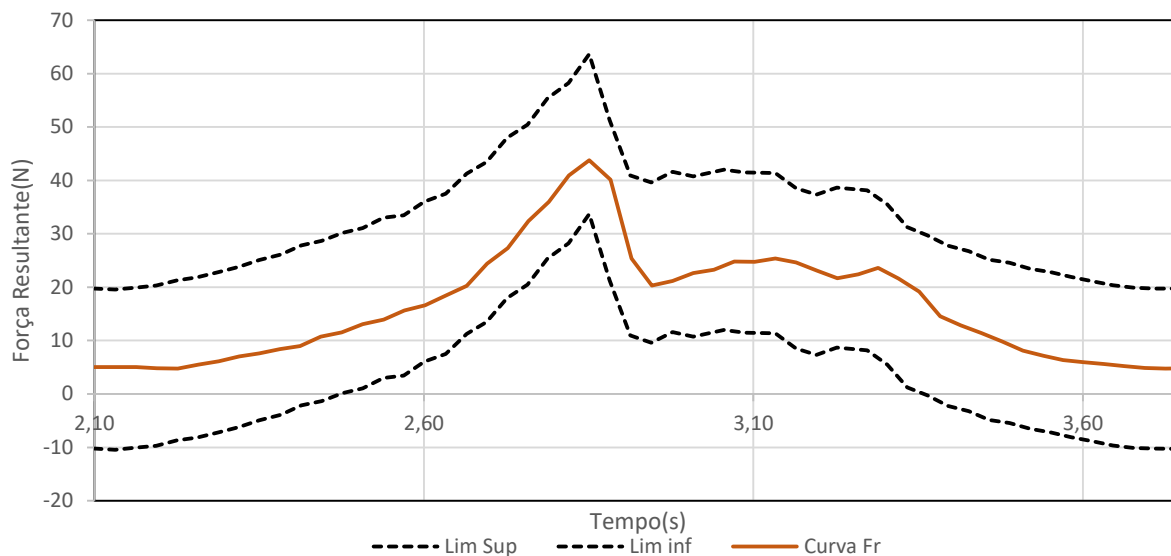
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | -0,4755 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 14,08 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 2,76 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



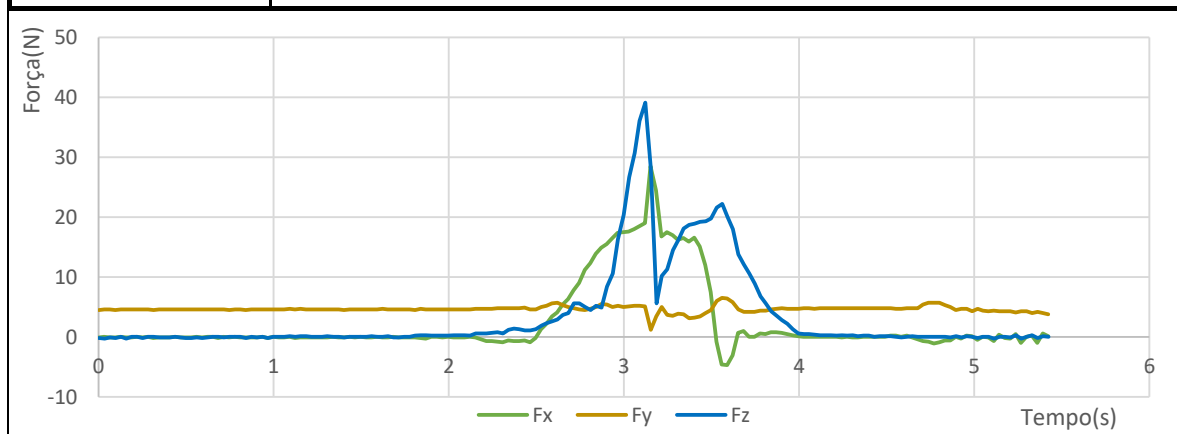
Rotina Simples 14



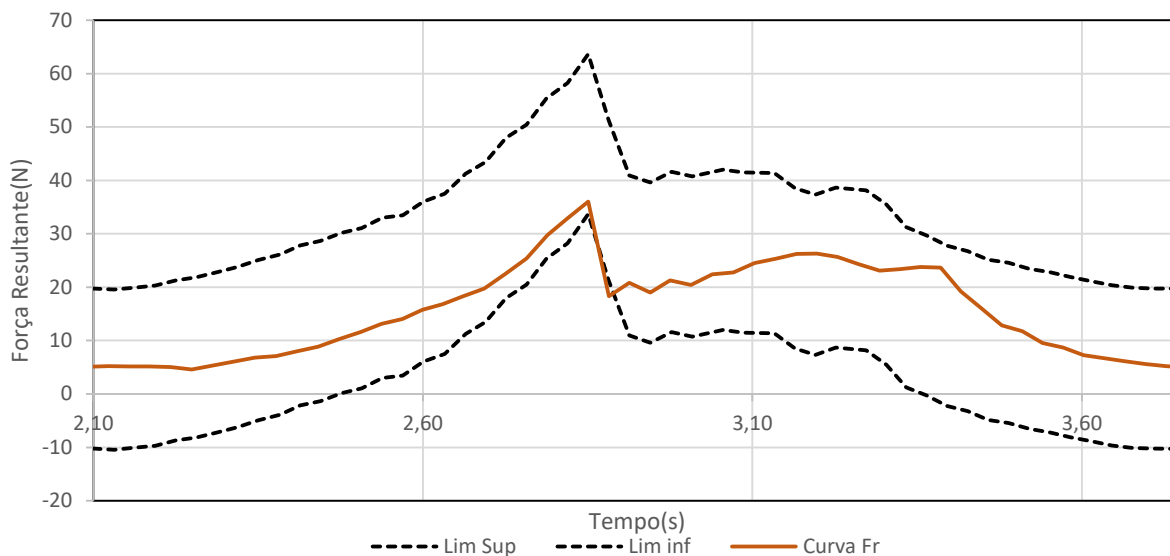
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,2687 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 7,35 N | Tempo: 3,33371 s |
| Desvio médio verificado: | 2,67 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



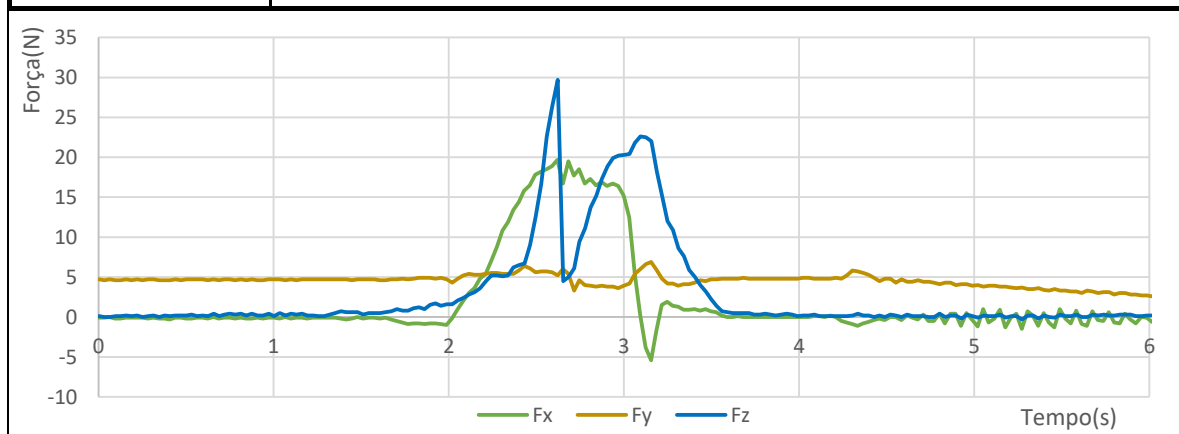
Rotina Simples 15



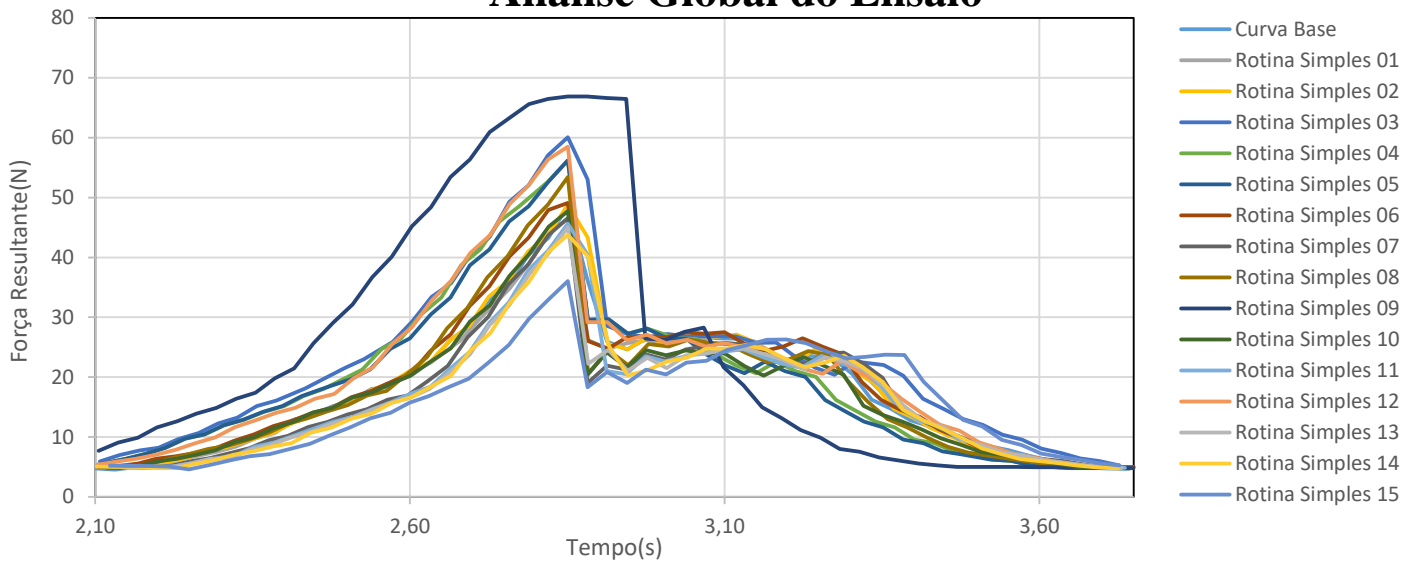
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 48,67 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | -0,2310 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 17,99 N | Tempo: 2,88204 s |
| Desvio médio verificado: | 5,19 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |

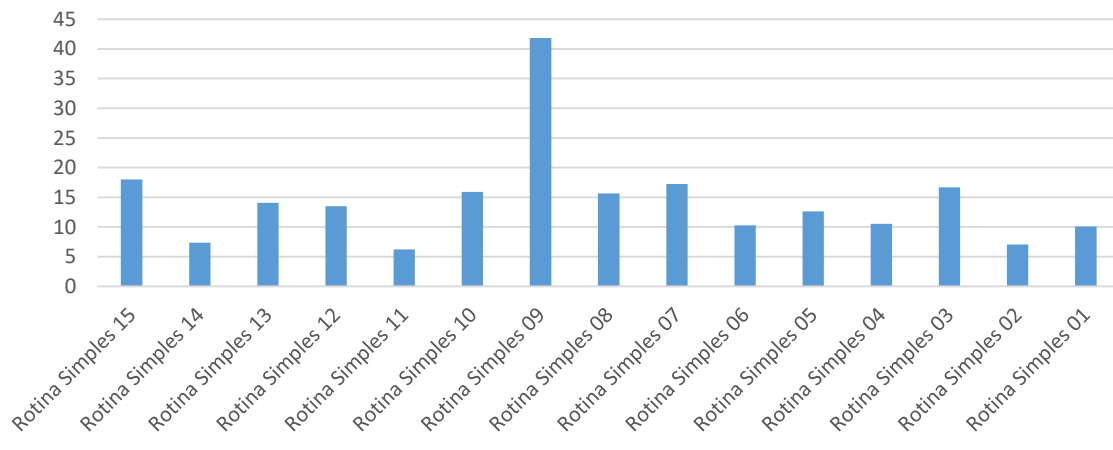


Análise Global do Ensaio



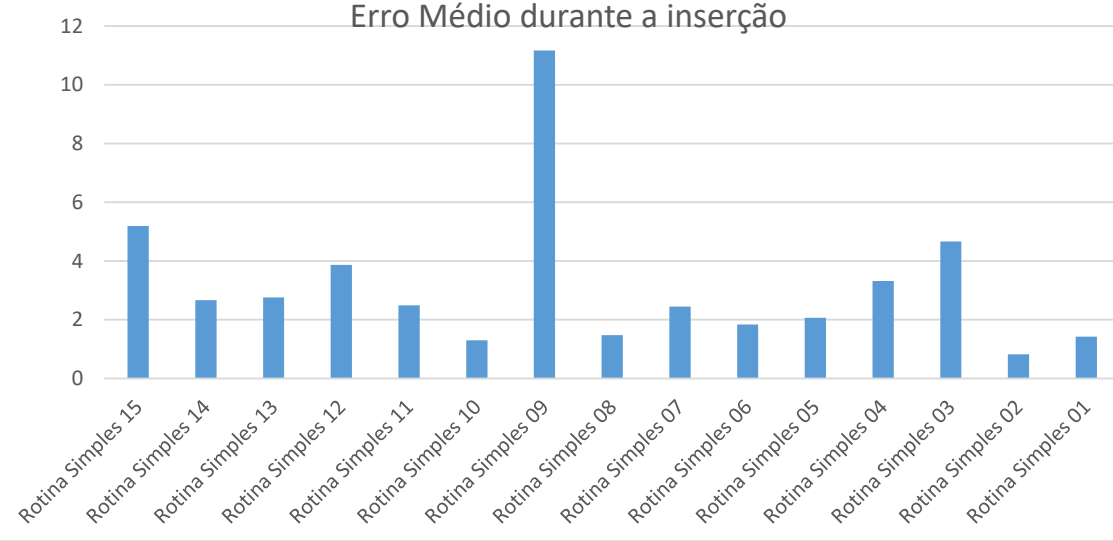
Objetivo: Verificar a repetibilidade dos ensaios.
Identificar futuros problemas no trabalho.

Desvio máximo em relação à curva base

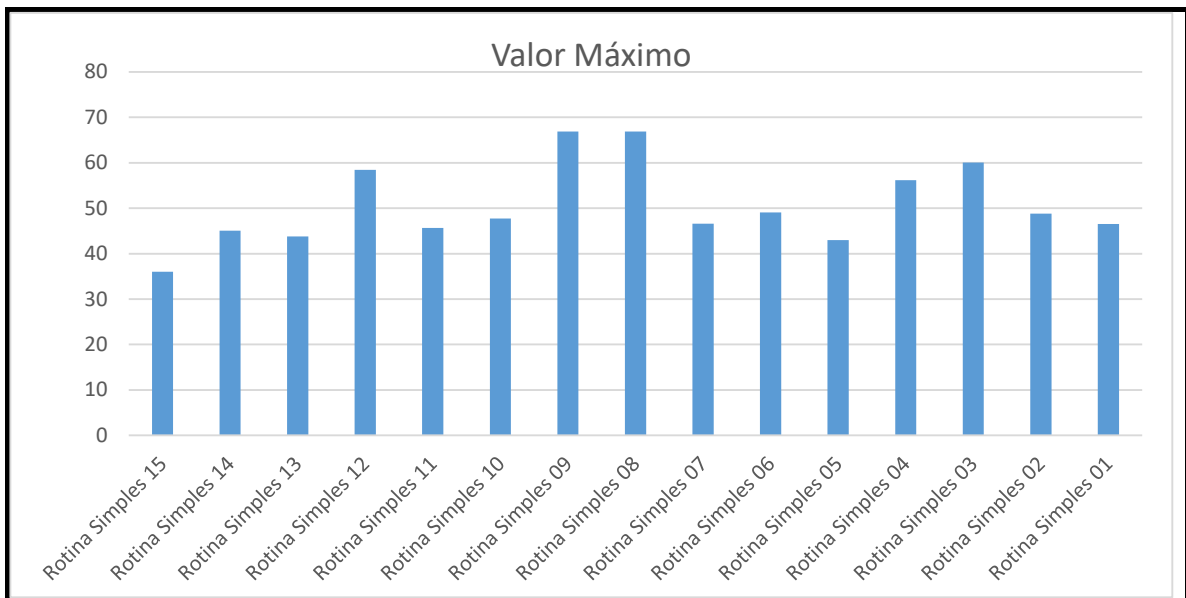


O ensaio 9 claramente destaca-se. Todos os restantes desviaram-se menos de 20 newton da curva base.

Erro Médio durante a inserção



O ensaio 9 claramente destaca-se. Todos os restantes desviaram-se menos de 6 Newton em média.

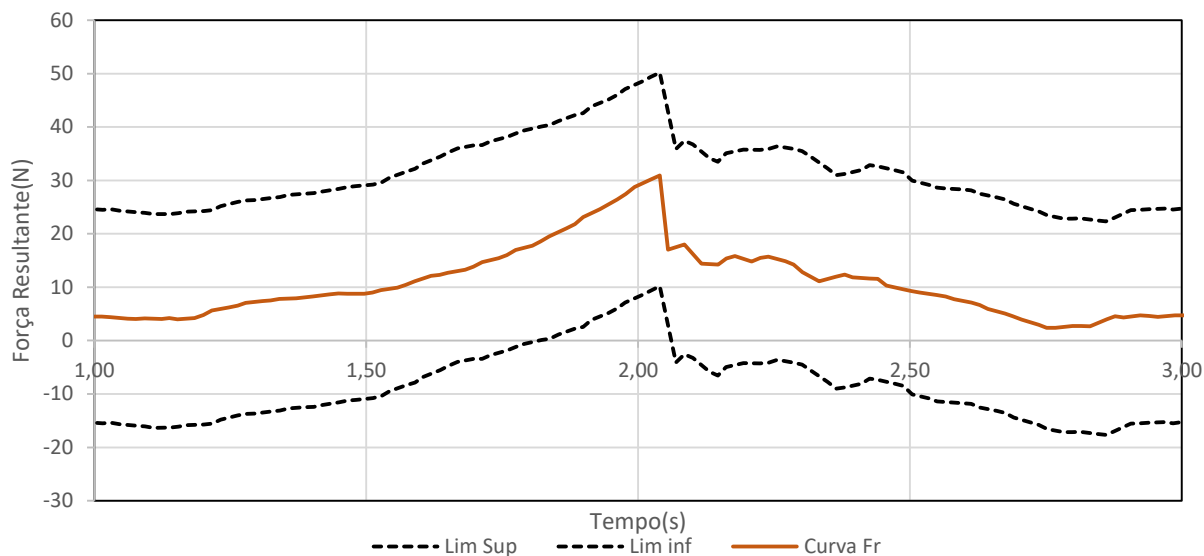


A maior resistência sentida na inserção sempre correspondente à entrada ficou-se entre os 30 e os 60 newton. Não demonstra nenhuma tendencia especifica ao longo dos ensaios pois oscila bastante

| | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotina Simples 15 | Com uma margem de 15 newton 6 dos 15 ensaios seriam rejeitados. |
| Rotina Simples 14 | Mesmo tendo executado o mesmo movimento 15 vezes com o mesmo clip e sem mover a peça observam-se variações na ordem dos 40 |
| Rotina Simples 13 | Newton. |
| Rotina Simples 12 | Observando os gráficos conclui-se que não há nenhuma tendenência |
| Rotina Simples 11 | ascendente ou descendente. A própria natureza da inserção parece ser |
| Rotina Simples 10 | uma de variações sendo o ensaio 9 demonstrativo. |
| Rotina Simples 09 | |
| Rotina Simples 08 | |
| Rotina Simples 07 | Quanto à repitabilidade esta por enquanto permanece inconclusiva |
| Rotina Simples 06 | mas para já otimista. Uma variação de 20 Newton é uma margem |
| Rotina Simples 05 | aceitável e acredita-se que com encaixes sempre novos uma situação |
| Rotina Simples 04 | que esta variação deverá mesmo diminuir. |
| Rotina Simples 03 | |
| Rotina Simples 02 | |
| Rotina Simples 01 | |

Nos próximos ensaios a margem será de 20 Newton na esperança de se concluir que a variação numa inserção correta não vai além deste valor sendo o ensaio 9 uma verdadeira anomalia.

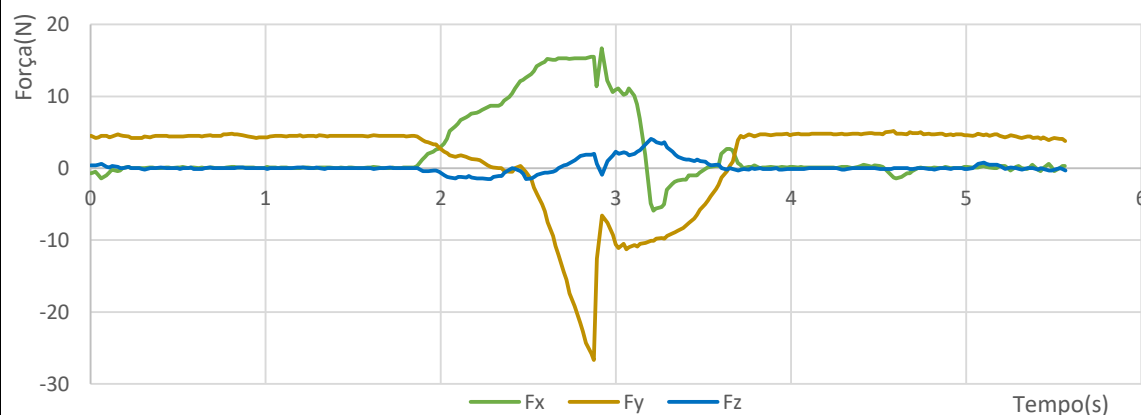
Rotina Lateral 01



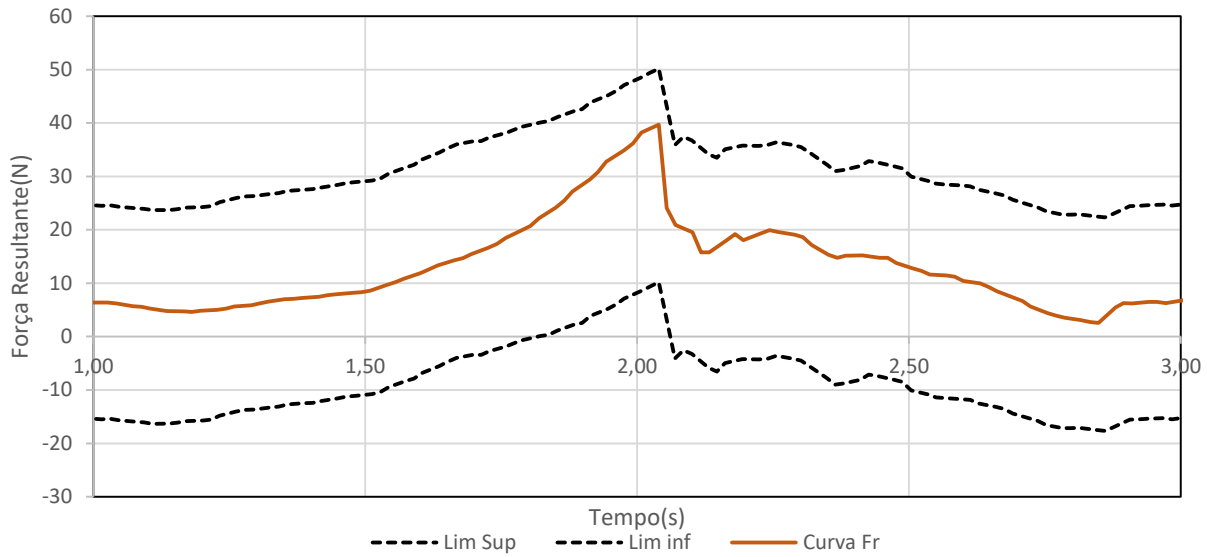
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,8342 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 13,20 N | Tempo: 2,03974 s |
| Desvio médio verificado: | 1,43 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



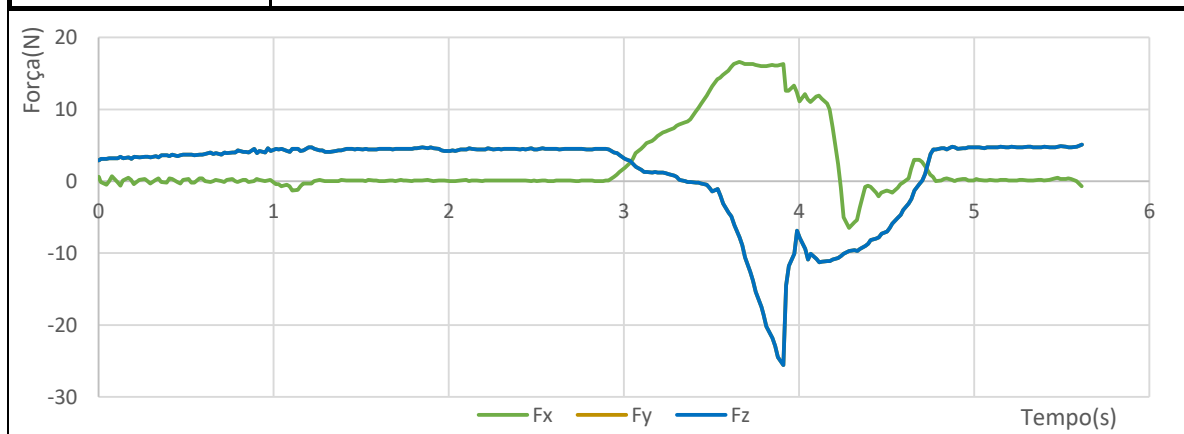
Rotina Lateral 02



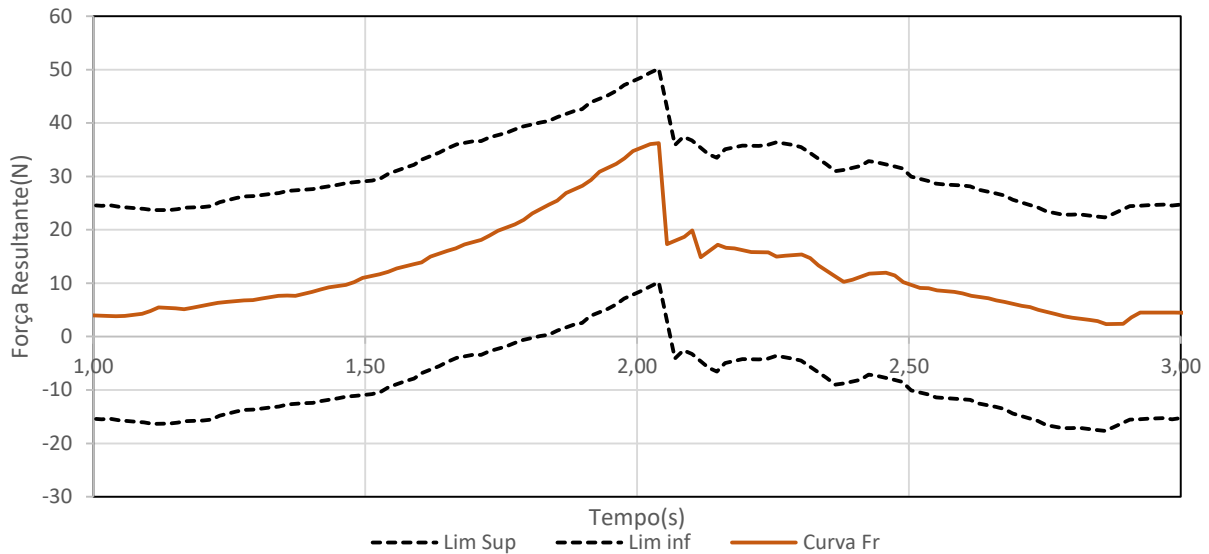
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,8702 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 10,35 N | Tempo: 2,023 s |
| Desvio médio verificado: | 2,19 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



