



**TESE DE MESTRADO EM
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**“Seleção de Polímeros Termoplásticos para
Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em
Processos de Quinagem de Componentes
Aeronáuticos”**

Hugo Miguel Pereira Ruão

Aluno n. 20162055

Ano: 2022

**“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais**



TESE DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”

Dissertação orientada por:

Professora Doutora: Ana Paula Duarte

Co-orientada por:

Professor Doutor: Manuel Freitas

Discente: Hugo Miguel Pereira Ruão

Aluno n. 20162055

Ano: 2022

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Página deixada em branco intencionalmente.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação de Mestrado contou seguramente com enormes apoios e incentivos sem os quais eu não conseguiria terminar e por isso ficarei sempre agradecido.

À Professora Doutora Ana Paula Duarte, pela sua excelente orientação, total disponibilidade e colaboração. Pelas suas opiniões, pensamento crítico e resolução de problemas que surgiram ao longo deste projeto.

Ao Professor Doutor Manuel Freitas, co-orientador desta tese e coordenador do Mestrado em Engenharia de Materiais, pelas palavras de incentivo e sugestões sempre muito importantes. Por ter feito com que eu agora veja os materiais em aeronáutica de uma perspetiva mais apaixonada.

Ao Professor Doutor Tesseleno Devezas por me ter iniciado no mundo das publicações científicas. As suas aulas foram sempre repletas de curiosidades científicas e de exemplos reais que ajudaram a compreender e a pensar os desafios de forma mais objetiva.

À Atlântica – Instituto Universitário, por me ter proporcionado um estudo adequado e contínuo, apesar das restrições da pandemia nos últimos dois anos.

À Lauak – Grândola e ao meu orientador de estágio, Paulo Pereira. Foi com o seu apoio indispensável que consegui ter uma noção da produção aeronáutica. Desenvolver a minha pesquisa, realizar ensaios, testes e as respetivas análises, para a elaboração da minha tese.

Por último, mas não menos importante, à minha esposa e ao meu filho, porque sem eles não teria a força anímica para continuar nos períodos mais difíceis. A sua coragem, constante apoio e motivação foi como uma lufada de ar fresco para conseguir terminar esta etapa académica. A eles o meu coração.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Página deixada em branco intencionalmente.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

“Understanding the meaning of materials is certainly the best pathway to apply them properly across the industry.”

Autor: O próprio

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Página deixada em branco intencionalmente.

RESUMO

As ligas de alumínio mais utilizadas na indústria aeronáutica para peças não estruturais, são as ligas das séries 2xxx e 7xxx. A quinagem é um dos processos de conformação de materiais utilizados neste setor. Existem vários tipos de quinagem mas a mais utilizada para ângulos diferentes de 90° é a quinagem no ar. Parâmetros como a espessura da chapa, raio mínimo, índice K e o *bend allowance*, são parâmetros muito importantes para as peças quinadas não apresentarem defeitos.

No processo de quinagem das chapas de alumínio para aplicações aeronáuticas são atualmente utilizadas matrizes de diferentes tipos, são disso exemplo as matrizes híbridas metaloplásticas que utilizam o Politetrafluoretileno (PTFE) e que apresentam um desempenho relativamente fraco (onde neste projeto a matriz com topo de PTFE suporta cerca de 800 quinagens, altura em que começa a deixar marcas inaceitáveis na superfície das chapas, o que conduz à sua não conformidade) e as matrizes em aço que marcam as chapas comprometendo assim a sua integridade. Assim sendo, com o objetivo de colmatar este problema têm sido utilizadas de mangas de poliuretano no topo das referidas matrizes.

Este projeto visou essencialmente descobrir e testar uma matriz híbrida metaloplástica, onde constasse não só um plástico reciclável, mas também mais económico e com uma maior eficácia, isto é, que o total de quinagens até à sua eventual degradação fosse significativamente superior ao PTFE, por um lado, e também que pudesse substituir a manga de PU nos aspetos atrás referidos.

O *software* de seleção de materiais Granta EduPack 2021 foi utilizado como ferramenta para pré-seleção dos polímeros a testar no âmbito deste trabalho. A partir dos resultados obtidos foi consultado o mercado e analisadas as fichas técnicas dos polímeros disponíveis com vista à seleção do(s) polímero(s) a testar. A escolha recaiu sobre um Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (PE-UHMW) dado ser também maquinável em CNC e possuir qualidades que permitem a sua utilização na indústria aeronáutica.

Os ensaios de quinagem efetuados utilizando uma matriz híbrida metaloplástica com base de alumínio Al7175 e com o topo em PE-UHMW, permitiram a produção de chapas de alumínio com boa estabilidade dimensional e uma excelente resistência à deformação após 1700 quinagens. Ensaios realizados em paralelo com chapas de Al2024 estiverem na origem de chapas com marcas muito ténues que não comprometem a integridade das peças.

No âmbito do presente trabalho foi também realizado um estudo para avaliação económica da solução desenvolvida, ou seja, uma matriz híbrida metaloplástica produzida com PE-UHMW em comparação com uma matriz híbrida metaloplástica produzida com PTFE e também com a manga de PU. Os resultados obtidos mostram que a solução desenvolvida é a não só a mais eficiente mas também a mais económica pois permite realizar um maior número de quinagens com a mesma matriz e com um menor índice de paragem dos equipamentos para substituição das peças.

ABSTRACT

The most used aluminum alloys in the aeronautical industry for non-structural parts are the 2xxx and 7xxx series alloys. Bending is one of the materials forming processes used in this sector. There are several types of bending but the most used for angles other than 90° is the air bending. Parameters such as sheet thickness, minimum radius, K index and bend allowance are very important parameters for the bent parts to be free of defects.

In the bending process of aluminum sheets for aeronautical applications, different types of dies are currently used, for example the hybrid metaloplastic dies that use Polytetrafluoroethylene (PTFE) and that present a relatively poor performance (where in this project the die with PTFE top withstands around 800 bends, at which point it starts to leave unacceptable marks on the surface of the sheets, which leads to their non-compliance) and the steel dies that mark the sheets, thus compromising their integrity. Therefore, in order to overcome this problem, polyurethane sleeves have been used on top of those dies.

This project essentially aimed to discover and test a hybrid metaloplastic die, which included not only a recyclable plastic, but also a more economical and more efficient one, that is, that the total bending until its eventual degradation was significantly higher than PTFE, for one side, and also that it could replace the PU sleeve in the aforementioned aspects.

The Granta EduPack 2021 material selection software was used as a tool for pre-selecting the polymers to be tested in the scope of this work. Based on the results obtained, the market was consulted and the technical data sheets of the available polymers were analyzed in order to select the polymer(s) to be tested. The choice fell on an Ultra High Molecular Weight Polyethylene (PE-UHMW) as it is also CNC machinable and has qualities that allow its use in the aeronautical industry.

The bending tests carried out using a hybrid metaloplastic matrix with an Al7175 aluminum base and a PE-UHMW top, allowed the production of aluminum sheets with good dimensional stability and excellent resistance to deformation after 1700 bends.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tests carried out in parallel with Al2024 sheets resulted in sheets with very faint marks that do not compromise the integrity of the parts.

In the scope of the present work, a study was also carried out for the economic evaluation of the developed solution, that is, a hybrid metaloplastic die produced with PE-UHMW compared to a hybrid metaloplastic die produced with PTFE and also with the PU sleeve. The results obtained show that the solution developed is not only the most efficient but also the most economical as it allows for a greater number of bending with the same matrix and with a lower rate of equipment downtime to replace the parts.

ÍNDICE

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE TABELAS	xxi
ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xxiii
PALAVRAS-CHAVE.....	xxvii
KEYWORDS.....	xxviii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 MATERIAIS NO SETOR AERONÁUTICO	2
2.1 Polímeros e suas aplicações	2
2.2 Alumínio e suas ligas	6
2.2.1 Processos de conformação por quinagem.....	17
2.2.2 Tipos de quinagens	18
2.2.3 Defeitos nas peças quinadas	19
2.2.4 Caso real de um processo de quinagem de peças defeituosas	25
3 DESENVOLVIMENTO.....	29
3.1 Metodologia	29
3.2 Descrição do problema e da solução em utilização	31
3.3 Objetivos do trabalho	32
3.4 Projeto da ferramenta	32
3.4.1 Desenvolvimento e desenho	32
3.5 Seleção do polímero a utilizar na ferramenta.....	34
3.5.1 Recurso ao <i>software</i> GRANTA EduPack.....	36

3.5.2	Análise das características técnicas dos termoplásticos pré-selecionados existentes no mercado.....	42
3.5.2.1	Comparação entre o PTFE testado e o PE-UHMW TIVAR® 1000TG1 ..	44
3.6	Maquinagem da ferramenta.....	45
3.7	Ensaio de quinagem com a ferramenta desenvolvida.....	48
4	RESULTADOS/DISCUSSÃO.....	54
4.1.	Ensaio de caracterização das chapas	54
4.1.1.	Análise Visual a olho nú	54
4.1.2.	Análise por Microscopia.....	58
4.1.3.	Análise Tridimensional.....	71
4.1.3.1.	Matriz dos registos angulares após quinagens	72
4.1.3.2.	Variação do Vetor (Z) (Aba direita exterior)	75
4.1.3.3.	Variação do Vetor (Z) (Aba direita interior).....	78
4.1.3.4.	Variação do Vetor (Z) (Aba esquerda exterior)	80
4.1.3.5.	Variação do Vetor (Z) (Aba esquerda interior).....	83
4.2.	Ensaio de caracterização do polímero	86
4.2.1.	Análise visual a olho nú.....	86
4.2.2.	Análise por Microscopia.....	90
4.2.3.	Análise Tridimensional.....	95
4.3.	Avaliação económica da ferramenta desenvolvida	101
5	CONCLUSÕES.....	107
6	PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO	109
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	110
8	ANEXOS.....	116

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Algumas das peças fabricadas à base de celulóide	2
Figura 2.2 – Algumas das peças fabricadas à base de baquelite.....	3
Figura 2.3 – Identificação dos metais, semi-metais e não-metais, na tabela periódica	4
Figura 2.4 – Representação das zonas amorfas e cristalinas de um polímero semi-cristalino hipotético.....	5
Figura 2.5 - Previsão da produção mundial de termoplásticos entre os anos 2020-2050.	6
Figura 2.6 - Utilização do alumínio primário por setor da indústria, em 2020 (em percentagem).....	8
Figura 2.7 – Tipos de ligas de alumínio, descrição e aplicações (parte 1)	10
Figura 2.8 – Tipos de ligas de alumínio, descrição e aplicações (parte 2)	10
Figura 2.9 – Comparação da resistência específica entre alguns materiais de engenharia	14
Figura 2.10 - Relação entre a solubilidade e a temperatura no processo de envelhecimento	15
Figura 2.11 – Formação de precipitados Θ (Al + Cu) após envelhecimento de uma liga Al2024	15
Figura 2.12 – Diagrama de fase Al-Cu e as microestruturas produzidas durante o tratamento térmico	17
Figura 2.13 – Aspeto da microestrutura de uma liga Al2024, com diferentes tempos de envelhecimento	17
Figura 2.14 – Princípio físico do processo de quinagem (Nota: P \rightarrow força aplicada; α \rightarrow ângulo de quinagem; r_i \rightarrow raio interno de quinagem; 1, 2 \rightarrow distância da abertura da matriz ou pontos de.....	18
Figura 2.15 – Exemplo de quinagem no ar (Nota: α \rightarrow ângulo de quinagem; V \rightarrow distância de abertura da matriz; y \rightarrow profundidade de quinagem)	19
Figura 2.16 – Efeito sela numa barra quinada	19
Figura 2.17 – Efeito de bordo calculado pelo método dos elementos finitos.....	20
Figura 2.18 – Retorno elástico numa peça quinada	20
Figura 2.19 – Curva tensão-deformação típica de um metal.	21

Figura 2.20 – Raio interno (r_i), ângulo de abertura (α) e espessura (t).....	21
Figura 2.21 – Demonstração do fator K	22
Figura 2.22 – Convexão da borda em relação ao eixo original	22
Figura 2.23 – Representação gráfica para verificação do índice K, para $r_i/t < 5$	23
Figura 2.24 – Redução volumétrica após quinagem.....	24
Figura 2.25 – Diagrama de carga tensão-extensão para o alumínio (Nota: 1 – limite de resistência à tração; 2 – limite de escoamento; 3 – limite elástico; 4 – ponto de rutura total; 5 – linha offset (0,002))	25
Figura 2.26 – Fotografia do aspeto geral da peça Al2024-T351 fraturada, pós-quinagem	26
Figura 2.27 – Fotografia do pormenor da fratura com 52mm (imagem 1.1).....	26
Figura 2.28 – Fotografia do pormenor da fratura com 27mm (imagem 2.1).....	26
Figura 2.29 – Fotografia indicando o sentido de laminação na superfície da peça	27
Figura 2.30 – Processo de recuperação e recristalização durante a laminagem de uma peça metálica.....	27
Figura 2.31 – Representação da aba mínima de quinagem.....	28
Figura 3.1 - Fotografia de: (a) peça de PTFE para ensaio; (b) matriz em Liga de Fe-C e PTFE	31
Figura 3.2 – Fotografia da matriz original em Fe-C, com manga de proteção em PU...	31
Figura 3.3 – Fotografia das marcas impressas na chapa, após quinagem.....	32
Figura 3.4 – Organograma das fases de um projeto	33
Figura 3.5 – Desenho otimizado da peça em polímero para posterior maquinagem.....	34
Figura 3.6 – Desenho da matriz metaloplástica, em software CATIA	34
Figura 3.7 – Gráfico dureza Rockwell M/resistência ao impacto, com entalhe vs temperatura de serviço/ módulo de compressão para os polímeros pré-selecionados com base nos critérios apresentados nas tabelas 5.8 e 5.9	39
Figura 3.8 – Gráfico dureza Rockwell M/resistência ao impacto, com entalhe vs temperatura de serviço/ módulo de compressão para os polímeros pré-selecionados com base nos critérios apresentados nas tabelas 5.10 e 5.11	40
Figura 3.9 – Estrutura da cadeia polimérica do PE-UHMW em comparação com o HDPE convencional	41

Figura 3.10 – Características gerais do Politetrafluoretileno.....	44
Figura 3.11 – Características gerais do Polietileno.....	44
Figura 3.12 – Fotografia de: (a) bloco em liga Al7175; (b) bloco de PE-UHMW TIVAR® 1000TG1	45
Figura 3.13 – Fotografia da etapa de controlo de débitos no processo de maquinagem	46
Figura 3.14 – Fotografia da etapa de (a) Fixação do bloco de Al7175; (b) Confirmação de coordenadas no processo de maquinagem	46
Figura 3.15 – Fotografia de: (a) bloco de liga Al7175; (b) Bloco de PE-UHMW TIVAR® 1000TG1 durante a etapa de fresagem.	47
Figura 3.16 – Fotografia de: (a) defeito na superfície do bloco; (b) inspeção da peça semi- acabada.....	47
Figura 3.17 – Fotografias (a, b, c) Controlo visual da matriz após maquinagem CNC..	47
Figura 3.18 – Fotografias de algumas das ferramentas CNC utilizadas no projeto.....	48
Figura 3.19 – Desenho da peça após quinagem.....	50
Figura 3.20 – Fotografia do ensaio de controlo à chapa de prova em Al2024	50
Figura 3.21 – Fotografia da:(a) chapa quinada; (b) matriz híbrida metaloplástica,.....	51
Figura 3.22 – Fotografia da anomalia na interface polímero-alumínio da matriz visível a olho nu e definição das zonas para análise microscópica.	51
Figura 3.23 – Fotografia da interface polímero-alumínio da matriz, zona esquerda.....	52
Figura 3.24 – Fotografia da interface polímero-alumínio da matriz, zona centro	52
Figura 3.25 – Fotografia da interface polímero-alumínio da matriz, zona direita.....	53
Figura 3.26 – Possíveis causas para as alterações observadas aparência da liga Al7175 a) tensão de corte resultante da carga aplicada durante a quinagem; b) movimento rotacional e unidirecional da fresa, durante o processo de maquinagem CNC.	53
Figura 4.1 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	55
Figura 4.2 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	55
Figura 4.3 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	55
Figura 4.4 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	56
Figura 4.5 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	56
Figura 4.6 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	56
Figura 4.7 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo,.	57

Figura 4.8 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, .	57
Figura 4.9 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, .	57
Figura 4.10 – Fotografia das chapas de alumínio após quinagem salientando as	58
Figura 4.11 – Fotografia da superfície da chapa nº 50 (200 quinagens), lado esquerdo,	59
Figura 4.12 – Fotografia da superfície da chapa nº 50 (200 quinagens), lado direito, ..	59
Figura 4.13 – Fotografia da superfície da chapa nº 100 (400 quinagens), lado esquerdo,	60
Figura 4.14 – Fotografia da superfície da chapa nº 100 (400 quinagens), lado direito,	60
Figura 4.15 – Foto: Análise de superfície - peça nº 150 (600 quinagens), lado esquerdo	61
Figura 4.16 – Fotografia da superfície da chapa nº 150 (600 quinagens), lado direito ..	61
Figura 4.17 – Fotografia da superfície da chapa nº 200 (800 quinagens), lado esquerdo,	62
Figura 4.18 – Fotografia da superfície da chapa nº 200 (800 quinagens), lado direito,	62
Figura 4.19 – Fotografia da superfície da chapa nº 250 (1000 quinagens), lado esquerdo,	63
Figura 4.20 – Fotografia da superfície da chapa nº 250 (1000 quinagens), lado direito,	63
Figura 4.21 – Fotografia da superfície da chapa nº 300 (1200 quinagens), lado esquerdo	64
Figura 4.22 – Fotografia da superfície da chapa nº 300 (1200 quinagens), lado direito	64
Figura 4.23 – Fotografia da superfície da chapa nº 350 (1400 quinagens), lado esquerdo,	65
Figura 4.24 – Fotografia da superfície da chapa nº 350 (1400 quinagens), lado direito,	65
Figura 4.25 – Fotografia da superfície da chapa nº 400 (1600 quinagens), lado esquerdo,	66
Figura 4.26 – Fotografia da superfície da chapa nº 400 (1600 quinagens), lado direito,	66
Figura 4.27 – Fotografia da superfície da chapa nº 425 (1700 quinagens).....	67

Figura 4.28 – Fotografia de pormenor da chapa nº 425 (1700 quinagens).....	67
Figura 4.29 – Fotografia da superfície da chapa nº 425 (1700 quinagens).....	68
Figura 4.30 – Fotografia de pormenor da chapa nº 425 (1700 quinagens).....	68
Figura 4.31 – Relação entre a largura das marcas impressas na superfície das chapas e o nº de quinagens	69
Figura 4.32 – Relação entre a largura das marcas impressas na superfície das chapas ..	69
Figura 4.33 – Fotografia do equipamento metrológico de análise tridimensional	71
Figura 4.34 – Fotografia de (a) layout do desenho original no software metrológico para marcação de vetores na chapa quinada; (b) marcação de pontos vetoriais na superfície da chapa quinada	71
Figura 4.35 – Desenho de uma chapa quinada com controlo dimensional – exemplo...	72
Figura 4.36 – Registo dos ângulos reais das chapas quinadas de 0,8 mm de espessura nos pontos a, b, c, d	74
Figura 4.37 – Registo dos ângulos reais das chapas quinadas de 0,8 mm de espessura nos pontos.....	74
Figura 4.38 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z (aba direita exterior).....	76
Figura 4.39 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas	77
Figura 4.40 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas,	77
Figura 4.41 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z na aba direita interior das chapas quinadas	78
Figura 4.42 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas	79
Figura 4.43 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas,	80
Figura 4.44 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z na aba esquerda exterior.....	81
Figura 4.45 – Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda exterior das chapas	82

Figura 4.46 – Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas,	82
Figura 4.47 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z na aba esquerda interior.....	83
Figura 4.48 - Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas	84
Figura 4.49 - Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas,	85
Figura 4.50 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	87
Figura 4.51 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	87
Figura 4.52 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	88
Figura 4.53 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	88
Figura 4.54 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	88
Figura 4.55 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	89
Figura 4.56 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	89
Figura 4.57 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	89
Figura 4.58 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica,	90
Figura 4.59 - Fotografia da marcação de pontos na matriz metaloplástica	91
Figura 4.60 – Fotografia do ponto nº 1 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens	91
Figura 4.61 – Fotografia do ponto nº 2 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens	92
Figura 4.62 – Fotografia do: ponto nº 4 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens	92
Figura 4.63 – Fotografia do ponto nº 3 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens	93

Figura 4.64 – Fotografia das duas faces a e b da matriz metaloplástica durante o processo de quinagem.....	94
Figura 4.65 – Fotografia de: (a) equipamento metrológico, (b) fixação da matriz na mesa	95
Figura 4.66 – Fotografia da marcação de pontos para verificação de desvios no eixo do polímero	96
Figura 4.67 – Distância dos desvios no eixo do polímero em seis pontos (vista de topo)	96
Figura 4.68 – Distância dos desvios no eixo do polímero em seis pontos (vista de perfil)	97
Figura 4.69 – Fotografia da marcação de pontos para verificação da distância	97
Figura 4.70 – Fotografia da marcação dos pontos para verificação da distância dos desvios	98
Figura 4.71 – Distância dos desvios na superfície interna do polímero em quatro pontos – face (a)	98
Figura 4.72 – Distância dos desvios na superfície interna do polímero em quatro pontos – face (b)	99
Figura 4.73 – Fotografia demarcação dos pontos para verificação da distância dos.....	99
Figura 4.74 – Distância dos desvios no topo do polímero – faces (a) e (b) (vista de perfil)	100
Figura 4.75 – Otimização de corte do rolo de manga de PU	101
Figura 4.76 – Otimização de corte do bloco de PTFE.....	101
Figura 4.77 – Otimização de corte do bloco de PE-UHMW	102
Figura 4.78 – Custo total dos três materiais.....	103
Figura 4.79 – Total de quinagens vs total de peças	104
Figura 4.80 - Tempos de operação vs Totais custos produção	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação usada para identificação do tipo de tratamento térmico	11
Tabela 2.2 - Classificação usada para identificação dos tratamentos gerais	11
Tabela 2.3 - Classificação usada para identificação dos produtos deformados a frio ...	12
Tabela 2.4 - Classificação usada para identificação dos produtos solubilizados / envelhecidos (parte 1).....	12
Tabela 2.5 - Classificação usada para identificação dos produtos solubilizados / envelhecidos (parte 2)	13
Tabela 2.6 – Parâmetros a considerar na quinagem.....	18
Tabela 2.7 – Fatores K para o alumínio e aço	24
Tabela 3.1 – Propriedades mais relevantes consideradas na seleção dos termoplásticos a usar na produção da matriz híbrida metaloplástica.....	35
Tabela 3.2 – Requisitos de seleção do(s) polímero(s)	36
Tabela 3.3 – Criticidade de materiais mais utilizados	37
Tabela 3.4 – Composição do(s) polímero(s).....	37
Tabela 3.5 – Preço do(s) polímero(s).....	37
Tabela 3.6 – Durabilidade do(s) polímero(s).....	37
Tabela 3.7 – Reciclabilidade e tempo de vida do(s) polímero(s)	37
Tabela 3.8 – Ordenação dos termoplásticos pré-selecionados em função da.....	38
Tabela 3.9 – Ordenação dos termoplásticos pré-selecionados em função de.....	38
Tabela 3.10 - Tabela com preço otimizado para 5€/kg.....	40
Tabela 3.11 – Classificação dos PEs e respetivos intervalos de massas moleculares (MW)	41
Tabela 3.12 – Lista de PEs e PAs listados no catálogo do fornecedor e sua disponibilidade	42
Tabela 3.13 – Propriedades do PE-UHMW - TIVAR 1000TG1.....	43
Tabela 3.14 - Registo do ensaio de controlo com o Polietileno-UHMW	49
Tabela 3.15 – Registo dos ensaios já realizados com o PTFE.....	54
Tabela 3.16 - Protocolo para os ensaios com o PE-UHMW	54
Tabela 4.1 – Matriz de registo dos ângulos reais das chapas quinadas	73

Tabela 4.2 – Matriz de registo dos desvios angulares entre a chapa quinada e o desenho original.....	73
Tabela 4.3 – Desvios angulares e médias angulares das chapas de 0,8 e 1,0 mm de espessura.....	75
Tabela 4.4 – Matriz de variação do vetor Z em três pontos da (aba direita exterior das chapas quinadas.....	76
Tabela 4.5 – Matriz da média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas.....	78
Tabela 4.6 – Matriz da variação do vetor Z em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas.....	79
Tabela 4.7 – Matriz da média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas.....	80
Tabela 4.8 – Matriz da variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas.....	81
Tabela 4.9 – Matriz da média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas.....	83
Tabela 4.10 – Matriz da variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas (Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo).....	84
Tabela 4.11 – Matriz de Média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas.....	85
Tabela 4.12 – Custos de aquisição dos materiais a usar na processo de quinagem das chapas de alumínio.....	102
Tabela 4.13 - Custos relativos à preparação dos materiais no equipamento CNC.....	102
Tabela 4.14 – Custos relativos à preparação dos materiais na quinadeira.....	103
Tabela 4.15 – Total quinagens/nº de peças.....	104
Tabela 4.16 - Custos totais de produção da ferramenta de quinagem, total de horas de quinagem.....	105
Tabela 8.1 - Composição química da liga Al2024 - T351.....	121
Tabela 8.2 - Propriedades físicas e mecânicas do Al2024.....	121

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AFL – *Automatic Fiber Placement*

Al – Alumínio

a_{\min} – Aba mínima

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

ATL – *Automatic Lay-up*

atm – Atmosfera

B – *Bending Angle*

BA – *Bending Allowance*

BMI – Bismaleimida

Br – Bromo

C – Carbono

cal – Calorias

CFRP – *Carbon Fiber Reinforced Plastics*

Cl – Cloro

cm – Centímetro

CNC – *Computer Numerical Control*

Cu – Cobre

F – Flúor

Fe – Ferro

FRP – *Fiber Reinforced Plastics*

g – Grama

GPa – GigaPascal

h – hora

H – Hidrogénio

HCl – Ácido Clorídrico

HNO₃ – Ácido Nítrico

IACS – *International Annealed Copper Standard*

I – Iodo

IADS – *International Alloy Designation System*

IR – *Inner Radius*

IV – Infravermelho

ISO – Organização Internacional de Normalização

I&D – Investigação e Desenvolvimento

K – Kelvin

KPa – QuiloPascal

L – Vetor Longitudinal

K – K Factor

KJ – QuiloJoule

kN – QuiloNewton

m – Metro

min – Minuto

MEV – Microscópio Electrónico de Varrimento

Mg – Magnésio

mm – Milímetro

MoS₂ – Dissulfeto de Molibdénio

MPa – MegaPascal

MT – *Material Thickness*

MW – *Molecular Weight*

N – Newton

NaCl – Cloreto de Sódio

NaOH – Hidróxido de Sódio

NBR – Borracha de Nitrilo-Butadieno

P – Força Aplicada

PAN – Poliacrilonitrila

PE – Polietileno

PMMA – Polimetil metacrilato

PS – Poliestireno

PTFE – Politetrafluoretileno

PU – Poliuretano

Qtd – Quantidade

rad – Radianos

r_i – Raio Interno de Quinagem

r_{min} – Raio Mínimo

RTM – *Resin transfer Molding*

s – Segundo

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

SBR – Borracha de Estireno-Butadieno

Si – Silício

T – Vetor Transversal

Tamb – Temperatura Ambiente

Tmáx – Temperatura Máxima

Tmin – Temperatura Mínima

UHMW – *Ultra High Molecular Weight*

W – Watt

Wt% - Percentagem em Massa

α – Ângulo de Quinagem

€ - Euro

°C – Graus Centígrados

π – Constante Pi

\vec{F} – Força normal

\vec{T} – Tensão de corte

%p – Percentagem em peso

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PALAVRAS-CHAVE

Alumínio, Ensaio, Matriz, Quinagem, Polietileno.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

KEYWORDS

Aluminum, Bending, die, Polyethylene, Testing

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho teve com principal objetivo a seleção de um polímero para utilização em matrizes híbridas metaloplásticas usadas na quinagem de chapas de alumínio para aplicação na indústria aeronáutica.

Para o efeito, foram realizadas pesquisas bibliográficas e vários ensaios de caracterização nas instalações da Lauak Aerostructures, assim como, no laboratório de Materiais da **Atlântica – Instituto Universitário**, onde se utilizou também o *software* de Seleção de Materiais GRANTA EduPack 2021.

A indústria aeronáutica encontra-se em constante desenvolvimento. Cada vez mais procura inovar, desenvolver peças e estruturas com materiais mais leves e com ultra alto desempenho e, não menos importante, tornar os processos de produção mais eficientes. Ao longo dos anos verificaram-se várias mudanças e outras certamente ocorrerão em sectores estratégicos dentro de uma empresa ou de um país tais como: o desenvolvimento tecnológico, transportes e mobilidade e não menos importante o setor económico. Estas mudanças partem de uma preocupação generalizada, a sustentabilidade.

É necessário acelerar a transição energética para uma indústria mais “verde”, mais digital e com uma reduzida pegada ecológica. Para isso é necessário investir na investigação e desenvolvimento de novos materiais, mais eficientes e sustentáveis, reduzir o consumo de peças e de energia, maximizar a reciclagem e pensar o fim de vida do produto.

Uma das dificuldades encontradas relativamente ao desenvolvimento de novos plásticos é o facto de apesar de terem uma densidade reduzida, apresentarem um baixo desempenho em determinadas aplicações. Daí, a aposta em materiais híbridos deverá ser também uma prioridade, uma vez que poderá mitigar ou mesmo eliminar uma eventual falta de soluções na área dos plásticos.

O *shift* do paradigma “mudança” deverá ser consistente e coerente e a aposta em centros de I&D por parte da indústria aeronáutica/aerospacial não pode abrandar. A introdução de novos materiais na indústria é fundamental para uma gestão produtiva mais dinâmica, mas sobretudo mais eficiente.

2 MATERIAIS NO SETOR AERONÁUTICO

2.1 Polímeros e suas aplicações

Os primeiros contactos e estudos com materiais que agora se identificam como polímeros, remontam ao início do século XIX. Em 1870, John Wesley Hyatt ¹ inventou aquele que viria a ser o primeiro plástico a ser produzido industrialmente, a **celulóide**, que consistia em um filme fino com base de nitrato de celulose, resina cerosa e álcool, pressionados contra um molde aquecido. (Britannica T. E., 2021)



Figura 2.1 - Algumas das peças fabricadas à base de celulóide

Em 1907 foi sintetizado por Leo Hendrik Baekeland ² o primeiro polímero sintético, a **baquelite**. Este termoendurecível, que não amolece quando aquecido, foi desenvolvido pela necessidade de se encontrar um substituto sintético para a goma-laca, matéria-prima utilizada nos discos fonógrafos, antecedentes dos discos de vinil. (Britannica T. E., 2022)
A baquelite, com o nome científico de polifenol resulta da polimerização do elemento formaldeído (HCHO) e do elemento fenol (C₆H₅OH) quando sujeitos a elevadas pressões e altas temperaturas, limitados por um molde, para adquirirem a sua forma final.