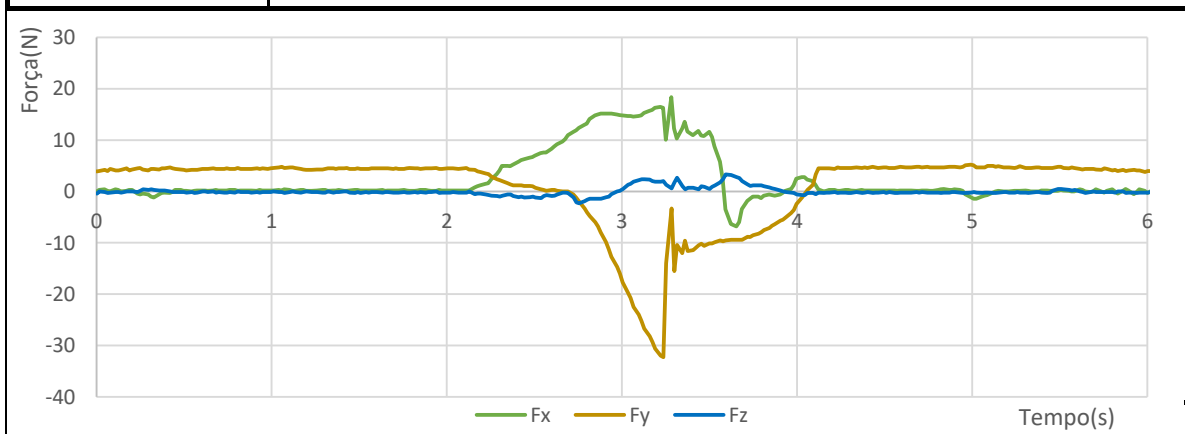
Rotina Lateral 03



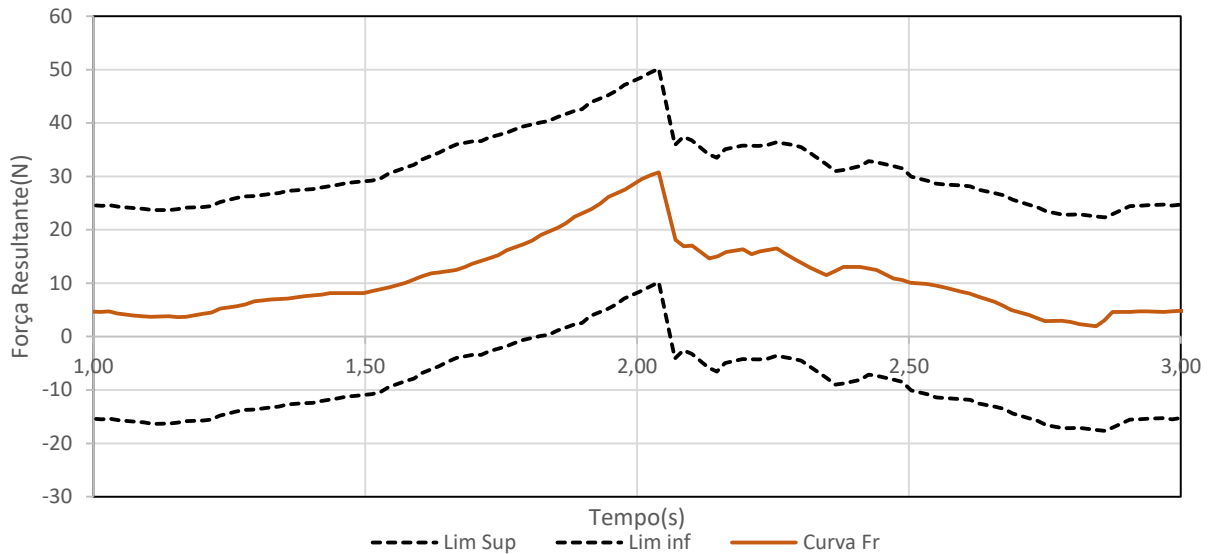
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,1955 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 6,70 N | Tempo: 2,023 s |
| Desvio médio verificado: | 1,50 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



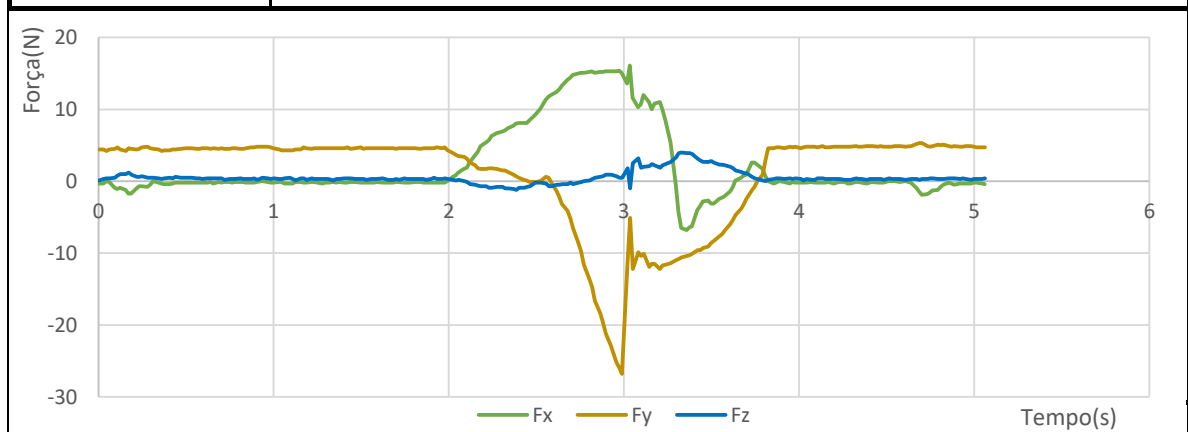
Rotina Lateral 04



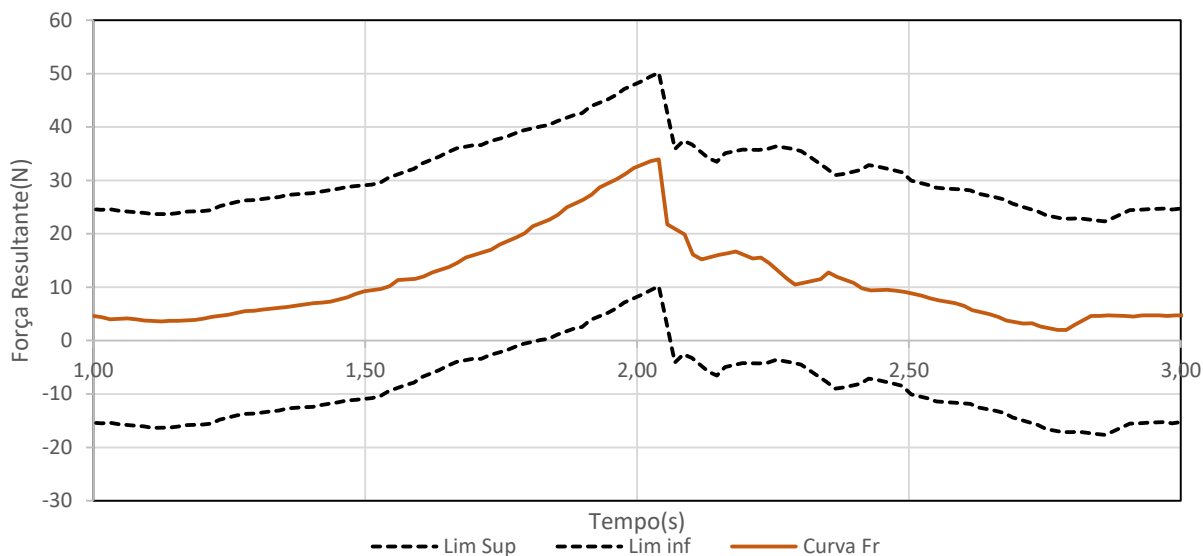
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,9477 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 12,11 N | Tempo: 2,03974 s |
| Desvio médio verificado: | 1,30 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



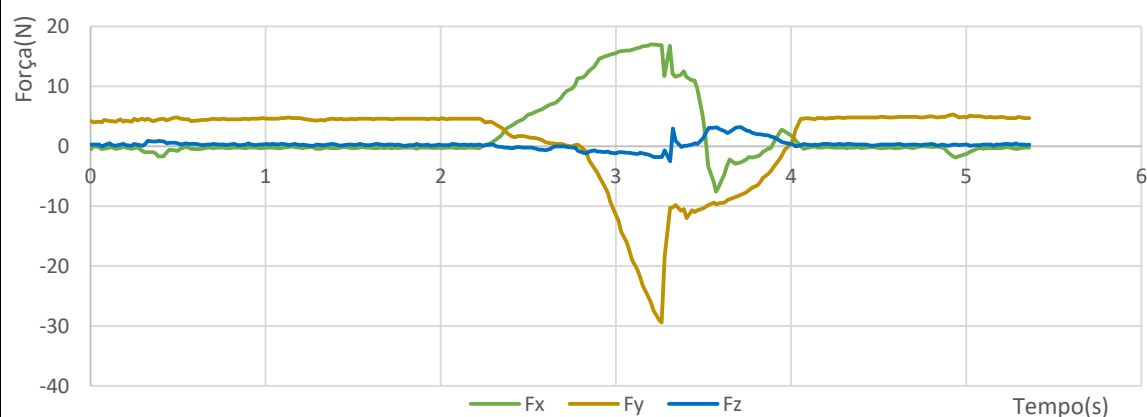
Rotina Lateral 05



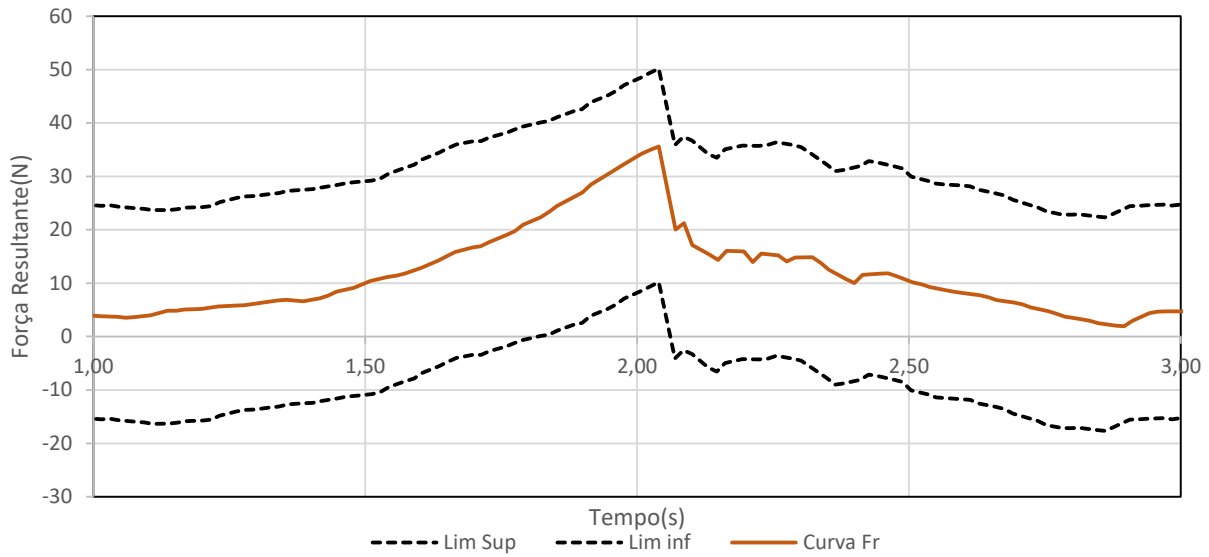
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,2206 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 5,86 N | Tempo: 2,06943 s |
| Desvio médio verificado: | 1,55 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



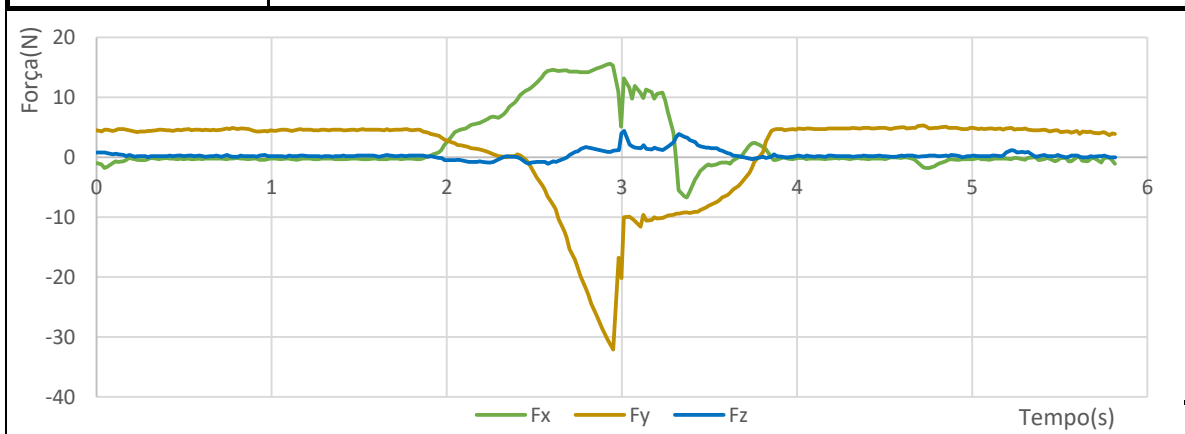
Rotina Lateral 06



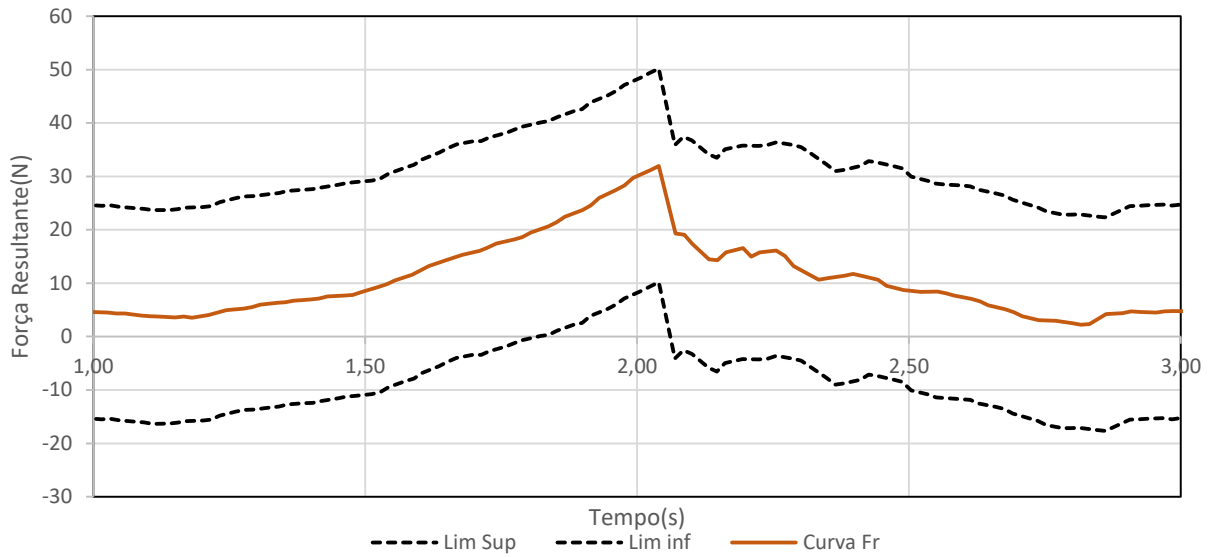
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,9091 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 9,29 N | Tempo: 2,023 s |
| Desvio médio verificado: | 1,77 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



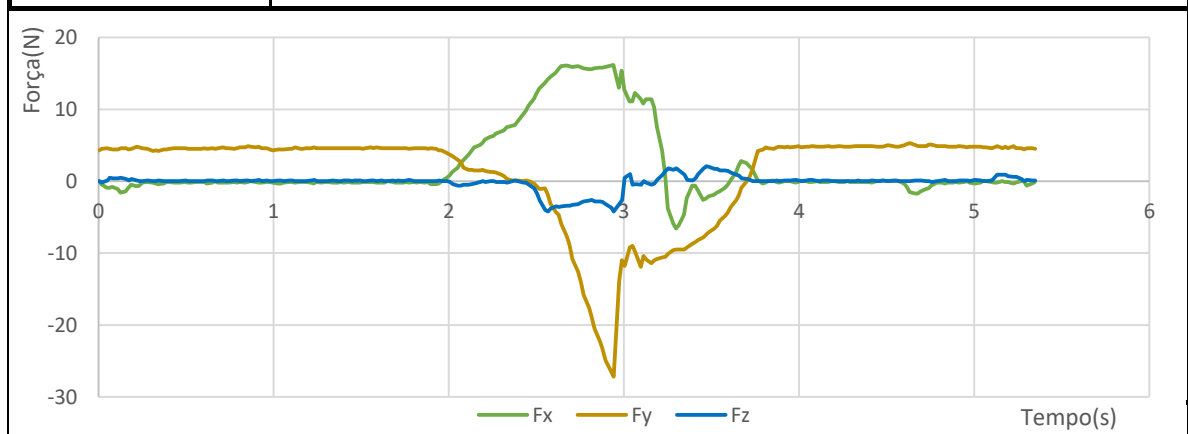
Rotina Lateral 07



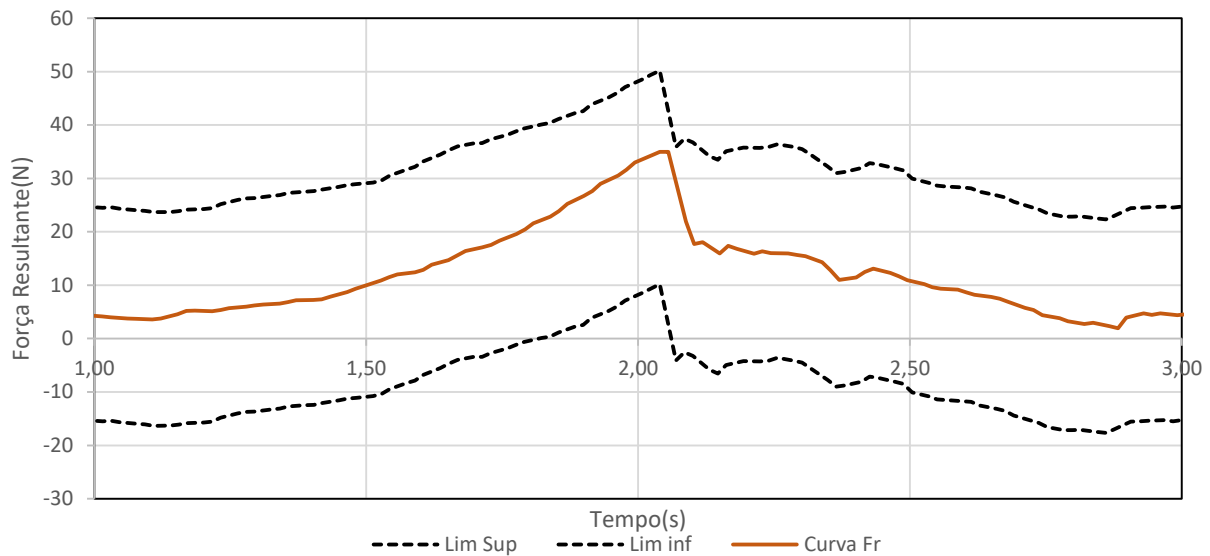
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,9001 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 4,52 N | Tempo: 2,98394 s |
| Desvio médio verificado: | 1,10 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



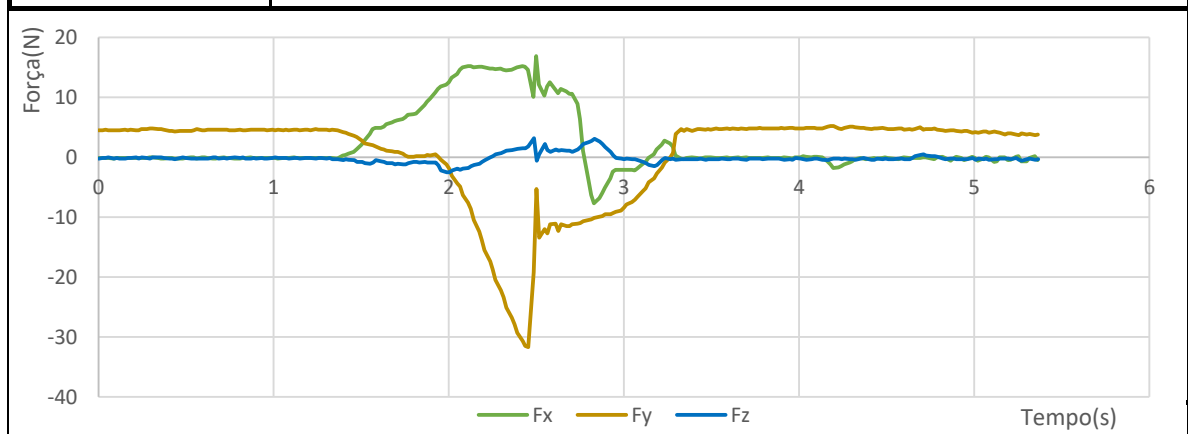
Rotina Lateral 08



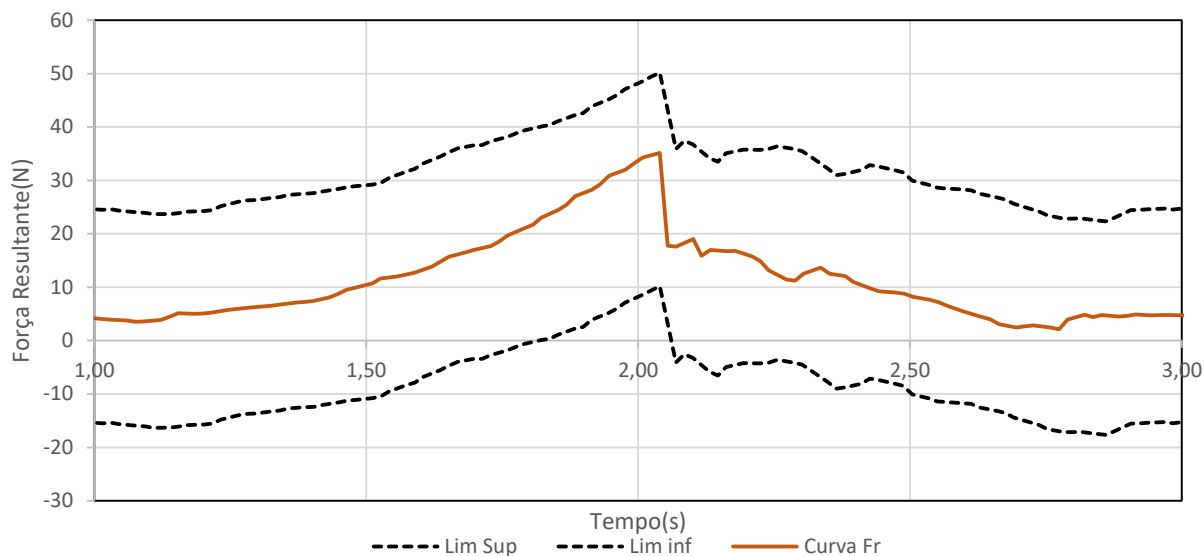
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,3957 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 19,07 N | Tempo: 2,06943 s |
| Desvio médio verificado: | 1,18 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



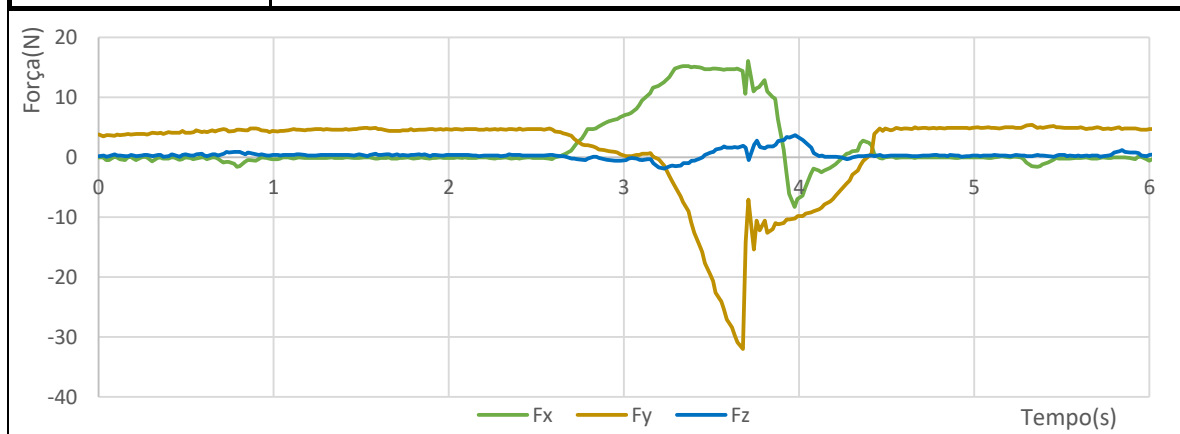
Rotina Lateral 09



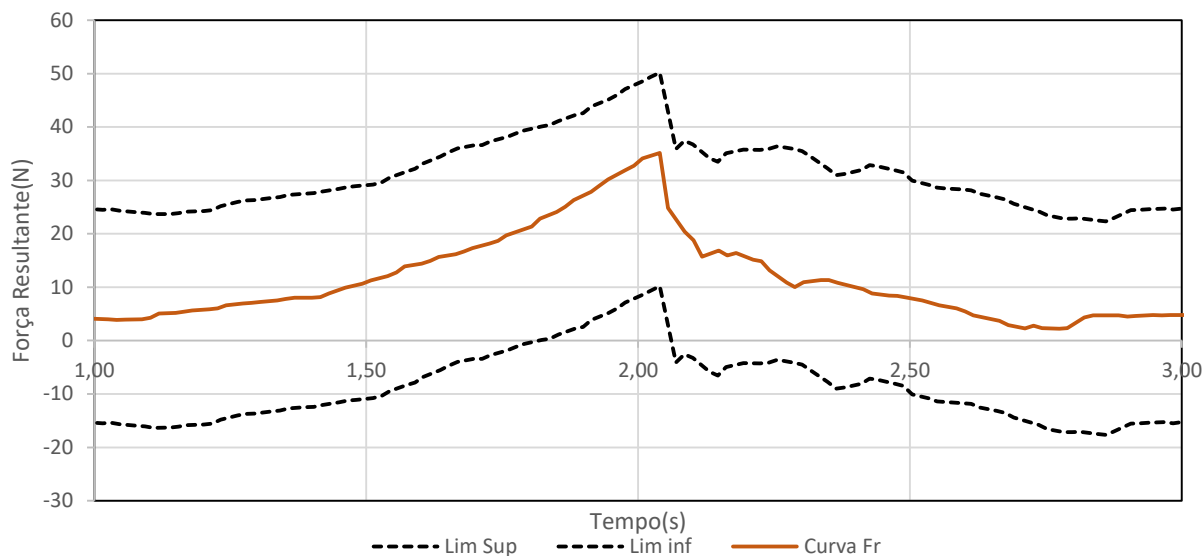
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,6390 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 12,60 N | Tempo: 2,03974 s |
| Desvio médio verificado: | 2,57 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



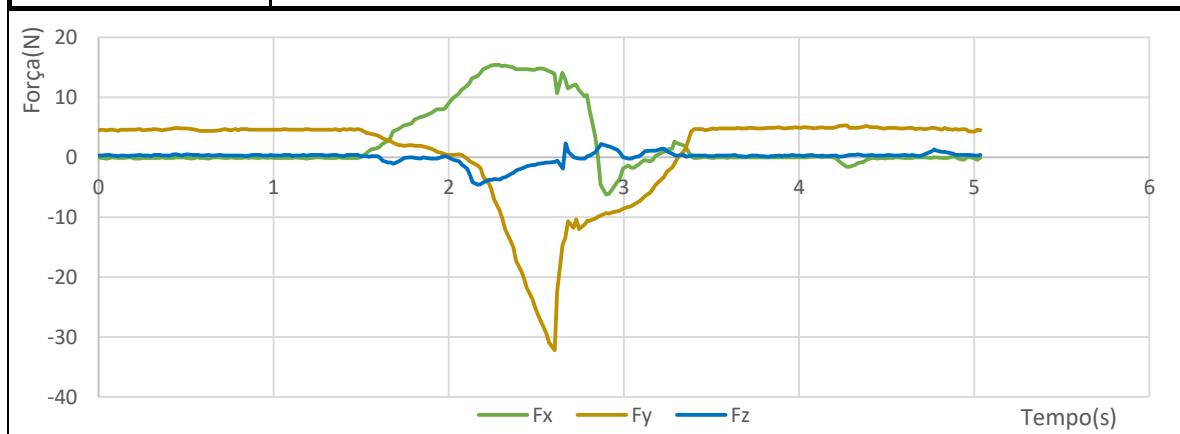
Rotina Lateral 10



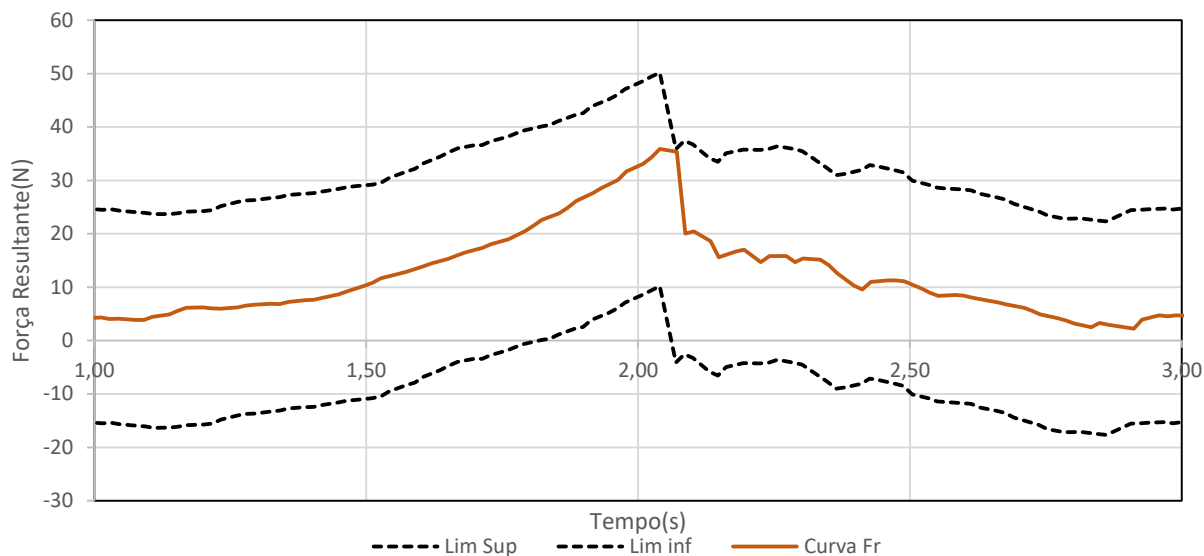
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,5626 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_Lateral | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 6,40 N | Tempo: 2,25624 s |
| Desvio médio verificado: | 2,34 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



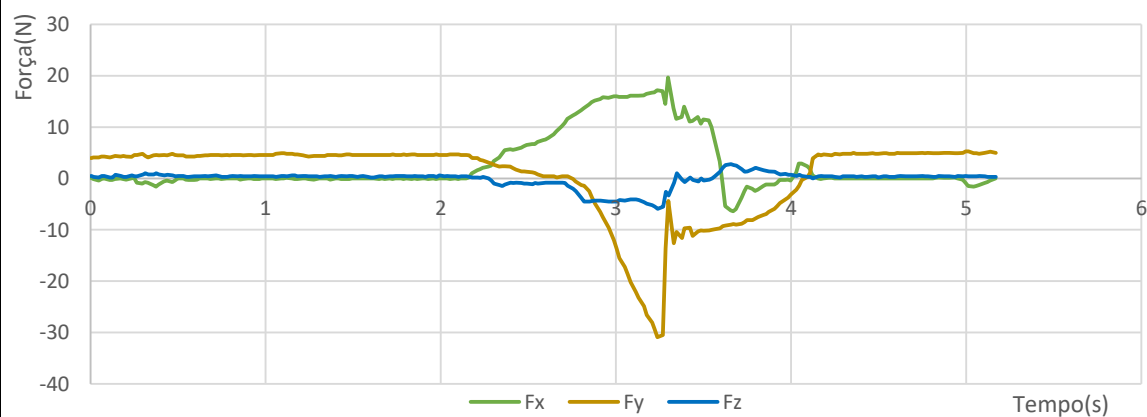
Rotina Lateral 11



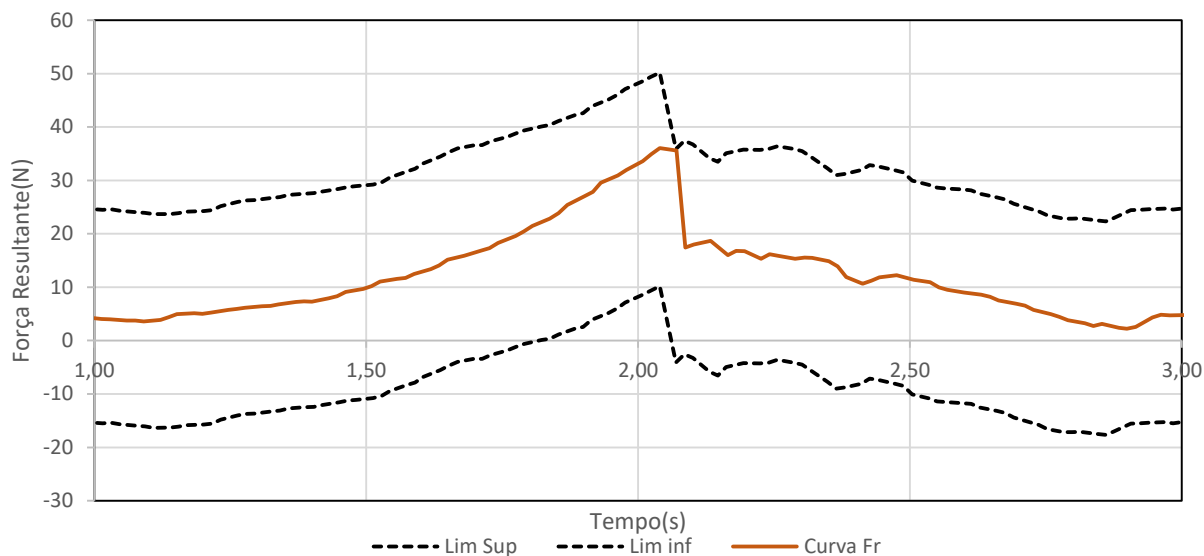
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +1,1956 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 19,47 N | Tempo: 2,06943 s |
| Desvio médio verificado: | 1,38 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



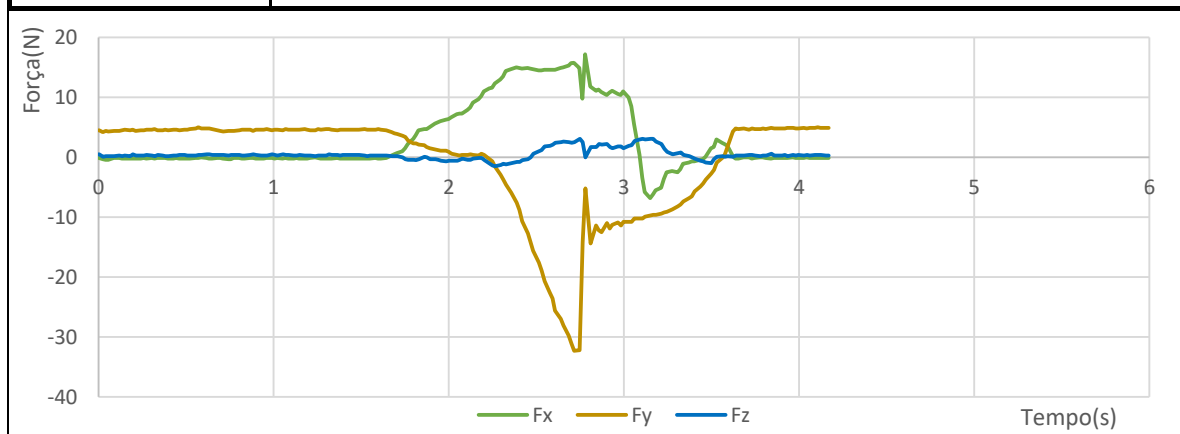
Rotina Lateral 12



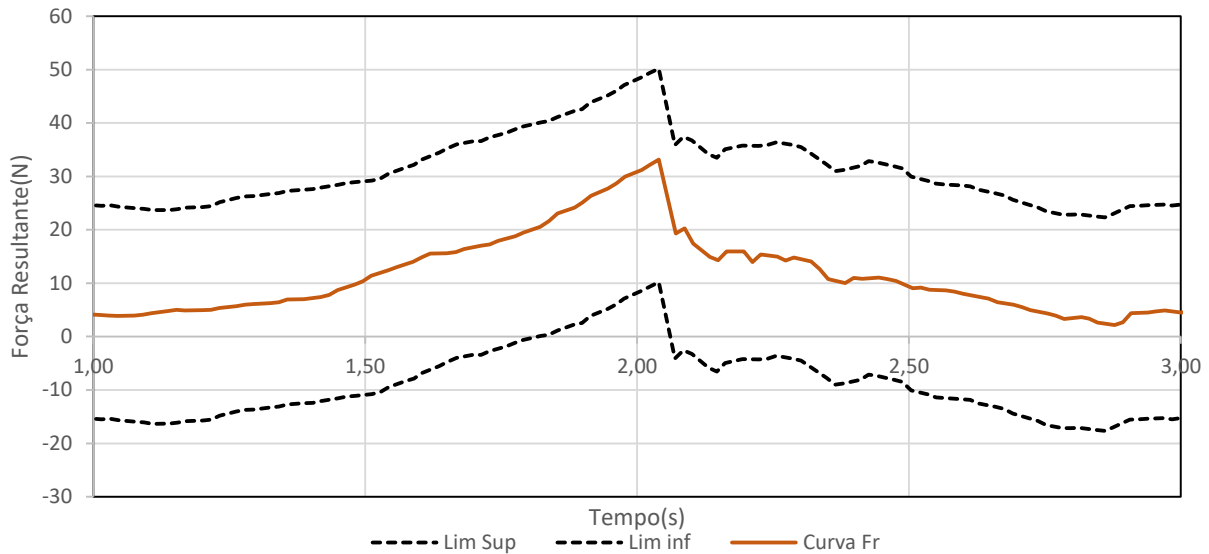
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,6751 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 19,74 N | Tempo: 2,06943 s |
| Desvio médio verificado: | 1,25 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



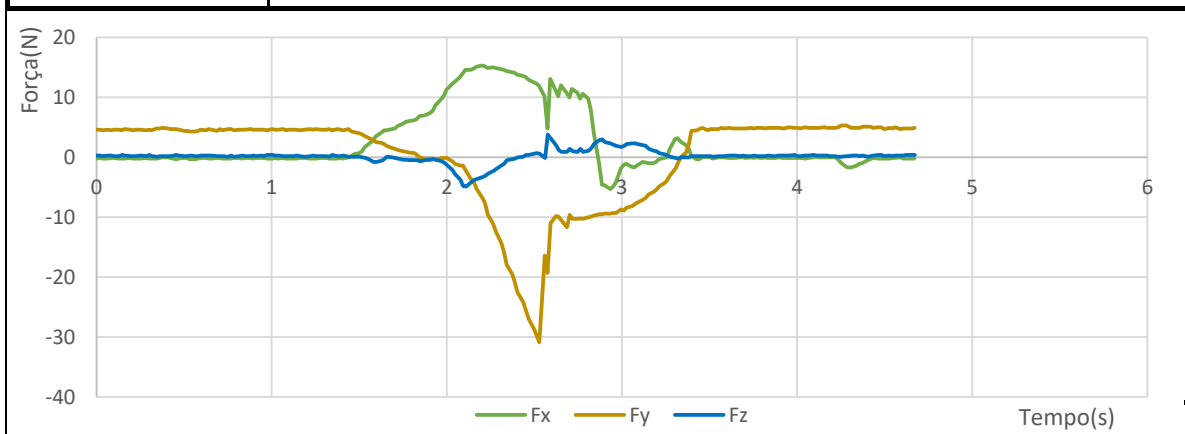
Rotina Lateral 13



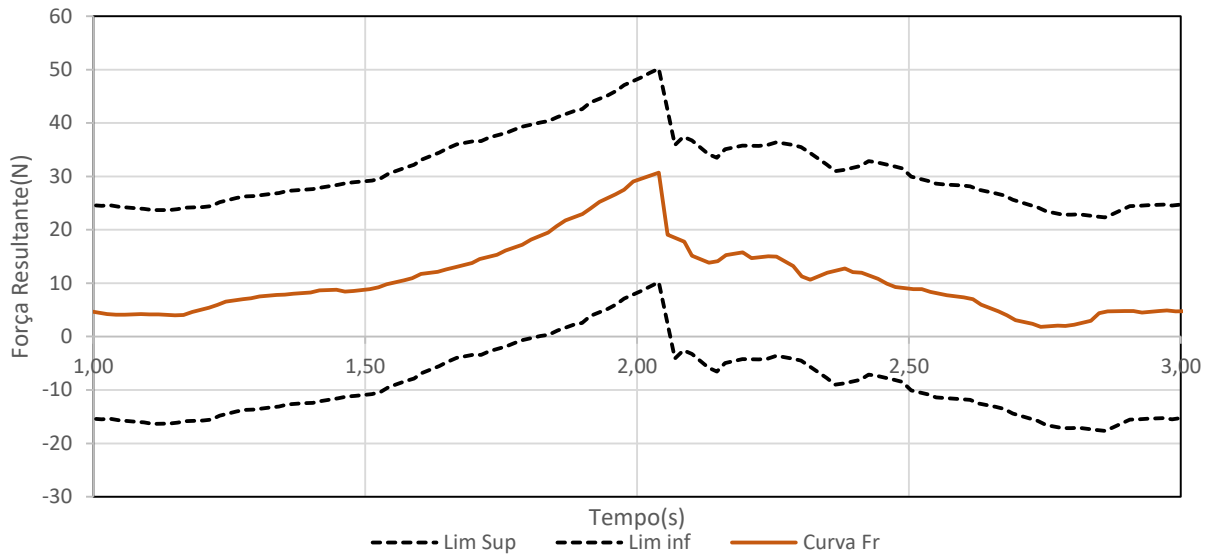
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,4873 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 4,52 N | Tempo: 2,98394 s |
| Desvio médio verificado: | 1,00 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



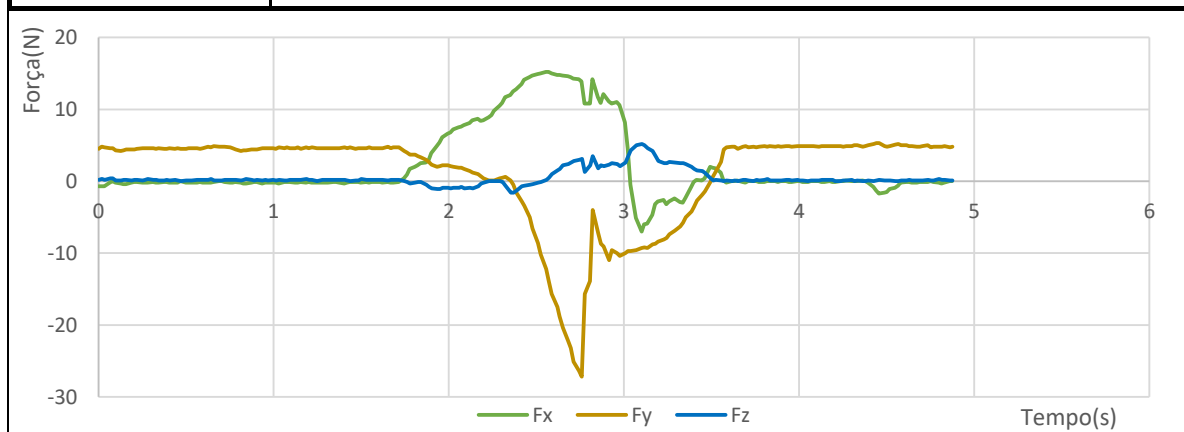
Rotina Lateral 14



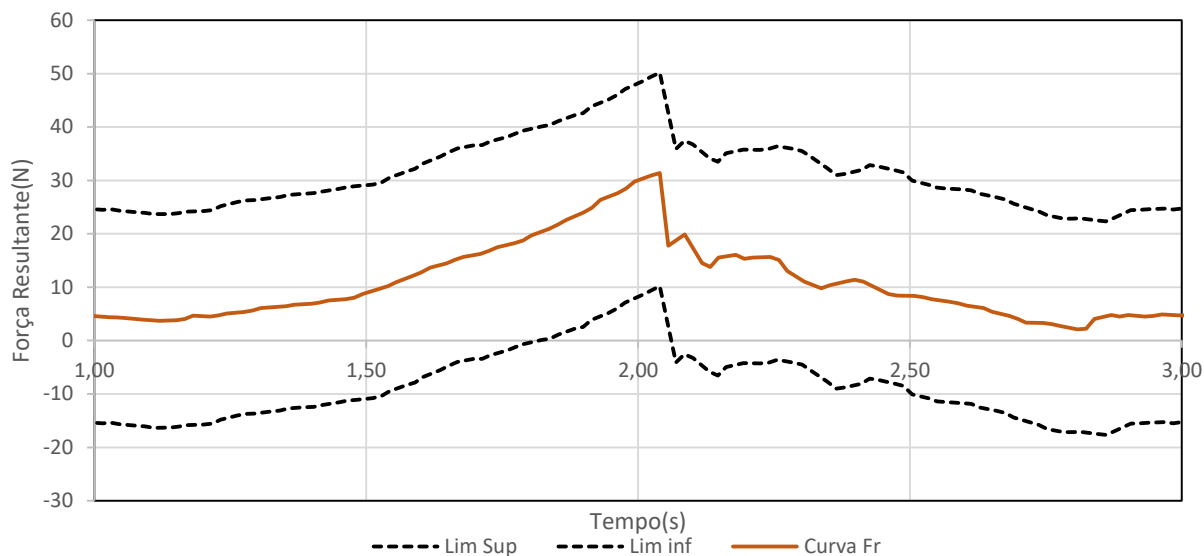
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,7186 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 5,24 N | Tempo: 2,28707 s |
| Desvio médio verificado: | 1,67 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



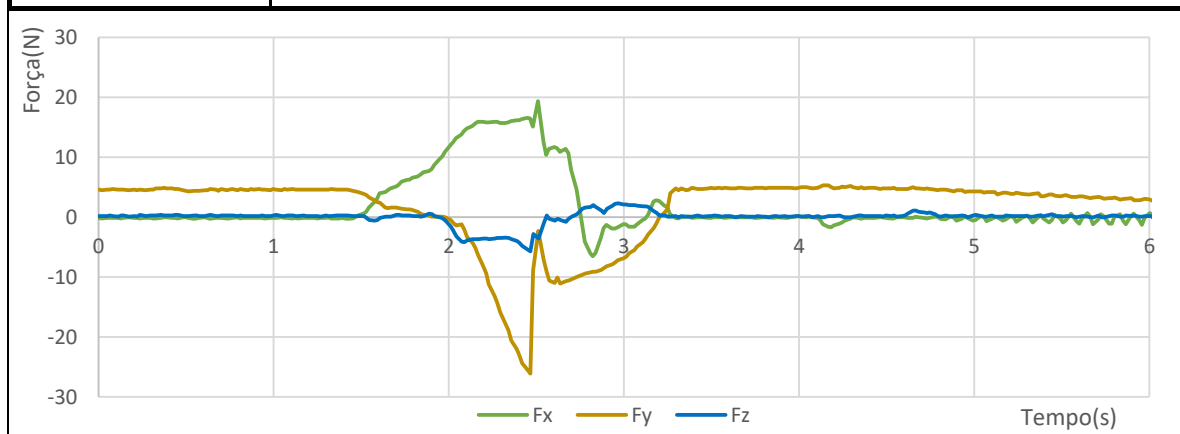
Rotina Lateral 15



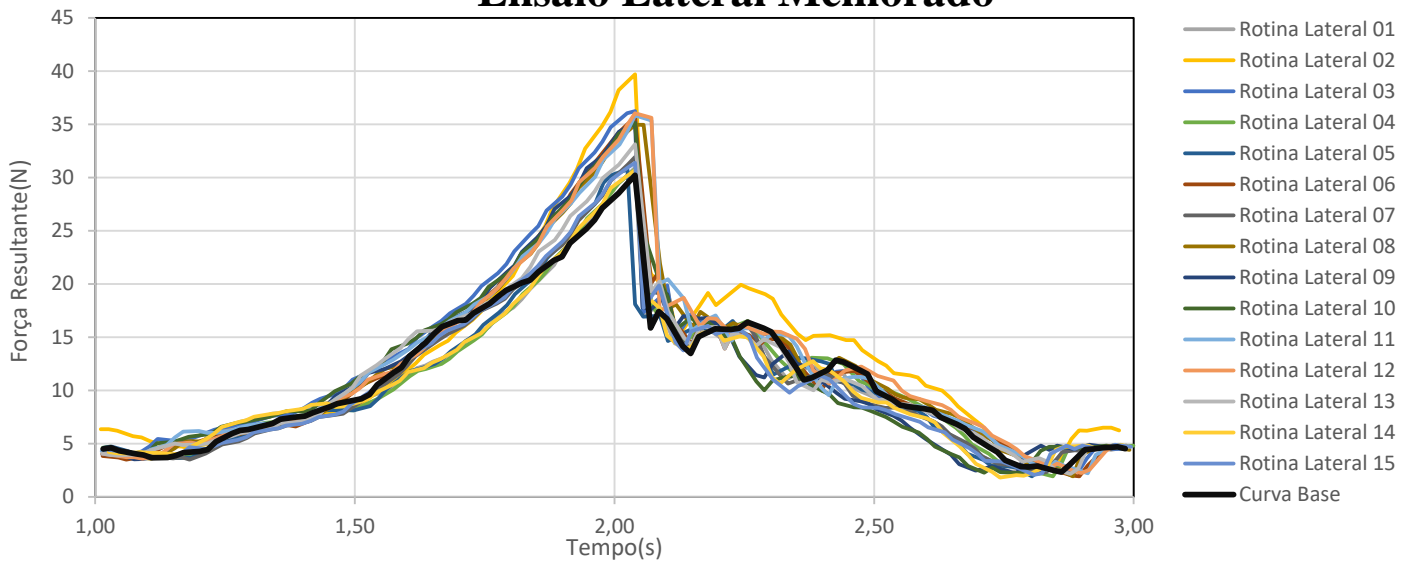
| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 30,20 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | +0,4237 s |
| Componente Dominante: | Força em Y |

| | | |
|-------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_simples | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 45,03 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 20,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 5,73 N | Tempo: 2,30198 s |
| Desvio médio verificado: | 1,37 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Y | |