¹ (Britannica T. E., John Wesley Hyatt, 2021)

² (Britannica T. E., Leo Baekeland, 2022)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



Figura 2.2 – Algumas das peças fabricadas à base de baquelite

Outras descobertas importantes de polímeros

- **Poliestireno** - PS (Eduard Simon – Alemanha, 1839)
- **Policloreto de Vinil** - PVC (Eugen Baumann – Alemanha, 1872)
- **Polietileno** - PE (Hans Von Pechmann – Alemanha, 1898)
- **Poliamida** – Nylon[®] - PA (Wallace Hume Carothers – EUA, 1930)

Mas o *boom* do fabrico em larga escala de polímeros aconteceu apenas a partir da 1ª metade do século XX, quando o Químico alemão Hermann Staudinger ³, descobriu o processo de polimerização, permitindo assim a síntese de polímeros sintéticos e a sua produção à escala industrial.

Os polímeros são moléculas muito grandes (macromoléculas) constituídas pela repetição de pequenas e simples unidades químicas, os monómeros. Os polímeros sintéticos são produzidos a partir de um derivado do petróleo, a nafta. São geralmente compostos orgânicos não-metálicos baseados em Carbono, Hidrogénio, Oxigénio, Azoto ou Flúor. Por vezes podem conter outros elementos semi-metálicos, como o Silício. Todos eles estão localizados nos três primeiros períodos da tabela periódica, de acordo com a figura 2.3.

³ (Britannica T. E., Hermann Staudinger, 2022)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

A tabela periódica é apresentada com uma fundo verde escuro. As células são coloridas para facilitar a identificação dos grupos de elementos. No topo, há uma legenda com três cores: um retângulo azul para 'Metals', um retângulo verde para 'Non -Metals' e um retângulo rosa para 'Semi-Metals'. A tabela contém os símbolos químicos, nomes e números atômicos dos elementos, desde o Hidrogênio (H) até o Lítio (Lu) e o Lantânio (La).

Figura 2.3 – Identificação dos metais, semi-metais e não-metais, na tabela periódica

Os polímeros apresentam tipicamente baixa densidade e podem ser extremamente flexíveis; estão incluídas as borrachas (elastómeros) e os plásticos (termoplásticos e termoendurecíveis).

Os elastómeros apresentam deformações superiores ao seu comprimento inicial, quando sujeitos a uma tensão e ocorre uma recuperação elástica total depois de retirada essa tensão (exemplos: Borracha natural, Poliisopreno sintético, Neoprene, Silicone).

Os polímeros podem ser amorfos (inexistência de qualquer ordem estrutural molecular) ou semi-cristalinos, isto é, apresentam cristais em zonas amorfas. Esta cristalinidade (grau de organização das cadeias) confere maior densidade e maior resistência à deformação do material devido ao empacotamento das suas macromoléculas. Tipicamente, os polímeros amorfos são transparentes (exemplos: Poliestireno – PS, Polimetilmetacrilato – PMMA (acrílico[®])). Entre outras aplicações, o PS é utilizado em escovas de dentes, seringas, copos descartáveis, enquanto que o PMMA é usado em lentes de óculos, faróis, pára-brisas, além de outros projetos que necessitem de excelentes propriedades óticas.

Os polímeros semi-cristalinos são opacos ou translúcidos sendo exemplos destes o Polietileno – PE e as Poliamidas – PAs, cujas aplicações são: baldes, sacos do lixo, embalagens, paletes, assentos sanitários e capacetes e fibras, cordas, roupas, coberturas, grelhas, fixações, condutas, tampões, respetivamente.

Na figura 2.4 está representado um polímero semi-cristalino hipotético, onde se distinguem as zonas amorfas e as zonas cristalinas, no seio das quais as cadeias polímeros se encontram organizadas.

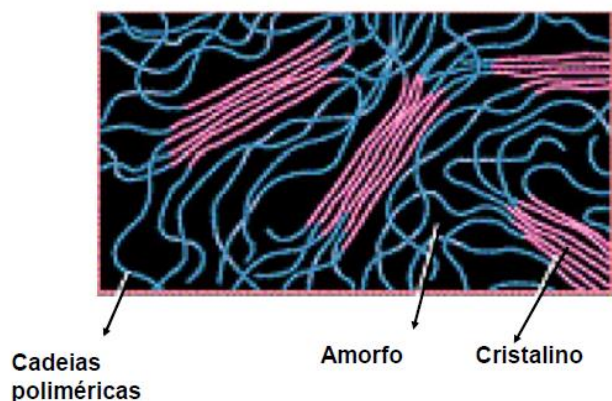


Figura 2.4 – Representação das zonas amorfas e cristalinas de um polímero semi-cristalino hipotético

Num enquadramento baseado na sustentabilidade e ambiente podemos afirmar que os plásticos são classificados como termoplásticos ou termoendurecíveis. Os termoplásticos e necessitam apenas de calor para serem conformados e após arrefecimento mantêm a forma que adquiriram durante a conformação. Podem ser várias vezes fundidos e conformados sem que ocorra alteração significativa das suas propriedades; podendo por isso ser facilmente reciclados. À T_{amb} podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis.

De acordo com os dados estatísticos da figura 2.5, os termoplásticos mais importantes em termos de quantidades produzidas são: PE – Polietileno de alta e baixa densidade, PVC – Policloreto de vinila, PP – Polipropileno, PS - Poliestireno e PET – Politereftalato de etileno que em 2020 correspondiam a cerca de 72% da totalidade produzida num total de 400 milhões de toneladas métricas (Mt). Prevê-se que no ano 2050 a percentagem seja muito semelhante, cerca de 71% da totalidade de termoplásticos produzidos num total de 590 milhões de toneladas métricas (Mt).

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

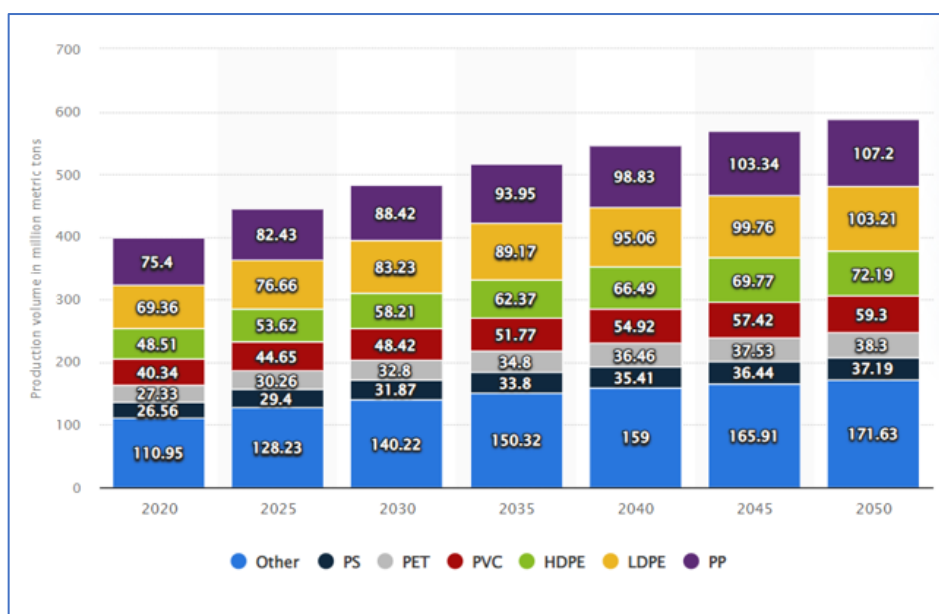


Figura 2.5 - Previsão da produção mundial de termoplásticos entre os anos 2020-2050
(Tiseo, 2021)

Os termoendurecíveis e os elastômeros não são recicláveis, fruto da presença de reticulações entre as cadeias. Os termoendurecíveis são rígidos e frágeis e apresentam uma elevada estabilidade a variações de temperatura (normalmente apresentam maior resistência ao calor que os termoplásticos). O aquecimento a altas temperaturas das peças acabadas produzidas com polímeros termoendurecíveis promove a decomposição do material antes da sua fusão, razão pela qual a sua reciclagem é complicada.

2.2 Alumínio e suas ligas

O alumínio metálico é produzido a partir do minério bauxite tipicamente através de dois processos, o processo Bayer ⁴, para a produção do óxido de alumínio (alumina) e o processo Hall-Héroult ⁵, pelo qual é obtido o metal. A bauxite, descoberta por Pierre Berthier ⁶ em 1821, é uma rocha de cor avermelhada formada principalmente por óxidos e silicatos de alumínio, sílica, dióxido de titânio e óxido de ferro. A formação da bauxite

⁴ (Institute, 2018)

⁵ (Landmarks, 2022)

⁶ (Science, 2022)

resulta da decomposição de rochas alcalinas ao longo de milhões de anos. A cor avermelhada é determinada pela presença de óxidos de ferro. De 2%p a 4%p de óxido de ferro designa-se bauxite branca e com até 25 %p de óxido de ferro designa-se bauxite vermelha.

Até final do século XIX a produção industrial de alumínio ainda era pouco significativa devido aos processos complexos e intensivos envolvidos, sobretudo no que respeita à energia consumida na obtenção do metal a partir do minério. Por outro lado, já era de conhecimento geral a abundância do minério bauxite em todo o mundo, bem como o facto deste ser o elemento metálico mais abundante na terra. Então, no princípio do século XX o mito do alumínio como metal nobre desapareceu e este metal começou a ser negociado nas bolsas de valores a uma taxa de cerca de US\$19/kg (inflação ajustada). O alumínio teve muito cedo aplicação industrial nos motores, como foi o caso do motor construído em 1903 pelos irmãos Wright para o seu primeiro avião. A folha de alumínio entrou no mercado em 1910 e em 1911 foi iniciado o desenvolvimento das ligas de alumínio, o que permitiu melhorar as propriedades físicas do metal e assim abrir novos usos industriais. (Devezas & Ruão, 2021)

A produção de alumínio cresceu exponencialmente de cerca de 7.000 toneladas métricas em 1900 para cerca de 100.000 toneladas métricas em 1916, e ao mesmo tempo a reciclagem intensiva começou a revelar-se nos EUA e na Europa. Durante a Segunda Guerra Mundial a produção atingiu o pico, excedendo 1.000.000 de toneladas métricas em 1941. Uma grande parte do alumínio produzido nos EUA e na Grã-Bretanha foi enviado para a União Soviética (mais de 320.000 toneladas métricas entre 1941 e 1945) para ser usado em engenharia militar (para aviões e motores de blindados). No final dos anos 50 o alumínio entrou na Corrida Espacial - o primeiro satélite artificial, o Sputnik russo, foi produzido com peças de alumínio (desde então, os satélites e as naves espaciais utilizam o alumínio em grande medida). Nessa época, o consumo de alumínio cresceu a uma taxa de cerca de 10% ao ano, tendência que perdurou nas décadas seguintes, impulsionada pela produção de fios e cabos, estruturas para comboios de alta velocidade,

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

peças para motores de automóveis, latas de bebidas e muitas outras novas aplicações. (Devezas & Ruão, 2021)

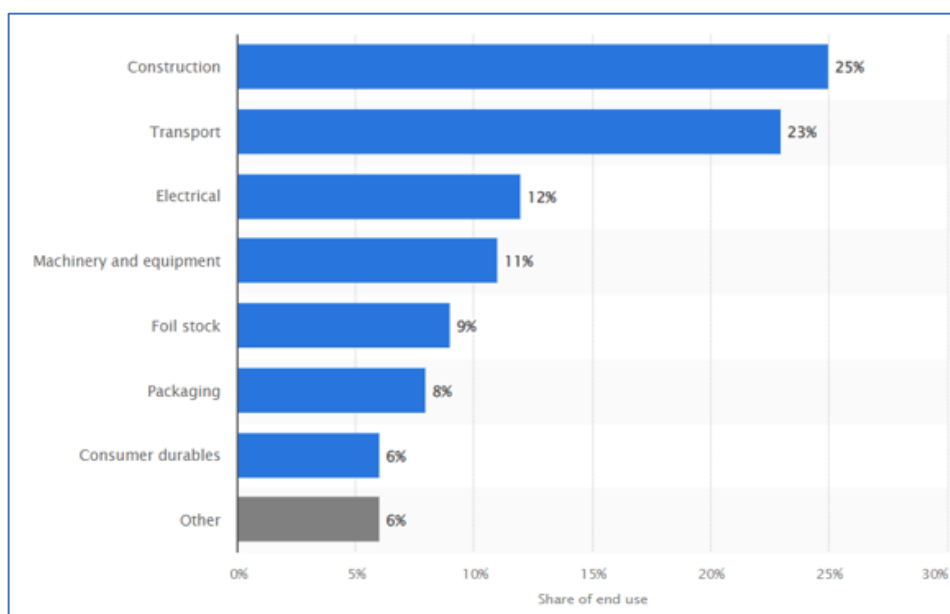


Figura 2.6 - Utilização do alumínio primário por setor da indústria, em 2020 (em porcentagem)

(Statista, 2021)

A figura 2.6 refere-se a aplicações para o alumínio. O uso de alumínio nos transportes e na engenharia em geral permite uma poupança de combustível e uma redução das emissões de gases. Atualmente muitas peças para automóveis, estruturas de aeronaves, peças para embarcações marítimas e viaturas espaciais, são produzidas com ligas de alumínio. As principais limitações do alumínio são: a baixa temperatura de fusão ($\approx 660^{\circ}\text{C}$), que vai influenciar a temperatura máxima de utilização, a inexistência de tensão limite de fadiga, a baixa tensão de cedência ($\approx 7\text{-}11\text{MPa}$) e um módulo de Young relativamente baixo ($\approx E=70\text{GPa}$). Assim sendo, para a maioria das aplicações é necessária a adição de novos elementos para criar ligas com melhor desempenho. As ligas de alumínio têm uma massa específica baixa ($\approx 2,8\text{g/cm}^3$) quando em comparação, por exemplo, com o aço ($\approx 7,9\text{g/cm}^3$). Contudo, apresentam valores elevados de condutividade térmica e elétrica e uma extraordinária resistência à corrosão, mesmo à temperatura ambiente. Uma vez que a estrutura cristalina do alumínio é CFC (cúbica de faces centradas) estas ligas mantêm elevada ductilidade a temperaturas mais baixas.

As ligas de Al podem ser binárias (2 elementos), ternárias (3 elementos) ou de ordem superior (mais de 3 elementos) de forma a formar o maior número de fases complexas possíveis. As ligas podem sofrer tratamento térmicos ou não. As ligas não tratáveis termicamente apresentam apenas uma única fase e o aumento da resistência mecânica faz-se por endurecimento por solução sólida (inserção de átomos substitucionais ou intersticiais na matriz). As ligas tratáveis termicamente são endurecidas por precipitação e resultam da exposição prolongada à uma determinada temperatura acima dos 200°C. Em algumas das ligas a precipitação que ocorre não é do alumínio, mas sim de um composto intermetálico (por exemplo o MgZn₂, nas ligas 7XXX). As ligas de alumínio são classificadas em dois grandes grupos, ligas forjadas (85% da produção global) e ligas fundidas. Dependendo dos respetivos elementos de liga, ambas podem, ou não, ser submetidas a tratamentos térmicos para melhorar as propriedades mecânicas.

As ligas são classificadas em três aspetos distintos:

- Pela composição – são divididas em alumínio puro e ligas de alumínio;
- Pelo tratamento térmico – são divididas em ligas “sensíveis” e ligas “não sensíveis” aos tratamentos térmicos;
- Pelo método de produção – são divididas em ligas forjadas e ligas fundidas.

Não existe um sistema universal de designação para as ligas fundidas. De acordo com o (IADS) desenvolvido em 1970 pela *USA's Aluminum Association*, as ligas forjadas são caracterizadas por quatro dígitos, distribuídos em oito famílias; o primeiro dígito especifica o principal elemento de liga, os outros dígitos representam a classificação da liga relativamente à quantidade percentual existente dos vários elementos na solução. Após o 4º dígito é referido o tipo de tratamento das ligas usando uma letra e até 3 dígitos. As ligas depois de trabalhadas^{7,8} apresentam características diferentes e propriedades melhoradas. Consoante os elementos adicionados na matriz, tanto as ligas forjadas como as ligas fundidas, revelam as suas melhores propriedades. As ligas forjadas são caracterizadas de acordo com as figuras 2.2 e 2.3.

⁷ Ligas não tratadas termicamente (1xxx, 3xxx, 4xxx e 5xxx)

⁸ Ligas tratadas termicamente (2xxx, 6xxx, 7xxx e 8xxx)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais





1 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Nearly 100% pure Aluminum ($_{13}\text{Al}$) ● DESCRIPTION: Excellent corrosion resistance, high thermal and electrical conductivity, low mechanical properties, but excellent workability. Series 1000 is the most weldable of all aluminum alloys. ● APPLICATIONS: Food, chemical, and brewing industry uses; nameplates; reflectors; electrical components. 	
2 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + Copper ($_{29}\text{Cu}$) ● DESCRIPTION: The 2000 Series alloys include some of the most high-performance, high-strength aluminum alloys, with strengths comparable to that of steel. Often painted or clad to minimize atmospheric corrosion. ● APPLICATIONS: Screws, fittings, gears, and clock parts; compressor rings; structural and aerospace applications. 	
3 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + Manganese ($_{25}\text{Mn}$) ● DESCRIPTION: Of moderate strength, with good formability and corrosion-resistance. The most widely used of all types of aluminum, the 3000 Series alloys were first used for pots and pans. Soda cans use alloy 3004. ● APPLICATIONS: Cooking and food handling and processing utensils; chemical handling and processing components. 	
4 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + Silicon ($_{14}\text{Si}$) ● DESCRIPTION: When combined with aluminum, silicon reduces the metal's melting point, improves molten fluidity, and increases ductility. 4000 Series alloys are useful as filler in welding and brazing, especially for structural applications and in the automotive industry. ● APPLICATIONS: Welding wire and filler material. 	

Figura 2.7 – Tipos de ligas de alumínio, descrição e aplicações (parte 1)

5 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + Magnesium ($_{12}\text{Mg}$) ● DESCRIPTION: One of the most widely used alloying elements for aluminum, magnesium forms a weldable metal of considerable hardness and strength, with excellent corrosion-resistance, even in marine applications. ● APPLICATIONS: Signage; outdoor screens; clothing zippers; rivets and other hardware; architecture; shipbuilding. 	
6 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + Magnesium ($_{12}\text{Mg}$) + Silicon ($_{14}\text{Si}$) ● DESCRIPTION: Highly formable, weldable, corrosion-resistant, and heat-treatable for superior ductility and a range of tensile strengths, alloys in the 6000 Series are the first choice for extruded aluminum fabrications. ● APPLICATIONS: Architectural and structural applications; truck and marine frames; aluminum T-slot extrusions. 	
7 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + Zinc ($_{30}\text{Zn}$) ● DESCRIPTION: While zinc is the primary alloying agent used in 7000 Series aluminum, the addition of small amounts of magnesium and copper produces an extremely strong metal for high-performance requirements. ● APPLICATIONS: Aircraft and aerospace components; sporting equipment; certain first-generation Apple Watch models. 	
8 XXX	<ul style="list-style-type: none"> ● MAKEUP: Aluminum ($_{13}\text{Al}$) + "Other" ● DESCRIPTION: A "catch-all," 8000 Series alloys incorporate a variety of other elements, including chromium, copper, germanium, iron, lithium, magnesium, manganese, silicon, titanium, vanadium, zinc, and zirconium. ● APPLICATIONS: Wire; airframes and leading-edge components for aircraft; high-temperature aerospace applications. 	

Figura 2.8 – Tipos de ligas de alumínio, descrição e aplicações (parte 2)

(Hill, 2020)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Os tratamentos térmicos que visam melhorar as propriedades das ligas são: a homogeneização, a solubilização ou envelhecimento, o recozimento total ou parcial e a estabilização. De acordo com as tabelas 2.1 a 2.5 é estabelecida a classificação⁹ relativa ao tratamento térmico, tipo de endurecimento e processamento das ligas para conformação plástica.

Tabela 2.1 – Classificação usada para identificação do tipo de tratamento térmico

F	• como fabricado
O	• recozido
H	• endurecimento por deformação plástica
W	• tratamento térmico de solubilização
T	• sujeito a tratamento térmico

Tabela 2.2 - Classificação usada para identificação dos tratamentos gerais

TRATAMENTOS GERAIS
F - Sem especificação de intervalo de propriedades mecânicas
O - Recozido
O1 - Solubilizado e arrefecido lentamente até à temp. ambiente
O3 - Homogeneizado

⁹ NP EN 515: 1994 - Alumínio e ligas de alumínio - Produtos trabalhados. Designação dos estados metalúrgicos.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 2.3 - Classificação usada para identificação dos produtos deformados a frio ¹⁰

PRODUTOS DEFORMADOS A FRIO
H12 - Endurecido por deformação - 1/4 duro
H14 - Endurecido por deformação - 1/2 duro
H16 - Endurecido por deformação - 3/4 duro
H18 - Endurecido por deformação - 4/4 duro
H19 - Endurecido por deformação - Extra duro
H2X - Endurecido por deformação e parcialmente recozido
H3X - Endurecido por deformação e estabilizado
H4X - Endurecido por deformação e pintado ou lacado

Tabela 2.4 - Classificação usada para identificação dos produtos solubilizados / envelhecidos (parte 1)

PRODUTOS SOLUBILIZADOS / ENVELHECIDOS (parte 1)
W - Solubilizado (tratamento instável)
T1 - Arrefecido a partir de um processo de enformação a alta temperatura e envelhecido naturalmente
T2 - Arrefecido a partir de um processo de enformação a alta temperatura, deformado a frio e envelhecido naturalmente
T3 - Solubilizado, deformado a frio e envelhecido naturalmente
T4 - Solubilizado e envelhecido naturalmente
T5 - Arrefecido a partir de um processo de enformação a alta temperatura e envelhecido artificialmente
T6 - Solubilizado e envelhecido artificialmente
T7 - Solubilizado e sobre-envelhecido artificialmente
T8 - Solubilizado, deformado a frio e envelhecido artificialmente
T9 - Solubilizado, envelhecido artificialmente e deformado a frio

¹⁰ X = grau de dureza

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 2.5 - Classificação usada para identificação dos produtos solubilizados / envelhecidos (parte 2) ¹¹

PRODUTOS SOLUBILIZADOS / ENVELHECIDOS (parte 2)
TX1, 6 ou 7 - Solubilizado, deformado a frio \approx 1, 6 ou 7% e depois envelhecimento X
TX1 - Solubilizado e sub-envelhecido artificialmente para melhorar a aptidão à enformação
TX51 - Solubilizado, redução de tensões por estiramento controlado e depois envelhecimento X
TX52 - Solubilizado, redução de tensões por compressão (1-5%) e depois envelhecimento X.
TX54 - Solubilizado, redução de tensões por compressão a frio na matriz e depois envelhecimento X
TX151 - Solubilizado, redução de tensões por estiramento controlado e depois sub-envelhecido artificialmente para melhorar a aptidão à enformação
T73 - Solubilizado e depois sobre-envelhecido artificialmente para obter a melhor resistência à corrosão sob tensão
T7351 - Solubilizado, redução de tensões por estiramento controlado e depois sobre-envelhecido artificialmente para obter a melhor resistência à corrosão sob tensão
T79 - Solubilizado e depois sobre-envelhecido artificialmente (sobre envelhecimento muito limitado)

As ligas de alumínio têm uma resistência específica ¹² quase tão grande como as ligas de titânio e seguramente muito maior que os aços. Na figura 2.9 apresentam-se uma comparação entre as resistências específicas de alguns materiais de engenharia. O primeiro material (6061-T6) é uma liga de Mg-Si-Al endurecida por precipitação e usada no fabrico de janelas e caixilhos de portas. O segundo material (7075-T6) é uma liga de Zn-Al endurecida por precipitação usada no sector da aviação. Apenas o compósito Carbono/Epóxi tem uma resistência específica muito maior ($\approx 800 \text{ kN.m/kg}$), contudo a sua utilização é mais restrita devido ao seu elevado custo de aquisição.

¹¹ X = tempo de envelhecimento

¹² Resistência em função do peso

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

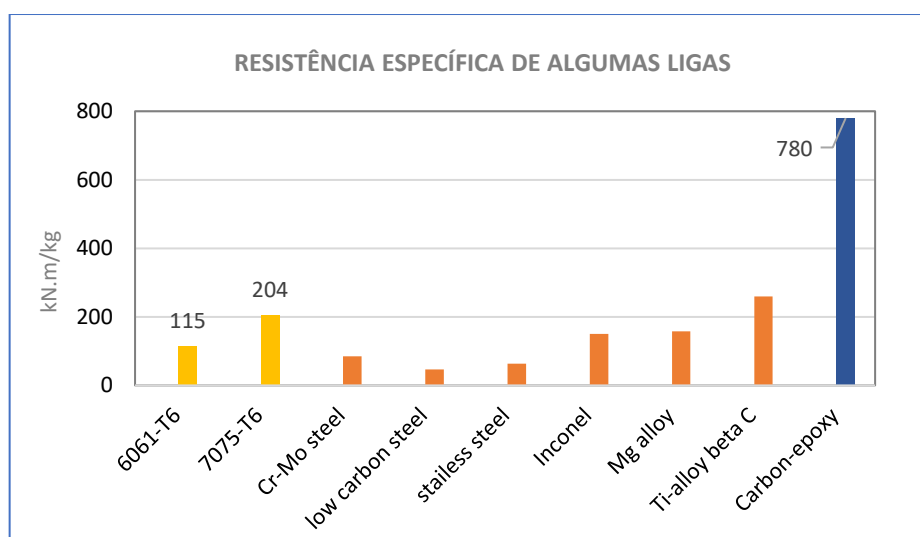


Figura 2.9 – Comparação da resistência específica entre alguns materiais de engenharia (Devezas & Ruão, 2021)

Com o intuito de reduzir o consumo de combustível nos transportes, nos últimos anos tem sido dada importância a elementos com baixa massa específica como o magnésio ($\approx 1,74 \text{ g/cm}^3$) ou o titânio ($\approx 4,5 \text{ g/cm}^3$), os quais apresentam também uma excelente resistência específica (embora uma liga possa ter uma resistência à tração inferior ao seu elemento principal, face à sua densidade tenderá a suportar uma carga superior). As indústrias aeronáutica e aeroespacial continuam a investir no desenvolvimento de ligas da família 8XXX (Al-Cu-Li) devido às massas específicas relativamente baixas ($\approx 2,5 \text{ g/cm}^3$), módulos específicos elevados e excelentes propriedades de fadiga e tenacidade a baixas temperaturas. Algumas destas ligas tem ainda a vantagem de poderem ser endurecidas por precipitação, embora sejam necessárias técnicas de processamento especiais¹³ o que encarece a produção e consequente aquisição destas ligas para um uso mais comum. (Devezas & Ruão, 2021)

O endurecimento por precipitação ou envelhecimento é um dos mecanismos de endurecimento de ligas de alumínio mais utilizado. As ligas da série 2xxx, 6xxx, 7xxx, utilizadas em produção aeronáutica, possuem este tipo de tratamento térmico.

Para que exista uma precipitação adequada, a solução deverá perder a solubilidade proporcionalmente à diminuição de temperatura no sistema. Contudo, se existirem

¹³ Dada a reatividade química do Lítio

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

oscilações da temperatura e o tempo de envelhecimento não for devidamente controlado, a precipitação será maior e mais irregular. Isto é, a resistência e a dureza do material diminuem. (figura 2.10)

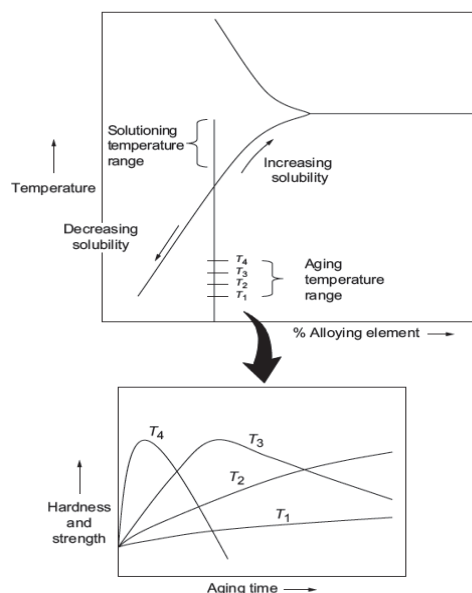


Figura 2.10 - Relação entre a solubilidade e a temperatura no processo de envelhecimento
(F.C. Campbell, 2008)

A dureza e a resistência mecânica de algumas ligas podem ser melhoradas com a dispersão dos precipitados α metastáveis na matriz, numa fase pós-têmpera.

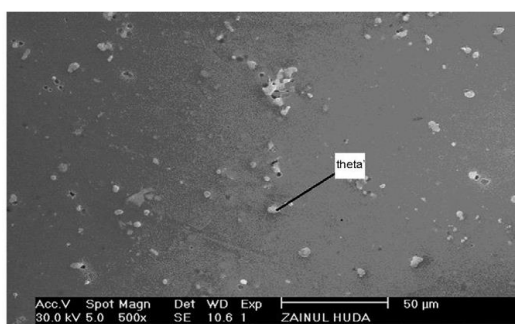


Figura 2.11 – Formação de precipitados Θ (Al + Cu) após envelhecimento de uma liga Al2024
(Zainul Huda, 2008)

Conforme mostra a figura 2.11 com o envelhecimento da liga, esses pequenos precipitados ficam dispersos de forma regular, agindo como obstáculos e dificultando os diferentes movimentos de deslocamento.

Apresenta-se na figura 2.12 o diagrama de fases Al-Cu bem como as microestruturas produzidas durante o tratamento térmico.

O endurecimento por precipitação de uma liga metálica inclui tipicamente três etapas: a solubilização, a têmpera e o envelhecimento.

- Solubilização – A liga é aquecida acima da linha *solvus* $>500^{\circ}\text{C}$ ⁽¹⁴⁾ a fim de dissolver todos os precipitados e garantir que todos os elementos de liga permanecem solubilizados.
- Têmpera – A liga é arrefecida rapidamente em água para que os elementos de liga não tenham tempo para se difundir e formar precipitados α . No final desta etapa, os elementos permanecem em solução sólida supersaturada.
- Envelhecimento - A liga é novamente aquecida a uma temperatura abaixo da linha *solvus* (dependendo do tipo de envelhecimento $\approx 190^{\circ}\text{C}$). Nesta etapa dá-se inicialmente uma pré-precipitação ¹⁵ e só depois a difusão total dos elementos de liga na superfície, ou seja, a formação de pequenos aglomerados de precipitados ($\alpha + \Theta$) extremamente finos e espalhados por toda a matriz e de forma coerente. (HEALEY, 1976) e (Bhat, 2018).

Apresentam-se na figura 2.13 as microestruturas encontradas numa liga Al2024, sujeita a diferentes tempos de envelhecimento.