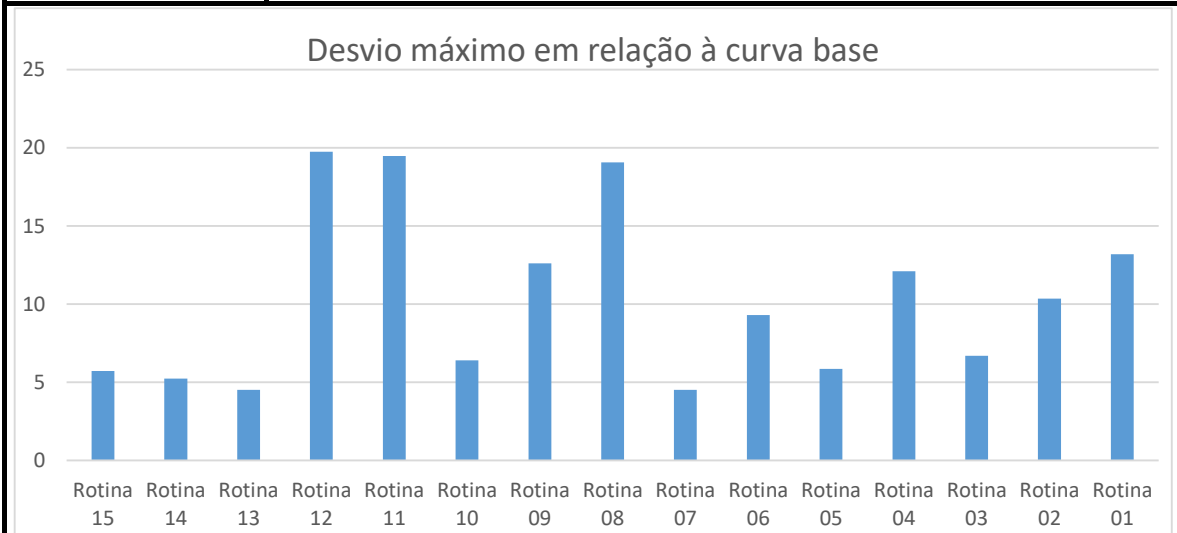
| | |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso repetido do mesmo encaixe afeta muito os resultados. Quão repetível é realmente a resposta à inserção de um clip? |
| Observações/Notas | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível. Começa-se a rotina com o controlador da máquina e grava-se apenas o momento de inserção com o software Modbus Poll |



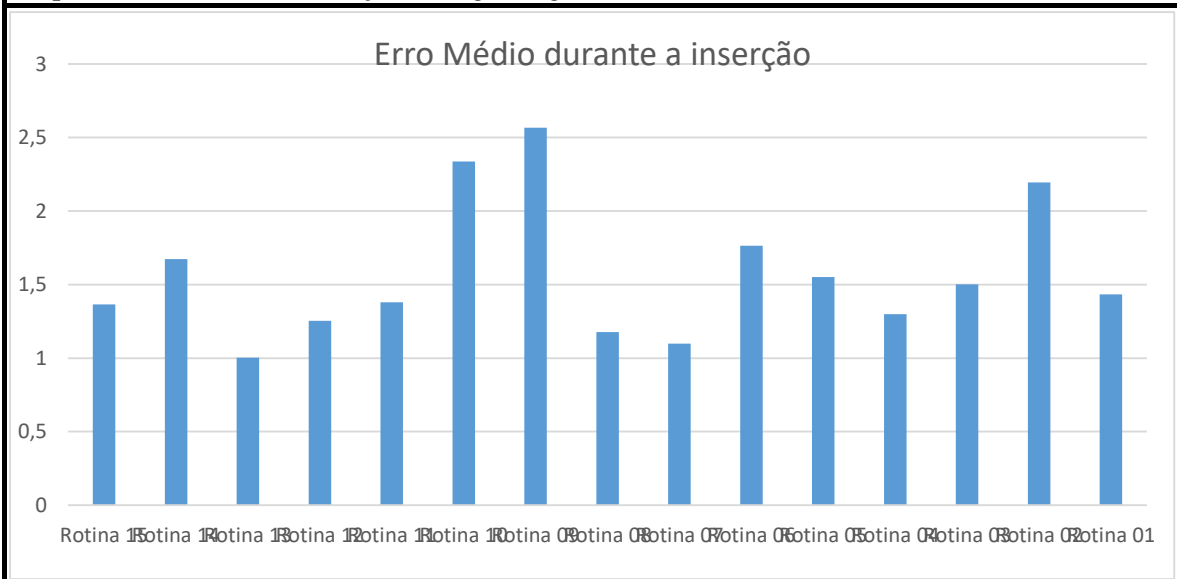
Ensaio Lateral Melhorado



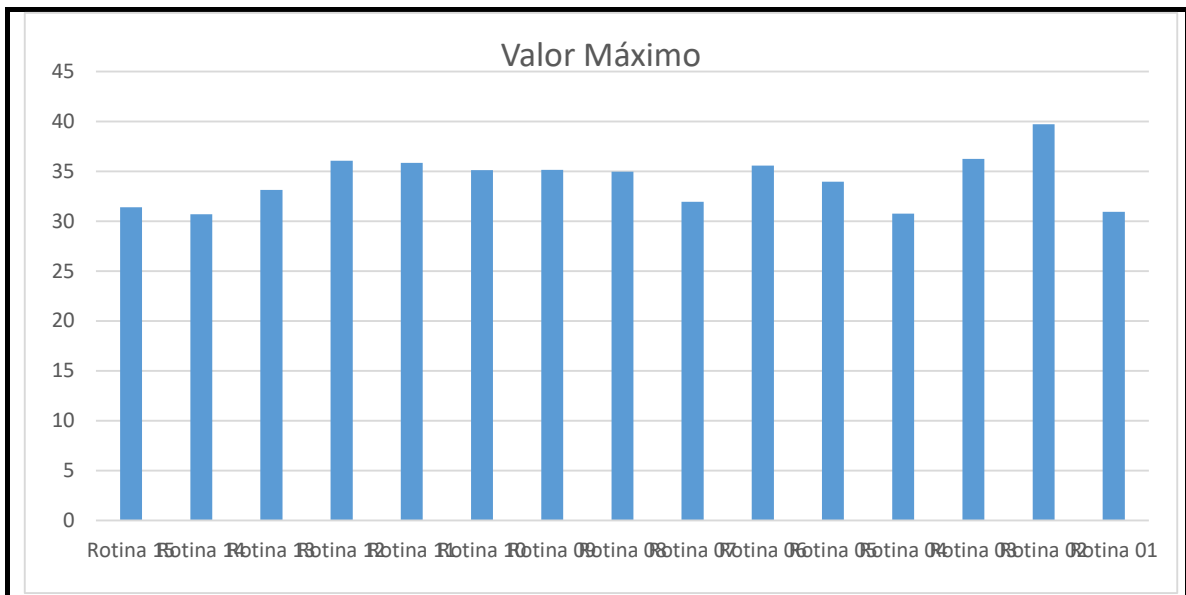
Objetivo: Verificar a repetibilidade dos ensaios.
Identificar futuros problemas no trabalho.



Desvio máximo com margem de 20 permite que todos estes sejam aceites. Tal como na rotina simples não se verifica evolução ou algo do género.



Um erro médio muito mais baixo do que no da rotina simples implica que a linha de entrada é melhor mas pode-se dever ao intervalo de tempo considerado ser maior.



Pico bem coerente sempre entre 30 e 40 para todos os ensaios.

| | |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rotina Lateral 01 | Com uma margem de 20 Newton nenhum dos ensaios foi considerado mal inserido o que corresponde à realidade. |
| Rotina Lateral 02 | |
| Rotina Lateral 03 | |
| Rotina Lateral 04 | A linha de entrada foi alterada para este ensaio e curva não só é diferente como os ensaios foram mais coerentes desta vez. |
| Rotina Lateral 05 | |
| Rotina Lateral 06 | |
| Rotina Lateral 07 | Se a queda da curva fosse um pouca mais acentuada os ensaios 8, 11 e 12 teriam sido rejeitados devido ao pico da inserção se prolongar uns milésimos a mais. No ensaio de rotina simples varios ensaios foram considerados mal inseridos por esta mesma razão. |
| Rotina Lateral 08 | |
| Rotina Lateral 09 | |
| Rotina Lateral 10 | |
| Rotina Lateral 11 | |
| Rotina Lateral 12 | Será interessante explorar extender um pouco o teto nos picos durante uns milésimos para evitar estes falso corretos ou então perceber se estes apenas acontecem por causa do efeito de desgaste. |
| Rotina Lateral 13 | |
| Rotina Lateral 14 | |
| Rotina Lateral 15 | |

uso repetitivo do encaixe.

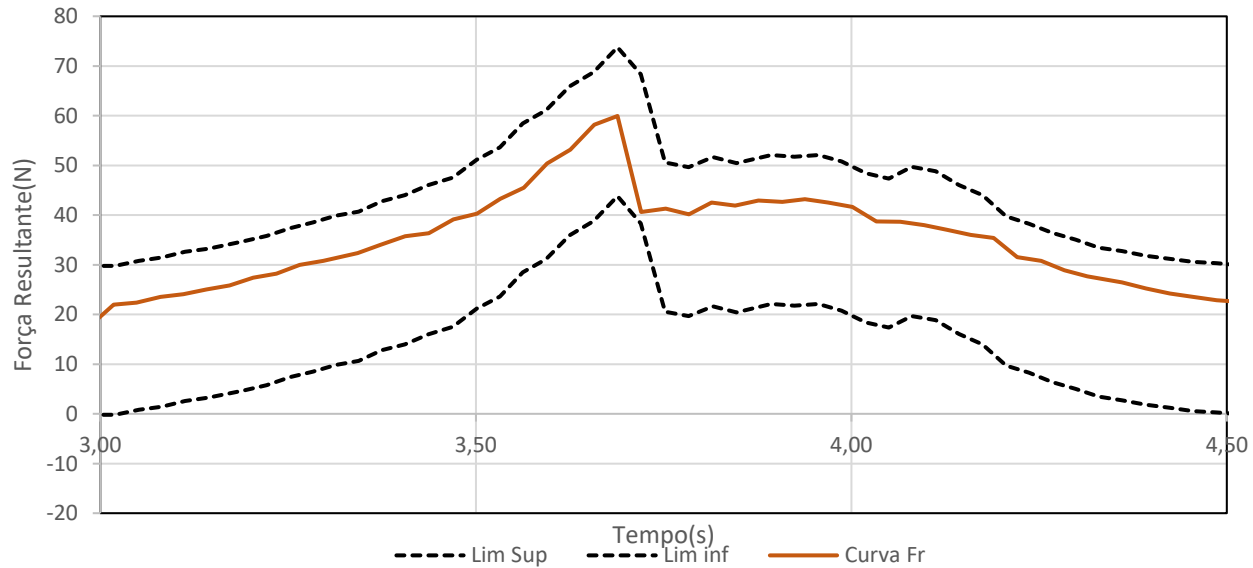
Será também interessante realizar o ensaio lateral mas com a mesma linha de entrada que o da Rotina simples.

Está mais que provado que as curvas se repetem com imensa consistência. O que se está a passar é que uma queda abrupta da força após a inserção poderá causar falsos negativos por causa do pico inserção ter demorado mais 30 milésimos.

ANEXO 5

Testes realizados na célula do projeto K9

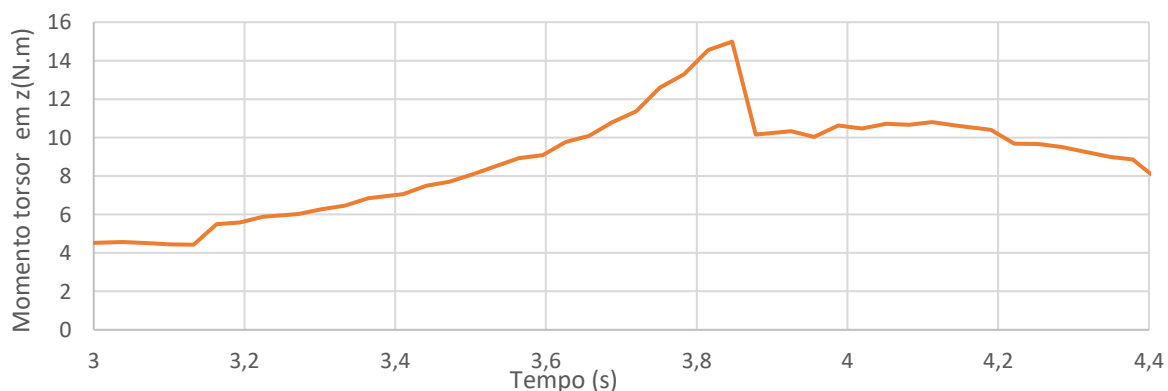
Teste real K9 Ensaio 1



| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_K9_Momento_Torsor |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 73,58 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | -0,1280 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

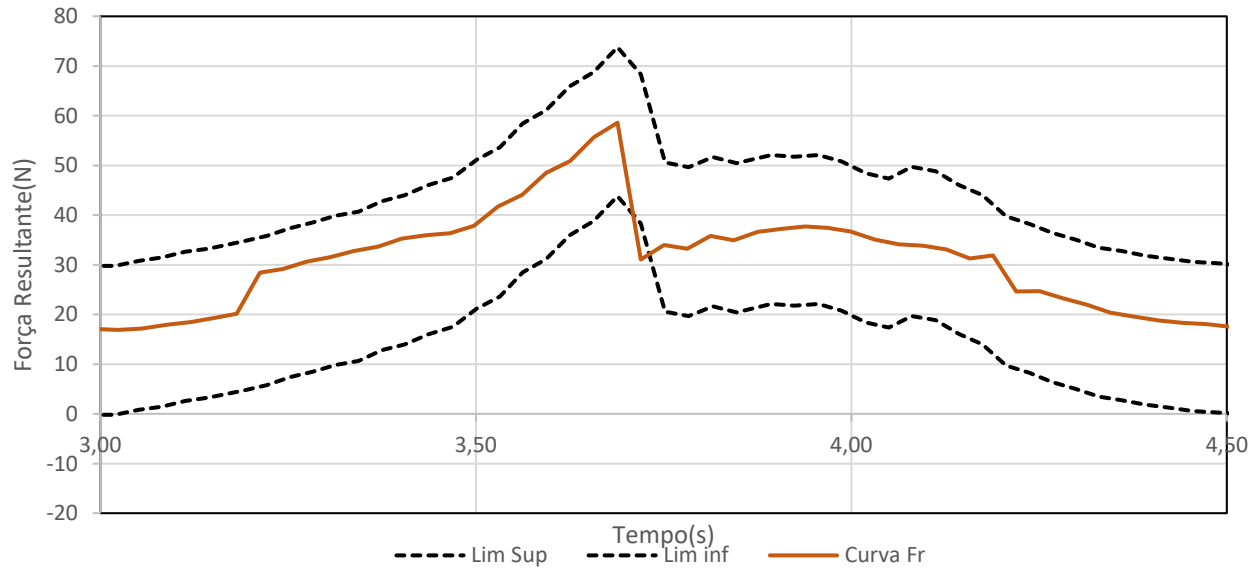
| | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_K9_Momento_Torsor | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 59,97 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 13,92 N | Veredicto do ensaio: Clip OK |
| Desvio médio verificado: | 6,34 N | |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso da nova estrela implica superar o momento torsor nominal do sensor de força. |
| Observações/Nota | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível dentro da célula do K9. Neste caso gravam-se os momentos torsores sem zero. |



Superou a capacidade nominal.

Teste real K9 Ensaio 2

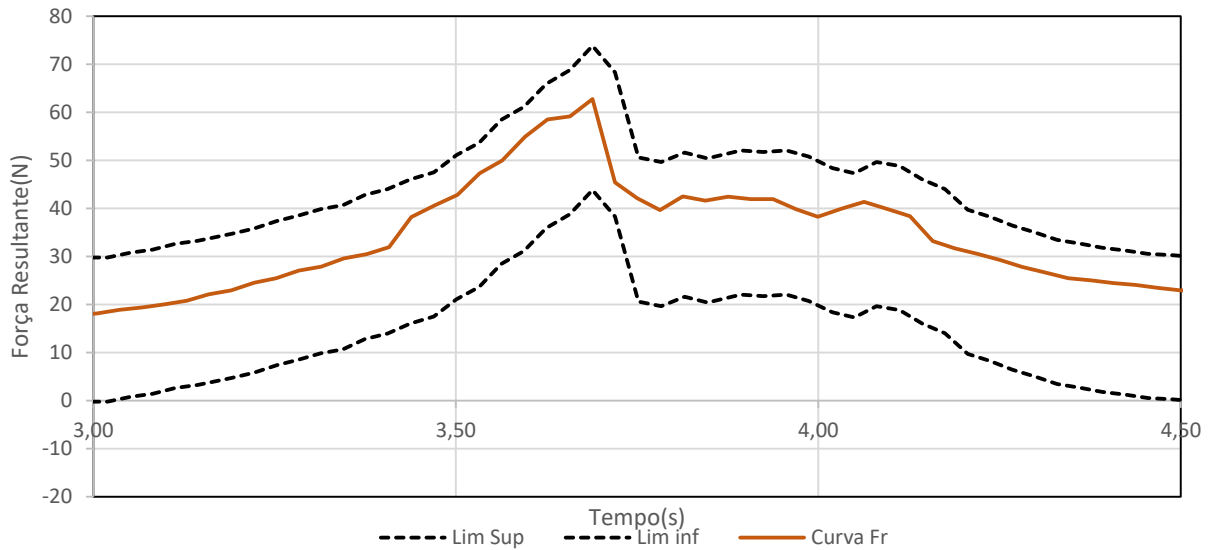


| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_K9_Momento_Torsor |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 73,58 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | -0,0642 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

| | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_K9_Momento_Torsor | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 58,67 N | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | |
| Desvio máximo verificado: | 19,71 N | |
| Desvio médio verificado: | 7,82 N | Veredicto do ensaio: Clip NOK |
| Componente dominante: | Força em Z | |

| | |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso da nova estrela implica superar o momento torsor nominal do sensor de força. |
| Observações/Nota | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível dentro da célula do K9. Neste caso gravam-se os momentos torsores sem zero. |
| | |
| Superou a capacidade nominal. | |

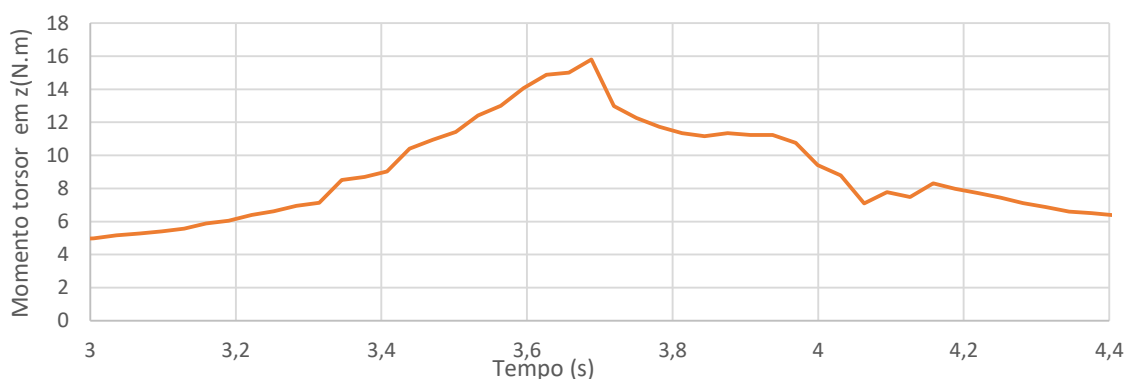
Teste real K9 Ensaio 3



| | |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_K9_Momento_Torsor |
| Curva Base para fazer limites: | Foi criada no primeiro ensaio com esta rotina |
| Máximo da curva Base: | 73,58 N |
| Tempo corrigido nas inserções: | -0,8299 s |
| Componente Dominante: | Força em Z |

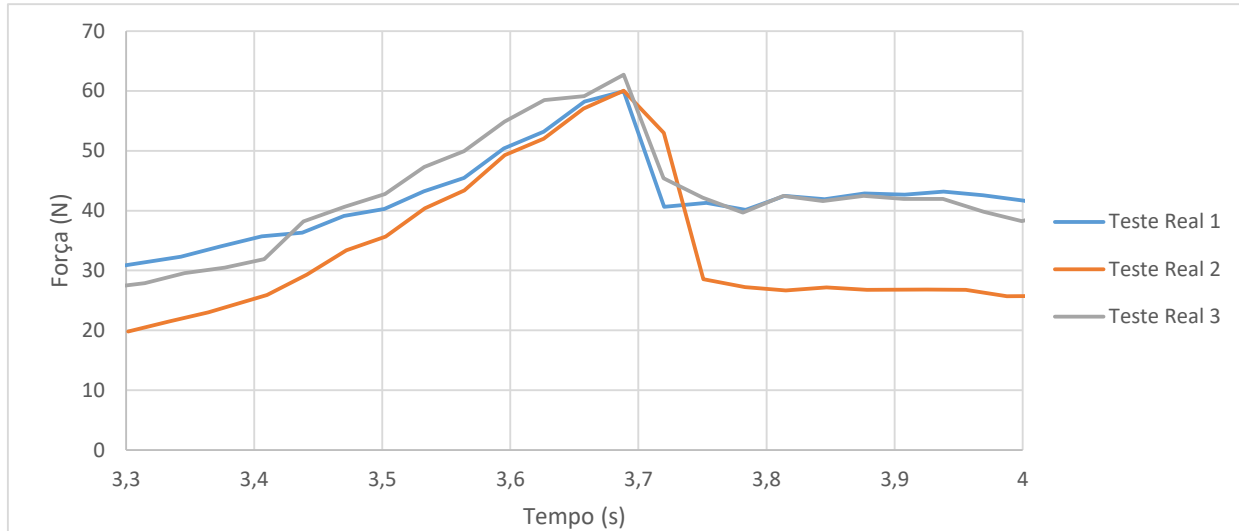
| | | | |
|-------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------|
| Nome do programa do robot utilizado: | Inserção_clip_K9_Momento_Torsor | | |
| Força máxima medida durante o ensaio: | 62,57 N | | |
| Desvio aceitável em relação à curva base: | 15,00 N | | |
| Desvio máximo verificado: | 11,72 N | | |
| Desvio médio verificado: | 7,23 N | Veredicto do ensaio: | Clip OK |
| Componente dominante: | Força em Z | | |

| | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Objetivos do ensaio | Verificar se o uso da nova estrela implica superar o momento torsor nominal do sensor de força. |
| Observações/Nota | Ensaio decorreu normalmente. O clip foi inserido. |
| Descrição do ensaio | Rotina de inserção o mais simples possível dentro da célula do K9. Neste caso gravam-se os momentos torsores sem zero. |

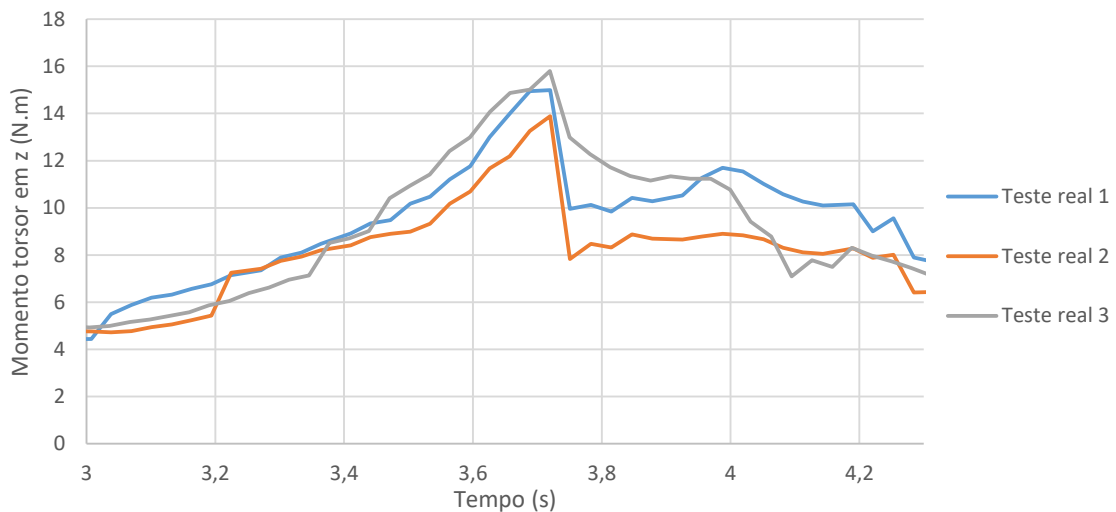


Superou a capacidade nominal.

Teste Real K9 Global



Objetivo: Verificar o momento torsor dos ensaios no K9



Comentário:

O sensor de força não é capaz de ser implementado no projeto K9. Mesmo que fosse, está provado que não é a escolha certa para a Simoldes explorar pois a estrela do projeto K9 é bastante representativa em peso e tamanho em relação aos restantes projetos.