¹⁴ Linha de solubilidade entre as fases α e Θ

¹⁵ Zonas Guinier-Preston

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

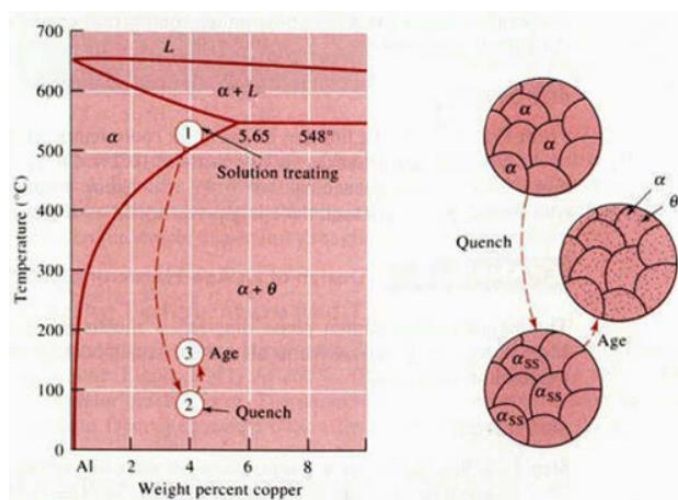


Figura 2.12 – Diagrama de fase Al-Cu e as microestruturas produzidas durante o tratamento térmico
(Total materia, 2010)

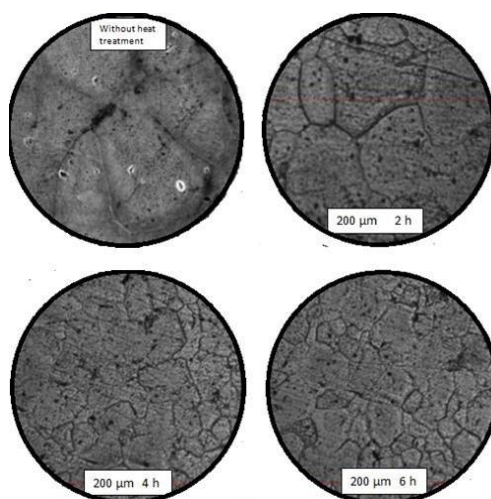


Figura 2.13 – Aspeto da microestrutura de uma liga Al2024, com diferentes tempos de envelhecimento
(Astika, 2004)

2.2.1 Processos de conformação por quinagem

A quinagem é um processo de conformação (maquinagem) mecânica de peças metálicas, geralmente chapas, gerado por esforços simultâneos de tração e compressão em superfícies opostas. No decorrer deste processo verifica-se uma redução da espessura do material na superfície em compressão e um alongamento na superfície em tração.

Para se ter uma ideia do conjunto punção/matriz e da generalidade do processo de quinagem a figura 2.14 identifica os principais componentes e parâmetros do processo.

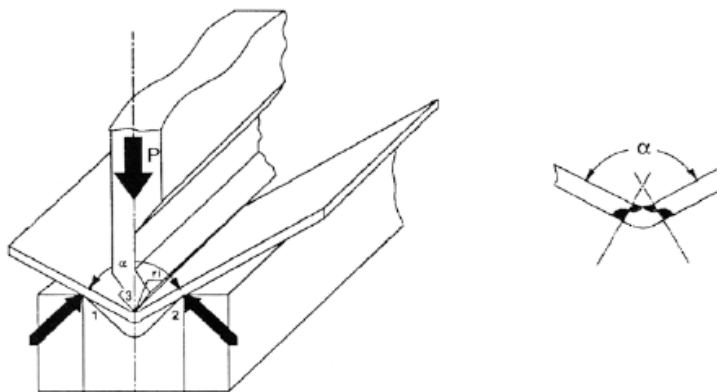


Figura 2.14 – Princípio físico do processo de quinagem (Nota: P → força aplicada; α → ângulo de quinagem; r_i → raio interno de quinagem; 1, 2 → distância da abertura da matriz ou pontos de aplicação de tensões; 3 → gradiente de deformação)

(Carvalho, 2009)

Antes de se iniciar qualquer processo de maquinagem deve-se ter em conta um conjunto de aspetos que podem influenciar a integridade estrutural da peça, a qualidade do acabamento e por último, mas não menos importante, o aspeto final. Na tabela 2.6 estão descritos os aspetos mais importantes relacionados com a quinagem de uma peça.

Tabela 2.6 – Parâmetros a considerar na quinagem

Material	Geometria	Variáveis	Processo
Propriedades do material	Dimensões da peça	Abertura e raio da matriz	Tipo de quinagem
Tratamentos térmicos	Geometria da peça	Raio do punção	Tipo de sistema automático/manual

2.2.2 Tipos de quinagens

Quinagem no ar – Diferentes registos de ângulos de quinagem com o mesmo conjunto de punção/matriz. Como a força se faz apenas inicialmente num ponto da chapa, este tipo de quinagem carece de algum rigor dimensional. (figura 2.15)

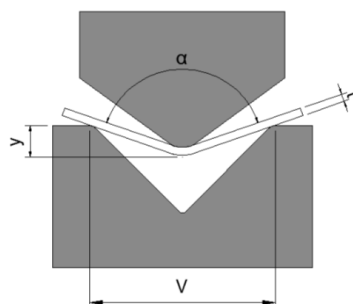


Figura 2.15 – Exemplo de quinagem no ar (Nota: α → ângulo de quinagem; V → distância de abertura da matriz; y → profundidade de quinagem)

(Bastardo, 2013)

Quinagem forçada (ou quinagem fundo) – Conformação da chapa contra a matriz. Este tipo de quinagem induz um retorno elástico mais reduzido. Requer uma maior força de esmagamento do que o processo anterior.

Outros tipos: Quinagem em V; em U; de flange ou Quinagem rotativa.

2.2.3 Defeitos nas peças quinadas

Efeito sela: Este defeito é mais comum na quinagem de chapas, barras ou perfis, onde o comprimento das abas é pouco superior à espessura ¹⁶. Caracteriza-se sobretudo pela falta de retitude da aresta quinada, conforme apresentado na figura 2.16. Uma forma de atenuar ou evitar este defeito, é maximizar o momento fletor, ou seja, otimizar a relação entre o comprimento das abas (**b**) e a espessura das chapas (**t**), onde: $b \geq 20t$.



Figura 2.16 – Efeito sela numa barra quinada

(Bastardo, 2013)

¹⁶ A razão do comprimento e da espessura é no máximo de 1/6

Efeito de bordo: Este defeito, representado na figura 2.17, caracteriza-se pela deformação no plano x,y no topo da peça. As superfícies superiores em compressão e as inferiores em tração, reagem de forma diferente à mesma solitação. Tipicamente, este defeito é originado pelas mesmas razões que o efeito sela.

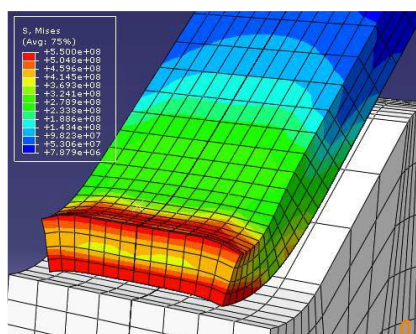


Figura 2.17 – Efeito de bordo calculado pelo método dos elementos finitos
(Bastardo, 2013)

Efeito barril: Obtenção de ângulos diferentes (superiores no centro) ao longo do eixo longitudinal. Pode ser causado por desgaste nas extremidades dos aventais ¹⁷ da quinadeira.

Retorno elástico: É a resposta mecânica inerente à elasticidade de determinados materiais quando são solicitados por uma força de tração/compressão, seguida de um relaxamento. A representação do referido defeito é apresentada na figura 2.18.

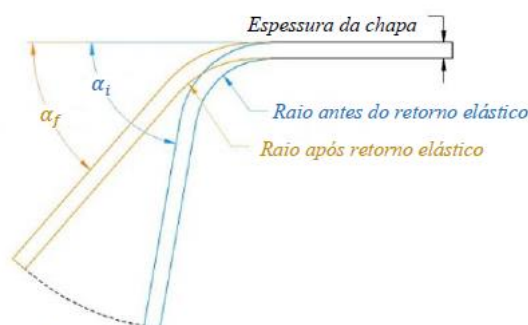


Figura 2.18 – Retorno elástico numa peça quinada
(Ferreira B. , 2015)

¹⁷ Suportes metálicos que fixam os punções (em cima) e as matrizes (em baixo) em equipamentos de quinagem

Contudo, as deformações que ocorrem no processo de quinagem de ligas de alumínio são tipicamente plásticas e a sua recuperação é apenas parcial. A curva “tensão-deformação” típica de um metal é apresentada na figura 2.19, onde é possível distinguir duas regiões de deformação, a região elástica e a plástica e a recuperação elástica do material.

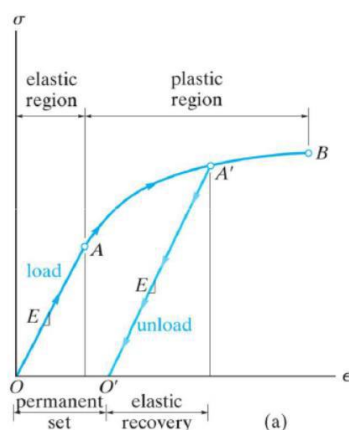


Figura 2.19 – Curva tensão-deformação típica de um metal.

(Ferreira A. , 2014)

Na figura 2.20. apresenta-se o esquema de uma chapa antes e após quinagem, bem como alguns parâmetros relevantes, designadamente o raio interno, o ângulo de abertura e a espessura da chapa.

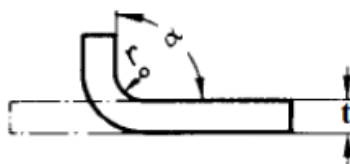


Figura 2.20 – Raio interno (r_1), ângulo de abertura (α) e espessura (t)

(Ferreira B. , 2015)

Se durante o processo de quinagem for ultrapassado o raio mínimo, poderão surgir fissuras na face externa do material. À medida que um material com um determinado índice volumétrico inicial, é tracionado numa direção, verifica-se uma redução do seu volume no lado oposto. Em contrapartida, se for comprimido, o seu volume aumenta nas direções perpendiculares à força aplicada.

A referida variação dimensional é caracterizada pelo coeficiente de Poisson ¹⁸. A relação entre o raio mínimo de quinagem (r_{\min}) e a abertura da matriz (V) pode ser dada através da expressão apresentada em (1) (Ferreira B. , 2015)

$$r_{\min} \leq \frac{5V}{32} \quad (1)$$

O índice K é um fator adimensional de correção para o desvio existente entre o eixo neutro (t) e o eixo original $\frac{Mt}{2}$ durante um contraste entre forças compressivas e expansivas num processo de quinagem (figura 2.21).

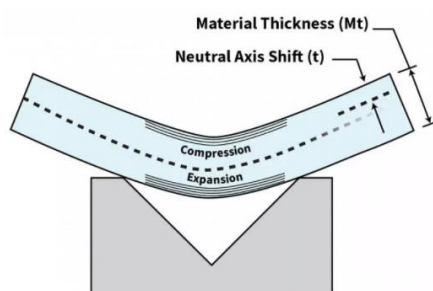


Figura 2.21 – Demonstração do fator K
(HARSLE, 2020)

Um possível defeito gerado por este deslocamento encontra-se representada na figura 2.22, onde se observa uma convexão da borda da peça relativamente ao eixo original.



Figura 2.22 – Convexão da borda em relação ao eixo original
(HARSLE, 2020)

¹⁸ O Coeficiente de Poisson é a razão entre a deformação transversal e a deformação axial correspondente a um material tensionado ao longo de um eixo. (Zhang, 2020)

Analiticamente, o **índice de correção K** pode ser calculado através da expressão (2)
(DIN6935 (anexo i))

$$K = 0,65 + \frac{1}{2} \lg \frac{r_i}{t} \quad (2)$$

Onde:

r_i → Raio interno

t → Espessura do material

Outra das formas de verificar o valor de K e de uma forma mais simples é através do gráfico da figura 2.23. Contudo, este gráfico apenas resulta para valores em que $\frac{r_i}{t} < 5$.

Caso não se verifique, ou seja, para valores em que $\frac{r_i}{t} > 5$, então a equação (2) já não é válida e o índice $K = 1$. (DIN6935 (anexo i))

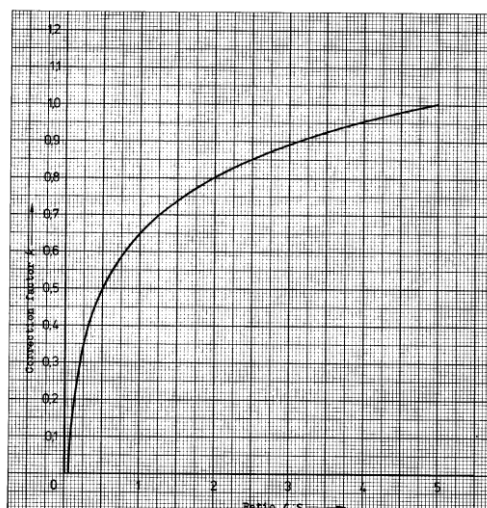


Figura 2.23 – Representação gráfica para verificação do índice K, para $r_i/t < 5$
(DIN6935 (anexo i))

Apresentam-se na tabela 2.7 alguns fatores K calculados de forma empírica, para o alumínio e para o aço. Atualmente o valor médio mais utilizado é de **$K \approx 0,4468$** .

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 2.7 – Fatores K para o alumínio e aço
 (HARSLE, 2020)

Generic K-Factors	Aluminum		Steel
	Soft Materials	Medium Materials	Hard Materials
Air Bending			
0 to Thickness	0.33	0.38	0.40
Thickness to 3x Thickness	0.40	0.43	0.45
Greater than 3x Thickness	0.50	0.50	0.50
Bottoming			
0 to Thickness	0.42	0.44	0.46
Thickness to 3x Thickness	0.46	0.47	0.48
Greater than 3x Thickness	0.50	0.50	0.50
Coining			
0 to Thickness	0.38	0.41	0.44
Thickness to 3x Thickness	0.44	0.46	0.47
Greater than 3x Thickness	0.50	0.50	0.50

O *Bending Allowance (BA)*, ou tolerância de dobragem, pode agora ser calculada utilizando a equação (3) (HARSLE, 2020) e as informações dos critérios anteriores, determinando assim a compensação necessária do comprimento total da peça, causada pela redução volumétrica na face exterior. (figura 2.2)

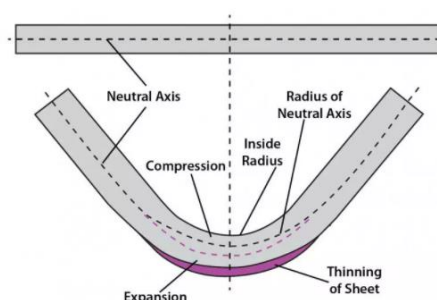


Figura 2.24 – Redução volumétrica após quinagem
 (HARSLE, 2020)

$$BA = (r_i + K \times t) \times B \times \frac{\pi}{180} = \text{mm}^2 \cdot \text{rad} \quad (3)$$

Onde:

BA → *bending allowance (ou tolerância de curvatura)*; **r_i** → *raio interno (mm)*; **K** → índice *K (adimensional)*; **t** → *espessura do material (mm)*; **B** → *ângulo de dobragem (graus)*; **π** → *constante (radianos)*

Se por um lado a geometria da matriz é um parâmetro importante no controlo dimensional da peça após quinagem, o **índice K**, a tolerância de curvatura (**BA**) e o **raio mínimo** (r_{\min}), ou seja, a distância angular interna ao eixo, são critérios fundamentais para evitar fissuras ou ruturas nas superfícies angulares externas e internas.

Considerando a curva tensão-deformação de um material elasto-plástico, como é o caso do alumínio, o aparecimento das fissuras será proporcional ao ponto 1 da figura 2.25 dentro do regime plástico, designado como limite de resistência à tração.

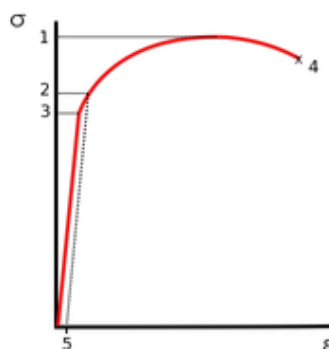


Figura 2.25 – Diagrama de carga tensão-extensão para o alumínio (Nota: 1 – limite de resistência à tração; 2 – limite de escoamento; 3 – limite elástico; 4 – ponto de rutura total; 5 – linha offset (0,002))

2.2.4 Caso real de um processo de quinagem de peças defeituosas

- Tipo de Material: Liga de Al2024 -T351
- Tipo de quinagem: Quinagem no ar
- Tipo de matriz: Matriz em liga de Fe-C, revestida com manga de Poliuretano (PU)

Caso: Fratura aparente nas dobras externas de uma peça quinada com vários ângulos de 90°, raio de 3mm e chapa de 2mm de espessura. (figuras 2.26 a 2.28)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



Figura 2.26 – Fotografia do aspecto geral da peça Al2024-T351 fraturada, pós-quinagem



Figura 2.27 – Fotografia do pormenor da fratura com 52mm (imagem 1.1)



Figura 2.28 – Fotografia do pormenor da fratura com 27mm (imagem 2.1)

Este defeito poderá resultar de algumas das causas descritas de seguida.

Causa nº 1: Ausência de perpendicularidade entre a quinagem e a laminação. (figura 2.29)

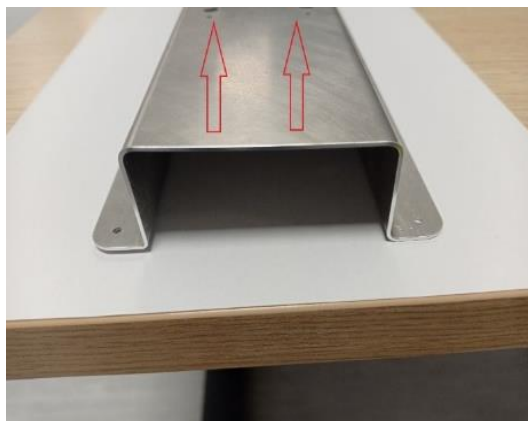


Figura 2.29 – Fotografia indicando o sentido de laminação na superfície da peça

Conforme representado na figura 2.30, durante o processo de laminação a superfície do material sofre uma alteração micro estrutural e assume um comportamento anisotrópico, onde por ação mecânica, grãos de tamanhos diferentes e dispersos no início do processo, comprimem-se em grãos mais alongados e semelhantes. Como a carga aplicada tem o mesmo sentido que o alongamento do grão, este tende a colapsar ao longo dos seus limites dada a menor resistência físico-química nestas zonas, assim como, pelas diferenças da magnitude no comportamento mecânico dos dois vetores (L - longitudinal, T - transversal).

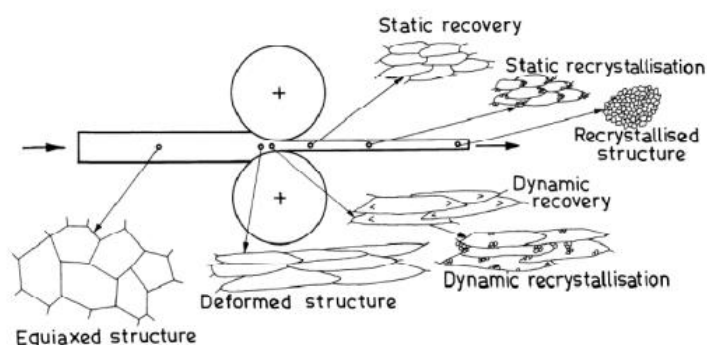


Figura 2.30 – Processo de recuperação e recristalização durante a laminagem de uma peça metálica
(Ryu, 2008)

Causa nº 2: Raio mínimo excedido ¹⁹

Causa nº 3: Dimensão da aba mínima de quinagem (figura 2.31)

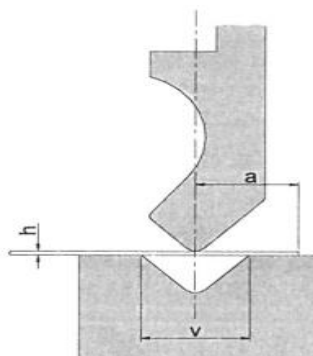


Figura 2.31 – Representação da aba mínima de quinagem
(Braz, 2010)

Sendo (a) a distância do centro da quinagem até à extremidade da chapa, também designada por aba, a aba mínima (a_{\min}) é a medida mínima que garante o comprimento do apoio da chapa sobre a matriz para que a operação de quinagem seja exequível, isto é, para que a chapa não quebre nas dobras. O valor da aba mínima é expresso pela equação (4) (Braz, 2010)

$$a_{\min} = 0,65V \quad (4)$$

Onde:

V – Abertura da matriz

a – Distância da aba ou distância do centro da quinagem até à extremidade da chapa

t (ou h) – Espessura da chapa

e também:

V = 6 a 8t, para $t \leq 3\text{mm}$

V = 8 a 12t, para $t > 3\text{mm}$

¹⁹ Explicado no capítulo 3, defeitos de quinagem

Uma forma para resolver os eventuais defeitos anteriormente referidos, passa por exemplo, efetuar uma nova solubilização, têmpera, seguida de envelhecimento. Por outras palavras, endurecer a liga por precipitação. (ver capítulo 2.1, páginas: 26-28)

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Metodologia

A metodologia utilizada no trabalho descrito nesta tese tem a seguinte estrutura: Tipo de metodologia – científica.

➤ Procedimentos

- ★ Descrição do problema: Problema encontrado no âmbito da produção industrial aeronáutica.

- ★ Objetivos do trabalho: Atenuar ou colmatar o(s) problema(s) relatados
 - Eliminar ou atenuar as marcas nas chapas de Al2024
 - Efetuar maior nº de quinagens (>800)
 - Manter um elevado número de horas de trabalho ininterruptas
 - Minimizar os custos de produção

- ★ Solução proposta para resolução do problema: desenvolvimento de ferramenta(s) para quinagem dos componentes aeronáuticos

- ★ Seleção do(s) materiais a utilização na produção da(s) ferramenta(s) recorrendo ao software GRANTA EduPack e às fichas técnicas dos produtos comerciais disponíveis

- ★ Projeto da ferramenta(s): Desenvolvimento da(s) ferramenta(s) com o auxílio de um programa de software Catia e sua maquinação em Fresadora CNC automática de 4 eixos.

- ★ Produção de componentes de teste (Chapas de AL2024) utilizando a(s) ferramenta(s) desenvolvidas.
- ★ Recolha de dados das chapas quinadas e do polímero constituinte da ferramenta desenvolvida: Os dados são obtidos a partir de modelos de testes de controlo e ensaios em quinadeira automática, marca e modelo (Amada EG6013 AR), observação a olho nú e microscopia, marca e modelo (microscópio digital Dino-lite 90x) e medição tridimensional, marca e modelo (pórtico Kronos NT)
- ★ Organização e estruturação de dados: Chapas de AL2024 (análise a olho nú, análise por microscopia e análise tridimensional), polímero constituinte da ferramenta desenvolvida (análise a olho nú, análise por microscopia e análise tridimensional).
- **Análise**
- ★ Interpretação dos dados: Informação resultante de tabelas de Excel, relatórios visuais da quinadeira automática e relatórios técnicos da microscopia, assim como, da análise tridimensional.
- ★ Seleção dos dados relevantes: Informação necessária para estudar os problemas iniciais e caracterizar, tanto a superfície das chapas como da integridade estrutural da matriz a desenvolver.
- ★ Introdução de normas: Aplicação de normas nacionais e internacionais relativas aos processos e materiais utilizados.

3.2 Descrição do problema e da solução em utilização

Numa abordagem inicial e por forma a resolver a questão dos defeitos apresentados pelas chapas quinadas, designadamente marcas ²⁰, foi ensaiada uma matriz híbrida em liga de Fe-C (figura 3.1, (b)) e PTFE (figura 3.1, (a)), mas com pouco sucesso. Esta matriz permitiu realizar apenas 800 quinagens até a superfície das chapas começar a ficar marcada de forma irreparável.



Figura 3.1 - Fotografia de: (a) peça de PTFE para ensaio; (b) matriz em Liga de Fe-C e PTFE

Uma vez que a solução testada não se mostrou satisfatória, optou-se pela utilização de uma manga de Poliuretano (PU) no topo da matriz em liga de Fe-C (figura 3.2). A referida manga mostra-se eficaz pois evita o aparecimento de marcas nas chapas quinadas, contudo esta solução é pouco eficiente, uma vez que cada pedaço de manga aplicada apresenta-se danificada após cerca 150 quinagens, razão pela qual tem de ser substituída muito regularmente. A referida substituição além de requerer mão de obra, implica a paragem do processo de produção.

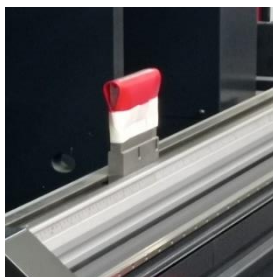


Figura 3.2 – Fotografia da matriz original em Fe-C, com manga de proteção em PU

²⁰ As chapas podem apresentar marcas meramente estéticas ou marcas estruturais, estas colocam em causa a integridade estrutural da peça.

3.3 Objetivos do trabalho

O principal objetivo deste estudo foi selecionar um ou mais polímeros termoplásticos a fim de construir uma matriz híbrida metaloplástica. A referida matriz será depois testada em ensaios de quinagem de chapas de alumínio. Em primeiro lugar, a matriz a desenvolver deverá eliminar ou, se tal não for possível, pelo menos atenuar as marcas impressas em chapas de AL2024 com 1,2mm de espessura (figuras 3.3, imagens (a, b) e anexo ii), resultantes de um processo normal de quinagem e permitir efetuar o maior número de ciclos (quinagens) mantendo não só a eficácia, mas também a eficiência, isto é, manter um elevado número de horas de trabalho ininterruptas por forma a minimizar os custos de produção.



Figura 3.3 – Fotografia das marcas impressas na chapa, após quinagem

3.4 Projeto da ferramenta

Desde a aquisição da matéria-prima até à conclusão de um componente/ferramenta todos os materiais respeitam um determinado ciclo interno, onde se destacam várias etapas: aquisição, preparação, montagem e inspeção. Ciclo esse referenciado no tópico 3.3.1.

3.4.1 Desenvolvimento e desenho

De uma forma geral o ciclo do produto dá-se desde o pedido da peça até à inspeção final. O organograma descrito na figura 3.4 (anexo iii), mostra de uma forma geral os processos,

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

mas também a sua transversalidade, isto é, os pontos em comum entre os vários estágios. Uns mais omissos que outros de acordo com a Lei de proteção de dados.

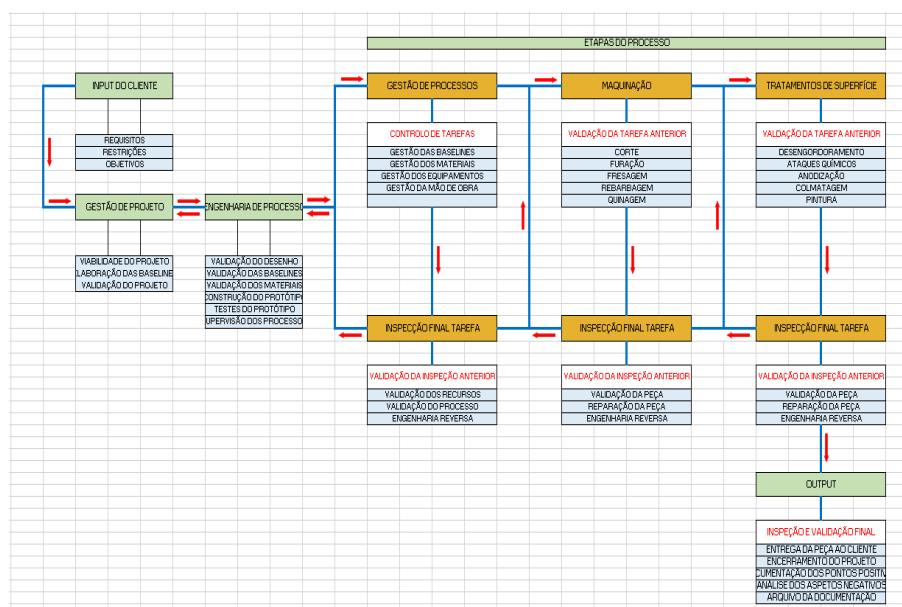


Figura 3.4 – Organograma das fases de um projeto

Input do cliente: é o ponto de partida. Neste caso específico não será um requisito de cliente, mas sim um projeto de I&D associado ao departamento de Métodos e Produção cujos critérios têm sido identificados ao longo deste trabalho.

Gestão do Projeto: é a fase em que se verifica a viabilidade do projeto (patentes, propriedade intelectual, custos, aplicações, etc.) e a construção das *baselines* do projeto.

Engenharia de processo: é a fase que inclui a projeção, implementação, controlo e otimização dos processos com o objetivo de gerar valor a partir da matéria-prima, dos recursos humanos e das tecnologias existentes. Neste caso específico, o projeto tem como base o estudo e conceção de uma matriz híbrida metaloplástica para implementação no processo de quinagem.

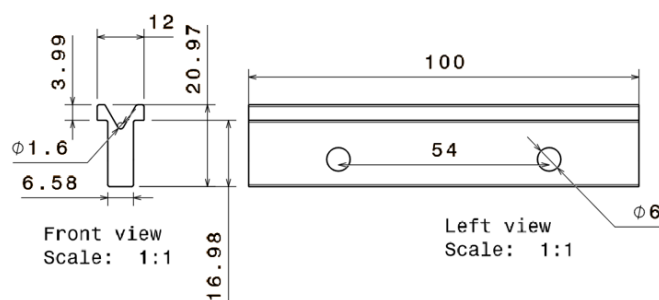


Figura 3.5 – Desenho otimizado da peça em polímero para posterior maquinagem

Adaptado de (Lauak Aerostructures)



Figura 3.6 – Desenho da matriz metaloplástica, em software CATIA

Adaptado de (Lauak Aerostructures)

Gestão de Processos: é a fase que inclui o controlo dos recursos e onde se desenvolve o trabalho prático. Inspeção, validação dos recursos e engenharia reversa.

Maquinagem: esta fase implica a utilização de equipamentos do tipo CNC. Inspeção, validação das peças e engenharia reversa.

3.5 Seleção do polímero a utilizar na ferramenta

Os plásticos de engenharia e os plásticos de alto desempenho apresentam excelentes vantagens (baixa densidade; elevada resistência ao impacto e à corrosão; excelente isolamento térmico e elétrico; elevada estabilidade dimensional; amplo espectro de temperaturas de serviço e facilidade de moldagem), comparativamente aos plásticos tradicionais e a outros materiais metálicos e cerâmicos existentes no mercado.

Com vista à seleção dos termoplásticos a testar na produção da matriz metaloplástica, consideraram-se o **tipo de aplicação** e as **propriedades mais relevantes** para um bom desempenho do material nessa mesma aplicação. Apresentam-se na tabela 3.1 as principais propriedades em que se baseou o processo de seleção.