ANEXO 6

Datasheet do scanner PhoXy 3D L



PhoXi 3D Scanner L

Generation 2

Datasheet

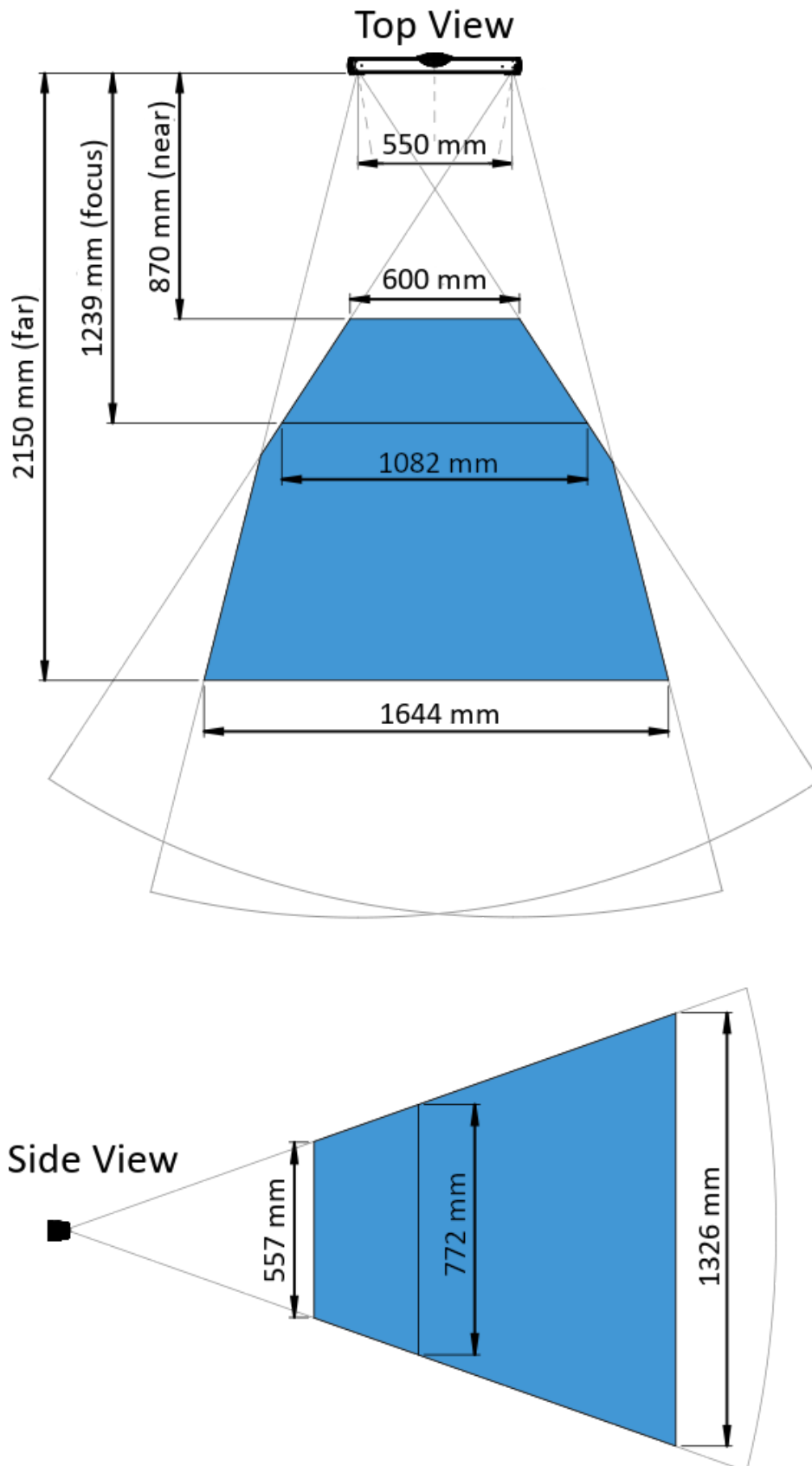
| Parameter | Value |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Resolution | Up to 3.2 Million |
| Scanning range | 870 - 2150 mm |
| Optimal scanning distance (sweet spot) | 1239 mm |
| Scanning area (at sweet spot) | 1082 x 772 mm |
| Point to point distance | 0.524 mm |
| Calibration accuracy (1 σ) | 0.200 mm |
| Temporal noise (1 σ) | 0.190 mm |
| Scanning time | 250 - 2750 ms |
| Dimensions | 77 x 68 x 616 mm |
| Baseline | 550 mm |
| Weight | 1100 g |
| 3D points throughput | 16 Million points per second |
| GPU | NVIDIA Pascal™ Architecture GPU with 256 CUDA cores |

CAD Model

Download the CAD model of the scanner and its scanning volume:

www.photoneo.com/dl/cad/L

Scanning Volume



ANEXO 7

Parâmetros das impressoras

Parâmetros Prusa i3mk3 Retirados do catálogo da Prusa Research:

Technical Parameters

| | |
|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Build Volume | 25x21x21 cm (9.84"x8.3"x8.3") |
| Layer height | 0.05 - 0.35 mm |
| Nozzle | 0.4mm default, wide range of other diameters/nozzles supported |
| Filament diameter | 1.75 mm |
| Supported materials | Wide range of thermoplastics, including PLA, PETG, ASA, ABS, PC, CPE, PVA/BVOH, PVB, HIPS, PP (Polypropylene), Flex, nGen, Nylon, Woodfill and other filled materials. |
| Max travel speed | 200+ mm/s |
| Max nozzle temperature | 300 °C / 572 °F |
| Max heatbed temperature | 120 °C / 248 °F |
| Extruder | Direct Drive, Bondtech gears, E3D V6 hotend |
| Print surface | Removable magnetic steel sheets(*) with different surface finishes, corners compensation |
| Printer dimensions (without spool) | 7 kg, 50x55x40 cm; 19.6x21.6x15.7 in (XxYxZ) |
| Power consumption | PLA settings: 80W / ABS settings: 120W |

* Consumable parts, such as PEI sheets (smooth, textured, etc.) are not covered by warranty as the coatings are designed to diminish over time unless failure has occurred due to a defect in materials or workmanship. Cosmetic damage, including but not limited to scratches, dents, cracks, or other cosmetic damage is also not covered by the warranty. Only defective sheets on arrival are covered by warranty.

Parâmetros DeltaWasp 4070 Retirados do catálogo da 3dWasp

PRODUCT SPECIFICATIONS

Print volume: Ø 400 x h 700 mm
Nozzle diameter: 0,7 mm
Layer resolution: 50 - 350 micron
Print speed: up to 200mm/s
Travel speed: up to 300mm/s
Connectivity: WiFi, LAN, USB
Hotend temperature: Max 350°C
Bed temperature: Max 120°C
Chamber temperature: Max 70°C

SOFTWARE

Supplied slicing software: Simplify3D®
Supported slicing software: Cura, Slic3r
File type: .stl, .obj, .gcode
Supported OS: Windows, Mac, Linux

INTERFACE

7-inch TFT touch screen display and 60 LED RGB bar

PHYSICAL DIMENSIONS

Printer dimensions: 85 x 77 x 195 cm
Printer weight: 95 kg
Packaging dimension: 100 x 100 x 230 cm
Weight with packaging: 250 kg

POWER REQUIREMENTS

Input: 220/240 V 50/60 Hz (110V available)
Power consumption: Max 3Kw
Average power consumption: 0,6Kw

ENVIRONMENT REQUIREMENTS

Operating temperature: 15-30°C
Storage temperature: 0-30°C

MECHANICS

Frame: aluminum, steel, laminated glass.
Bed: machined aluminum with interchangeable plates.
Movement: nylon wheels on anodized aluminum sliders, PU steel core belts.
Insulation: thermo-acoustic polymer foam.

MATERIALS

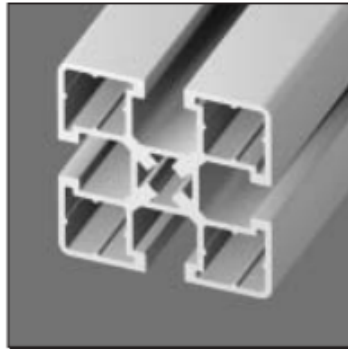
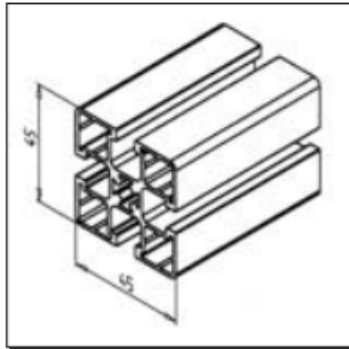
WASP official: ABS, HIPS, PA CARBON, PMMA.
Other: PLA, PETG, PC, PC+ABS, PPS, PVA, ASA.

ANEXO 8

Técnołogia Minitec empregue

PROFILE 45 X 45 UL

Part N° 20.1063/0



TECHN. DATA/ITEMS SUPPLIED

| | | |
|--------------|-------|-----------------|
| ix = | 9,961 | cm ⁴ |
| ly = | 9,961 | cm ⁴ |
| wx = | 4,427 | cm ³ |
| wy = | 4,427 | cm ³ |
| Weight | 1,445 | kg/m |
| Length | 6 | m |
| Packing unit | 54 | m |

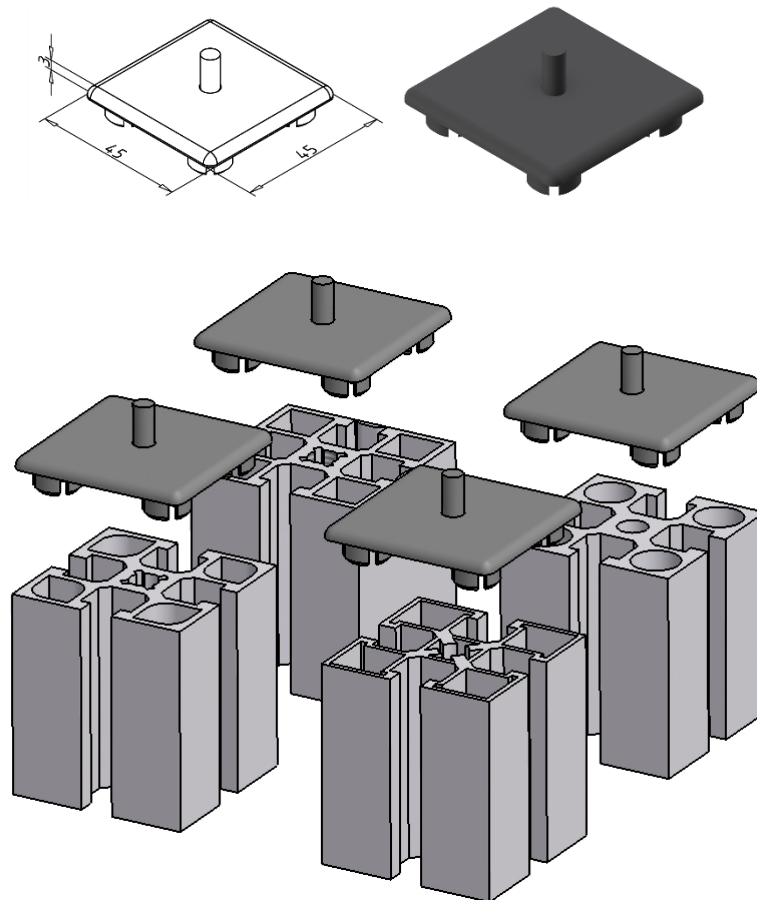
APPLICATIONS

- General weight optimized engineering structures
- General Constructions

ASSEMBLY

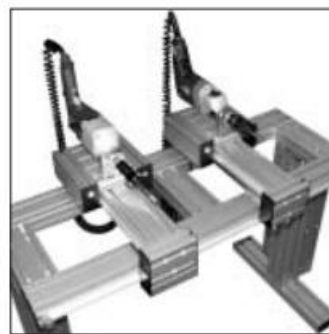
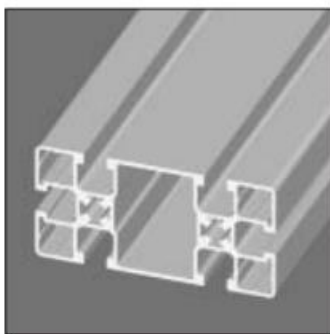
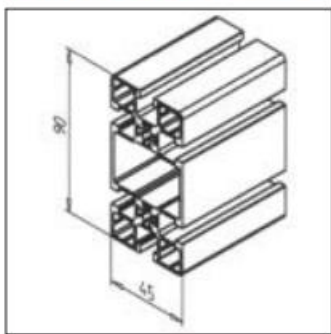
- MiniTec power-lock fastener
- Angle 19 / 25 / 45 / 45 x 90
- Bolt fastener 20
- Screw connection

Website Minitec – End cap 45x45 Z grey



PROFILE 45 X 90 UL

Part N° 20.1067/0

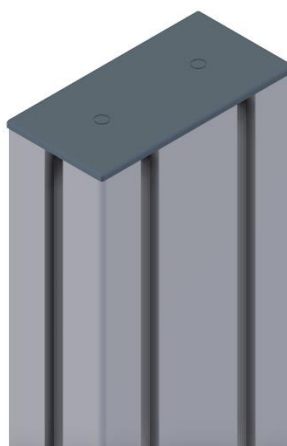
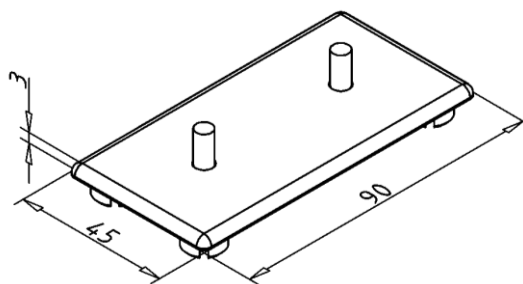
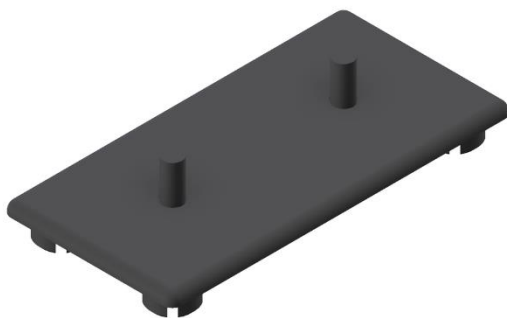


| TECHN. DATA/ITEMS SUPPLIED | |
|----------------------------|------------------------|
| ix = | 73,921 cm ⁴ |
| ly = | 19,200 cm ⁴ |
| wx = | 16,427 cm ⁴ |
| wy = | 8,533 cm ⁴ |
| Weight | 2,421 kg/m |
| Length | 6 m |
| Packing unit | 24 m |

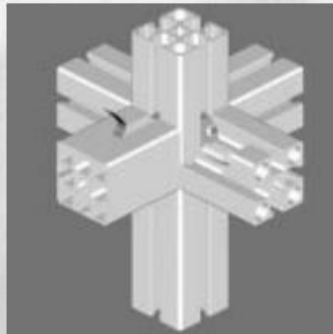
| APPLICATIONS |
|---------------------------------------------------|
| - General weight optimized engineering structures |
| - Counterweighted sliding-doors |
| - Counterweighted devices |

| ASSEMBLY |
|-------------------------------------|
| - MiniTec power-lock fastener |
| - Angle 19 / 25 / 45 / 45 x 90 / 90 |
| - Bolt fastener |
| - Screw connection |

Website Minitec – End cap 45x90 Z grey

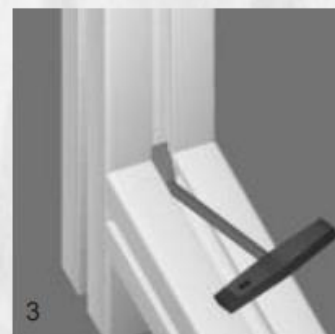
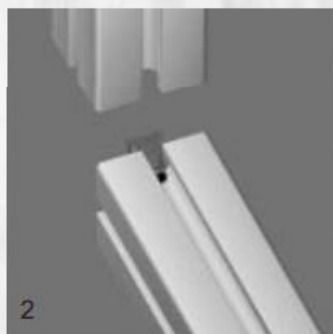
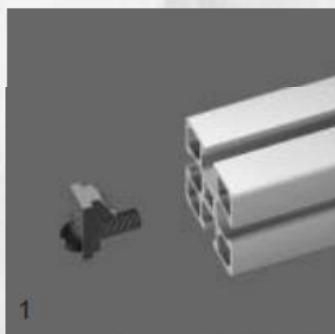


MINITEC - POWER LOCK FASTENER



Applications Extremely strong power-lock connection. Accurate location of the profiles, integrated mounting-aid, moveable, low-cost due to minimal processing. Can be used for all types of constructions.

Assembly For direct self-tapping of screw M8 into core bore or processing by using a thread former



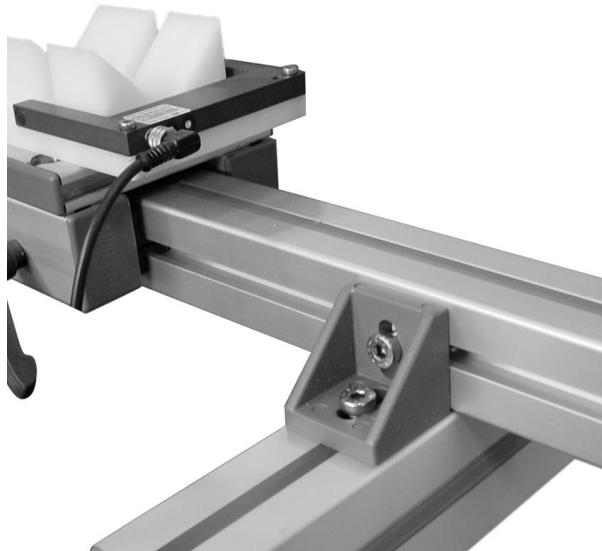
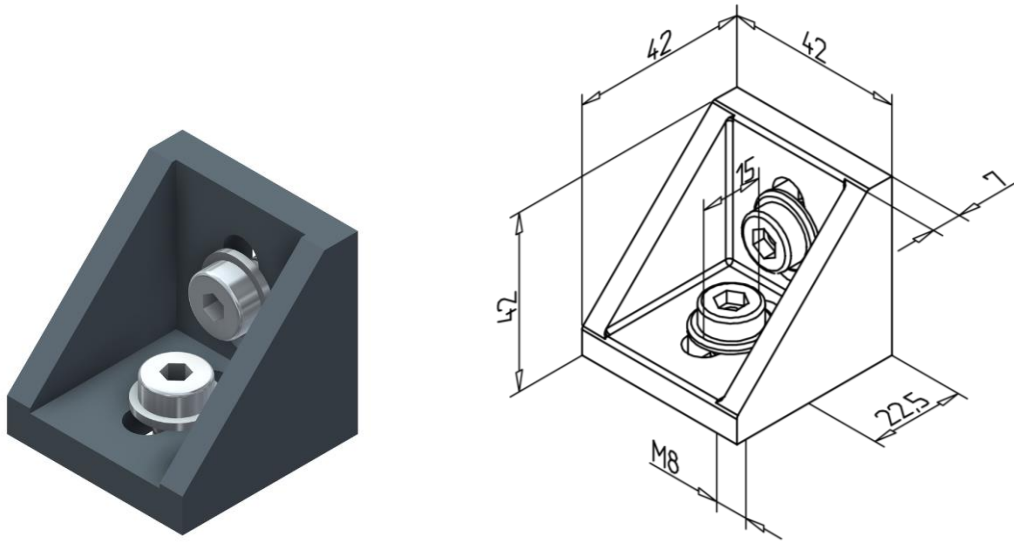
Assembly

- 1 Screw the fastener by hand into the end of the profile 1.
- 2 Bring 2nd profile to the required position.
- 3 Tighten the set-screw M8 with hexagon key 4 A/F with T-handle.
Recommended locking torque: ~12 Nm

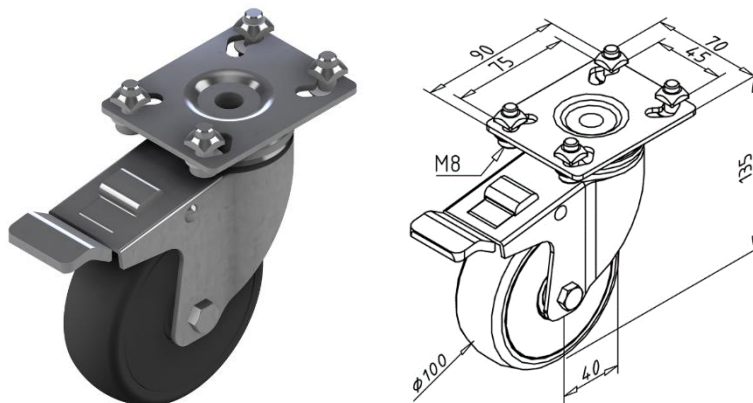
Advantages

- The groove of the profile connection remains free for panels, etc.
- The connection is invisible from outside.
- Subsequently easily adjustable
- Power-locked in correct position
- Static load: 6000 N (UL profile: 4000 N)
- Easy construction of cross-joints
- Electrically conductive connection

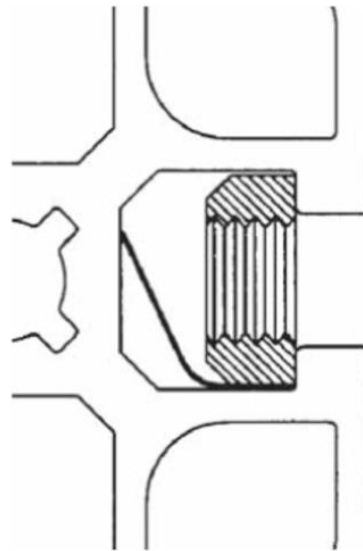
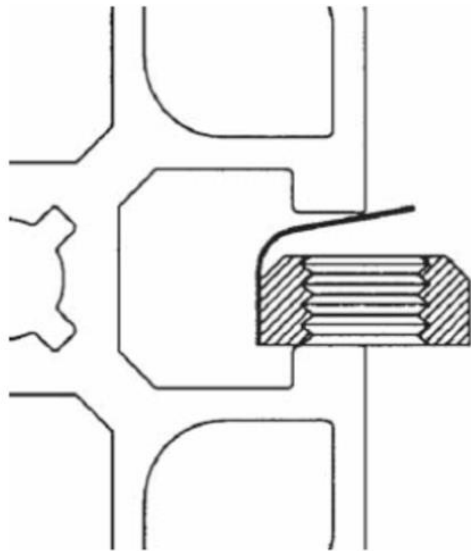
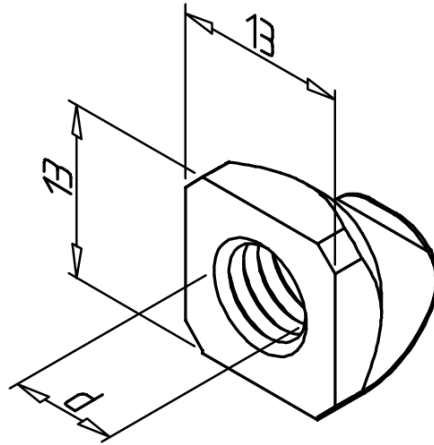
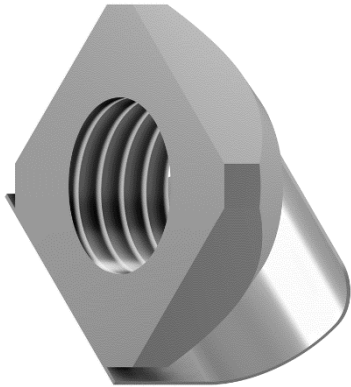
Website Minitec – Mounting angle 45 GD



Website Minitec - Swivel castor with brake D100 x 135, ESD

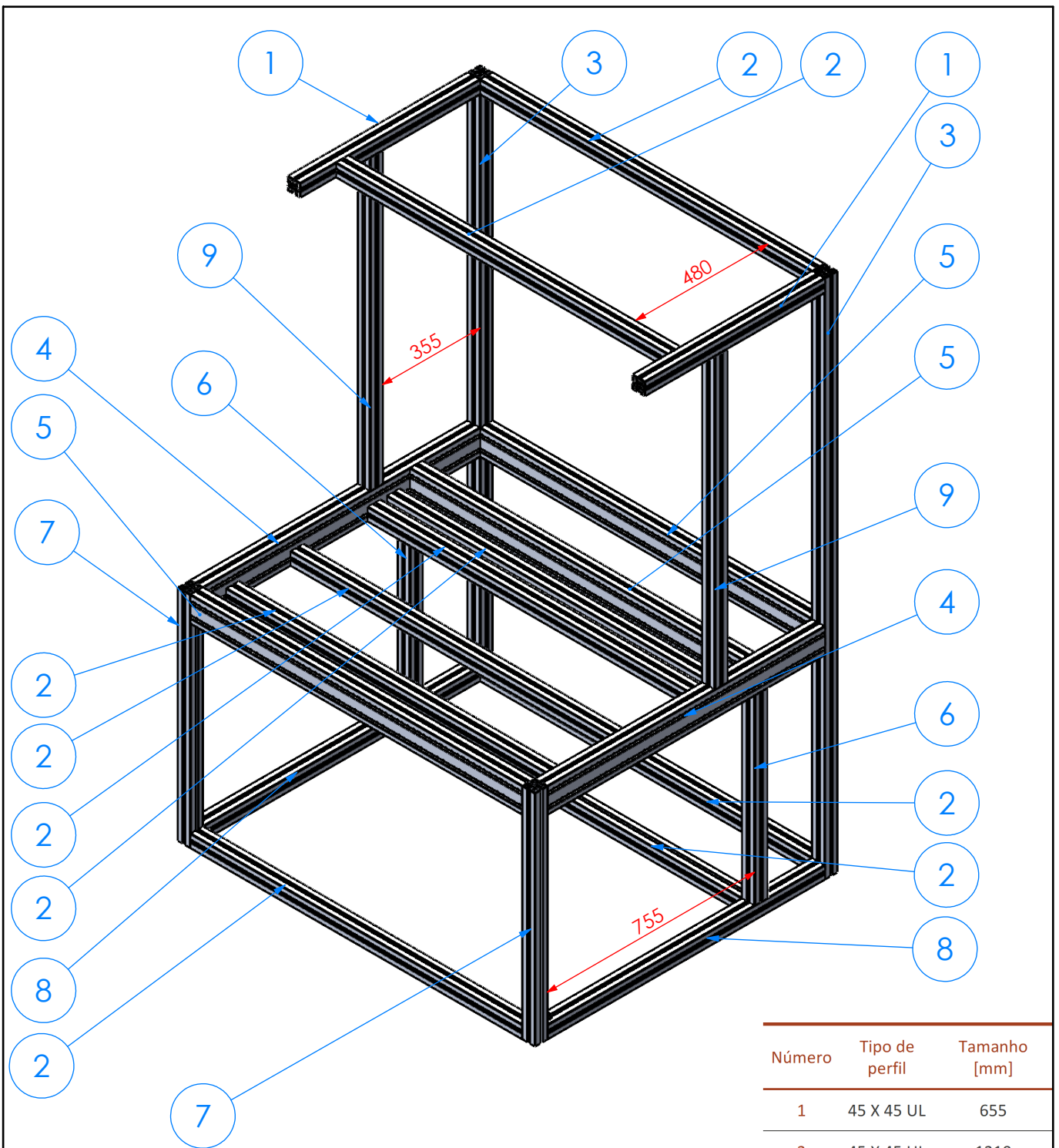


Website Minitec - Square nut M8/M6 H with position fixing



ANEXO 9

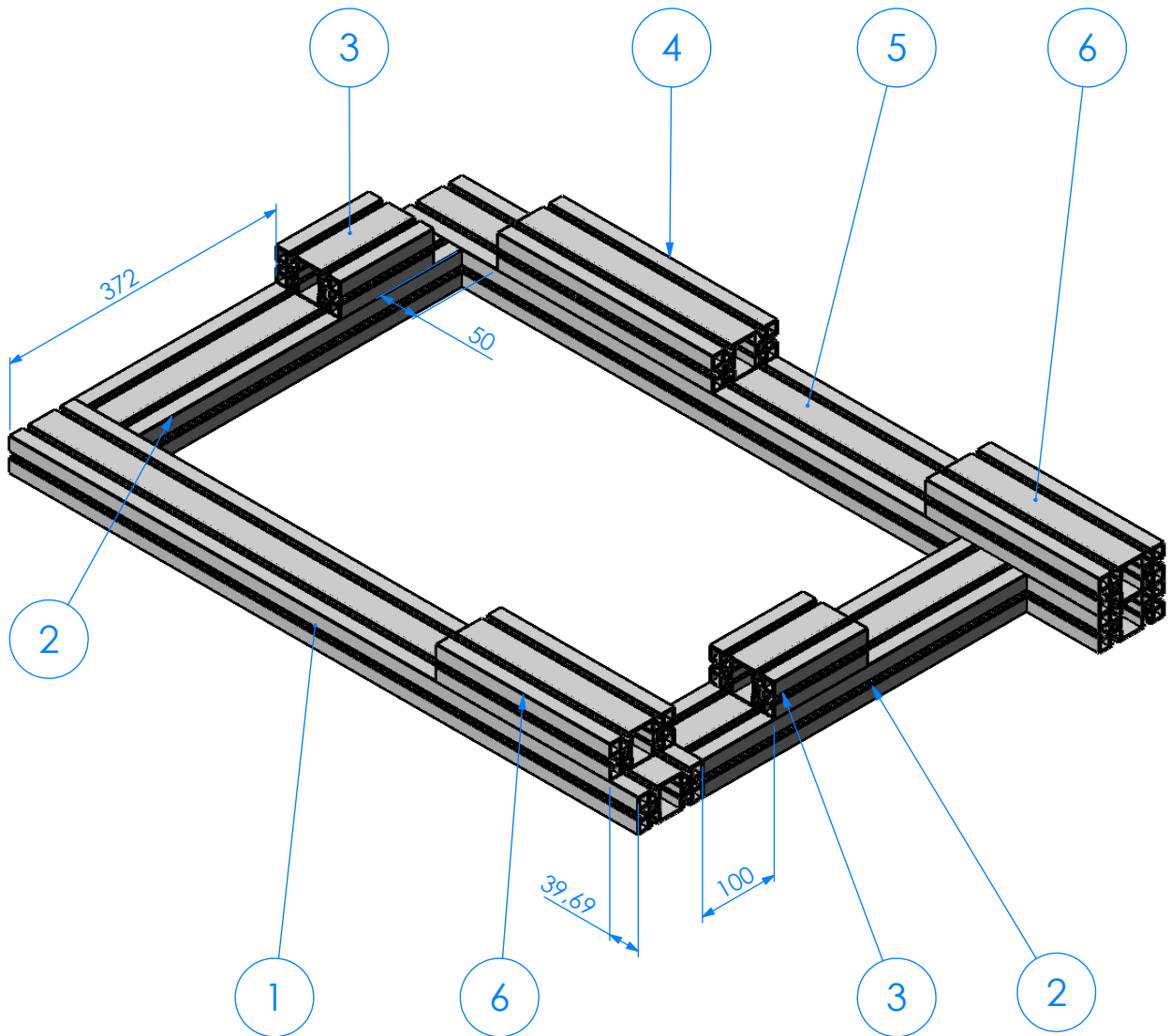
Desenhos



| Número | Tipo de perfil | Tamanho [mm] |
|--------|----------------|--------------|
| 1 | 45 X 45 UL | 655 |
| 2 | 45 X 45 UL | 1210 |
| 3 | 45 X 45 UL | 1900 |
| 4 | 45 X 90 UL | 1010 |
| 5 | 45 X 90 UL | 1210 |
| 6 | 45 X 45 UL | 665 |
| 7 | 45 X 45 UL | 800 |
| 8 | 45 X 45 UL | 1010 |
| 9 | 45 X 45 UL | 1055 |

ESCALA
1:15

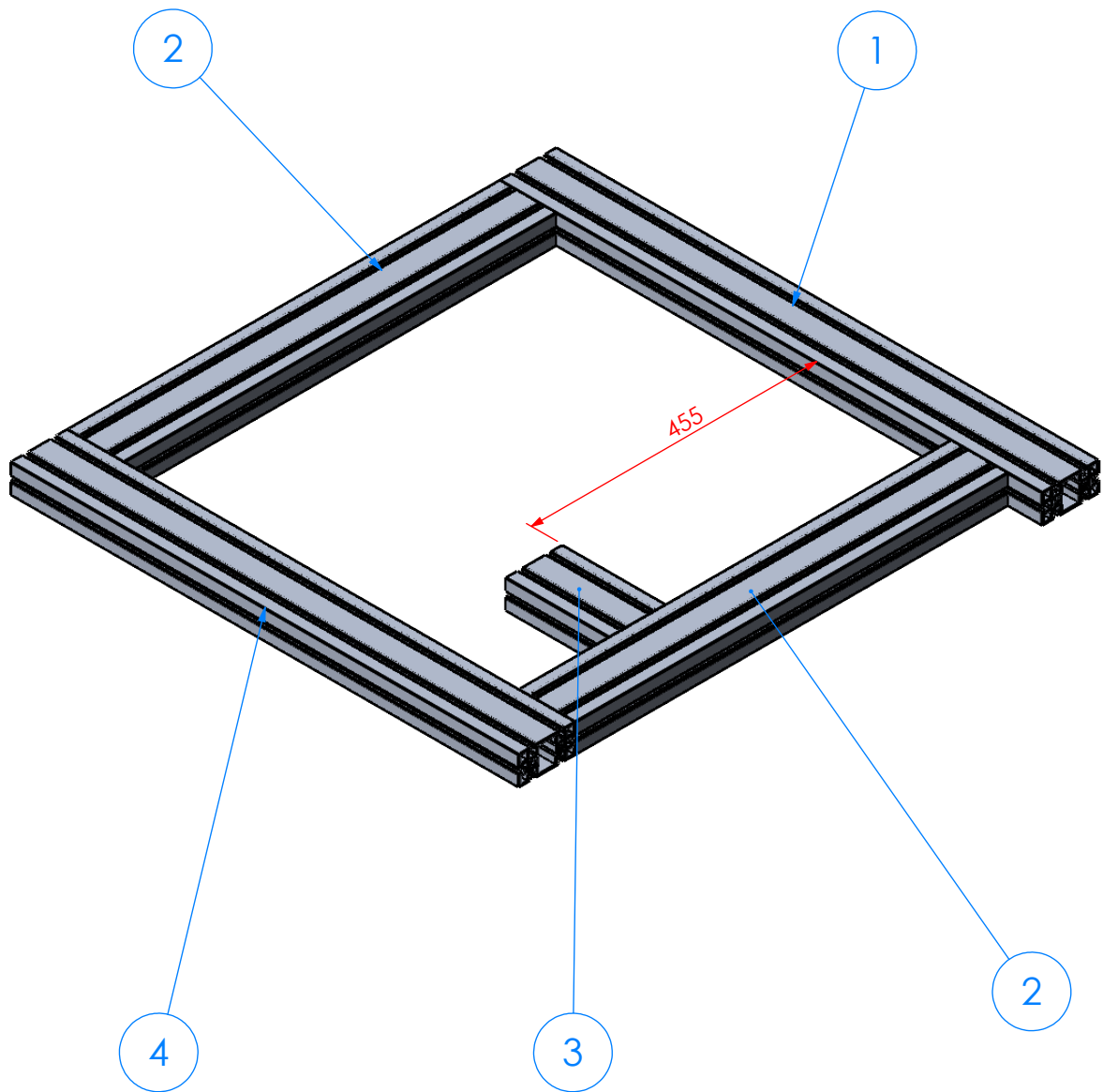
| | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|--|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto photoneo desenho nº1 Perfis de alumínio | | Número 1170986 | | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/06 | Língua pt | Folha 1/1 | |



| Número de perfil | Tamanho [mm] |
|------------------|--------------|
| 1 | 878 |
| 2 | 452 |
| 3 | 130 |
| 4 | 300 |
| 5 | 980 |
| 6 | 242 |

ESCALA
1:7

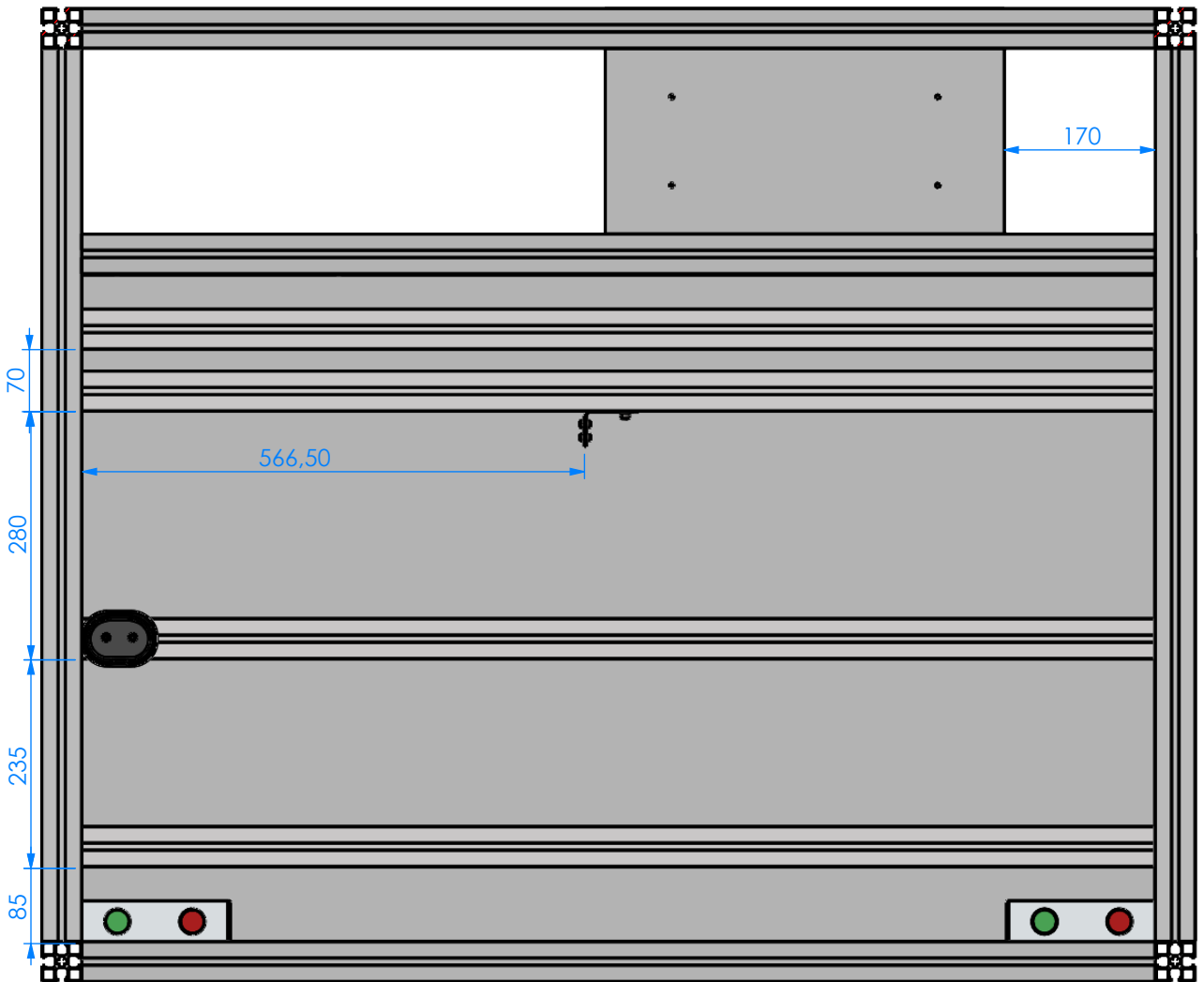
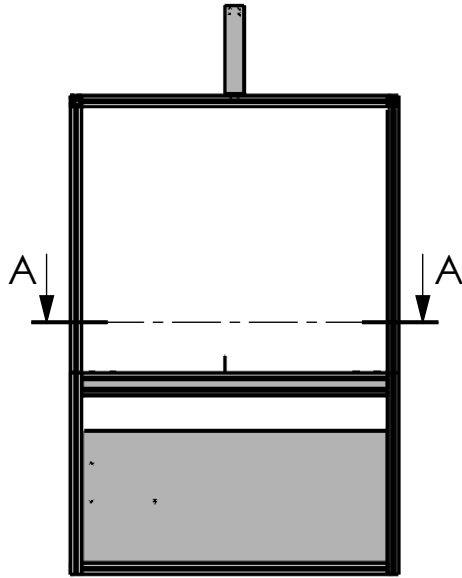
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto photoneo desenho nº2 Base de apoio FRE | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/02/13 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



| Número de perfil | Tamanho [mm] |
|------------------|--------------|
| 1 | 865 |
| 2 | 690 |
| 3 | 165 |
| 4 | 810 |

ESCALA
1:8

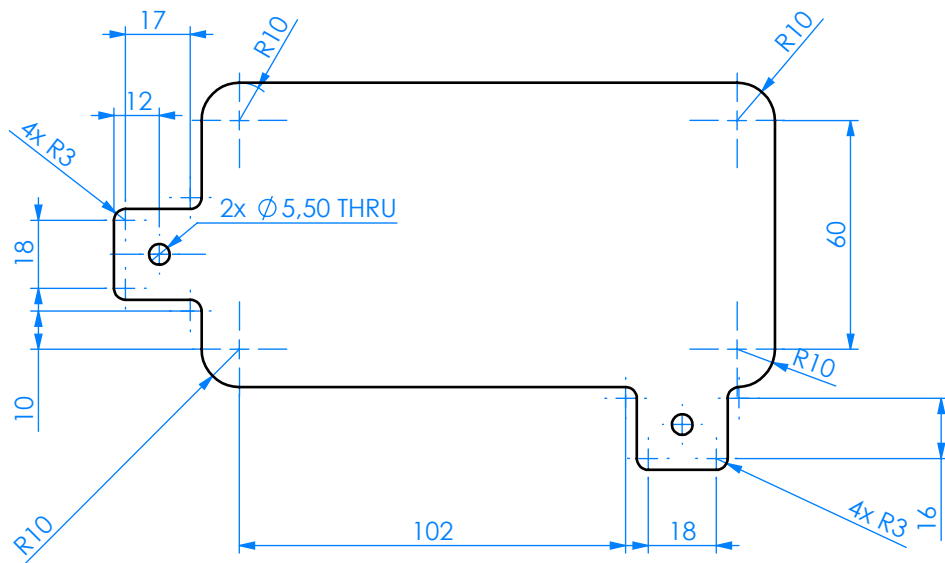
| | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto photoneo desenho nº 3 Perfis da base de apoio frente esquerda | | Número 1170986 | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/13 | Lingua pt | Folha 1/1 |



ESCALA
1:8

SECTION A-A
SCALE 1 : 8

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº4 Definição posição 4 barras e acessórios | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



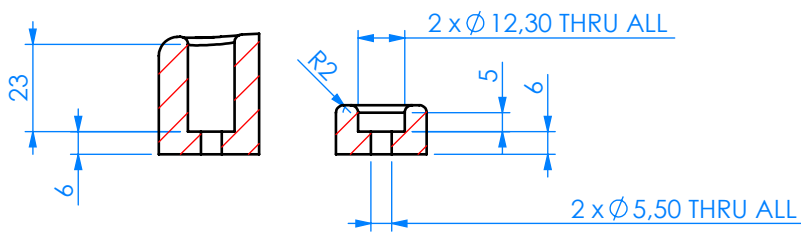
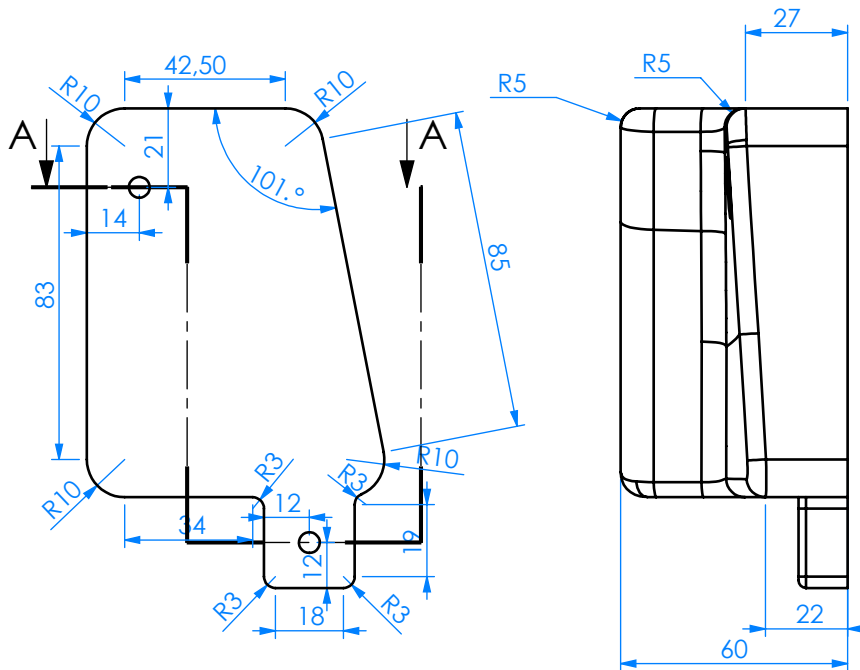
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Postiço 1 - desenho nº 5 Postiços da base de apoio FRE | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/15 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



SECTION A-A

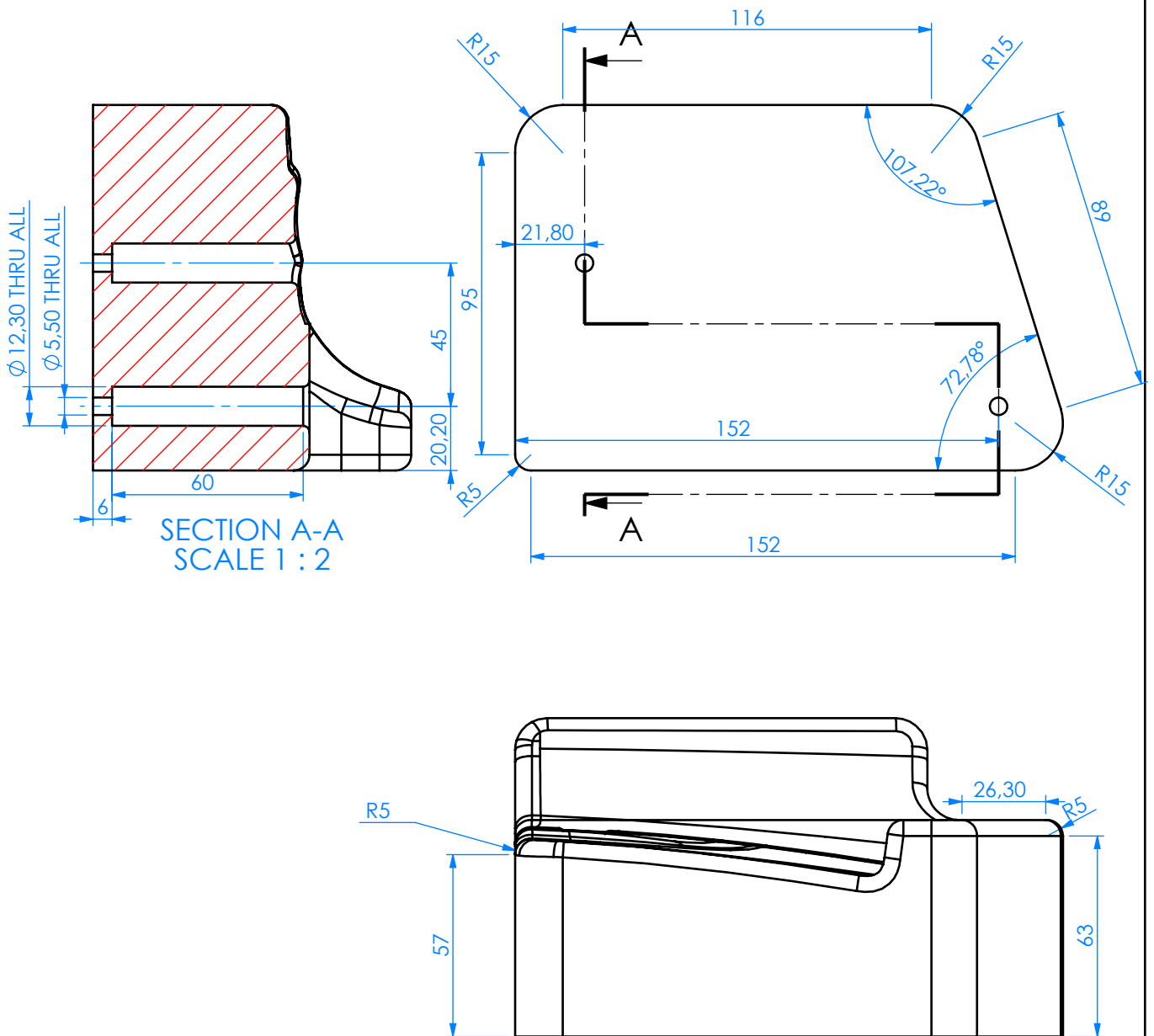
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | Título Projeto Photoneo desenho nº6 Postiços da base de apoio FRE Postiço 4 | Número 1170986 | Revisão A |
| | | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | Folha 1/1 |

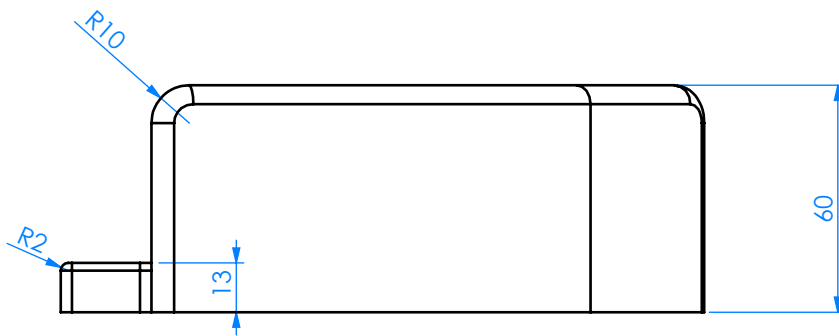
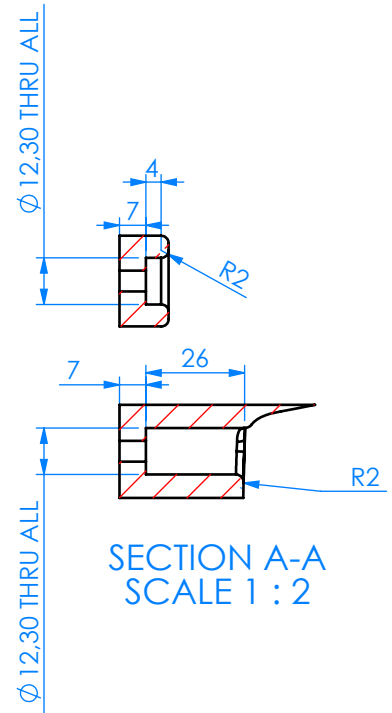
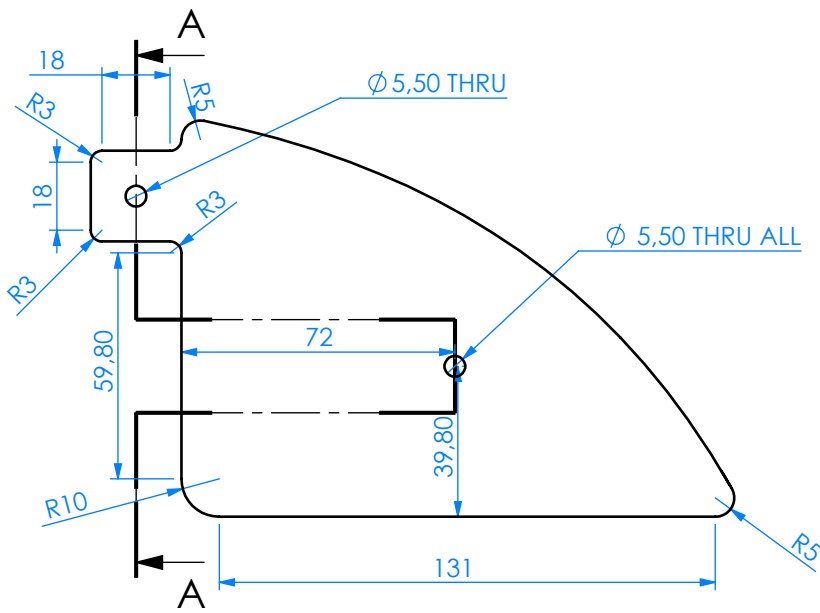


ESCALA

1:2 Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | Título Projeto Photoneo desenho nº7 Postiços da base de apoio FRE Postiço 3 | Número 1170986 | Revisão A |
| | | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | Folha 1/1 |



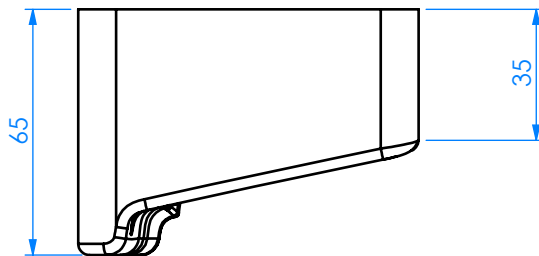
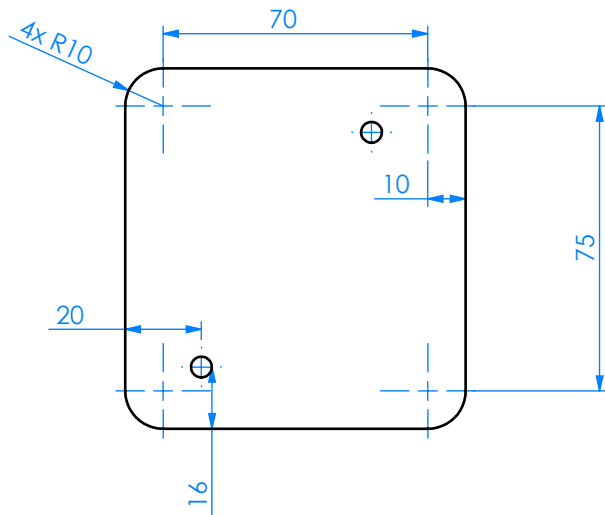
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | Título Postiço 5 - desenho nº 8 Postiços da base de apoio FRE | Número 1170986 | Revisão A |
| | | Data de edição 2022/01/15 | Lingua pt |
| | | | Folha 1/1 |