Tabela 3.1 – Propriedades mais relevantes consideradas na seleção dos termoplásticos a usar na produção da matriz híbrida metaloplástica

Aplicações estáticas (Estrutural)	Aplicações dinâmicas (Desgaste)
Resistência à compressão	Resistência ao impacto
Dureza	(Propriedades do sistema tribológico)
Rigidez	Taxa de desgaste
Tempo da carga	Coefficiente de fricção
Temperatura de serviço	Capacidades pressão-velocidade

Propriedades deslizantes: Quando um material se diz deslizante, o contacto na interface das duas superfícies é muito reduzido ou nulo pela ausência de atrito, pela lubrificação existente ou outras características tribológicas;

Resistência à compressão: Medida da resistência mecânica de um material quando sujeito a uma determinada força de compressão em uma ou mais áreas desse corpo;

Resistência ao impacto: Capacidade que um material apresenta para suportar um impacto, provocado ou não, conseguindo manter as suas propriedades estruturais inalteradas;

Resistência ao desgaste: Capacidade que um material apresenta em resistir à remoção de partículas nas superfícies sólidas em contacto, quando estas se encontram em movimento relativo de deslizamento ou rolamento;

Temperaturas de serviço: Capacidade de um material manter as suas propriedades inalteradas, quando sujeito a determinadas temperaturas de trabalho, em função das condições externas, da velocidade ou da magnitude das cargas.

3.5.1 Recurso ao *software* GRANTA EduPack

Numa fase inicial do trabalho efetuou-se um estudo de seleção de materiais com recurso ao *software* Granta EduPack. Este estudo visou a seleção dos polímeros a utilizar na construção da matriz metaloplástica. Apresentam-se na Tabela 3.2. os requisitos utilizados na referida seleção.

Tabela 3.2 – Requisitos de seleção do(s) polímero(s)

Função	Polímero para matriz híbrida metaloplástica
Restrições	<ul style="list-style-type: none"> • Polímero Termoplástico • Excelente resistência à compressão; • Excelente resistência ao impacto; • Elevada Dureza; • Elevada temperatura máxima de serviço; • Excelentes propriedades deslizantes; • Não conter >5%p de elementos críticos; • Reciclável; • Manter um preço competitivo (máximo 10€/Kg)
Objetivos	<ul style="list-style-type: none"> • Maximizar a resistência à compressão; • Maximizar a resistência ao impacto; • Maximizar a dureza; • Maximizar a temperatura de serviço; • Maximizar o número de quinagens.
Variáveis livres	<ul style="list-style-type: none"> • Escolha do material; • Escolha da cor.

Com base na tabela anterior 3.2, foram definidos os limites, as restrições impostas, os objetivos traçados assim como as variáveis livres. Esta informação é essencial para seleção dos materiais mais adequados para produção da ferramenta a desenvolver (tabelas 3.3 – 3.7).

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 3.3 – Criticidade de materiais mais utilizados

▼ Critical materials risk	
Contains >5wt% critical elements?	No

Tabela 3.4 – Composição do(s) polímero(s)

▼ Composition overview	
	Minimum Maximum
Form	Bulk material
Material family	
Base material	
% filler (by weight)	<input type="text"/> <input type="text"/> %
Filler/reinforcement	None (unfilled)
Filler/reinforcement form	
Additive	
Renewable content	<input type="text"/> <input type="text"/> %

Tabela 3.5 – Preço do(s) polímero(s)

▼ Price	
	Minimum Maximum
Price	<input type="text"/> 10 EUR/kg
Price per unit volume	<input type="text"/> EUR/m ³

Tabela 3.6 – Durabilidade do(s) polímero(s)

▼ Durability	
	Minimum Maximum
Water (fresh)	
Water (salt)	
Weak acids	
Strong acids	
Weak alkalis	
Strong alkalis	
Organic solvents	
UV radiation (sunlight)	Fair
Flammability	
Oxygen index	<input type="text"/> <input type="text"/> %

Tabela 3.7 – Reciclabilidade e tempo de vida do(s) polímero(s)

▼ Recycling and end of life	
	Minimum Maximum
Recycle	<input checked="" type="checkbox"/>
Embodied energy, recycling	<input type="text"/> <input type="text"/> MJ/kg
CO2 footprint, recycling	<input type="text"/> <input type="text"/> kg/kg
Recycle fraction in current supply	<input type="text"/> <input type="text"/> %
Downcycle	<input type="checkbox"/>
Combust for energy recovery	<input type="checkbox"/>
Heat of combustion (net)	<input type="text"/> <input type="text"/> MJ/kg
Combustion CO2	<input type="text"/> <input type="text"/> kg/kg
Landfill	<input type="checkbox"/>

Após a definição dos objetivos, restrições, e da imposição dos limites de seleção o *output* gerado pelo *software* GRANTA EduPack consiste de 12 materiais entre 572 possíveis. Nas tabelas 3.8 e 3.9 os termoplásticos pré-selecionados pelo referido *software* encontram-se ordenados por ordem decrescente relativamente aos parâmetros dureza Rockwell escala M vs resistência ao impacto com entalhe e máxima temperatura de

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

serviço/módulo de compressão, respetivamente. De salientar que os termoplásticos apresentados nas referidas tabelas cumprem os restantes critérios de seleção.

Tabela 3.8 – Ordenação dos termoplásticos pré-selecionados em função da dureza Rockwell M vs resistência ao impacto, com entalhe

3. Results: 12 of 572 pass	
Show:	Pass all Stages
Rank by:	Stage 3: Hardness - Rockwell M / Impact strength, notched 23 °C
Name	Hardness - Rockwell M / Impact strength, notched 23 °C
PVDC (copolymer, injection)	11,8 - 29,8
PE-HD (low/medium molecular weight)	1,77 - 5,37
PA12 (semi-flexible)	3,17 - 4,07
PA12 (flexible)	1,5 - 1,8
PA11 (semi-flexible)	1,19 - 1,54
PA612 (toughened)	0,682 - 1,33
PA46 (super-tough)	0,579 - 1,13
PCL (unfilled)	0,577 - 1,07
PA6/66 (copolymer)	0,417 - 0,812
PE-HD (high molecular weight)	0,381 - 0,445
CAB (19-23% plasticizer)	0,256 - 0,384
PE-UHMW (molding and extrusion)	0,305 - 0,356

Tabela 3.9 – Ordenação dos termoplásticos pré-selecionados em função de máxima temperatura de serviço vs módulo de compressão

3. Results: 12 of 572 pass	
Show:	Pass all Stages
Rank by:	Stage 3: Maximum service temperature / Compressive modulus
Name	Maximum service temperature / Compressive modulus
PA12 (flexible)	869 - 1,06e3
PE-HD (low/medium molecular weight)	466 - 933
PVDC (copolymer, injection)	528 - 913
PA11 (semi-flexible)	711 - 844
PA12 (semi-flexible)	665 - 841
PCL (unfilled)	720 - 821
PA46 (super-tough)	558 - 622
PA612 (toughened)	555 - 620
PA6/66 (copolymer)	406 - 453
PE-HD (high molecular weight)	405 - 434
CAB (19-23% plasticizer)	365 - 426
PE-UHMW (molding and extrusion)	375 - 419

Adaptado de (software Granta EduPack)

Numa primeira análise foi possível formar uma ideia dos materiais mais adequados para o projeto em desenvolvimento. Desenhou-se de seguida duas retas de índice (a vermelho) para otimizar os resultados anteriores e obteve-se o gráfico apresentado na figura 3.7.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

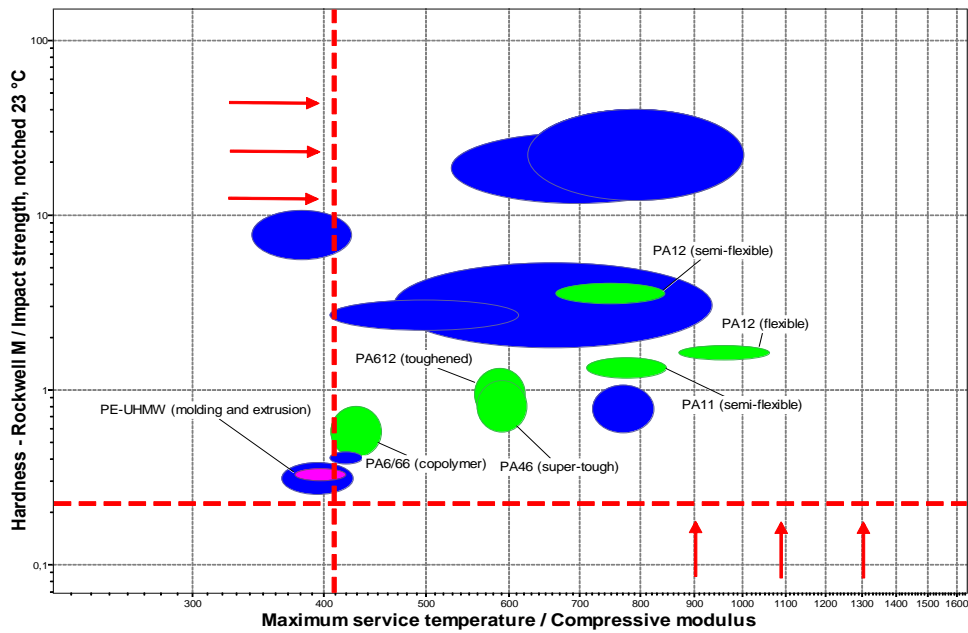


Figura 3.7 – Gráfico dureza Rockwell M/resistência ao impacto, com entalhe vs temperatura de serviço/ módulo de compressão para os polímeros pré-selecionados com base nos critérios apresentados nas tabelas 5.8 e 5.9

Adaptado de (software Granta EduPack)

Neste primeiro grupo estão referenciadas algumas Poliamidas (PAs), Polietilenos (PEs), um acetato, um policloreto de vinil (PVC) e um poliéster. Apesar das excelentes propriedades destes materiais, em muitos dos casos não se encontram disponíveis no mercado ou as suas aplicações diferem da aplicação em estudo. Como doze resultados é um número significativamente alto para realizar este estudo, optou-se por efetuar um reajuste no processo de seleção por forma a reduzir o preço de aquisição do material de 10€/kg para 5€/kg, o que permitirá não só reduzir o nº de termoplásticos pré-selecionados mas também reduzir os custos de produção das chapas e consequentemente aumentar a competitividade do produto. Do grupo inicial de doze polímeros termoplásticos, restam agora cinco. Um PVC, três PEs e uma PA., conforme apresentado na tabela 3.10.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 3.10 - Tabela com preço otimizado para 5€/kg

3. Results: 5 of 572 pass	
Show:	Pass all Stages
Rank by:	Stage 3: Hardness - Rockwell M / Impact strength, notched 23 °C
Name	Hardness - Rockwell M / Impact strength, notched 23...
PVDC (copolymer, injection)	11,8 - 29,8
PE-HD (low/medium molecular weight)	1,77 - 5,37
PA6/66 (copolymer)	0,417 - 0,812
PE-HD (high molecular weight)	0,381 - 0,445
PE-UHMW (molding and extrusion)	0,305 - 0,356

Os polímeros apresentados na tabela 3.10 são representados graficamente na figura 3.8 no que respeita aos parâmetros dureza Rockwell M/resistência ao impacto, com entalhe vs temperatura de serviço/módulo de compressão.

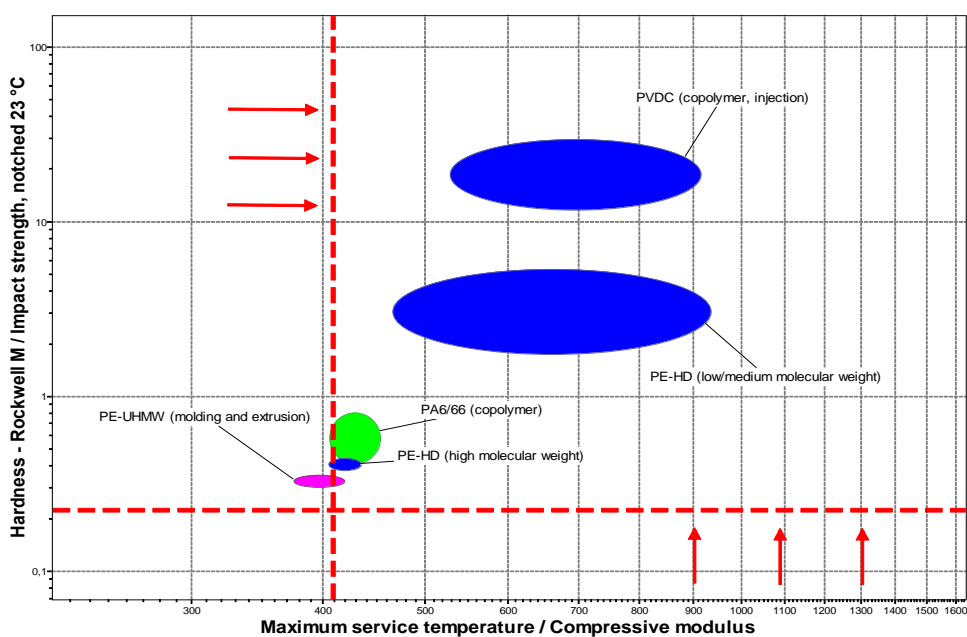


Figura 3.8 – Gráfico dureza Rockwell M/resistência ao impacto, com entalhe vs temperatura de serviço/módulo de compressão para os polímeros pré-selecionados com base nos critérios apresentados nas tabelas 5.10 e 5.11

Adaptado de: (software Granta EduPack)

O PE-UHMW é um Polietileno de Ultra Alta Massa Molecular com um peso médio superior a 3.100.000 g/mol, de acordo com a ASTM D4020 - *Standard Specification for UHMWPE Polymers*. (Steel, 2022)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

A elevada massa molecular tem como principal objetivo melhorar o desempenho deste polímero relativamente à resistência à abrasão e ao impacto. O PE-UHMW é cada vez mais utilizado em projetos de *pipelines* para transporte de água, em países como a China, devido às suas excelentes qualidades, tais como: baixo preço de aquisição, resistência ao desgaste, resistência ao impacto, reduzido atrito e ausência de toxicidade. Também é utilizado em *pipelines* ligados à indústria da mineração, para transporte de pó de minério, celuloses ou descargas de entulhos. As indústrias metalúrgicas de combustíveis, têxteis ou pastas de papel, também fazem parte do rol de setores que utilizam este excelente plástico de engenharia. Apresenta-se na Figura 3.9 um esquema da cadeia polimérica do referido polímero em comparação com o HDPE convencional.

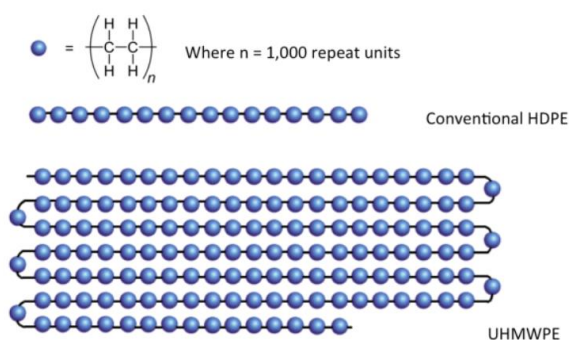


Figura 3.9 – Estrutura da cadeia polimérica do PE-UHMW em comparação com o HDPE convencional
(Steel, 2022)

Apresentam-se na Tabela 3.11 os principais tipos de PE e respetivos intervalos de massas moleculares (MW).

Tabela 3.11 – Classificação dos PEs e respetivos intervalos de massas moleculares (MW)
(Steel, 2022)

Polímeros	Designação	Massa molecular
HDPE	<i>High Density Polyethylene</i>	$10^5 - 40^5$
HMWHDPE	<i>High Molecular Weight High Density Polyethylene</i>	$50^5 - 1.9(9)^6$
VHMWHDPE	<i>Very High Molecular Weight High Density Polyethylene</i>	$2*10^6 - 3.1*10^6$
UHMWPE	<i>Ultra High Molecular Weight Polyethylene</i>	$> 3.1*10^6$

3.5.2 Análise das características técnicas dos termoplásticos pré-selecionados existentes no mercado

De acordo com os critérios anteriores aplicados no *software* Granta EduPack, identificaram-se cinco potenciais polímeros termoplásticos. No *website* do fornecedor da Lauak foi possível identificar seis polímeros termoplásticos comerciais do mesmo tipo e que por isso mesmo à partida se mostraram potenciais candidatos para produção da matriz metaloplástica cuja base metálica será produzida em liga de alumínio Al7175. Cinco Polietilenos (PEs) e uma Poliamida (PA). Todos eles termoplásticos de engenharia e de alto desempenho. Apresentam-se na tabela 3.12 os PEs e a PA comercializados pelo fornecedor habitual da Lauak.

Tabela 3.12 – Lista de PEs e PAs listados no catálogo do fornecedor e sua disponibilidade

Nome Comercial	Condição	Tipo Polímero	Ficha técnica
Tivar Dryslide	Indisponível	Polietileno	Anexo iv
Tivar Tech	Espessura insuficiente	Polietileno	Anexo v
Tivar 88	Espessura insuficiente	Polietileno	Anexo vi
Tivar Quicksilver	Indisponível	Polietileno	Anexo vii
Nylatron MC901	OK	Poliamida	Anexo viii
Tivar 1000TG1	OK	Polietileno	Anexo ix

Segundo a informação do fornecedor, o Tivar Dryslide e o Tivar Quicksilver encontram-se indisponíveis para entrega e o Tivar 88 e o Tivar Tech apresentam espessuras inferiores, 6mm e 10mm respetivamente, às necessárias para o projeto. Isto porque devido a questões de fixação no bloco CNC, a espessura mínima da placa para maquinagem é de 25mm. A Poliamida Nylatron MC901, por ter um custo elevado e elevado prazo de entrega, não foi testada no âmbito do presente trabalho.

Devido às condições e indisponibilidades atrás referidas, o estudo prático e económico será realizado apenas com o PE-UHMW, Tivar 1000TG1, utilizando como medida de comparação o PTFE, limitado a 800 quinagens já realizadas anteriormente e a manga de PU, limitada a 150 quinagens e utilizada atualmente como recurso.

Tabela 3.13 – Propriedades do PE-UHMW - TIVAR 1000TG1

Adaptado de: (Polylanema, 2019)

Propriedades gerais	Valores	Unidades	Norma
Densidade	0,94	g/cm ³	ISO 1183-1
Propriedades térmicas			
Temperatura de fusão (DSC, 10°C/min)	136	°C	ISO 11357/-1/-3
Temperaturas de serviço (mínima/2h/20.000h)	-200/120/80	°C	ISO 11357/-1/-3
Propriedades mecânicas			
Resistência à tração (provetes tipo 1B – velocidade 50mm/min)	19	MPa	ISO 527-1/-2
Módulo de elasticidade (velocidade 1mm/min)	750	MPa	ISO 527-1/-2
Resistência à compressão (Provetes cilíndricos Ø8 x 16mm - 1/2/5% de deformação nominal - velocidade 1mm/min)	---	MPa	ISO 604
Resistência ao impacto (charpy sem entalhe – pêndulo 15J) (charpy com entalhe – pêndulo 15J)	S/Fratura ---	KJ/m ²	ISO 179-1/1eU ISO 179-1/1eA
Dureza HB - Brinell (Provetes com 10mm de espessura)	33	N/mm ²	ISO 2039-1
Dureza Shore D (15S) (Provetes com 10mm espessura)	60	N/mm ²	ISO 868

O TIVAR[®]1000 TG1 é um Polietileno de ultra alta massa molecular (PE-UHMW) com estrutura atómica semi-cristalina.

A sua elevada massa molecular $\approx 9 \times 10^6$ g/mol faz com que este termoplástico tenha uma resistência superior ao desgaste e à abrasão, alta resistência ao impacto, um baixo coeficiente de fricção e excelente maquinagem. Em termos de aplicações é utilizado em equipamentos industriais pesados (raspadores, casquilhos, engrenagens ou rolos transportadores), veículos de recreio (esquis para motos de neve, rodas de bogey, rodas motrizes, braços da direção ou patins), alimentação e medicamentos (equipamentos de embalagem de tabaco, cosméticos e medicamentos), naval (pára-choques, guarda-lamas e frisos), transportes (placas de desgaste, calços, rolamentos ou engates para reboque). (Globalpolymer, 2020)

3.5.2.1 Comparação entre o PTFE testado e o PE-UHMW TIVAR® 1000TG1

Nas Figuras 3.10 e 3.11 apresenta-se uma avaliação qualitativa das principais propriedades do PTFE testado pela Lauak e do PE-UHMW TIVAR® 1000TG1, a testar no âmbito do presente trabalho. (Polylanema, 2019)



Figura 3.10 – Características gerais do Politetrafluoretileno

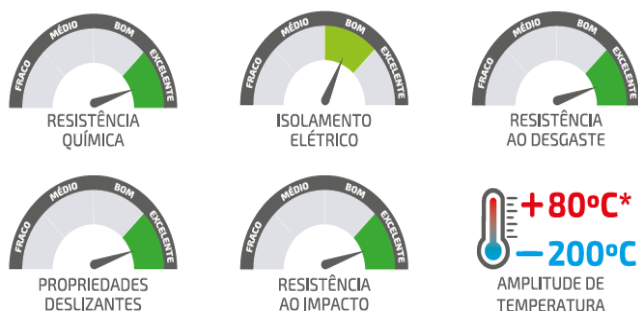


Figura 3.11 – Características gerais do Polietileno

A análise das Figuras 3.10. e 3.11 permite verificar que o PE-UHMW TIVAR® 1000TG1 tem um comportamento muito superior ao PTFE no que respeita à resistência ao desgaste e superior no que respeita à resistência ao impacto. O seu comportamento é apenas inferior no que respeita à temperatura máxima de utilização recomendada. Assim sendo, tudo indica que o referido PE apresentará uma melhor desempenho que o PTFE quando incorporado na matriz metalomecânica a utilizar no processo de quinagem das chapas de alumínio.

3.6 Maquinagem da ferramenta

Na figura 3.12 apresenta-se o bloco de liga de alumínio Al7175 e o bloco de termoplástico PE-UHMW que foram maquinados durante o presente trabalho para produção da nova matriz metaloplástica. A produção da referida matriz metalomecânica incluiu várias etapas, as quais são listadas de seguida no plano CNC:

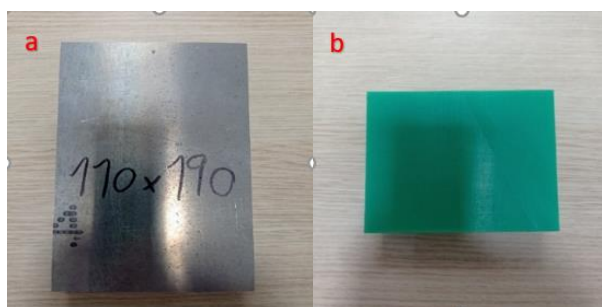


Figura 3.12 – Fotografia de: (a) bloco em liga Al7175; (b) bloco de PE-UHMW TIVAR® 1000TG1

Métodos – Realização do projeto da ferramenta conforme os critérios e o desenho do cliente (interno ou externo). **Preparação:** 6 minutos – **Execução:** 4 horas

Controlo de Débitos – Registo do número do lote do material e separação da matéria-prima. **Preparação:** 9 minutos – **Execução:** 2 horas e 24 minutos

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Controlo da maquinação – Controlo dos débitos e das ferramentas.²¹ **Preparação:** 6 minutos – **Execução:** 14 segundos.



Figura 3.13 – Fotografia da etapa de controlo de débitos no processo de maquinação

Métodos de maquinação – Fixação e centragem da peça. Confirmação das coordenadas na consola. **Preparação:** 30 minutos – **Execução:** 1 hora e 59 minutos



Figura 3.14 – Fotografia da etapa de (a) Fixação do bloco de Al7175; (b) Confirmação de coordenadas no processo de maquinação

Fresagem – Maquinação das peças. **Preparação:** 30 minutos. **Execução:** 1 hora e 30 minutos para a liga de alumínio Al7175. **Execução:** 45 minutos para o PE-UHMW TIVAR® 1000TG1.

²¹ Equipamento CNC automático de 4 eixos [X,Y,Z e A(-90° +90°)]

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

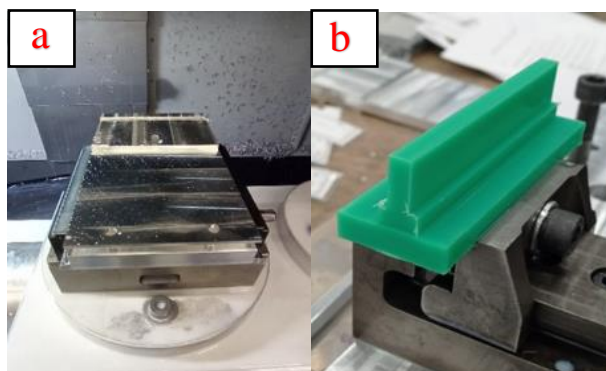


Figura 3.15 – Fotografia de: (a) bloco de liga Al7175; (b) Bloco de PE-UHMW TIVAR® 1000TG1 durante a etapa de fresagem.

Acabamento – Inspeção de falhas e respetivos ajustes. **Preparação:** 30 minutos – **Execução:** 03 minutos



Figura 3.16 – Fotografia de: (a) defeito na superfície do bloco; (b) inspeção da peça semi-acabada

Controlo dimensional – Verificação e validação das peças fabricadas conforme desenho. **Preparação:** 6 minutos – **Execução:** 3 minutos

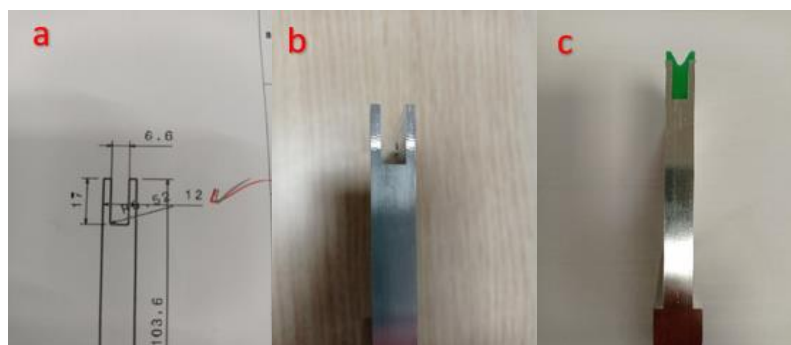


Figura 3.17 – Fotografias (a, b, c) Controlo visual da matriz após maquinagem CNC

Receção da ferramenta – Segundo as normas implementadas. **Preparação:** 6 minutos –
Execução: 7 segundos

Controlo visual – Verificação do estado das ferramentas no final do trabalho e registo de eventuais danos ou anomalias.



Figura 3.18 – Fotografias de algumas das ferramentas CNC utilizadas no projeto

Tratamentos de superfície - Anodização tartárica sulfúrica (anexo x) e/ou pintura.
Inspeção: Validação, reparação da peça ou engenharia reversa.

Output: Fase onde se identificam, analisam e registam os aspetos negativos e positivos ocorridos durante as várias fases do processo

3.7 Ensaios de quinagem com a ferramenta desenvolvida

Os protocolos para ensaios de materiais é um conjunto de procedimentos normalizados por uma ou mais instituições de referência ²² e utilizados para garantir que uma determinada prática é realizada de maneira estandardizada e coerente. As quinagens efetuadas com a matriz metaloplástica produzida com o PE-UHMW foram realizadas em várias fases padronizadas conforme apresentado na tabela 3.14.

Sempre que não seja possível efetuar os testes de caracterização em ambos os ensaios, a norma será fazer o teste de caracterização no ensaio que apresente o maior número de ciclos, neste caso, o ensaio com 2000 quinagens.

²² ISO, ASTM

Tabela 3.14 - Registo do ensaio de controlo com o Polietileno-UHMW

Material	Nº de ciclos (23)	Força	Pressão e Temperatura	Abertura da matriz
PE- UHMW	1	5 kN	Pressão: 101 KPa \approx 1atm Temperatura: (23 \pm 2) °C	8mm

Principais características da quinadeira ²⁴

- Força disponível \rightarrow 600 kN
- Velocidade de quinagem \rightarrow 25mm/s

Peças para quinagem

- Material: Chapa de liga de alumínio Al2024 - T351
- Especificações: Comprimento: 125mm; Largura: 80mm; Espessura: 0,8mm; R:
2mm; Ângulos de quinagem: 90°

Apresenta-se na Figura 3.19 o desenho das chapas de liga de alumínio Al2024 sujeitas ao processo de quinagem. Apesar de semelhante a alguns componentes de estruturas aeronáuticas, a geometria da chapa foi pensada e programada para agilizar os ensaios de teste, tornando mais coerentes as análises dos resultados.

²³ Apenas 1 ciclo para controlo

²⁴ Anexo xi – (AMADA, s.d.)

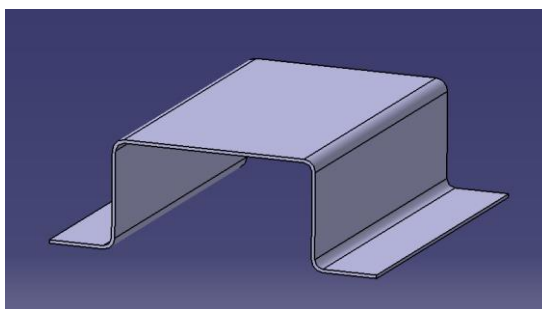


Figura 3.19 – Desenho da peça após quinagem
Adaptado de (Lauak Aerostructures) (anexo xii)

Ensaio de controlo

Efetuuou-se um ensaio de controlo utilizando uma chapa de prova em Al2024 com as dimensões 100x100x1mm e aplicando uma força de compressão de 5 kN com um ângulo de quinagem de $\approx 125^\circ$. Procedeu-se de seguida à caracterização da referida chapa de prova como mostra a figura 3.20.



Figura 3.20 – Fotografia do ensaio de controlo à chapa de prova em Al2024

Numa primeira análise, o resultado revelou-se bastante promissor uma vez que este ensaio não originou marcas visíveis nas superfícies interna e externa da chapa (figura 3.21, imagem a) e a matriz híbrida metaloplástica não aparentava ter quaisquer danos ou alterações. (figura 3.21, imagem b)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

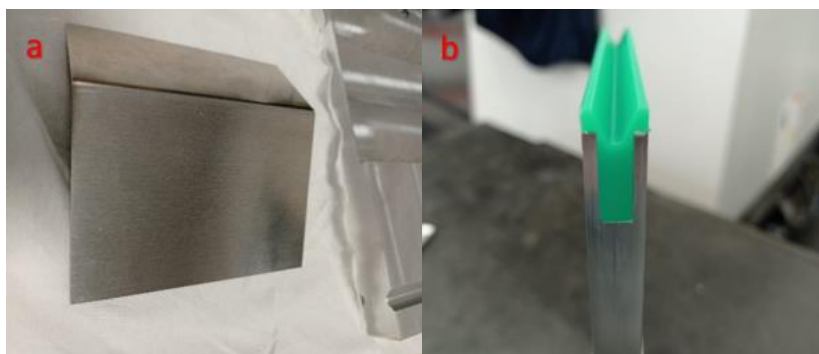


Figura 3.21 – Fotografia da:(a) chapa quinada; (b) matriz híbrida metaloplástica, após o ensaio de controlo

Após uma análise mais minuciosa, foi detetado um defeito aparente na interface polímero-alumínio (figura 3.22). Recorreu-se a um Microscópio digital “Dino-Lite 90x” e procedeu-se à caracterização superficial da matriz, por zonas. (figuras 3.23 a 3.25)

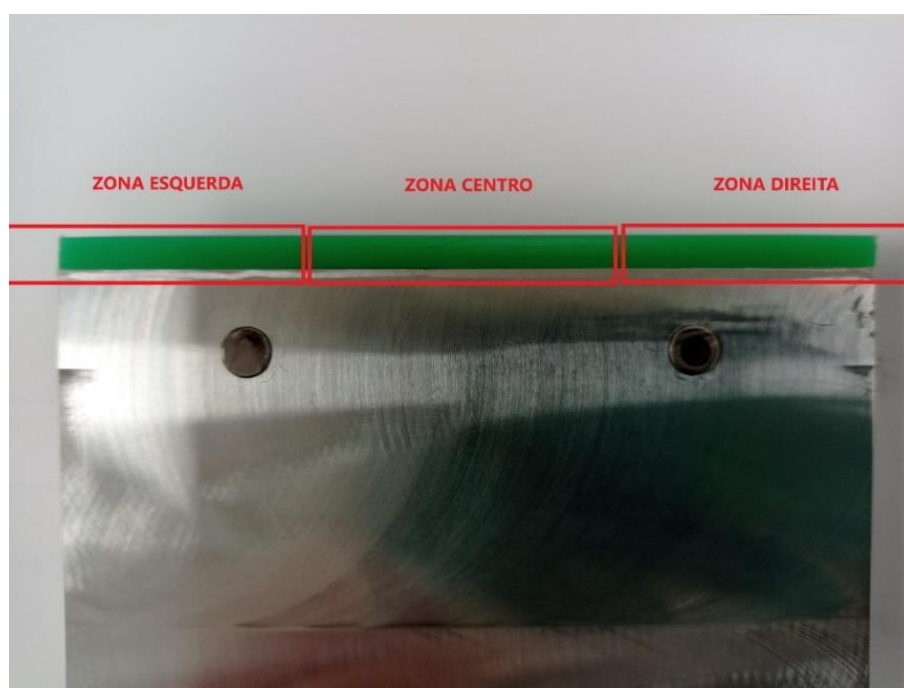


Figura 3.22 – Fotografia da anomalia na interface polímero-alumínio da matriz visível a olho nu e definição das zonas para análise microscópica.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

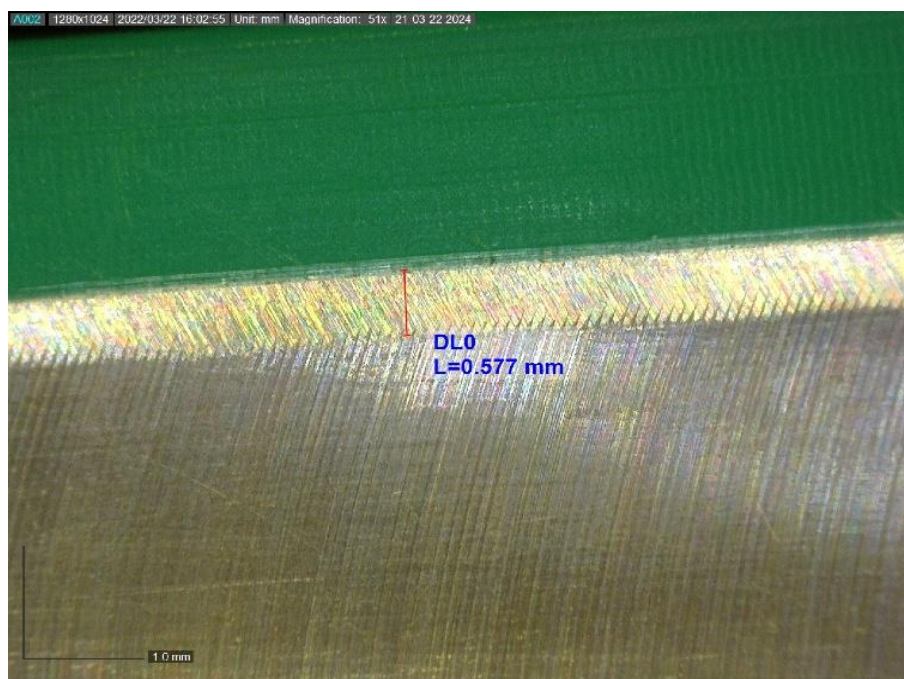


Figura 3.23 – Fotografia da interface polímero-alumínio da matriz, zona esquerda (microscópio digital 51x)

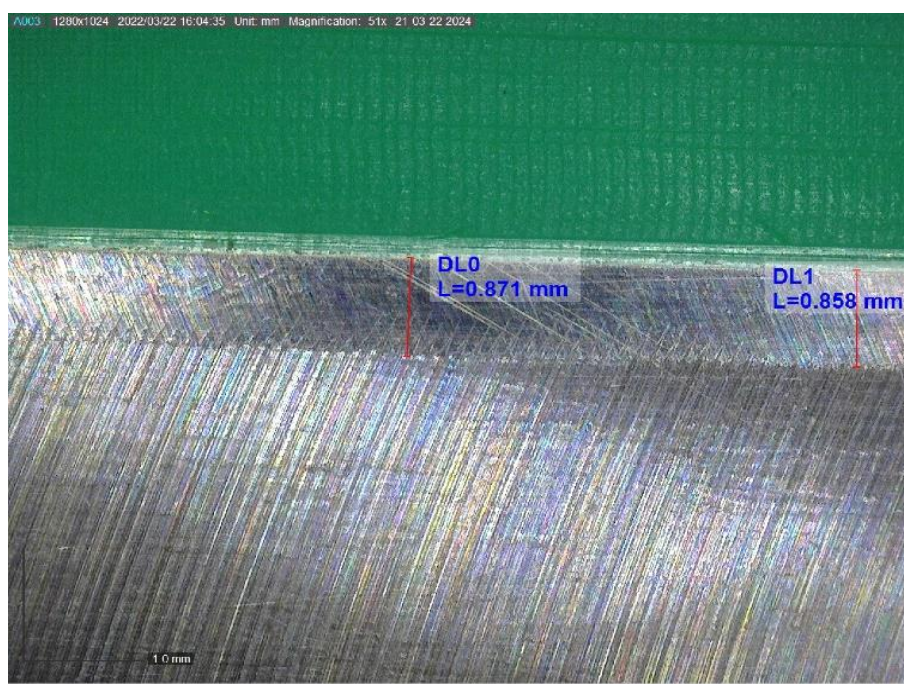


Figura 3.24 – Fotografia da interface polímero-alumínio da matriz, zona centro (microscópio digital 51x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

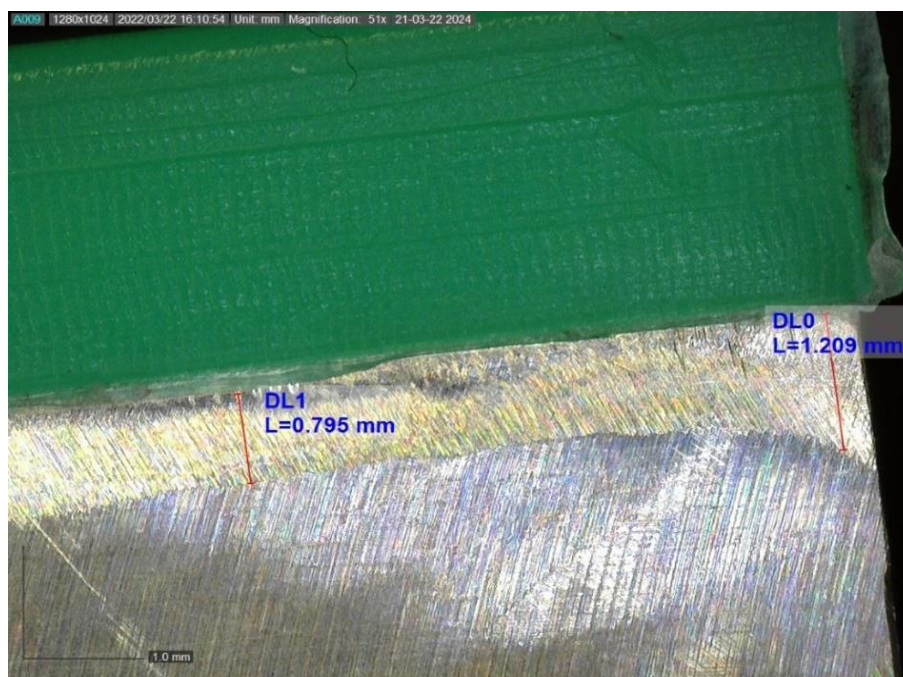


Figura 3.25 – Fotografia da interface polímero-alumínio da matriz, zona direita (microscópio digital 51x)

A análise das figuras anteriores permite identificar uma alteração na aparência da superfície do Al7175, mais acentuada na zona direita que, em teoria, pode ser causada pela tensão de corte resultante da carga aplicada durante a quinagem (figura 3.26, imagem a) ou pelo movimento rotacional e unidirecional da fresa, durante o processo de maquinagem CNC. (figura 3.26, imagem b)

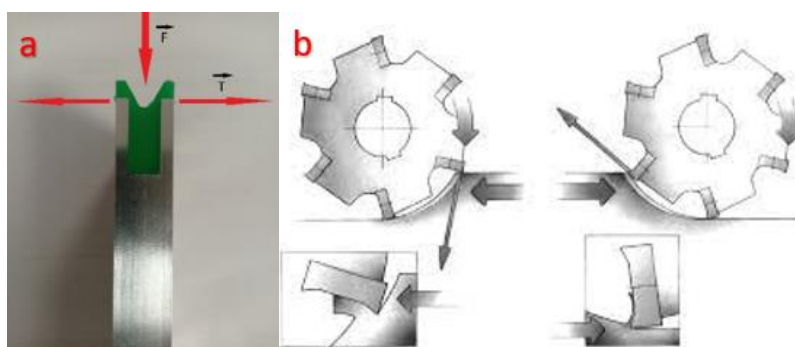


Figura 3.26 – Possíveis causas para as alterações observadas aparência da liga Al7175 a) tensão de corte resultante da carga aplicada durante a quinagem; b) movimento rotacional e unidirecional da fresa, durante o processo de maquinagem CNC.

O ensaio de controlo foi bastante encorajador uma vez que o principal objetivo, ou seja, eliminar ou atenuar eventuais marcas na superfície da chapa foi atingido, não se tendo detetado qualquer dano no PE-UHMW, que é o elemento base deste estudo. Procedeu-se então à realização dos ensaios de quinagem referidos na tabela 3.16, de acordo com os protocolos e normas. Para comparação, apresenta-se na Tabela 3.15 os parâmetros utilizados nos ensaios anteriormente realizados com a matriz em PTFE.

Tabela 3.15 – Registo dos ensaios já realizados com o PTFE

Material	Nº de ciclos ⁽²⁵⁾	Força	Pressão e Temperatura	Abertura da matriz
PTFE	800	5 kN	Pressão: 101 KPa \approx 1atm Temperatura: (23 \pm 2) °C	12mm

Tabela 3.16 - Protocolo para os ensaios com o PE-UHMW

Ensaio	Nº de Ciclos ⁽²⁶⁾	Força	Pressão e Temperatura	Abertura da matriz
1	1700	5 kN	Pressão: 101 KPa \approx 1atm Temperatura: (23 \pm 2) °C	8mm

4 RESULTADOS/DISCUSSÃO

4.1. Ensaio de caracterização das chapas

4.1.1. Análise Visual a olho nú

Apresentam-se nas Figuras 4.1 a 4.9 fotografias das chapas de liga de alumínio Al2024 após quinagem com a matriz metaloplástica desenvolvida no âmbito do presente trabalho, ou seja, com base em liga de alumínio Al7175 e parte superior em PE-UHMW. As referidas figuras referem-se a chapas produzidas com a mesma matriz mas após quinagem de um número específico de chapas, designadamente 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 e 1700.

²⁵ Número de ciclos necessários até existir deformação permanente da superfície da chapa metálica quinada.

²⁶ Número de ciclos propostos a atingir

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

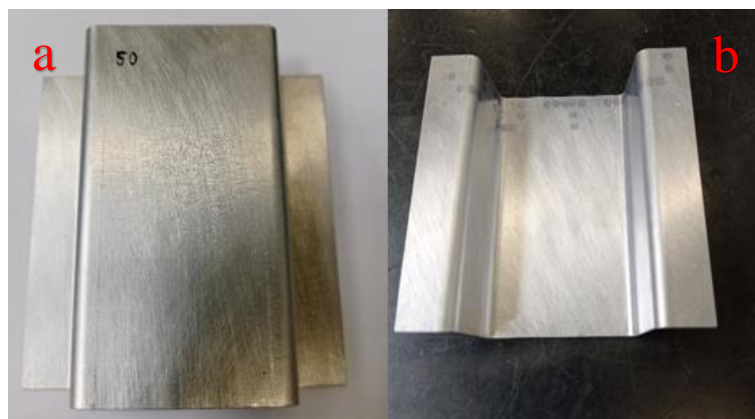


Figura 4.1 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 200 quinagens (peça n° 50)

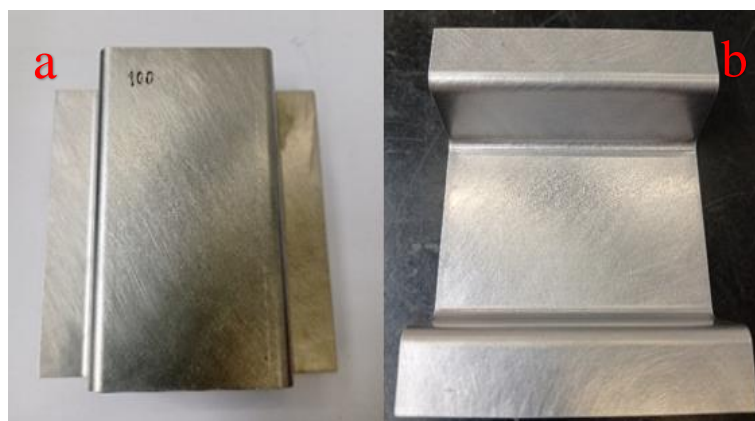


Figura 4.2 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 400 quinagens (peça n° 100)

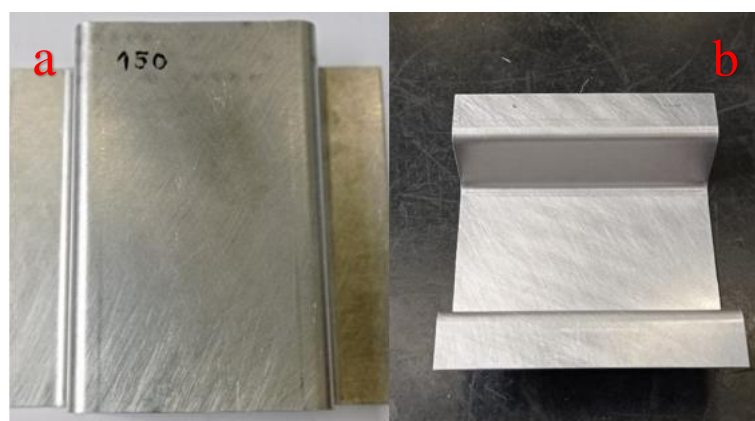


Figura 4.3 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 600 quinagens (peça n° 150)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



Figura 4.4 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 800 quinagens (peça n° 200)

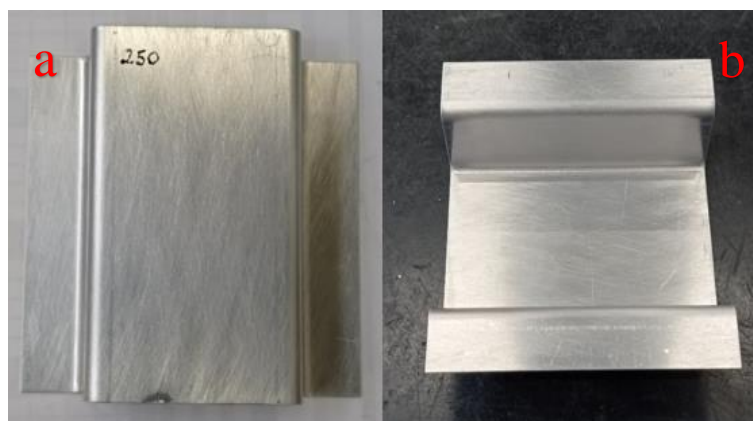


Figura 4.5 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 1000 quinagens (peça n° 250)

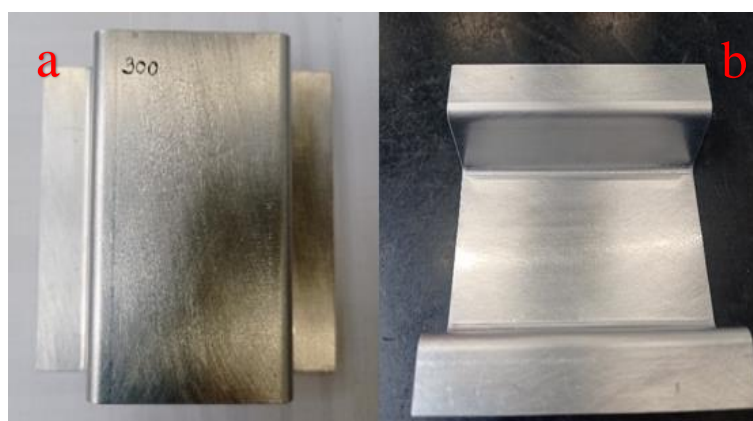


Figura 4.6 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 1200 quinagens (peça n° 300)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

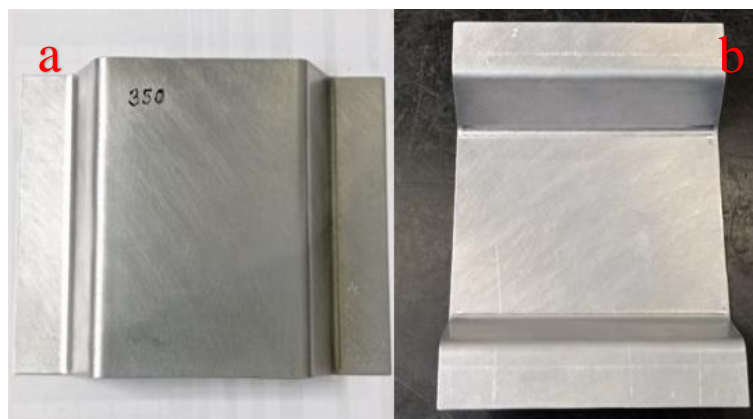


Figura 4.7 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 1400 quinagens (peça n° 350)

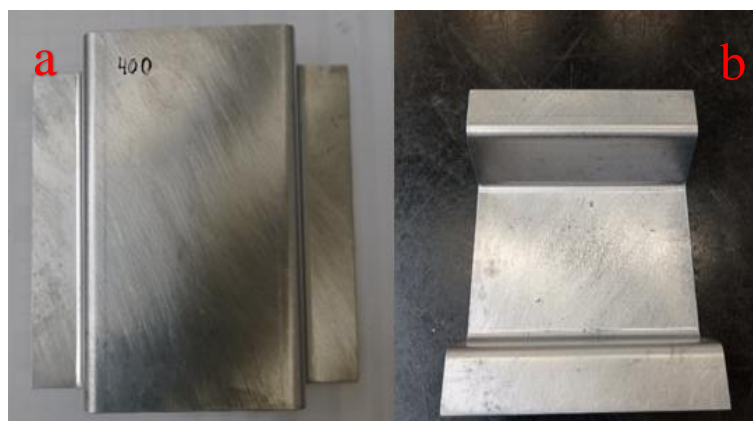


Figura 4.8 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 1600 quinagens (peça n° 400)

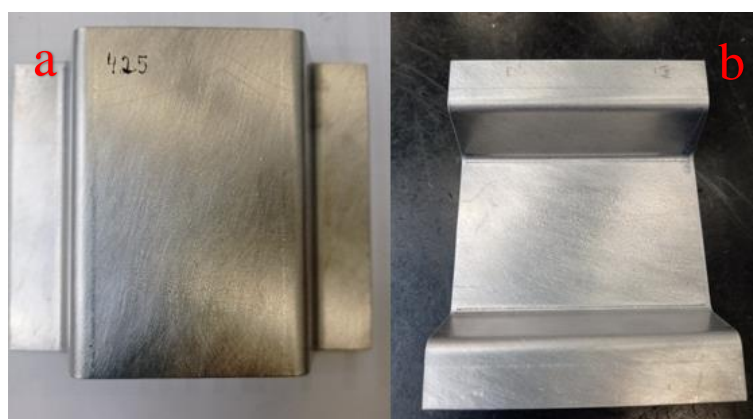


Figura 4.9 – Fotografias das chapas de alumínio: (a) vista de topo, (b) vista de baixo, depois de 1700 quinagens (peça n° 425)

Inicialmente constatou-se que, antes do processo de quinagem, todas as chapas de Al2024 estavam bastante sujas (engorduradas), com ligeiros empenos, com rebarbas em toda a sua orla e não tinham todas a mesma espessura (300 chapas com 0,8mm e 125 chapas com 1mm). Apesar das diferenças de espessura, o estudo foi realizado com as referidas chapas pois não existiam mais chapas disponíveis.

Após análise visual, verificou-se que, até às 1200 quinagens (figura 4.6), as marcas na superfície das chapas são muito ténues e depois começam a ficar mais visíveis (mas pouco). Surpreendentemente, na chapa correspondente às 1400 quinagens (figura 4.7) as marcas são praticamente invisíveis a olho nu. No entanto, e tal como era expectável, na chapa correspondente às 1600 quinagens (figura 4.8) começam novamente a notar-se as marcas da quinagem na zona inferior esquerda, as quais se tornam mais visíveis na chapa relativa às 1700 quinagens (figura 4.9)

4.1.2. Análise por Microscopia

Após análise visual a olho nú, as chapas de liga de alumínio Al2024 foram também observadas ao microscópio ótico digital, após quinagem. A referida observação teve como principal objetivo avaliar a magnitude das marcas de quinagem ao longo da superfície das chapas (lado esquerdo e lado direito) relacionando este parâmetro com o nº de quinagens realizado pela matriz desenvolvida.



Figura 4.10 – Fotografia das chapas de alumínio após quinagem salientando as zonas de marcação para análise microscópica da superfície (esquerda e direita)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Todas as chapas, desde a nº 50 (200 quinagens) até à nº 425 (1700 quinagens), foram marcadas conforme salientado na figura 4.10, do lado esquerdo e do lado direito a cerca de 1 cm da extremidade inferior. Este procedimento foi adotado para assegurar que todas as chapas eram observadas na mesma zona, podendo assim retirar conclusões acerca do impacto do número de quinagens efetuadas pela matriz nas marcas deixadas nas chapas.

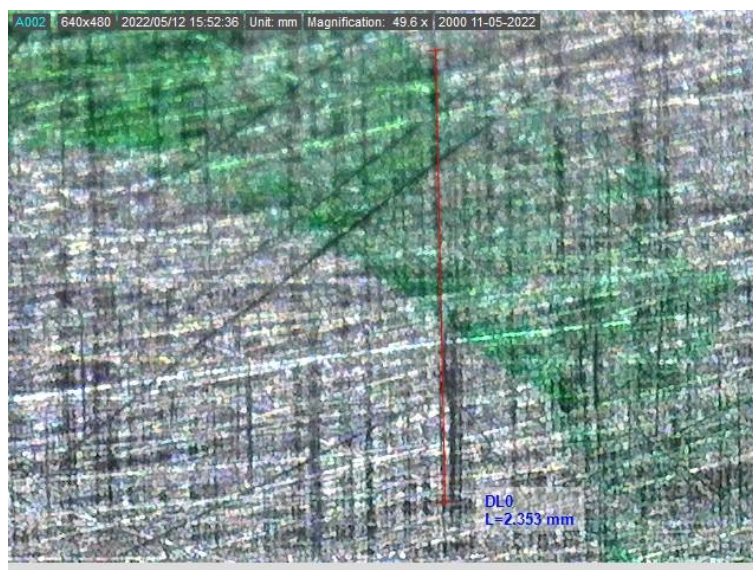


Figura 4.11 – Fotografia da superfície da chapa nº 50 (200 quinagens), lado esquerdo, (vista microscópio digital 49,6 x)

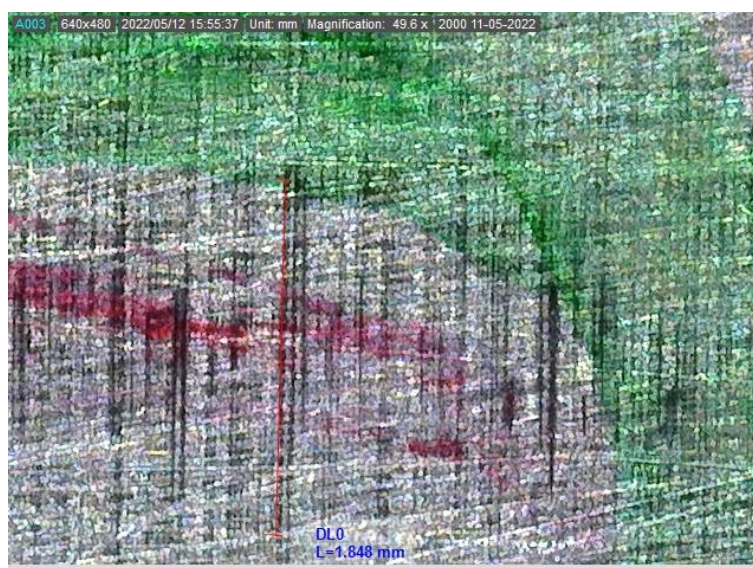


Figura 4.12 – Fotografia da superfície da chapa nº 50 (200 quinagens), lado direito, (microscópio digital 49,6 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

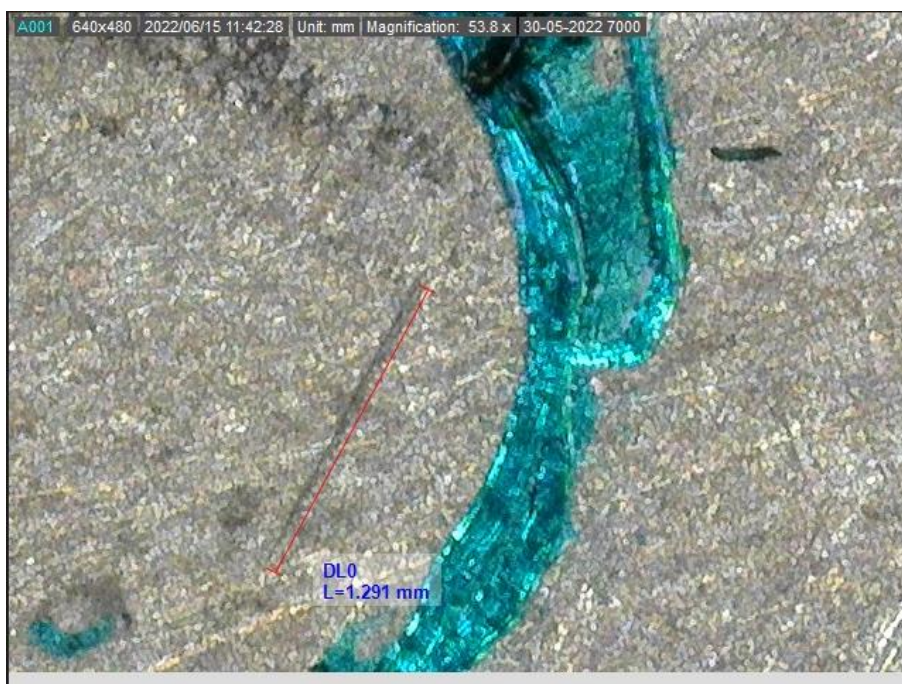


Figura 4.13 – Fotografia da superfície da chapa nº 100 (400 quinagens), lado esquerdo, (vista microscópio digital 53,8 x)

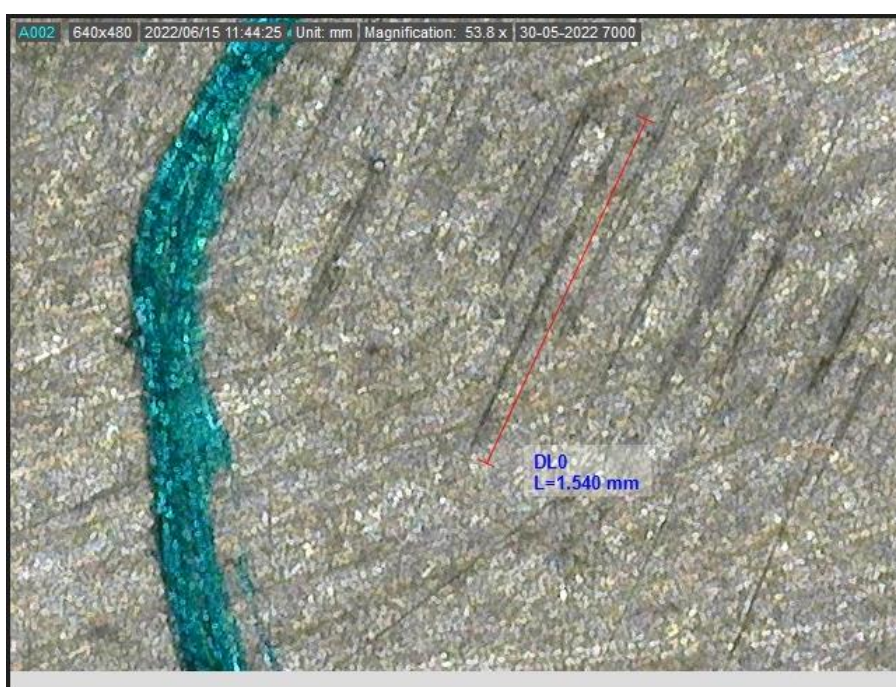


Figura 4.14 – Fotografia da superfície da chapa nº 100 (400 quinagens), lado direito, (vista microscópio digital 53,8 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