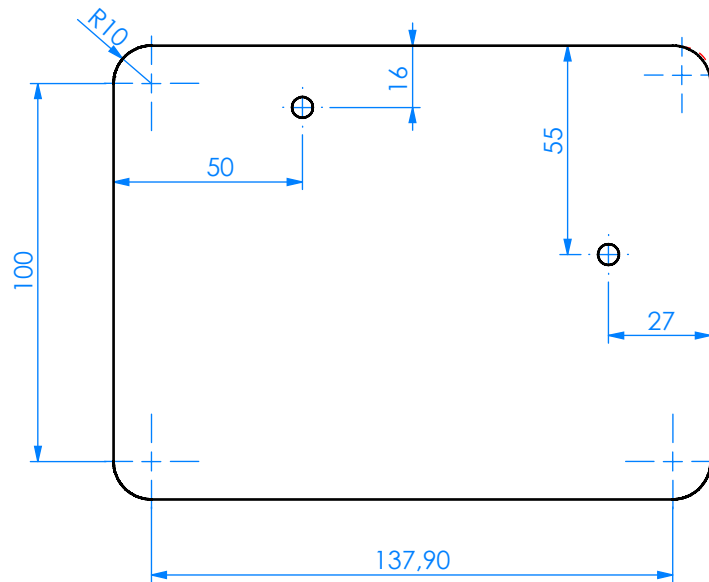
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Postiço 8 - desenho nº 10 Postiços da base de apoio FRE | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/15 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



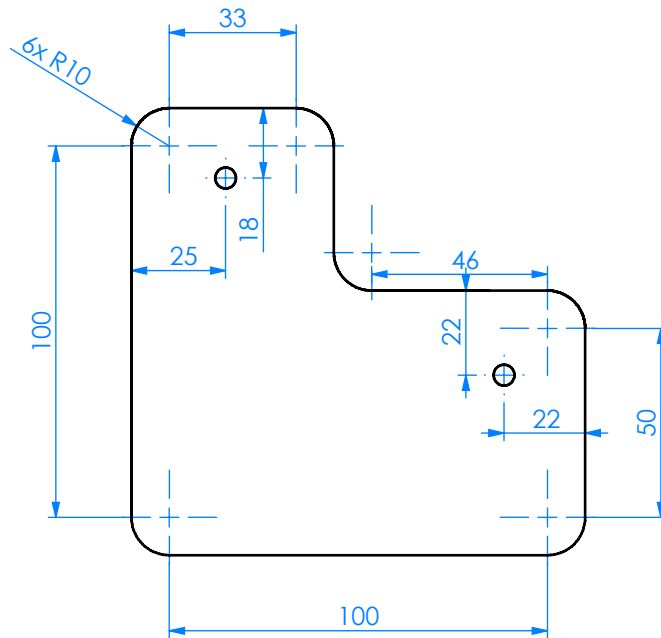
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
 Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
 Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº11 Postiços da base de apoio TRE Postiço 1 | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



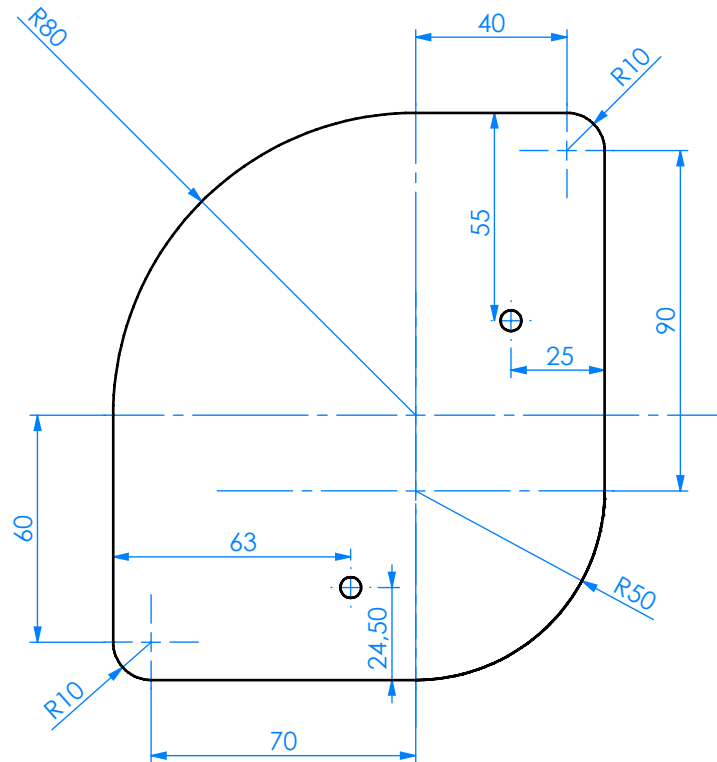
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº12 Postiços da base de apoio TRE Postiço 2 | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 |
| | | Lingua pt | Folha 1/1 |



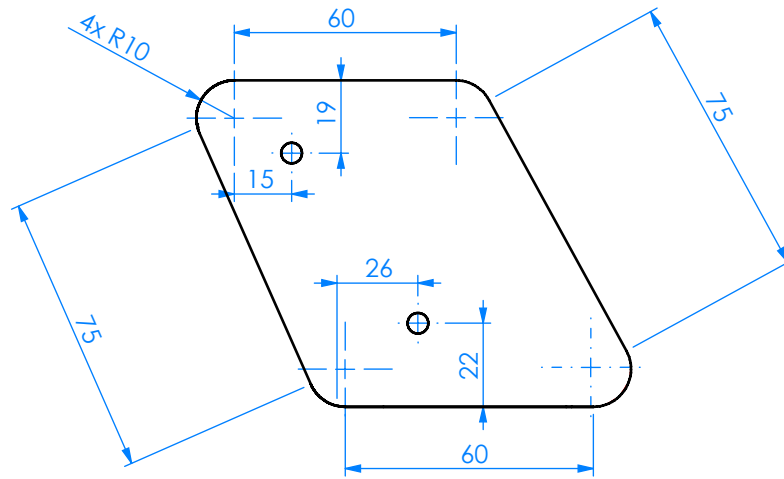
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº13 Postiços da base de apoio TRE Postiço 3 | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



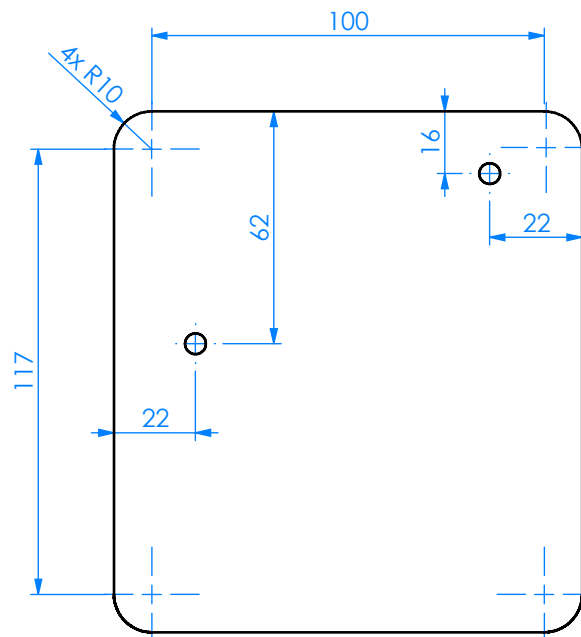
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
Tolerâncias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº14 Postiços da base de apoio TRE Postiço 4 | Número 1170986 | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



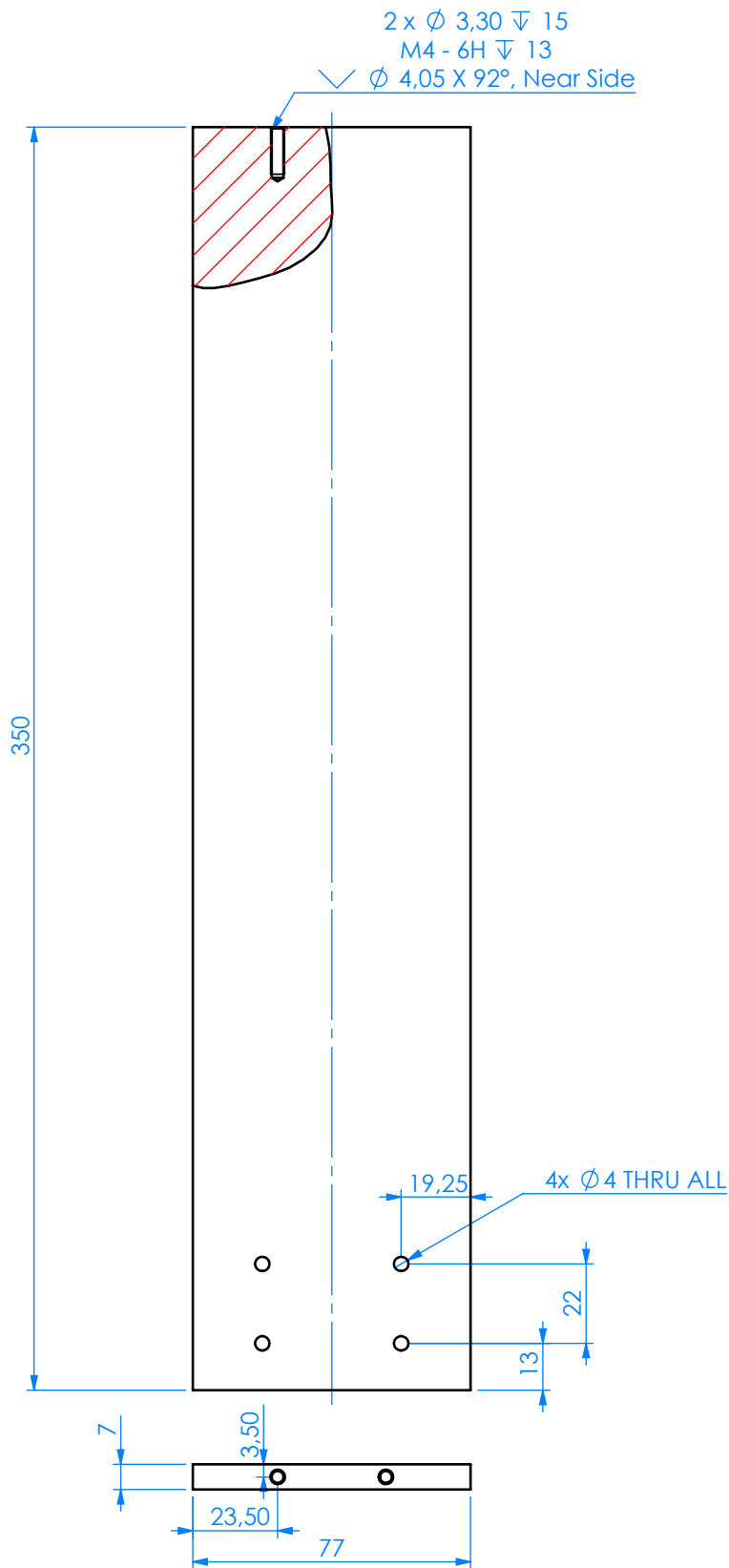
ESCALA

1:2

Nota: Superfície do painel porta e fillets não representados

Toleranciamento ISO 8015
 Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
 Cantos e chanfros gerais ISO 13715

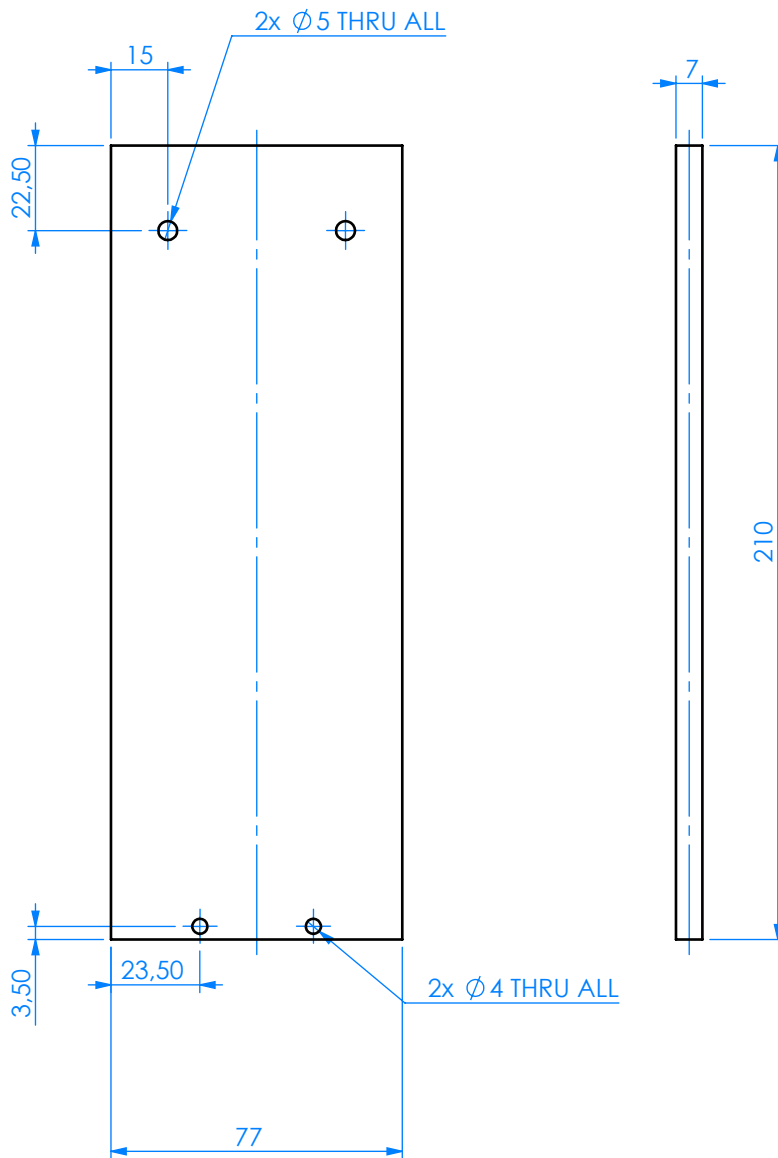
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº15 Posições da base de apoio TRE Posição 5 | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



ESCALA
1:2

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

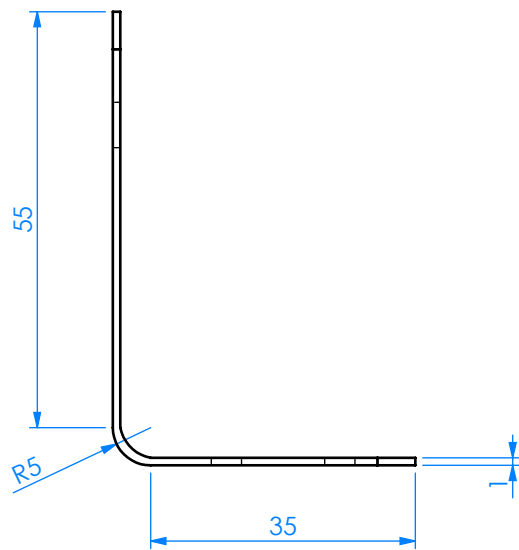
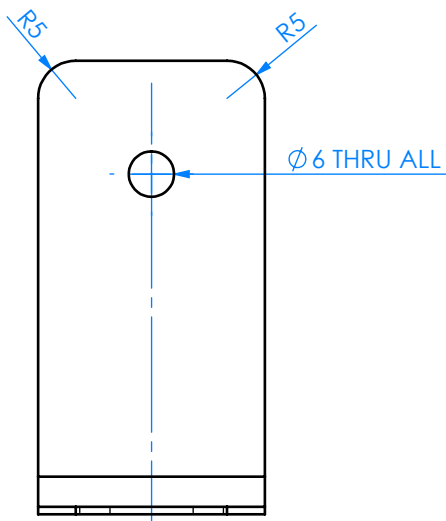
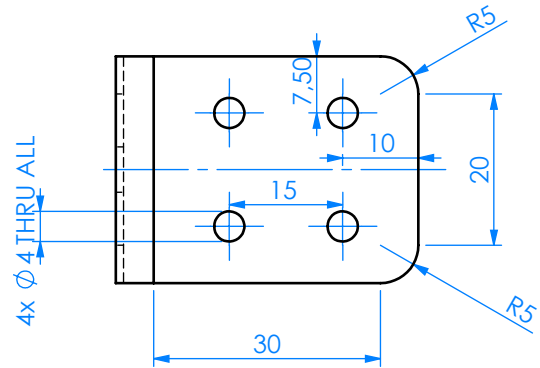
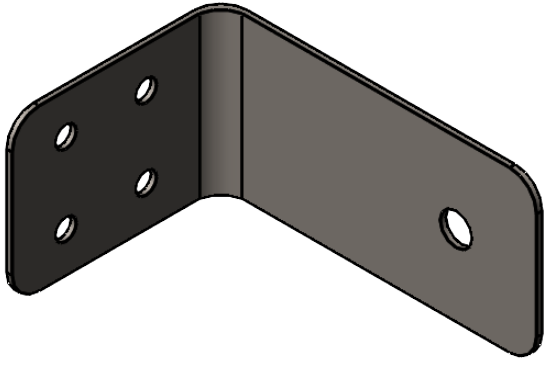
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº20 Encaixe para botões | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



ESCALA
1:2

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

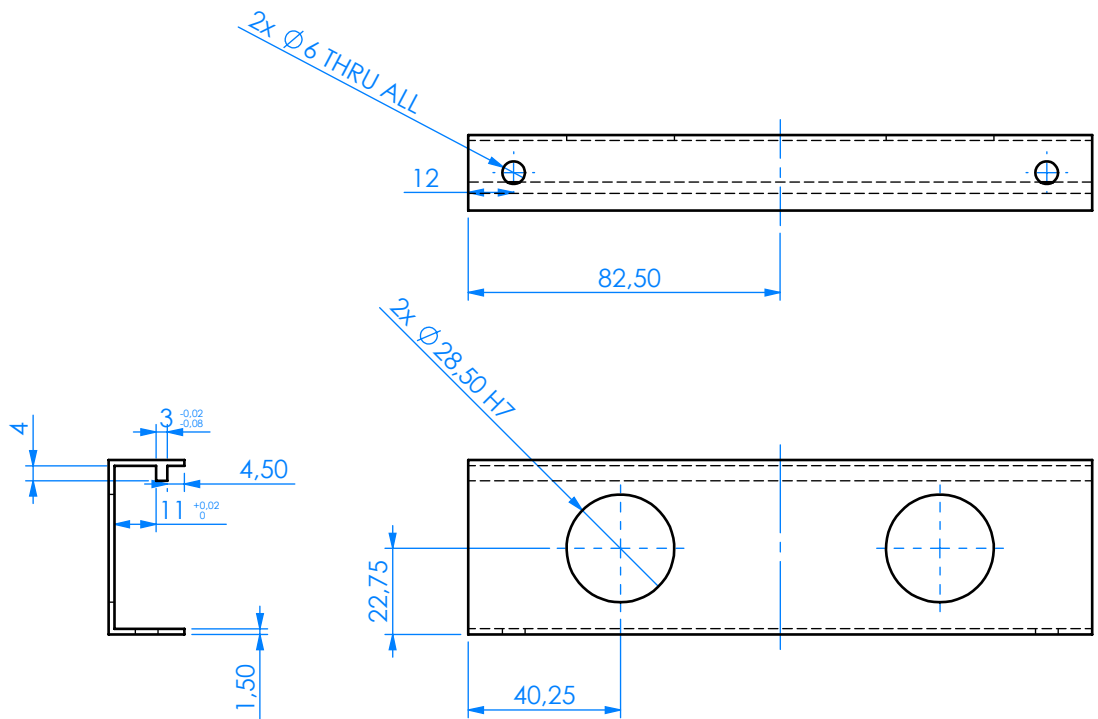
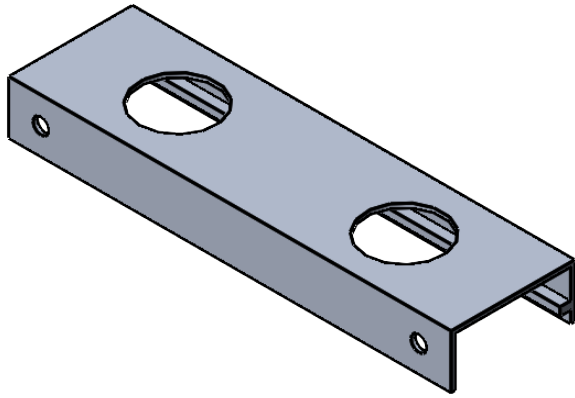
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº17 Suporte scanner 3D 2 | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



ESCALA
1:1

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

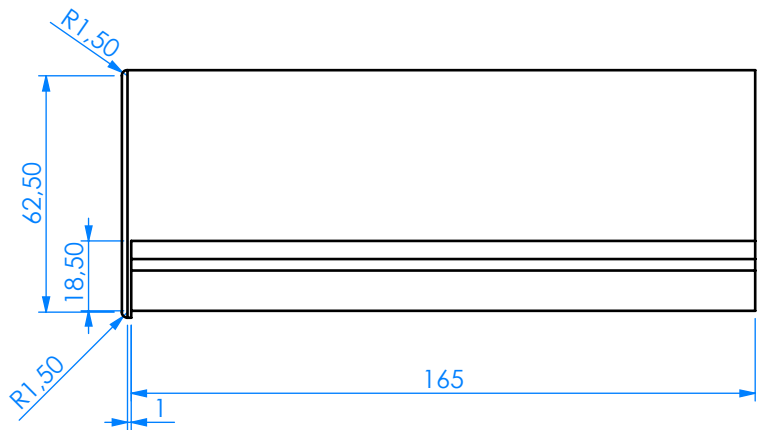
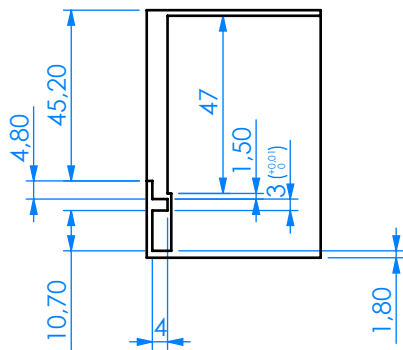
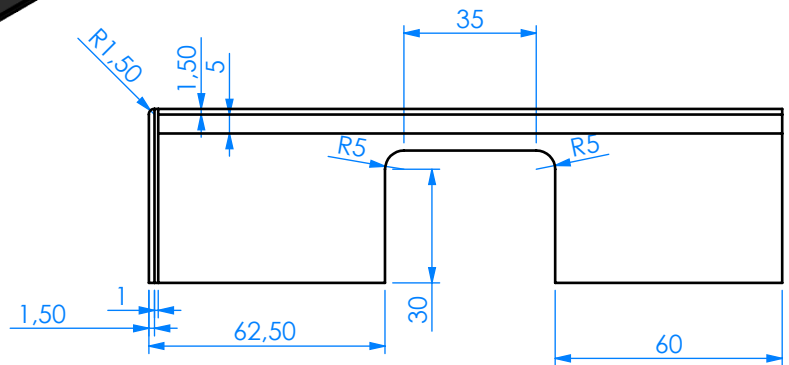
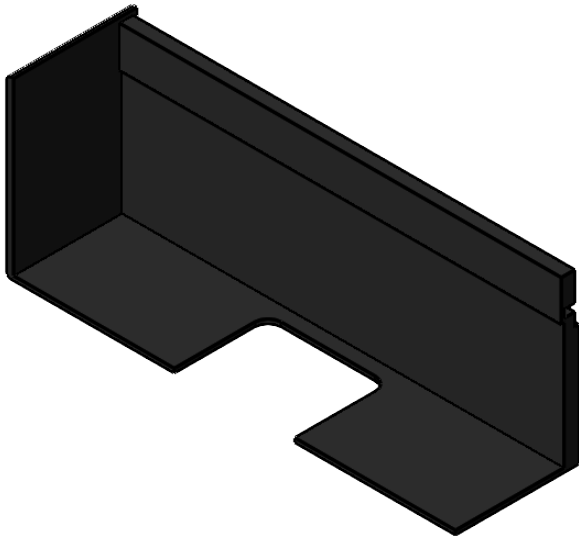
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº18 Chapa sensor peça 1 | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