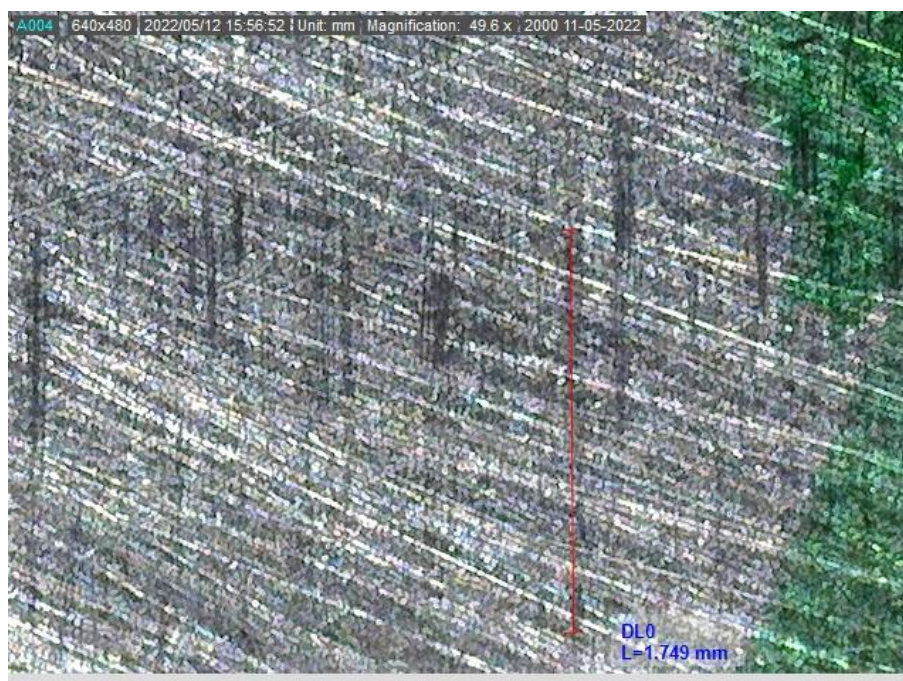


Figura 4.15 – Foto: Análise de superfície - peça nº 150 (600 quinagens), lado esquerdo (microscópio digital 49,6 x)

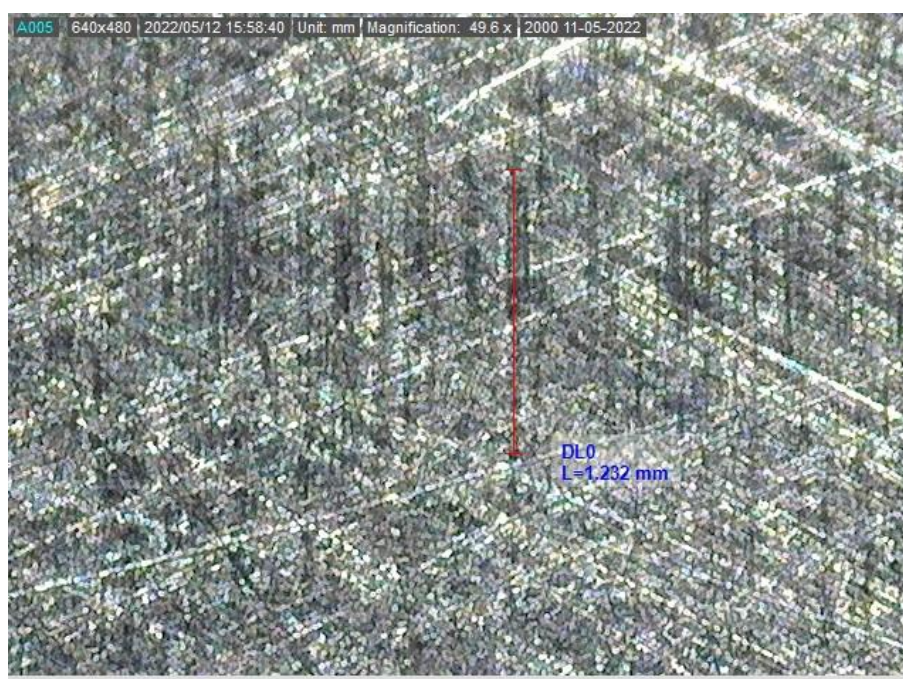


Figura 4.16 – Fotografia da superfície da chapa nº 150 (600 quinagens), lado direito (microscópio digital 49,6 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



Figura 4.17 – Fotografia da superfície da chapa nº 200 (800 quinagens), lado esquerdo, (vista microscópio digital 53,8 x)

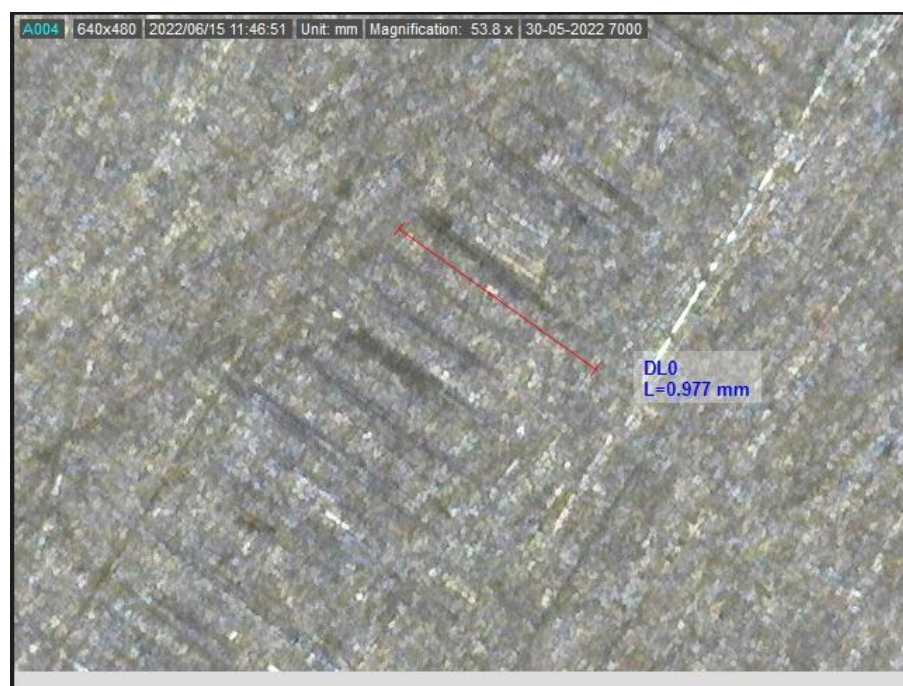


Figura 4.18 – Fotografia da superfície da chapa nº 200 (800 quinagens), lado direito, (vista microscópio digital 53,8 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

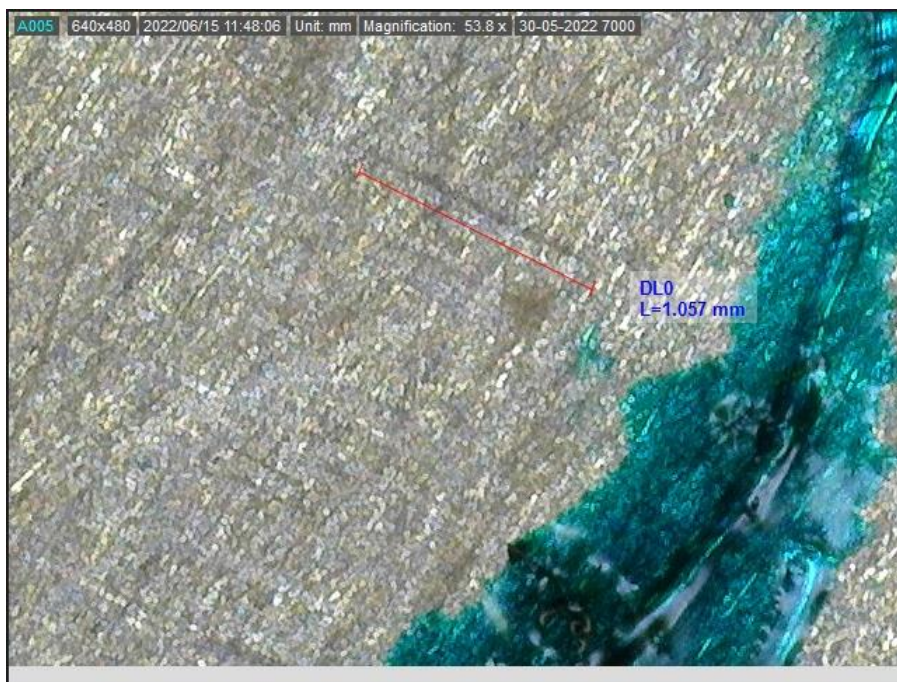


Figura 4.19 – Fotografia da superfície da chapa nº 250 (1000 quinagens), lado esquerdo, (vista microscópio digital 53,8 x)



Figura 4.20 – Fotografia da superfície da chapa nº 250 (1000 quinagens), lado direito, (vista microscópio digital 53,8 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

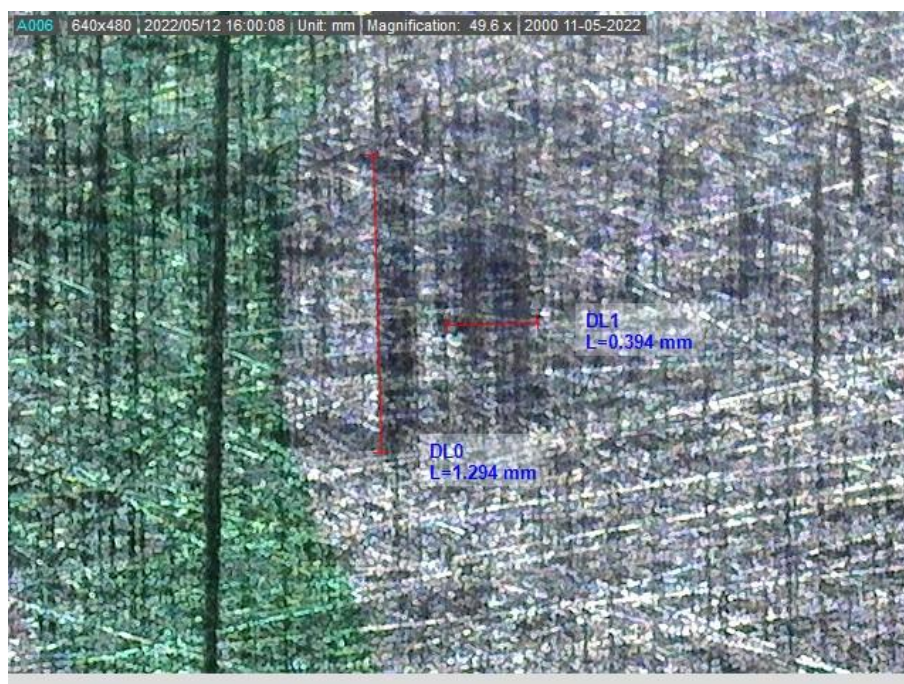


Figura 4.21 – Fotografia da superfície da chapa nº 300 (1200 quinagens), lado esquerdo (microscópio digital 49,6 x)

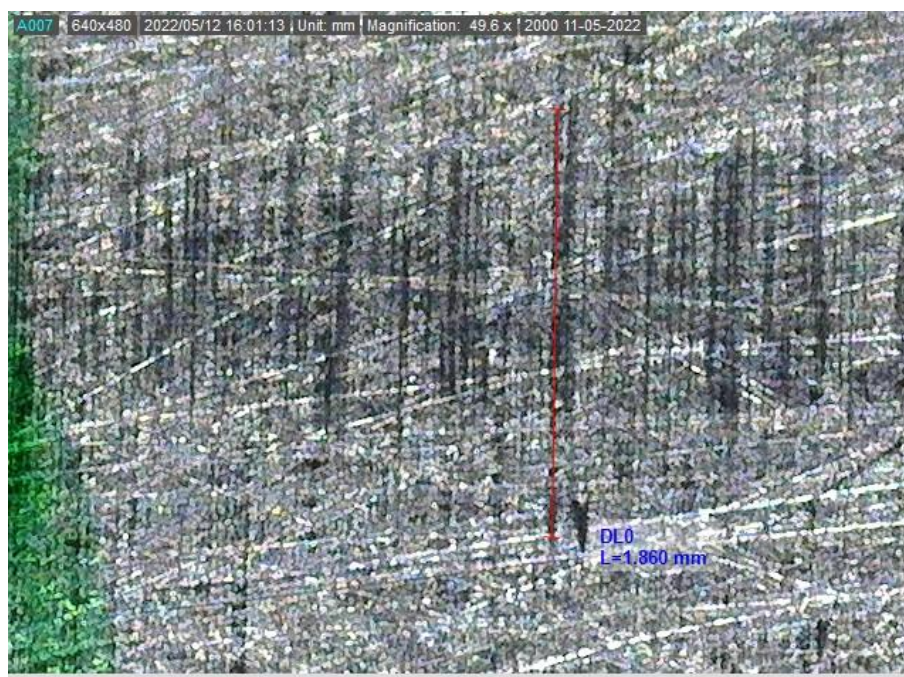


Figura 4.22 – Fotografia da superfície da chapa nº 300 (1200 quinagens), lado direito (microscópio digital 49,6 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

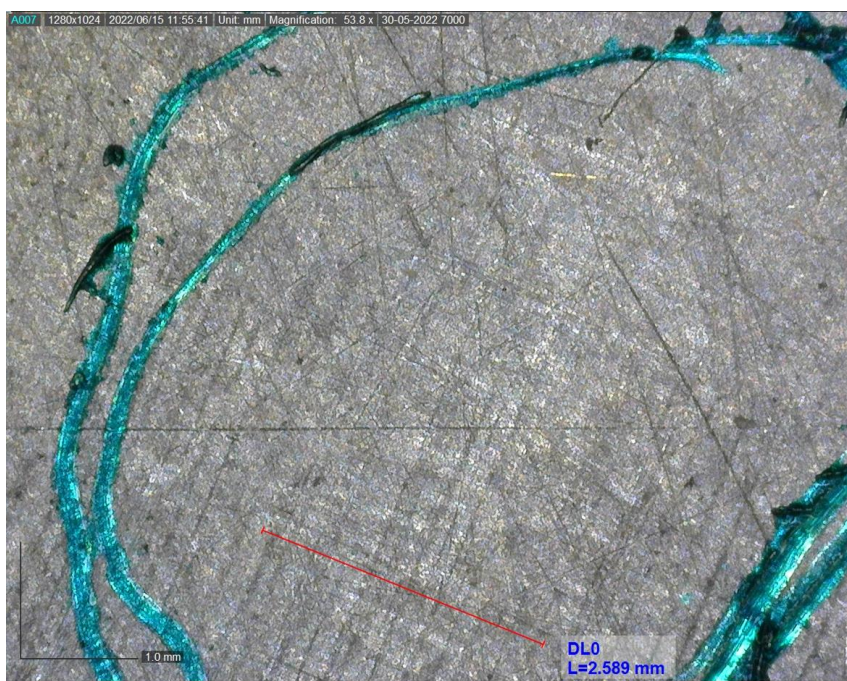


Figura 4.23 – Fotografia da superfície da chapa nº 350 (1400 quinagens), lado esquerdo, (vista microscópio digital 53,8 x)

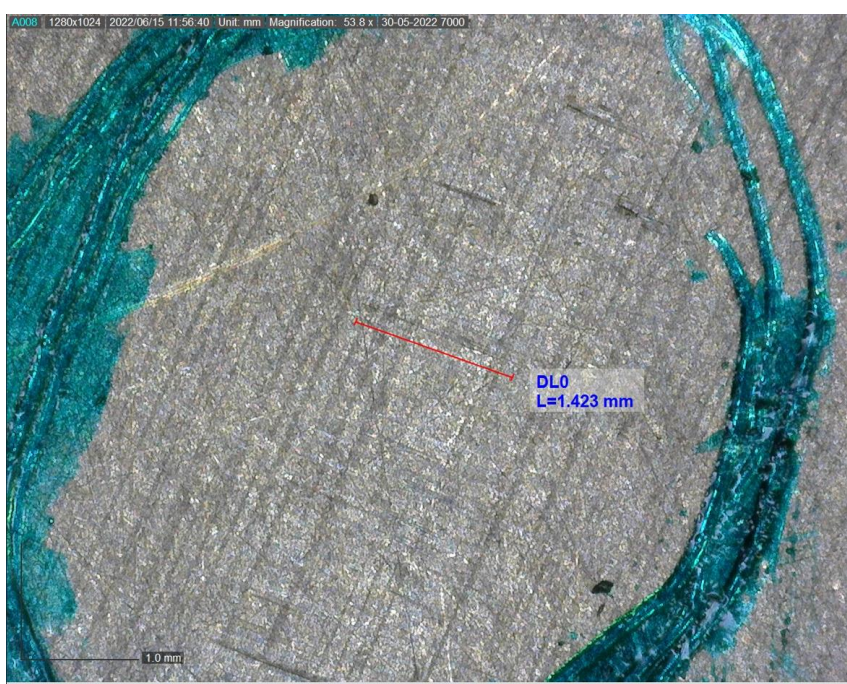


Figura 4.24 – Fotografia da superfície da chapa nº 350 (1400 quinagens), lado direito, (vista microscópio digital 53,8 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

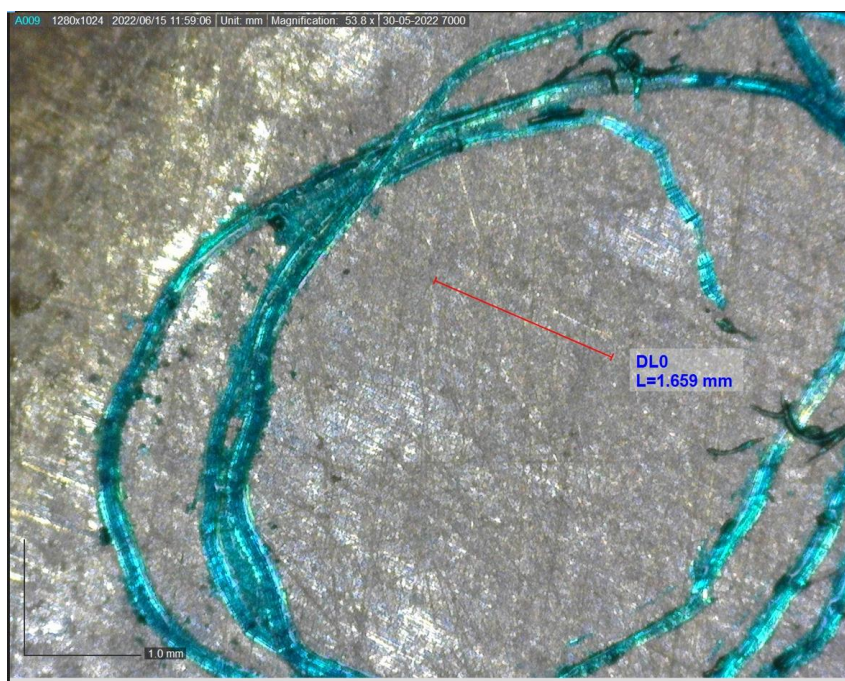


Figura 4.25 – Fotografia da superfície da chapa nº 400 (1600 quinagens), lado esquerdo, (vista microscópio digital 53,8 x)

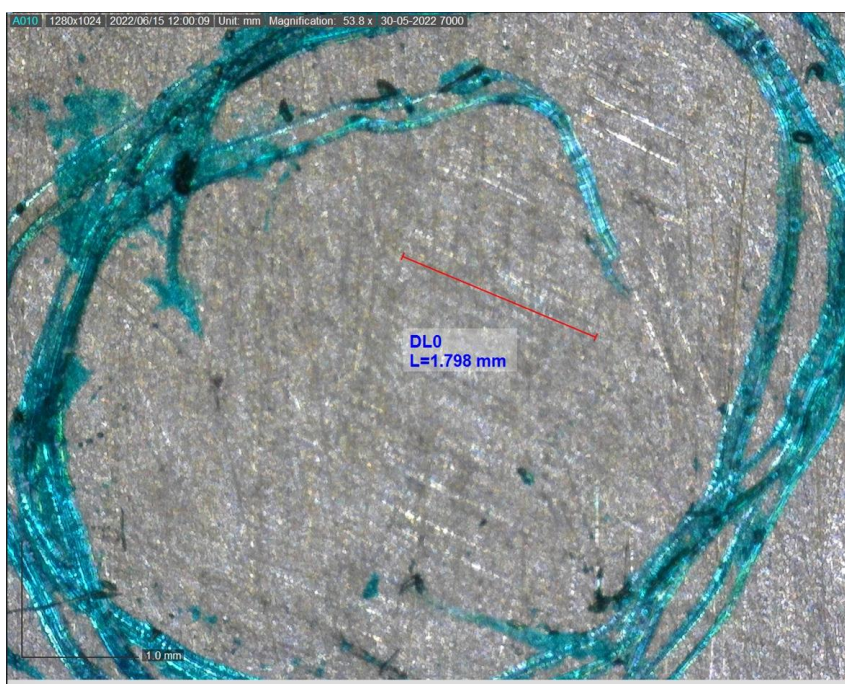


Figura 4.26 – Fotografia da superfície da chapa nº 400 (1600 quinagens), lado direito, (vista microscópio digital 53,8 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

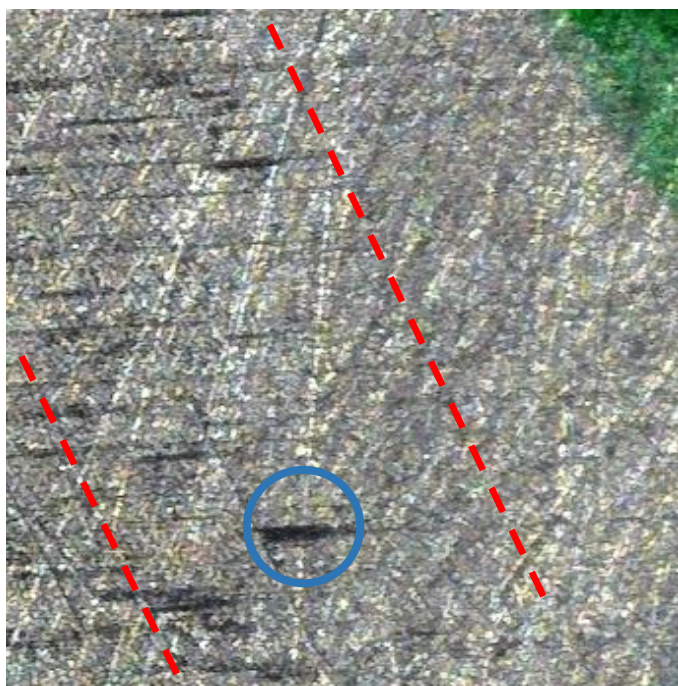


Figura 4.27 – Fotografia da superfície da chapa nº 425 (1700 quinagens)
lado esquerdo (microscópio digital 40 x)

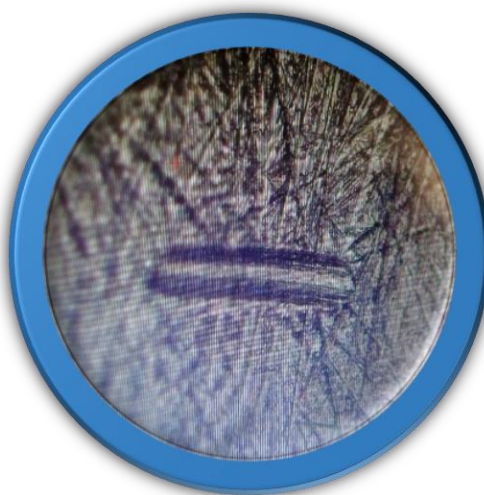


Figura 4.28 – Fotografia de pormenor da chapa nº 425 (1700 quinagens)
lado esquerdo (microscópio ótico 100 x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

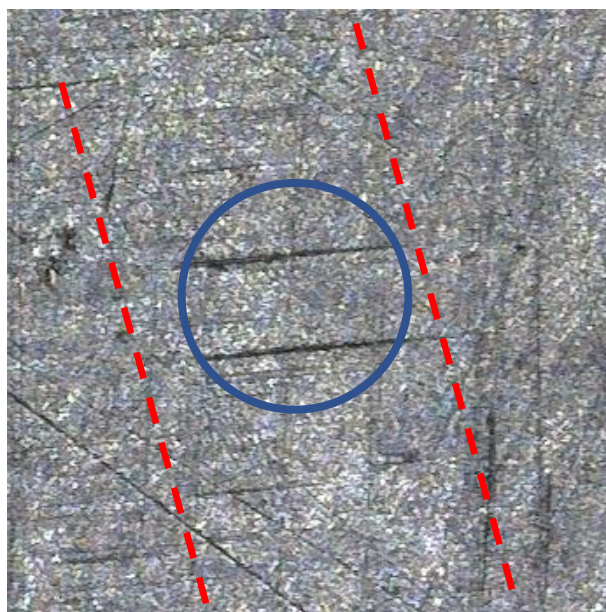


Figura 4.29 – Fotografia da superfície da chapa nº 425 (1700 quinagens)
lado direito (microscópio digital 40 x)



Figura 4.30 – Fotografia de pormenor da chapa nº 425 (1700 quinagens)
lado direito (microscópio ótico 100 x)

As fotografias obtidas por microscopia ótica apresentadas nas figuras anteriores permitiram não só visualizar mais detalhadamente as marcas presentes na superfície das chapas resultantes do processo de quinagem mas também determinar a largura das mesmas em ambos os lados das chapas.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Com base nesta informação procedeu-se à construção do gráfico (figura 4.31) que relaciona a largura das marcas com o número de quinagens já realizadas pela matriz metaloplástica quando da quinagem de cada uma das chapas aí representadas.

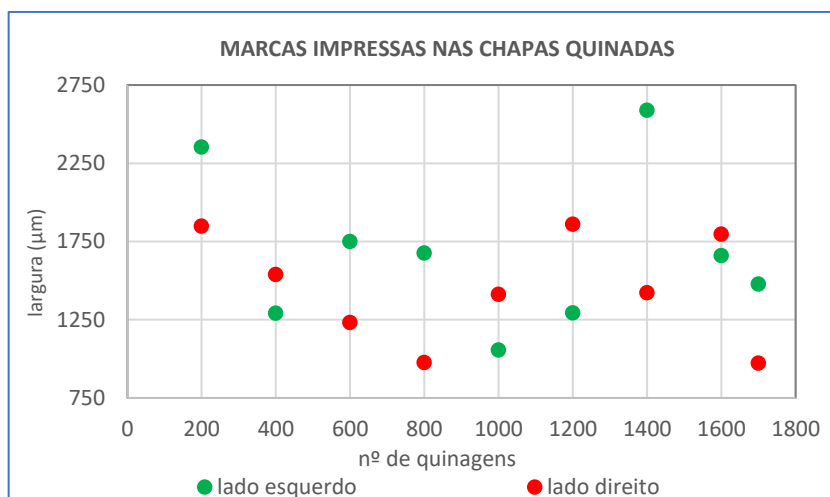


Figura 4.31 – Relação entre a largura das marcas impressas na superfície das chapas e o nº de quinagens

Apresenta-se na Figura 4.32 um gráfico onde se efetuaram duas regressões lineares; uma aos pontos correspondentes à largura das marcas do lado esquerdo das chapas e a outra aos pontos correspondente à largura das marcas do lado direito das mesmas.

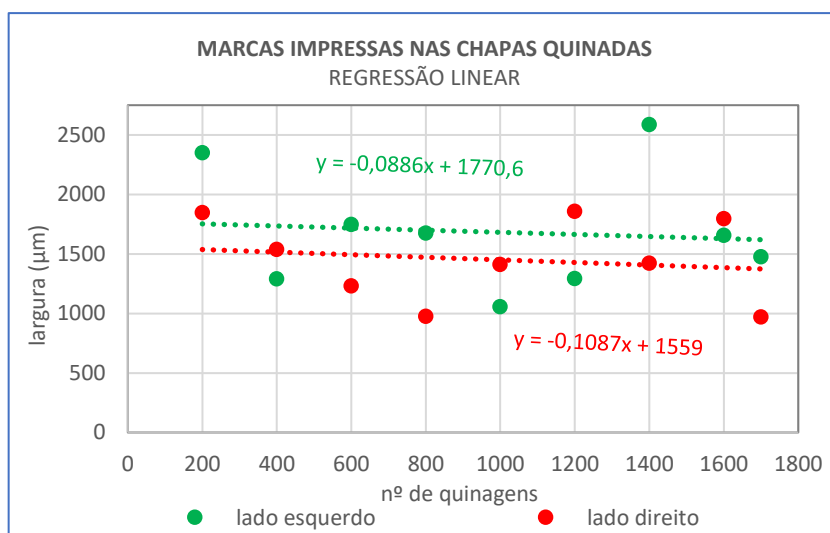


Figura 4.32 – Relação entre a largura das marcas impressas na superfície das chapas e o nº de quinagens. (Regressão linear)

A análise do gráfico da Figura 4.32 permite concluir que, tanto do lado esquerdo como do lado direito das chapas, há uma tendência, embora ligeira, para a largura das marcas na superfície das chapas diminuir com o aumento do número de quinagens. Apesar de ter sido utilizado apenas um microscópio ótico digital, as chapas número 50, 150, 300 e 425, correspondentes a 200, 600, 1200 e 1700 quinagens, respetivamente, foram observadas com ampliação de 49,6 x, enquanto as restantes foram observadas com ampliação de 53.8 x. Estas últimas chapas foram observadas com uma ampliação superior e, após alguns ajustes no *software* do microscópio as imagens finais obtidas apresentaram-se mais claras que as das restantes chapas o que facilitou a observação das marcas nas respetivas superfícies. Contrariamente ao expectável, a análise microscópica das chapas permitiu verificar uma significativa, mas lenta, redução da largura das marcas na superfície das chapas ao longo das 1700 quinagens. Este facto pode eventualmente dever-se a alguma deformação no topo do polímero, resultante das forças suportadas durante o processo de quinagem. À medida que o número de quinagens aumenta, o topo do polímero vai ficando menos espesso e a área de contacto com a superfície da chapa também será necessariamente menor.

A segunda constatação baseada na análise microscópica está relacionada com a tonalidade das marcas. As primeiras chapas apresentam faixas estreitas, claras e nitidamente intervaladas enquanto na chapa nº 300 (1200 quinagens) (figuras 4.21 e 4.22) as faixas já são mais largas e mais escuras, o que pode indiciar a presença de defeitos (tipo riscos) com alguma profundidade. A partir da chapa nº 350 (1400 quinagens) (figuras 4.23, 4.24, 4.25 e 4.26) as marcas voltam a ter faixas estreitas, contudo a chapa 425 (1700 quinagens) (figuras 4.27, 4.28, 4.29 e 4.30) apresenta marcas profundas, tendencialmente características de deformação estrutural e, por isso mesmo, deverão ser analisadas de uma forma mais pormenorizada num projeto futuro. Por outro lado, as chapas nº 350, 400 e 425 (1400, 1600 e 1700 quinagens, respetivamente) são chapas com uma espessura maior, ou seja, com 1mm em vez de 0,8mm. Também este facto pode ter contribuído para o agravamento da profundidade das marcas impressas.

Por último, é de salientar que, no geral, o estado da matéria-prima não era favorável.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

As chapas apresentavam-se bastante sujas e com rebarbas o que pode ter contribuído para uma degradação mais rápida do polímero. Suspeita-se que, durante a quinagem, algumas partículas resultantes do desgaste do polímero, se tenham depositado na superfície das chapas, contribuindo assim para a acentuação das marcas a medida que aumentava o número de quinagens.

4.1.3. Análise Tridimensional

Apresenta-se nas Figuras 4.33 e 4.34 fotografias do equipamento metrológico usado no âmbito do presente trabalho para análise dimensional das chapas quinadas.

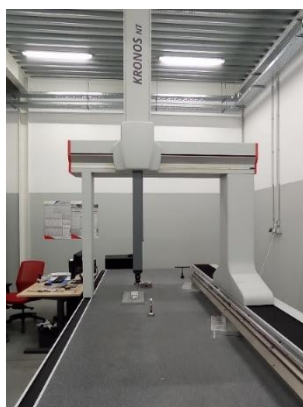


Figura 4.33 – Fotografia do equipamento metrológico de análise tridimensional (Coord3Industries, 2022)

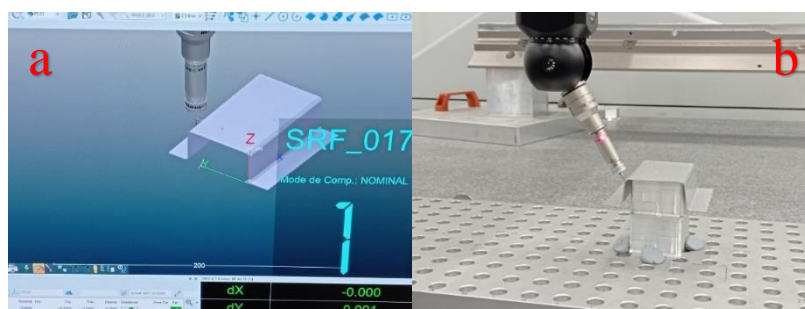


Figura 4.34 – Fotografia de (a) layout do desenho original no software metrológico para marcação de vetores na chapa quinada; (b) marcação de pontos vetoriais na superfície da chapa quinada ²⁷

²⁷ Anexo xiii

A título de exemplo, apresenta-se na Figura 4.35 o desenho de uma chapa quinada (chapa nº 50) bem como os valores resultantes da análise dimensional da mesma utilizando o equipamento metrológico anteriormente referido.

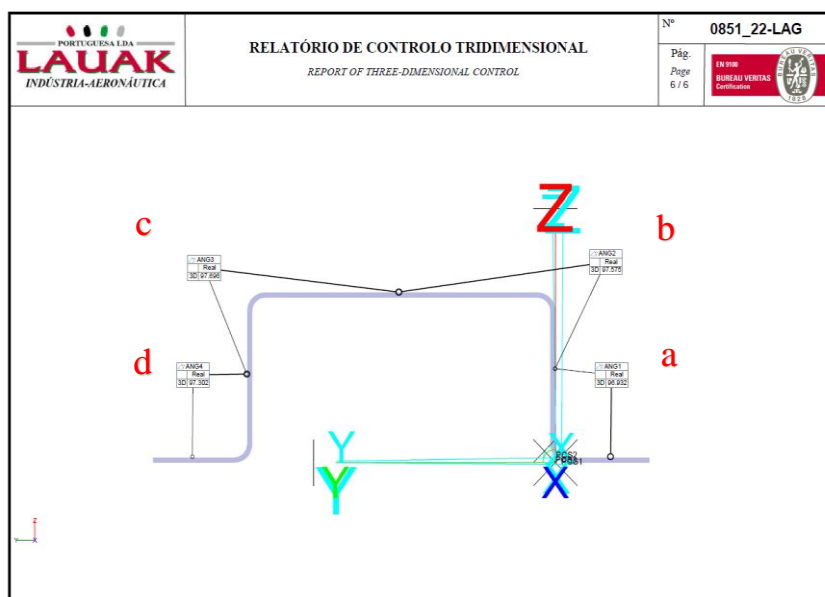


Figura 4.35 – Desenho de uma chapa quinada com controlo dimensional – exemplo dos desvios angulares na chapa nº 50²⁸

Adaptado de (Lauak Aerostructures)

4.1.3.1. Matriz dos registos angulares após quinagens

Os valores que constam na Tabela 4.1. dizem respeito aos ângulos reais apresentados pelas peças após quinagem. As letras a, b, c e d da Tabela 4.1. correspondem aos pontos assinalados na Figura 4.30 e representam os pontos onde foram efetuadas as medidas. Importa salientar que o valor programado para os ângulos de quinagem é sempre o mesmo em todos os pontos da chapa, e igual a 90°. Todos os gráficos seguintes relativos aos ângulos, assim como, aos desvios das abas das chapas são representativos apenas até à chapa nº 300, (1200 quinagens), uma vez que a partir desta a espessura é diferente e altera significativamente o ângulo inicialmente proposto, que era igual a 90°.

²⁸ Anexo xiv

Uma vez que o programa (quinagem automática) utilizado neste projeto foi sempre o mesmo e que a espessura das chapas poderá ter impacto nos defeitos apresentados por estas (tabela 2.6, capítulo 2), não faria sentido estar a comparar dimensões de conjuntos de chapas de espessuras diferentes, neste caso concreto, com de 0,8 e 1mm. Assim sendo, nas tabelas 4.1. a 4.4. apresentam-se a cores diferentes as chapas com diferentes espessuras, ou seja, as colunas sombreadas a verde dizem respeito às chapas com 0,8 mm de espessura enquanto que as colunas sombreadas a amarelo dizem respeito às chapas com 1,0 mm de espessura. Apresentam-se na tabela 4.1. os valores dos ângulos reais das chapas quinadas e na tabela 4.2. os desvios angulares das chapas quinadas relativamente ao desenho original.

Tabela 4.1 – Matriz de registo dos ângulos reais das chapas quinadas

(Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Nº peça	50	100	150	200	250	300	350	400	425
Nº quinagens	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1700
a ⁽²⁹⁾	96,9°	97,4°	97,8°	97,6°	96,2°	97,4°	124,2	106,6°	112,6°
b	97,6°	98,1°	98,4°	98,0°	96,5°	98,1°	118,4	103,0°	111,6°
c	97,7°	98,5°	98,4°	97,9°	83,8°	98,2°	114,6	105,5°	108,9°
d	97,3°	97,6°	97,1°	97,0°	84,4°	97,8°	119,8	104,0°	113,1°

Tabela 4.2 – Matriz de registo dos desvios angulares entre a chapa quinada e o desenho original

(Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Nº peça	50	100	150	200	250	300	350	400	425
Nº quinagens	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1700
a	6,9°	7,4°	7,8°	7,6°	6,2°	7,4°	34,2°	16,6°	22,6°
b	7,6°	8,1°	8,4°	8,0°	6,5°	8,1°	28,4°	13,0°	21,6°
c	7,7°	8,5°	8,4°	7,9°	-6,2°	8,2°	24,6°	15,5°	18,9°
d	7,3°	7,6°	7,1°	7,0°	-5,6°	7,8°	29,8°	14,0°	23,1°

²⁹ Graus arredondados à décima

Os dados apresentados na Tabela 4.1. para as chapas de 0,8 mm são apresentados na forma gráfica na figura 4.36.

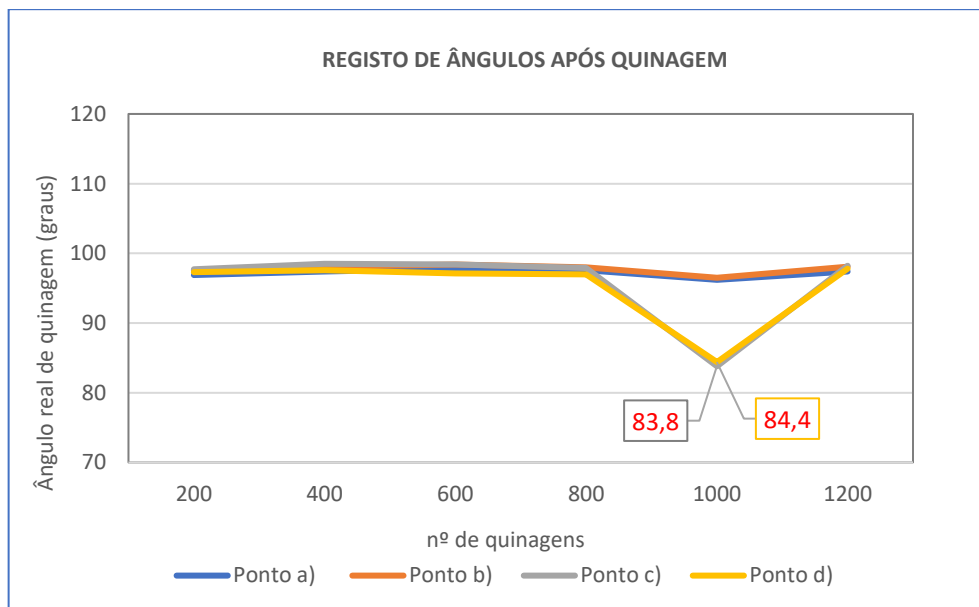


Figura 4.36 – Registo dos ângulos reais das chapas quinadas de 0,8 mm de espessura nos pontos a, b, c, d

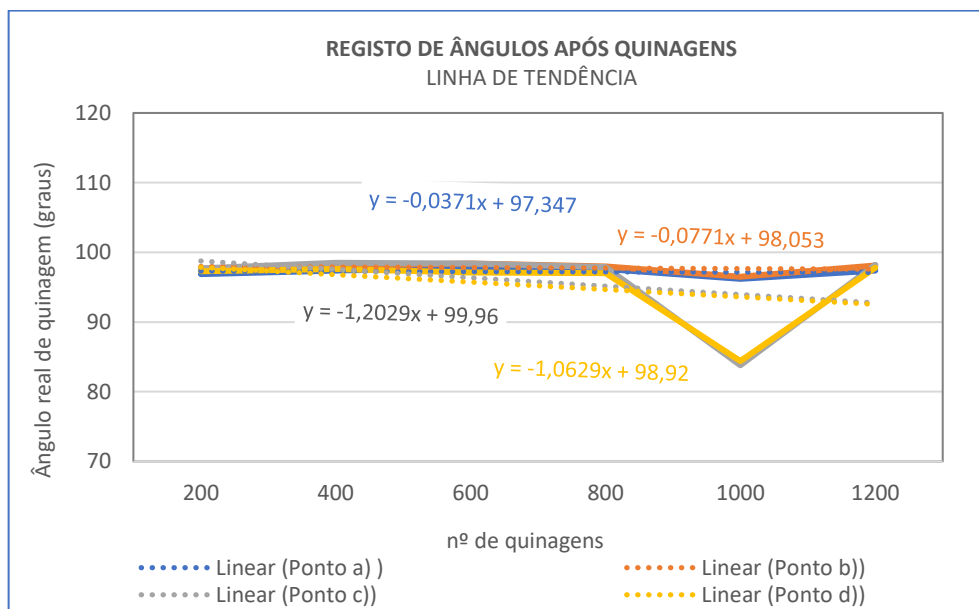


Figura 4.37 – Registo dos ângulos reais das chapas quinadas de 0,8 mm de espessura nos pontos a, b, c e d, com a inclusão de linhas de tendência

Apresentam-se na Tabela 4.3. os desvios angulares e as médias angulares das chapas de 0,8 e 1,0 mm de espessura após quinagem.

Tabela 4.3 – Desvios angulares e médias angulares das chapas de 0,8 e 1,0 mm de espessura
(Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Desvio angular entre a quinagem 200 e 1200	Média angular das quinagens 200 à 1200	Desvio angular entre a quinagem 1400 e 1700	Média angular das quinagens 1400 à 1700
0,5°	97,2°	11,6°	114,5°
0,5°	97,8°	6,8°	111,0°
0,5°	95,8°	5,7°	109,7°
0,5°	95,2°	6,7°	112,3°

Em comparação com o desenho original (figura 4.34), os resultados apresentados na tabela 4.1. mostram que os ângulos reais das peças oscilam entre 84,4° e 98,5° para as peças de 0,8mm de espessura e entre 103,0° e 124,2° para as peças de 1,0mm de espessura.

Outra observação relevante é que, para as chapas de 0,8mm, entre a 1ª (200 quinagens) e a última chapa (1200 quinagens) em todas as arestas assinaladas, a diferença angular é de apenas 0,5°, enquanto que para as chapas de 1,0 mm, entre a 1ª (1400 quinagens) e a última chapa (1700 quinagens), a diferença angular é bastante maior, entre 5,7° e 11,6°. (tabela 4.3)

A análise seguinte “variação do vetor (Z)” tem em conta a caracterização de qualquer tipo de torção existente nas abas (esquerda ou direita) tanto na extremidade da chapa, como na zona mais interior (aresta de quinagem). O “vetor (Z)” é a distância em altura desde a origem (X,Y,Z) com X = 0; Y = 0 e Z = 0, do desenho original e a superfície das abas, exterior ou interior, das chapas depois de quinadas.

4.1.3.2. Variação do Vetor (Z) (Aba direita exterior)

Apresenta-se na Figura 4.38 o desenho da chapa quinada com a marcação dos pontos de análise do vetor (Z) por parte do equipamento metrológico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

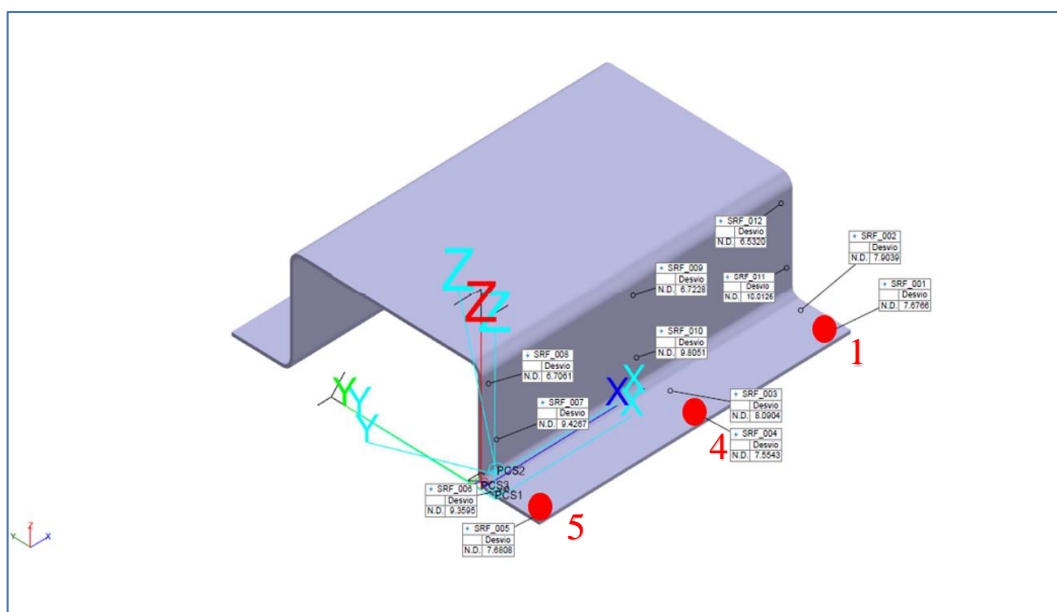


Figura 4.38 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z (aba direita exterior)

Apresentam-se na Tabela 4.4. os valores obtidos para a variação do vetor (Z) nos pontos 1, 4 e 5 da aba direita exterior das chapas quinadas.

Tabela 4.4 – Matriz de variação do vetor Z em três pontos da (aba direita exterior das chapas quinadas
(Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Nº peça	0,8mm (Verde)						1mm (Amarelo)		
	50	100	150	200	250	300	350	400	425
Nº quinagens	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1700
Pontos de análise	Variação do vetor Z (mm)								
1	1,813	1,61	2,08	1,93	1,67	2,01	8,477	3,088	6,056
4	1,661	1,48	1,94	1,85	1,55	1,79	8,354	2,948	5,918
5	1,993	1,75	2,20	2,15	1,79	2,02	8,481	2,900	6,099

Na figura 4.39 apresenta-se na forma de gráfico a variação do vetor Z nos pontos 1, 4 e 5 localizados na aba direita exterior das chapas com 0,8 mm de espessura após quinagem.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

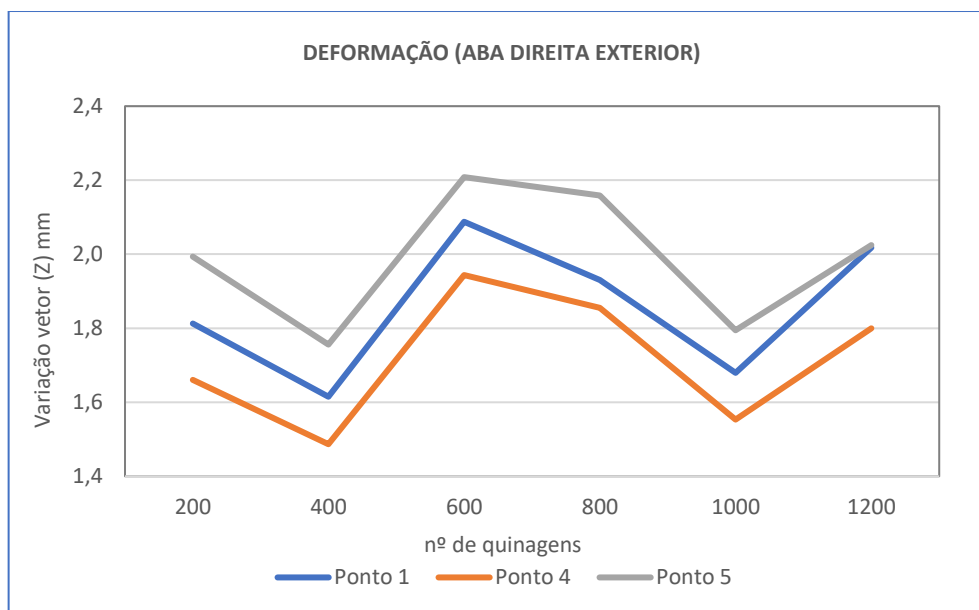


Figura 4.39 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas

Na figura 4.40 apresenta-se novamente a variação do vetor Z nos pontos 1, 4 e 5 localizados na aba direita exterior das chapas com 0,8 mm de espessura após quinagem mas agora com linhas de tendência.

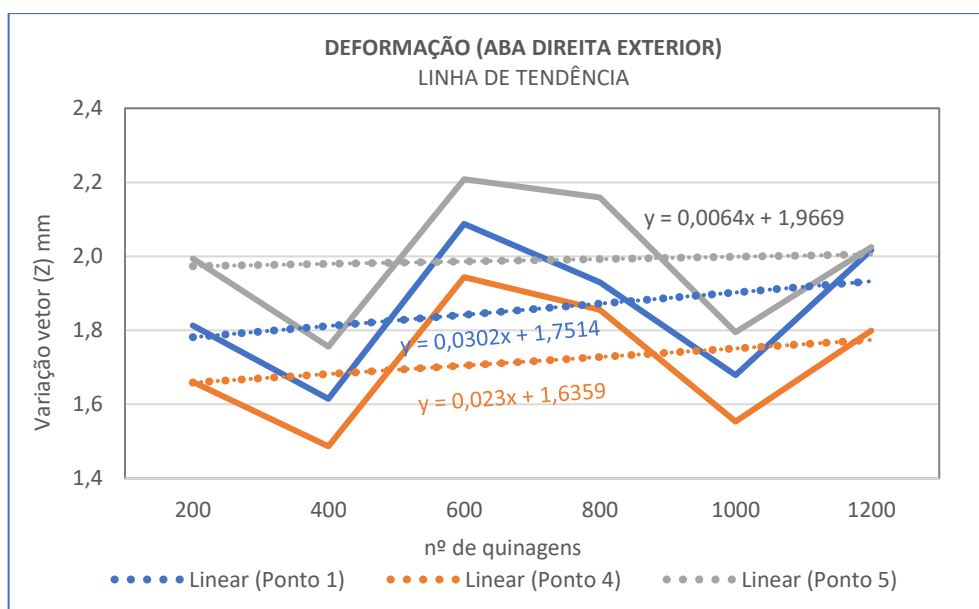


Figura 4.40 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas, com as respectivas linhas de tendência

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Apresentam-se na tabela 4.5. média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas.

Tabela 4.5 – Matriz da média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba direita exterior das chapas quinadas

Pontos de análise	Média das distâncias das quinagens (200 - 1200) (mm)	Desvio das distâncias entre as quinagens (200 - 1200) (μm)
1	1,857	204
4	1,717	139
5	1,989	31

4.1.3.3. Variação do Vetor (Z) (Aba direita interior)

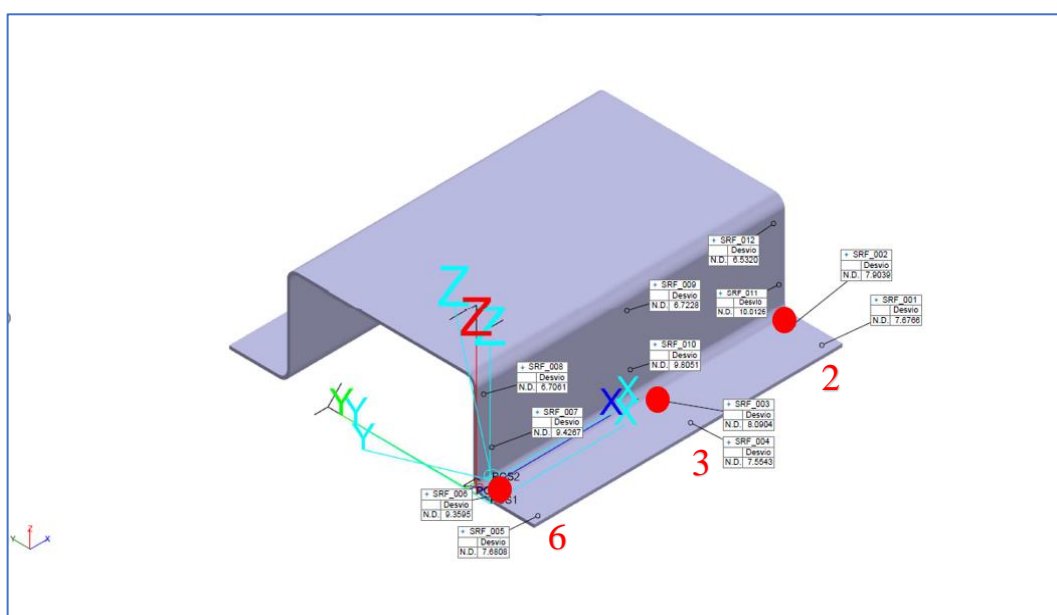


Figura 4.41 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z na aba direita interior das chapas quinadas

Apresentam-se na Tabela 4.6. os valores obtidos para a variação do vetor (Z) nos pontos 2, 3 e 6 da aba direita interior das chapas quinadas.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”

Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 4.6 – Matriz da variação do vetor Z em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas.

(Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Nº peça	50	100	150	200	250	300	350	400	425
Nº quinagens	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1700
Pontos de análise	Variação do vetor Z (mm)								
2	1,604	1,37	1,88	1,75	1,52	1,86	8,704	3,513	5,957
3	1,686	1,47	1,95	1,89	1,60	1,81	8,890	3,490	6,046
6	1,883	1,67	2,13	2,12	1,78	1,85	10,16	3,531	6,509

Na figura 4.42 apresenta-se na forma de gráfico a variação do vetor Z nos pontos 2, 3 e 6 localizados na aba direita interior das chapas com 0,8mm de espessura após quinagem.

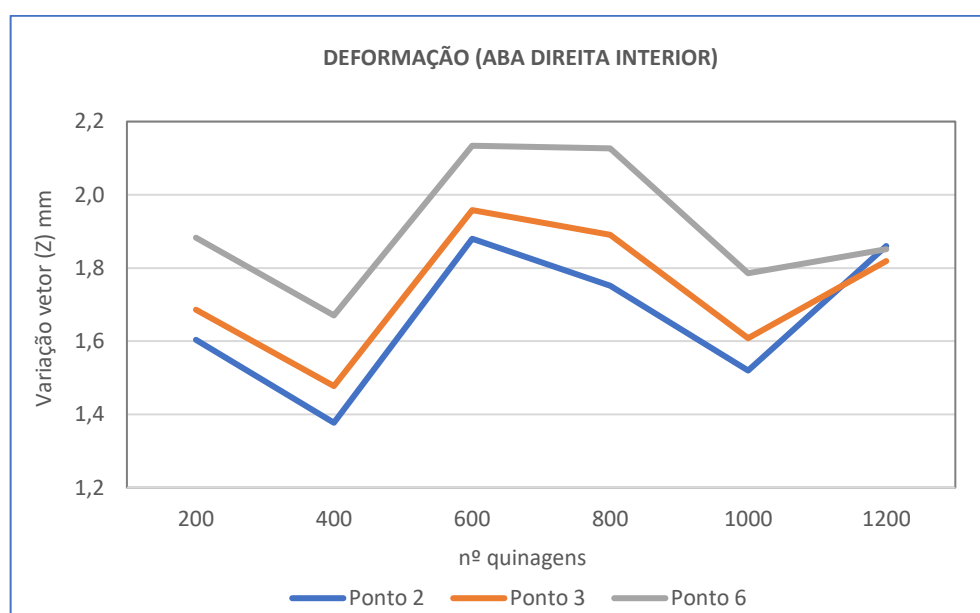


Figura 4.42 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas

Na figura 4.43 apresenta-se novamente a variação do vetor Z nos pontos 2, 3 e 5 localizados na aba direita interior das chapas com 0,8mm de espessura após quinagem mas agora com linhas de tendência.

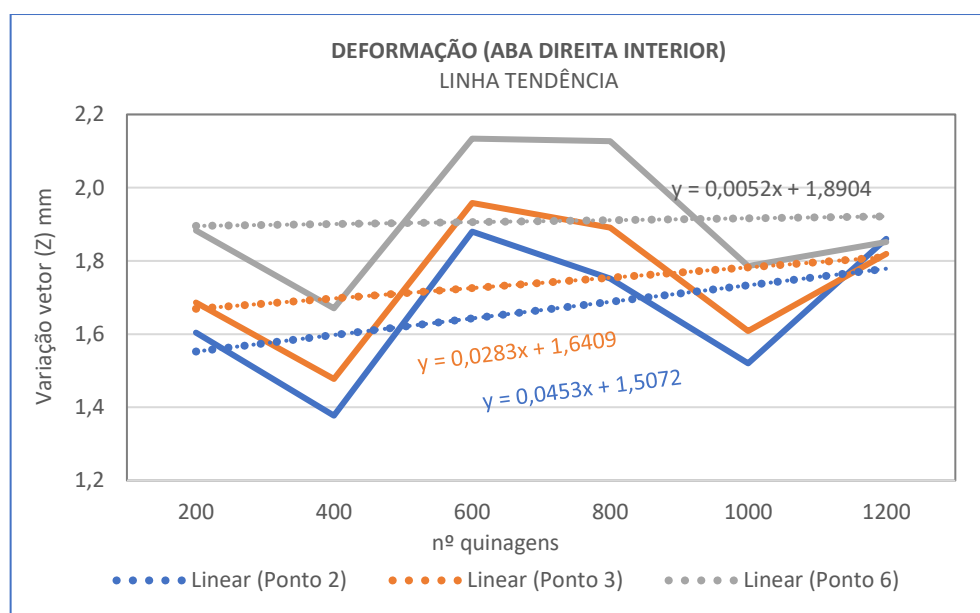


Figura 4.43 – Variação do vetor Z em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas, com as respectivas linhas de tendência

Apresentam-se na tabela 4.7 a média e os desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas.

Tabela 4.7 – Matriz da média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba direita interior das chapas quinadas

Pontos de análise	Média das distâncias das quinagens (200 - 1200) (mm)	Desvio das distâncias entre as quinagens (200 - 1200) (μm)
2	1,666	257
3	1,740	133
6	1,909	-32

4.1.3.4. Variação do Vetor (Z) (Aba esquerda exterior)

Apresenta-se na Figura 4.44 o desenho da chapas quinadas com a marcação dos pontos de análise do vetor (Z) na aba esquerda exterior das mesmas.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

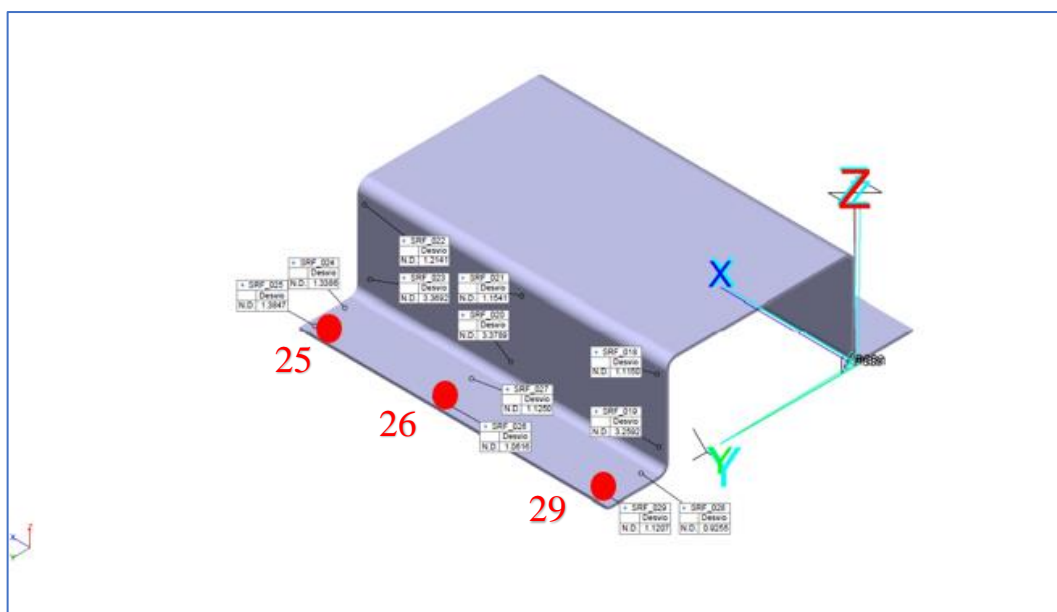


Figura 4.44 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z na aba esquerda exterior das chapas quinadas

Apresentam-se na Tabela 4.8. os valores obtidos para a variação do vetor (Z) nos pontos 25, 26 e 29 da aba esquerda exterior das chapas quinadas.

Tabela 4.8 – Matriz da variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas
(Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Nº peça	0,8mm						1mm		
	50	100	150	200	250	300	350	400	425
Nº quinagens	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1700
Pontos de análise	Variação do vetor Z (mm)								
25	2,185	2,27	2,14	2,09	1,64	2,12	6,731	4,328	4,548
26	1,862	2,01	1,83	1,77	1,38	1,92	6,888	4,272	4,417
29	1,921	2,11	2,01	1,90	1,57	2,10	7,024	4,441	4,642

Na figura 4.45 apresenta-se na forma de gráfico a variação do vetor Z nos pontos 25, 26 e 29 localizados na aba esquerda exterior das chapas com 0,8mm de espessura após quinagem.