ESCALA
1:2

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

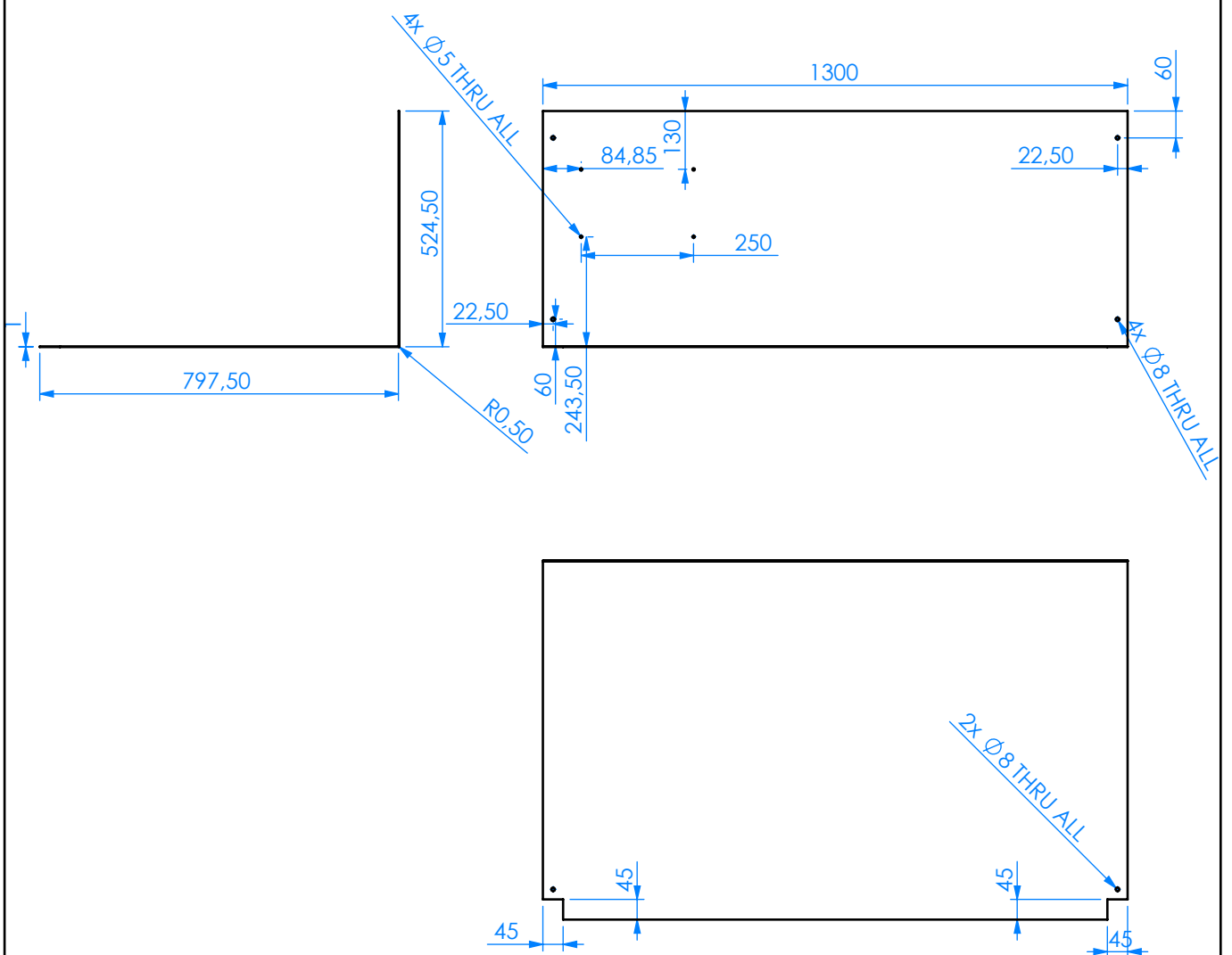
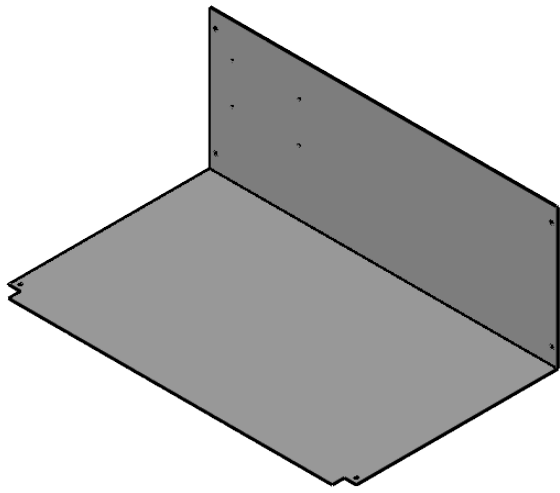
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº20 Perfil cortado para encaixe de botões | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



ESCALA
1:2

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

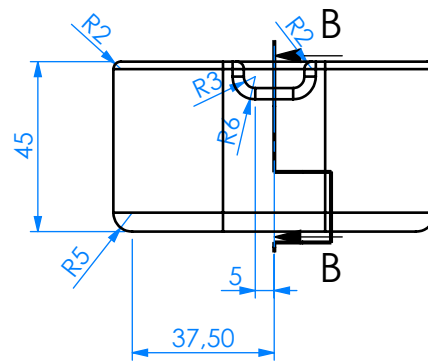
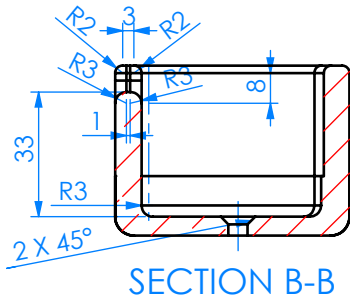
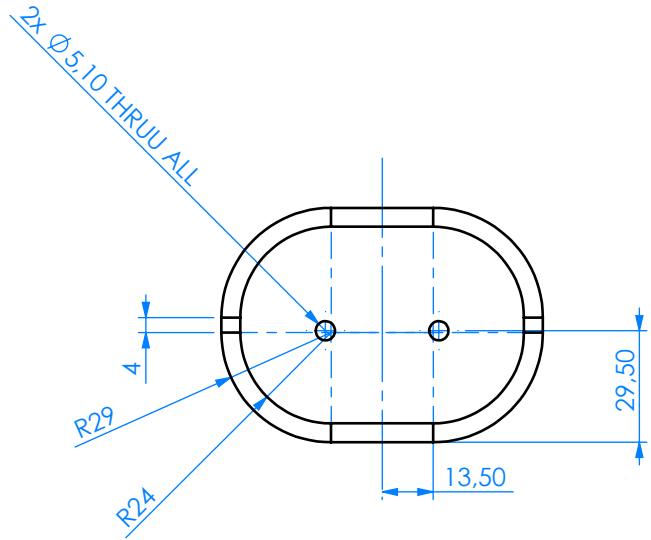
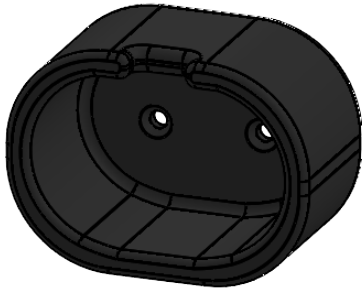
| | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº21 Proteção de fios | Número 1170986 | | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt | Folha 1/1 |



ESCALA
1:15

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

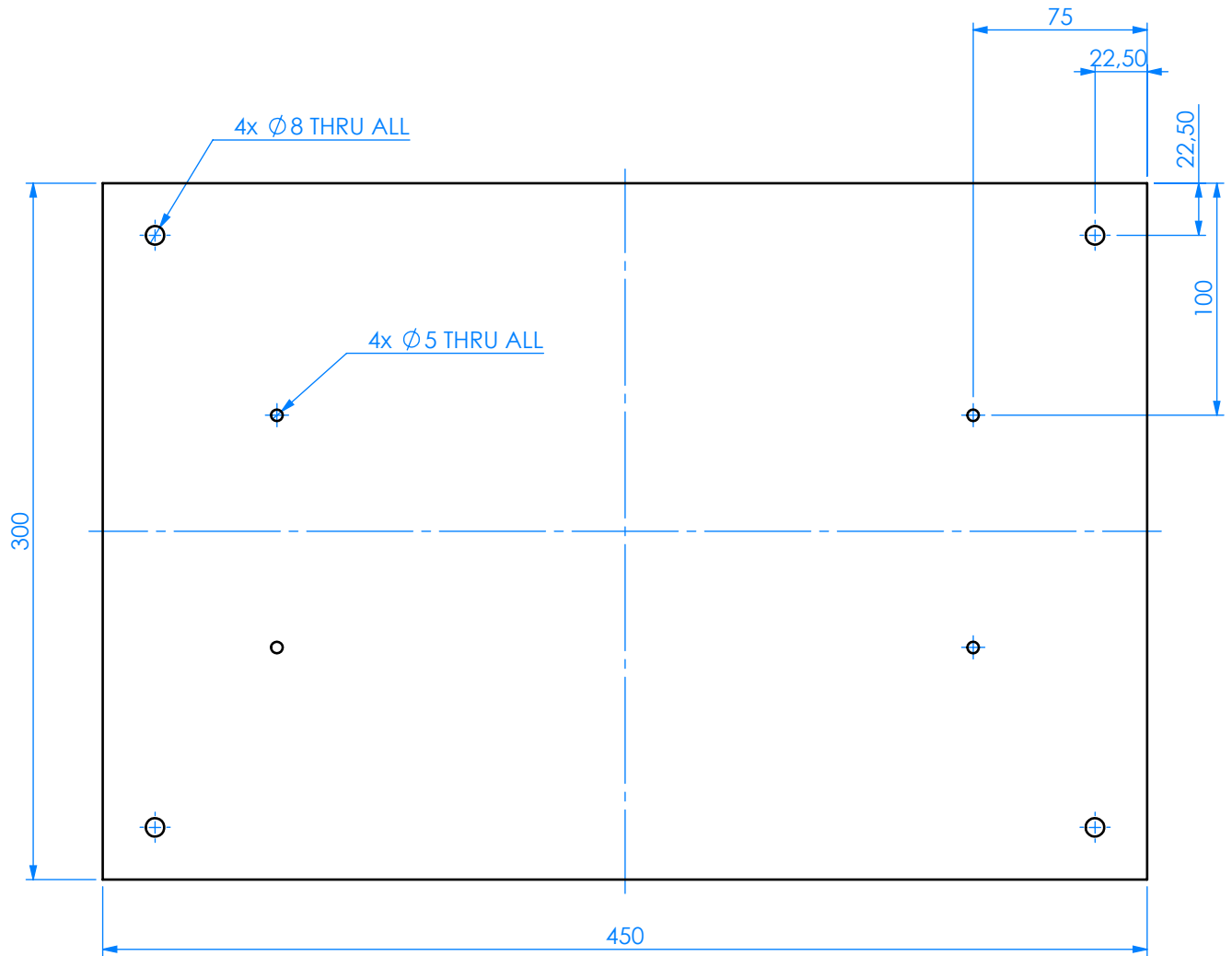
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº22 Chapa compartimento | | Número 1170986 |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



ESCALA
1:3

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

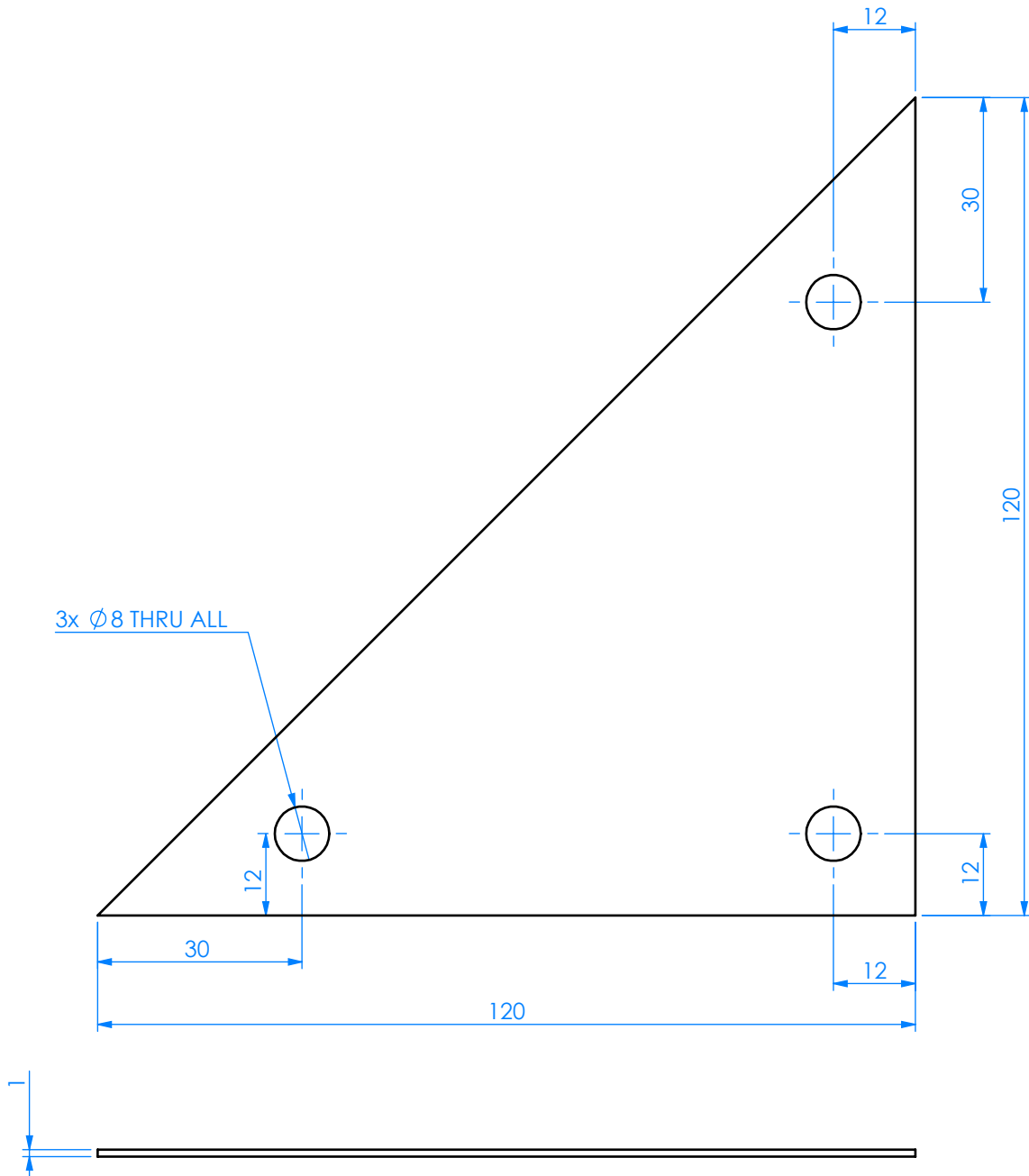
| | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº23 Suporte leitor de códigos de barras | Número 1170986 | | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/03/15 | Lingua pt | Folha 1/1 |



ESCALA
1:3

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

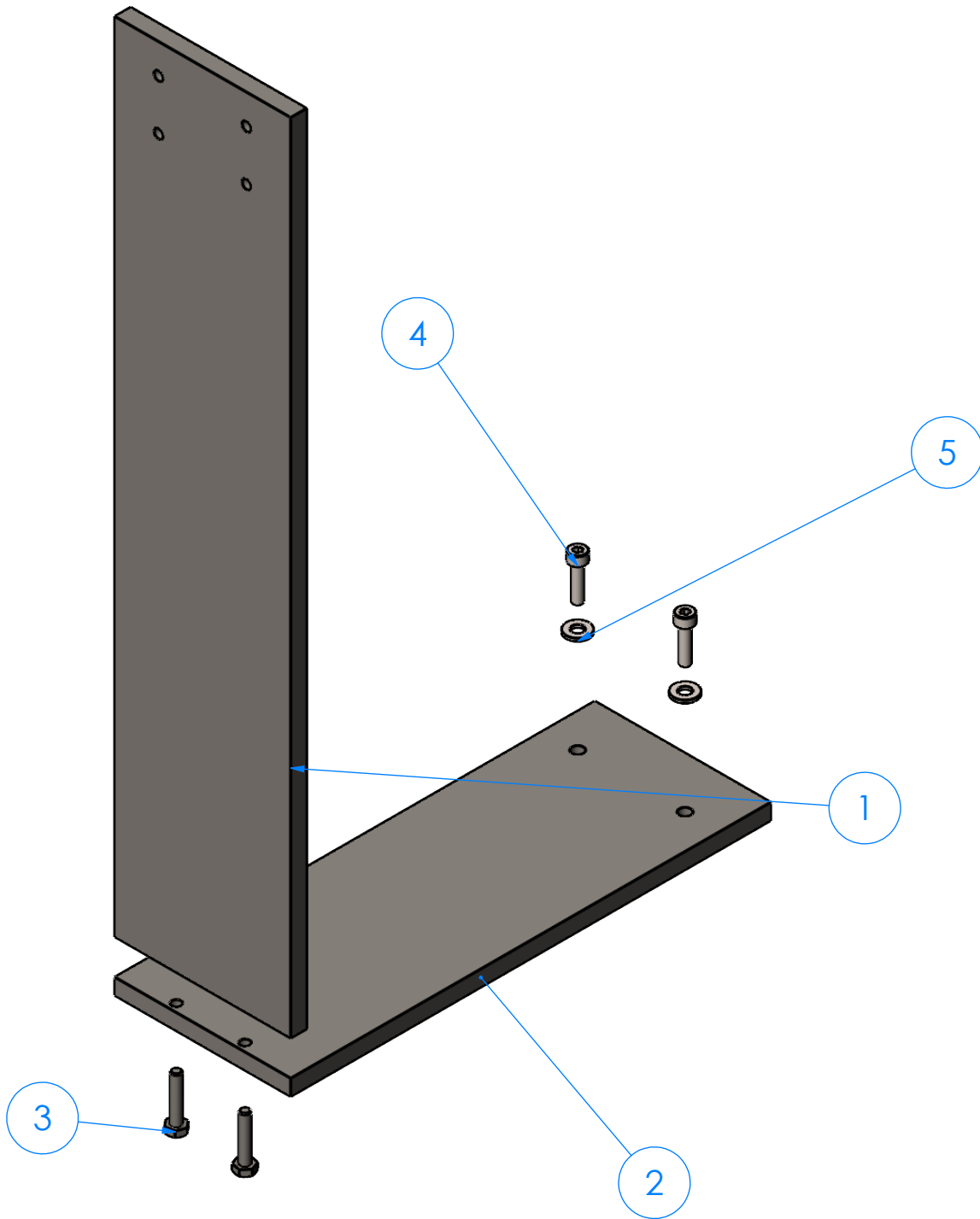
| | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº24 Placa do computador | Número 1170986 | | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Lingua pt | Folha 1/1 |



ESCALA
1:1

Toleranciamento ISO 8015
Tolerancias gerais ISO 2766 - mK
Cantos e chanfros gerais ISO 13715

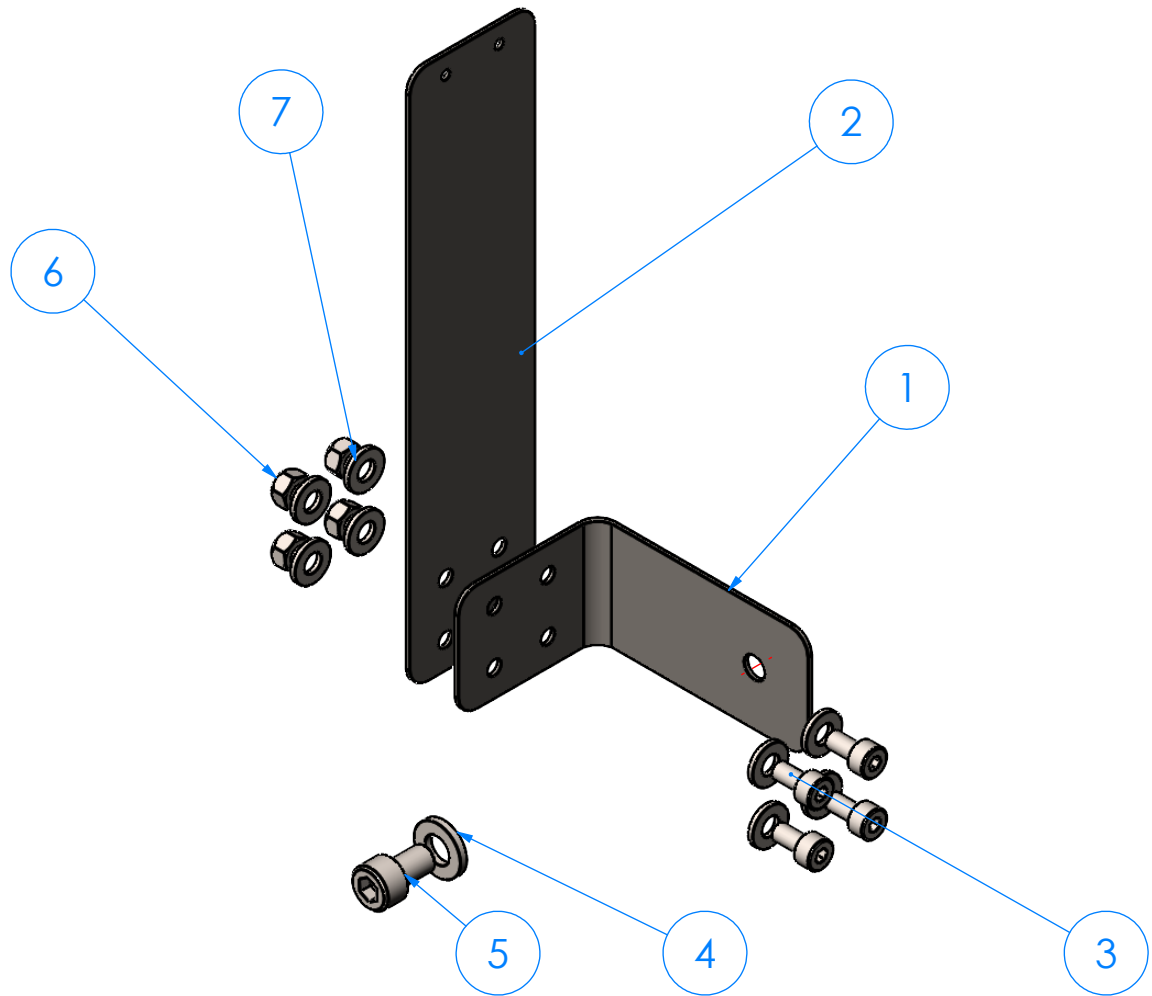
| | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº25 Chapa triangular | Número 1170986 | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt |
| | | | | Folha 1/1 |



| ITEM NO. | PART NUMBER | QTY. |
|----------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 | Suporte do scanner 1 | 1 |
| 2 | Suporte do scanner 2 | 1 |
| 3 | Parafuso com liso ISO 4015 - M4 x 20 - 8.8 | 2 |
| 4 | Parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762 - M6x12 - 8.8 | 2 |
| 5 | Anilha plana ISO 7091 - M4 -140HV | 2 |

ESCALA
1:1.5

| | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|--|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº26 Assembly chapas suporte scanner 3D | | Número 1170986 | | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/01/11 | Língua pt | Folha 1/1 | |



| ITEM NO. | PART NUMBER | QTY. |
|----------|------------------------------------------------------------------------|------|
| 1 | Chapa para sensor de peça 1 | 1 |
| 2 | Chapa para sensor de peça 2 | 1 |
| 3 | Parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762 - M4x12 - 8.8 | 4 |
| 4 | Anilha plana ISO 7091 - M6 -140HV | 1 |
| 5 | Parafuso de cabeça cilíndrica com oco hexagonal ISO 4762 - M6x12 - 8.8 | 1 |
| 6 | Porca hexagonal ISO 4032 - M4 - 8 | 4 |
| 7 | Anilha plana ISO 7091 - M4 -140HV | 8 |

ESCALA
1:1.5

| | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------|--------------|--|
| Pessoa responsável Lucas Gonçalves | Departamento responsável www.dem.isep.ipp.pt | Tipo de documento Desenho de peça / conjunto | Estado do documento Publicado | | | |
| Proprietário legal DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO Rua Dr. António Bernardino de Almeida, 431 4200-072 Porto | | Título Projeto Photoneo desenho nº27 Assembly suporte sensor de presença | | Número 1170986 | | |
| | | Revisão A | Data de edição 2022/03/21 | Língua pt | Folha 1/1 | |

ANEXO 10

Estimativa de peso da estrutura ao todo

| Perfis de aluminio | | | | | | |
|--------------------|-------|-------------|-----------|-----------|------------|----------------|
| Nome | kg/m | tamanho(mm) | Nº perfis | Altura(m) | Peso(kg) | Peso total(kg) |
| Estrutura inicial | 2,205 | 655 | 2 | 1,31 | 2,88855 | 71,56585 |
| | 2,205 | 1210 | 9 | 10,89 | 24,01245 | |
| | 2,205 | 1900 | 2 | 3,8 | 8,379 | |
| | 3,667 | 1010 | 2 | 2,02 | 7,40734 | |
| | 3,667 | 1210 | 3 | 3,63 | 13,31121 | |
| | 2,205 | 665 | 2 | 1,33 | 2,93265 | |
| | 2,205 | 800 | 2 | 1,6 | 3,528 | |
| | 2,205 | 1010 | 2 | 2,02 | 4,4541 | |
| | 2,205 | 1055 | 2 | 2,11 | 4,65255 | |
| Base FRE | 3,667 | 878,00 | 1 | 0,878 | 3,219626 | 13,956602 |
| | 3,667 | 452,00 | 2 | 0,904 | 3,314968 | |
| | 3,667 | 130,00 | 2 | 0,26 | 0,95342 | |
| | 3,667 | 300,00 | 1 | 0,3 | 1,1001 | |
| | 3,667 | 980,00 | 1 | 0,98 | 3,59366 | |
| | 3,667 | 242,00 | 2 | 0,484 | 1,774828 | |
| Base TRE | 3,667 | 865 | 1 | 0,865 | 3,171955 | 9,27751 |
| | 3,667 | 690 | 1 | 0,69 | 2,53023 | |
| | 3,667 | 165 | 1 | 0,165 | 0,605055 | |
| | 3,667 | 810 | 1 | 0,81 | 2,97027 | |
| Base FRD | 3,667 | 878,00 | 1 | 0,878 | 3,219626 | 13,956602 |
| | 3,667 | 452,00 | 2 | 0,904 | 3,314968 | |
| | 3,667 | 130,00 | 2 | 0,26 | 0,95342 | |
| | 3,667 | 300,00 | 1 | 0,3 | 1,1001 | |
| | 3,667 | 980,00 | 1 | 0,98 | 3,59366 | |
| | 3,667 | 242,00 | 2 | 0,484 | 1,774828 | |
| Base TRD | 3,667 | 865 | 1 | 0,865 | 3,171955 | 9,27751 |
| | 3,667 | 690 | 1 | 0,69 | 2,53023 | |
| | 3,667 | 165 | 1 | 0,165 | 0,605055 | |
| | 3,667 | 810 | 1 | 0,81 | 2,97027 | |
| Total | | | 39 | | 118,034074 | |

| Outros elementos | |
|-------------------------|----------|
| Nome estrutura | Peso(kg) |
| Postiços FRE | 2,34 |
| Postiços TRE | 1,24 |
| Postiços FRD | 2,34 |
| Postiços TRD | 1,24 |
| Conjunto <i>scanner</i> | 0,3 |
| Conjunto leitor | 0,4 |
| Conjunto PLC | 0,3 |
| Conjunto PC | 4 |
| Chapas | 10 |

Peso total estimado: 140,194074

ANEXO 11

Parâmetros e dados das impressões 3D