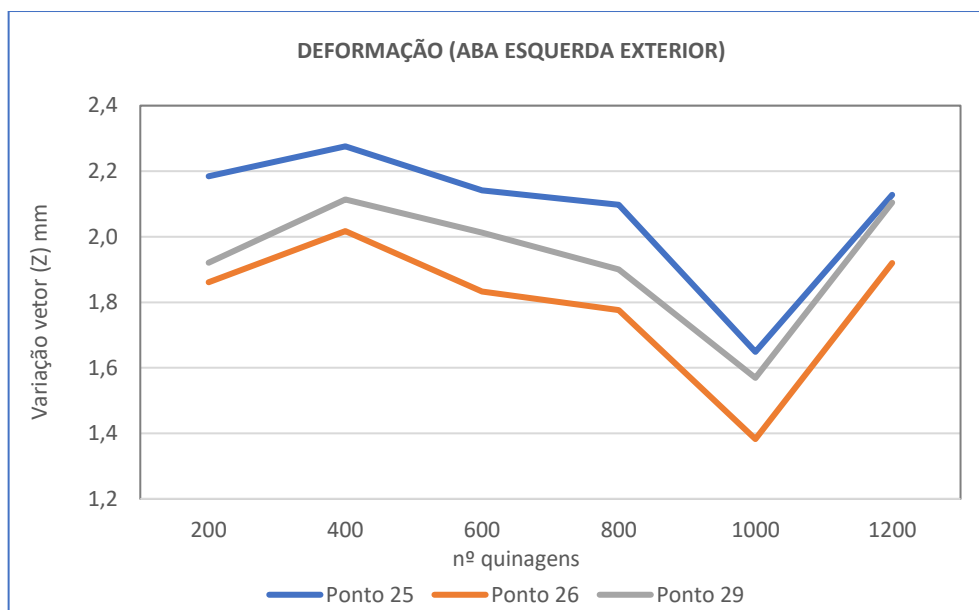


Figura 4.45 – Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda exterior das chapas

Na figura 4.46 apresenta-se novamente a variação do vetor Z nos pontos 25, 26 e 29 localizados na aba esquerda exterior das chapas com 0,8mm de espessura após quinagem mas agora com linhas de tendência.

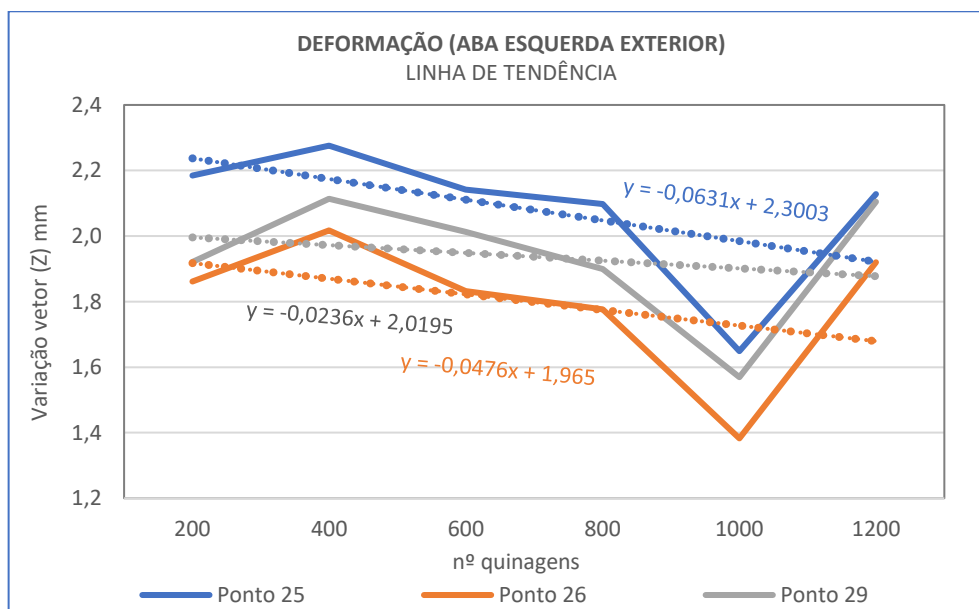


Figura 4.46 – Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas, com as respectivas linhas de tendência

Apresentam-se na tabela 4.9 a média e os desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas.

Tabela 4.9 – Matriz da média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba esquerda exterior das chapas quinadas

Pontos de análise	Média das distâncias das quinagens (200 - 1200) (mm)	Desvio das distâncias entre as quinagens (200 - 1200) (μm)
25	2,079	-57
26	1,798	59
29	1,937	184

4.1.3.5. Variação do Vetor (Z) (Aba esquerda interior)

Apresenta-se na Figura 4.47 o desenho da chapas quinadas com a marcação dos pontos de análise do vetor (Z) na aba esquerda interior das mesmas.

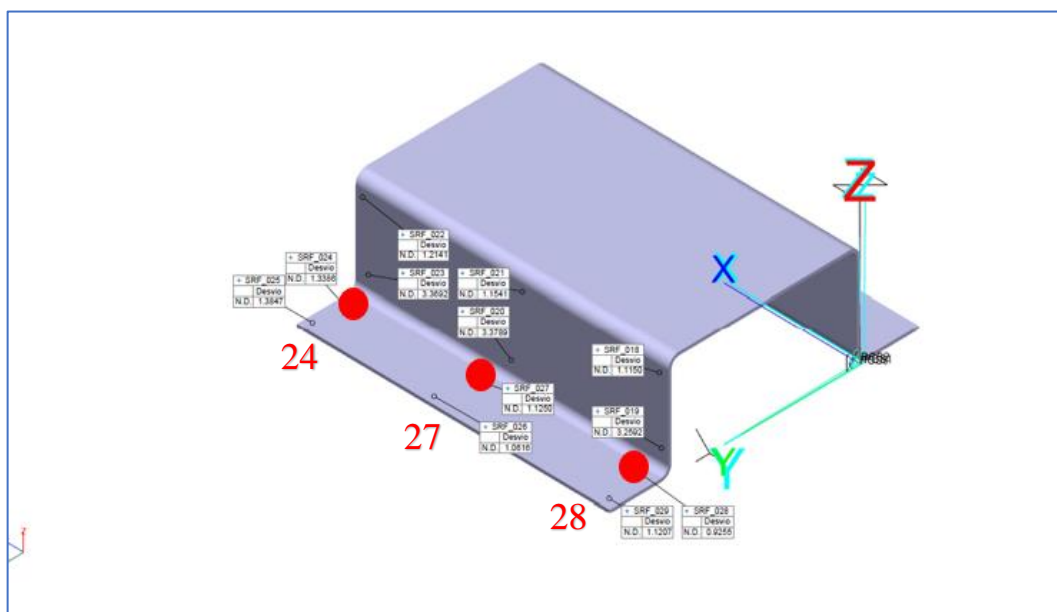


Figura 4.47 – Marcação de pontos para análise da variação do vetor Z na aba esquerda interior das chapas quinadas

Apresentam-se na Tabela 4.10 os valores obtidos para a variação do vetor (Z) nos pontos 24, 27 e 28 da aba esquerda interior das chapas quinadas.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”

Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 4.10 – Matriz da variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas (Nota: chapas com 0,8mm de espessura (a verde); chapas com 1mm de espessura (a amarelo))

Nº peça	50	100	150	200	250	300	350	400	425
Nº quinagens	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1700
Pontos de análise	Variação do vetor Z (mm)								
24	2,139	2,15	1,95	1,97	1,56	1,99	7,925	4,099	5,040
27	1,925	1,99	1,78	1,77	1,43	1,95	7,632	4,108	5,106
28	1,726	1,85	1,68	1,61	1,35	1,98	7,835	4,167	5,365

Na figura 4.48 apresenta-se na forma de gráfico a variação do vetor Z nos pontos 24, 27 e 28 localizados na aba esquerda interior das chapas com 0,8mm de espessura após quinagem.

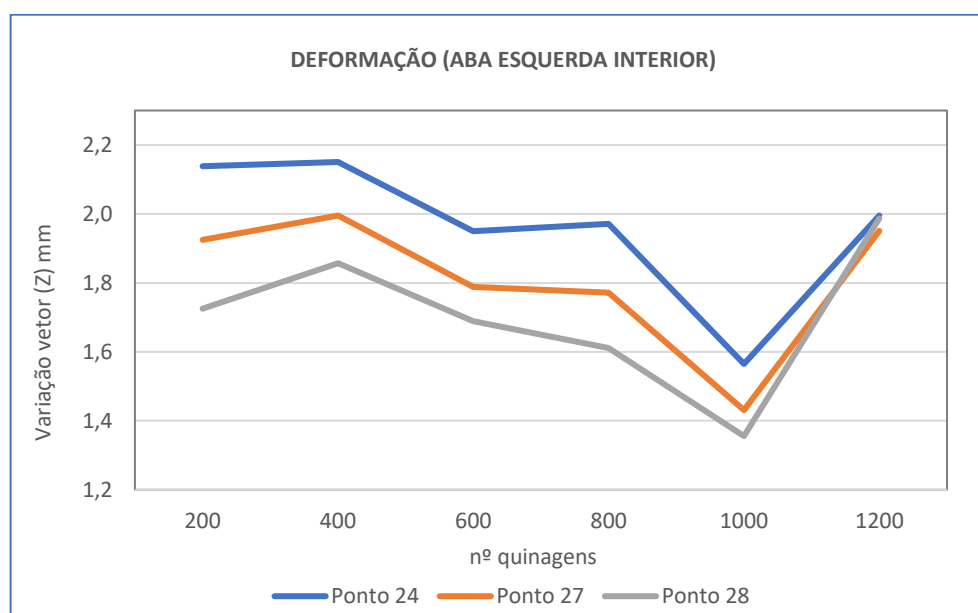


Figura 4.48 - Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas

Na figura 4.49 apresenta-se novamente a variação do vetor Z nos pontos 24, 27 e 28 localizados na aba esquerda interior das chapas com 0,8mm de espessura após quinagem mas agora com linhas de tendência.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

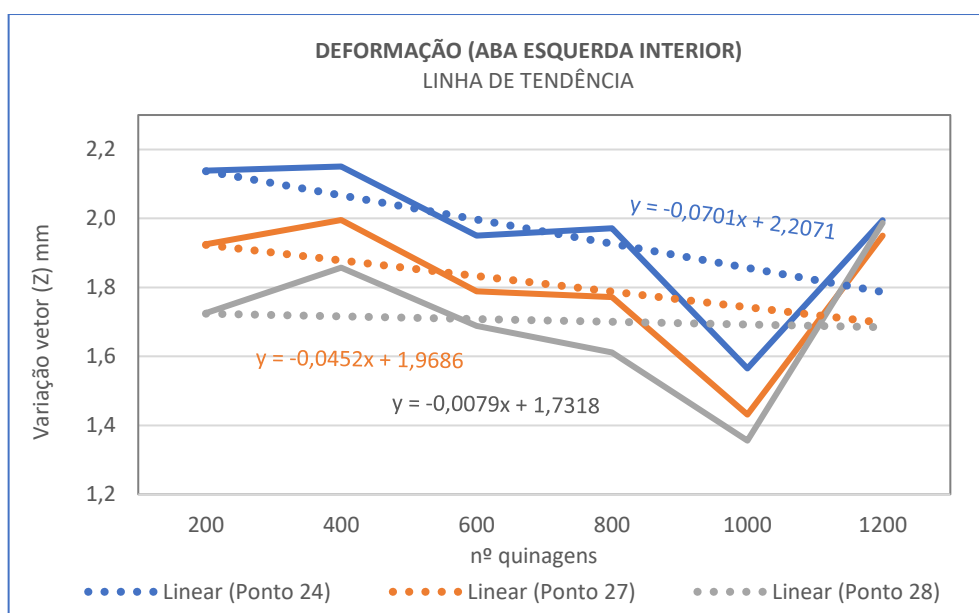


Figura 4.49 - Variação do vetor Z em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas, com as respectivas linhas de tendência

Apresentam-se na tabela 4.11 a média e os desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas.

Tabela 4.11 – Matriz de Média e dos desvios das distâncias entre quinagens em três pontos da aba esquerda interior das chapas quinadas

Coordenadas	Média das distâncias das quinagens (200 - 1200) (mm)	Desvio das distâncias entre as quinagens (200 - 1200) (μm)
24	1,962	-143
27	1,810	26
28	1,704	262

Com base na análise comparativa entre as chapas quinadas e o seu desenho original (figura 4.34) verificou-se que os desvios angulares nas peças oscilam entre 84,4° e 98,5° para as peças de 0,8mm de espessura e entre 103,0° e 124,2° para as peças com 1,0mm de espessura (tabela 4.1).

Outra observação relevante é que, para as chapas de 0,8mm, entre a 1ª chapa (200 quinagens) e a última chapa (1200 quinagens) em todas as arestas assinaladas, a diferença angular é de apenas 0,5°, enquanto que para as chapas de 1,0mm, entre a 1ª chapa (1400 quinagens) e a última chapa (1700 quinagens), a diferença angular é bastante maior, entre 5,7° e 11,6°. (tabela 4.2) A análise às abas, direita e esquerda, mostra um desvio médio ($\approx 1,8\text{mm}$) relativamente à coordenada (0,0,Z) nos pontos assinalados (a vermelho) no desenho original (tabelas 4.5; 4.7; 4.9 e 4.11). A comparação entre as duas abas (exterior e interior) do lado esquerdo e direito revelam comportamentos semelhantes. Na aba direita exterior os desvios variam entre os 31 μm e os 204 μm (tabela 4.5), e na zona interior entre -32 μm e 257 μm (tabela 4.7). Tanto na zona interior como na exterior os desvios são mais significativos nas chapas produzidas com a matriz desenvolvida após quinagem de 200, 600, 800 e 1200 chapas, sendo menores nas chapas correspondentes a 400 e 1000 quinagens em que os gráficos se assemelham a “uma onda” (figuras 4.39 e 4.42) Na aba esquerda exterior os desvios variam entre -57 μm e 184 μm . (tabela 4.9) e na zona interior os desvios variam entre -143 μm e 262 μm (tabela 4.11). Tanto na zona interior como na exterior os desvios são mais significativos na chapa produzida após a matriz ter realizado 200 quinagens. Os referidos desvios vão ficando mais reduzidos ao longo das sucessivas quinagens e voltam a ser significativos na quinagem 1200. (figuras 4.45 e 4.48) A razão mais evidente para que isto aconteça é o facto das chapas produzidas após as 1200 quinagens terem 1mm de espessura e o programa utilizado para as chapas de 0,8mm não ter sido ajustado para a nova espessura. Logo para estas chapas os ângulos apresentam maiores desvios.

4.2. Ensaio de caracterização do polímero

4.2.1. Análise visual a olho nú

Com o objetivo de avaliar o impacto do nº de quinagens realizadas pela matriz metaloplástica na aparência do polímero PE-UHMW constituinte da mesma, procedeu-se à análise visual a olho nú do referido polímero ao longo do processo de quinagem das 1700 chapas de teste.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Apresentam-se nas Figuras 4.50 a 4.58 fotografias de perfil e de topo da matriz metaloplástica desenvolvida após sujeita a um diferente número de ciclos de quinagem, designadamente: 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 e 1700.

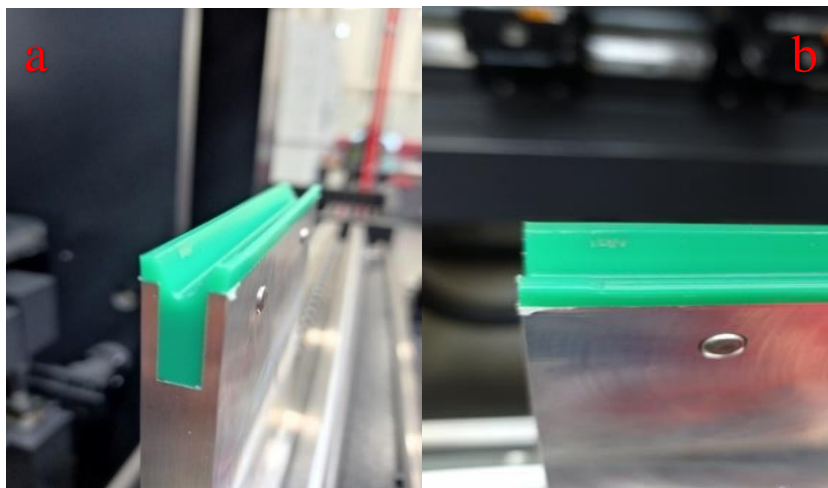


Figura 4.50 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 200 quinagens.

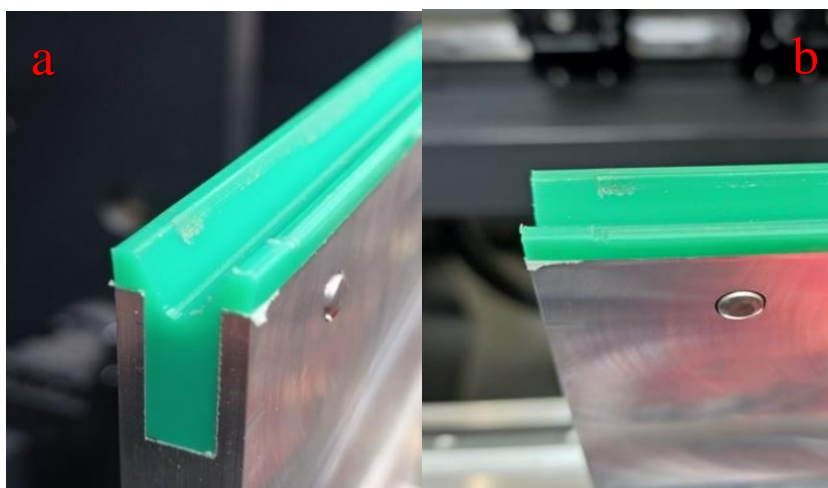


Figura 4.51 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 400 quinagens.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

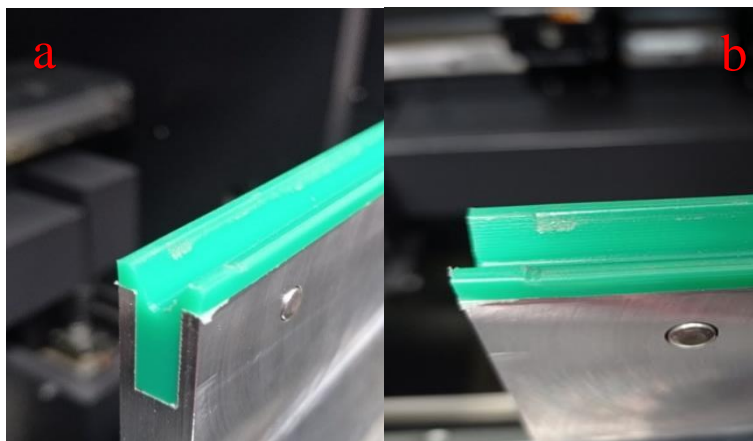


Figura 4.52 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 600 quinagens.



Figura 4.53 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 800 quinagens.

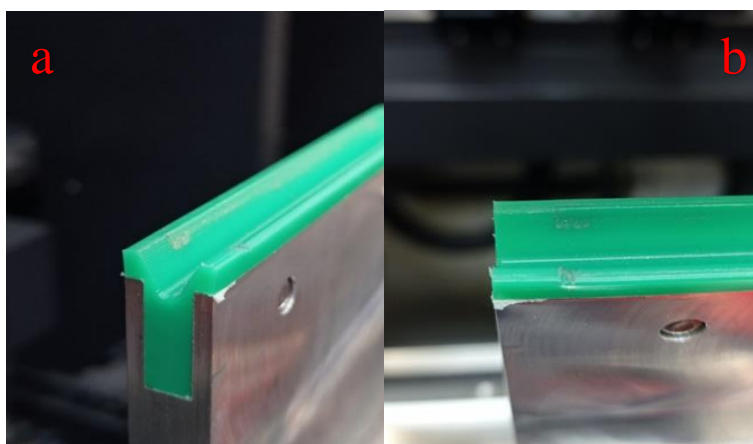


Figura 4.54 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 1000 quinagens.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

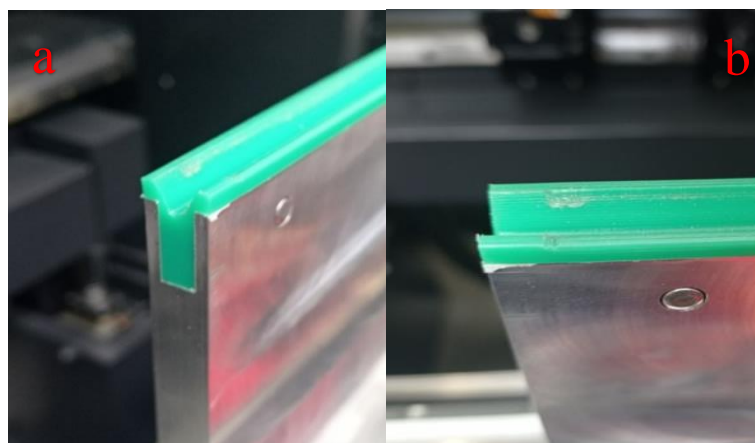


Figura 4.55 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 1200 quinagens.

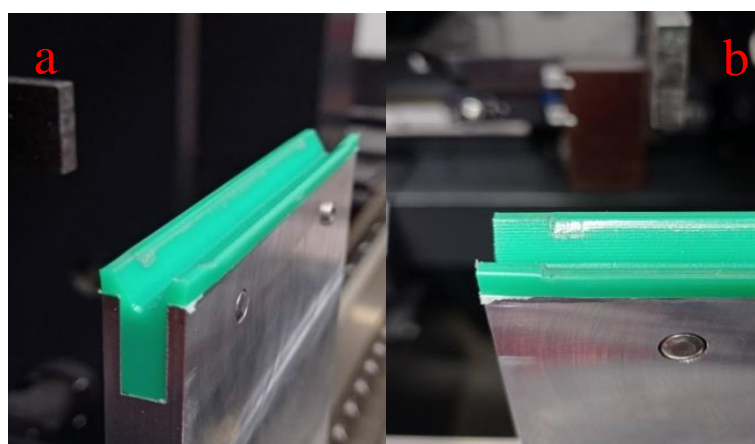


Figura 4.56 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 1400 quinagens.

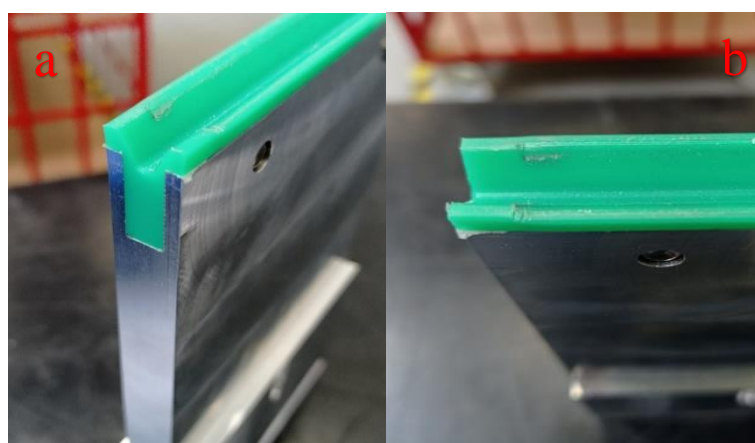


Figura 4.57 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 1600 quinagens.

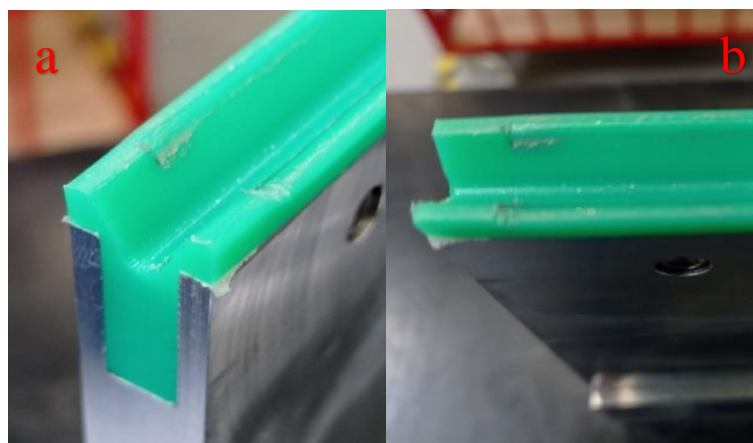


Figura 4.58 – Fotografia de: (a) perfil da matriz metaloplástica, (b) topo da matriz metaloplástica, após 1700 quinagens.

Conforme mostra a figura 4.50 e figuras seguintes o polímero apresenta várias marcas localizadas nas zonas onde se posicionaram os limites das chapas, objeto de quinagem. Apesar das marcas referidas terem características semelhantes ao longo das 1700 quinagens, nota-se um ligeiro agravamento da profundidade dessas marcas, tanto no topo, como nas duas faces internas do polímero. Por outro lado, o polímero visto de topo e de perfil também revela alguma deformação plástica entre as extremidades e o centro, assemelhando-se a um “barrilamento”.

4.2.2. Análise por Microscopia

No âmbito do presente trabalho e utilizando a matriz metaloplástica desenvolvida foram quinadas chapas de alumínio até ao número 1700 uma vez que não havia mais chapas disponíveis para teste. De salientar que a última chapa quinada, ou seja, a nº 1700, não apresentava marcas muito acentuadas na superfície daí que segundo o responsável da Lauak, caso não se tratasse de um teste, a referida chapa poderia ser enviada para o cliente. Com o objetivo de avaliar o dano causado pelo processo de quinagem no polímero PE-UHMW constituinte da matriz metaloplástica, após a quinagem nº 1700 procedeu-se à análise microscópica do mesmo em quatro pontos, conforme esquematizado na figura 4.59. Para tal, utilizou-se um microscópio ótico digital da marca Dino-Lite 90x.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

As fotografias apresentadas nas figuras 4.60 a 4.64 referem-se a análise microscópica do referido polímero nos quatro pontos assinalados.

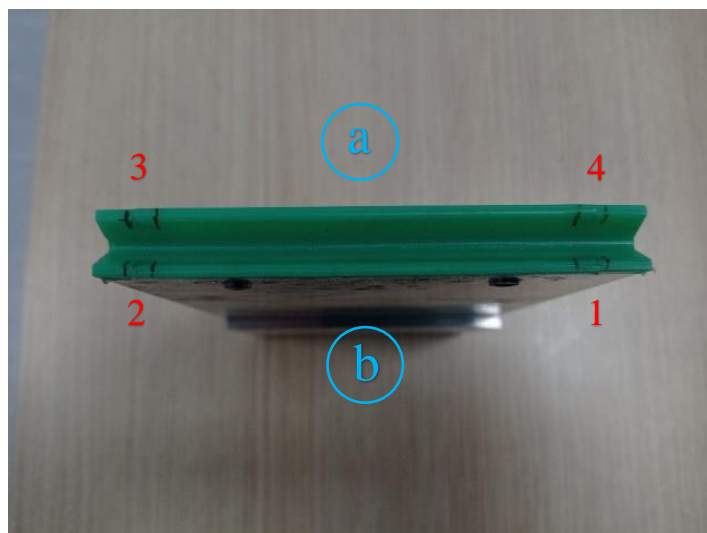


Figura 4.59 - Fotografia da marcação de pontos na matriz metaloplástica após 1700 quinagens para análise microscópica.

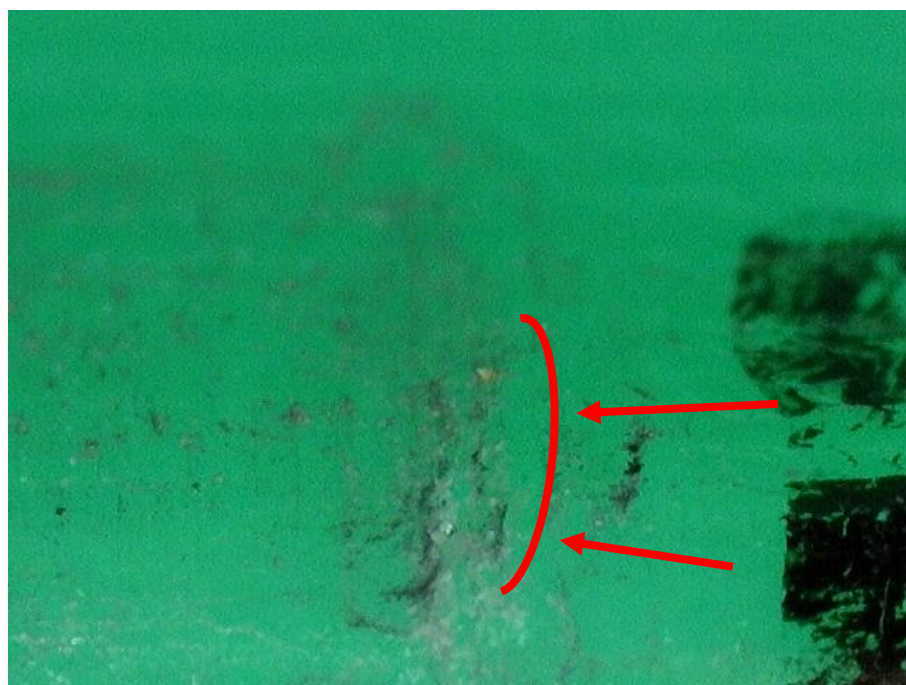


Figura 4.60 – Fotografia do ponto nº 1 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens (microscópio ótico digital 50x)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



Figura 4.61 – Fotografia do ponto nº 2 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens
(microscópio ótico digital 50x)



Figura 4.62 – Fotografia do: ponto nº 4 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens
(microscópio ótico digital 50x)



Figura 4.63 – Fotografia do ponto nº 3 da matriz metaloplástica após 1700 quinagens
(microscópio ótico digital 50x)

A análise microscópica permitiu identificar a presença de zonas defeituosas no topo do PE-UHMW. Os pontos assinalados com os números 1 e 4 (figuras 4.60 e 4.62) apresentam o mesmo sentido de desgaste assim como os pontos números 2 e 3 (figuras 4.61 e 4.63). Isto é, o desgaste tem a direção de fora para dentro em todos os pontos assinalados. Também se verifica um enrugamento em todas as zonas assinaladas, contudo a zona mais afetada é a correspondente ao ponto número 2 (figura 4.61) que é a parte esquerda da frente da matriz utilizada. Uma das eventuais causas desta situação poderão ser as rebarbas existentes nas chapas de prova, mais de um lado que do outro, isto é mais do lado dos pontos números 2 e 3 do que nos pontos números 1 e 4. No momento da quinagem como a força maior é exercida na parte da frente da matriz (zona b da figura 4.59), então naturalmente este lado também é o que deverá apresentar maior desgaste.

Por outro lado, se pensarmos que estes sistemas automáticos de maquinagem funcionam com coordenadas cartesianas, (X, Y, Z), então o braço da quinadeira quando pega na chapa irá posicionar-se num ponto específico no topo da matriz e uma vez que os pontos 1 e 4 (lado direito da matriz) apresentam desgastes idênticos, então presume-se que a origem das coordenadas (0,0,0) será desse lado. Como o estado da matéria (qualidade das chapas) não era o melhor, também se pressupõe que as chapas não teriam todas a mesma largura ($\approx 80\text{mm}$) e no momento da respetiva quinagem estas também não iriam assentar exatamente nos mesmos pontos à esquerda, daí o “estranho” desgaste do ponto nº 2. Em termos estéticos as faces a e b são idênticas. Apenas são diferenciadas em termos de processo, uma vez que, quando a matriz é colocada na quinadeira a face (a) fica voltada para o interior e a face (b) fica voltada para o operador, conforme mostra a fotografia da figura 4.64. Além disso é também na face (b), onde é exercida a maior força sobre a chapa e naturalmente também sobre o topo do polímero, devido ao movimento do braço robótico ser realizado deste lado (figura 4.64).

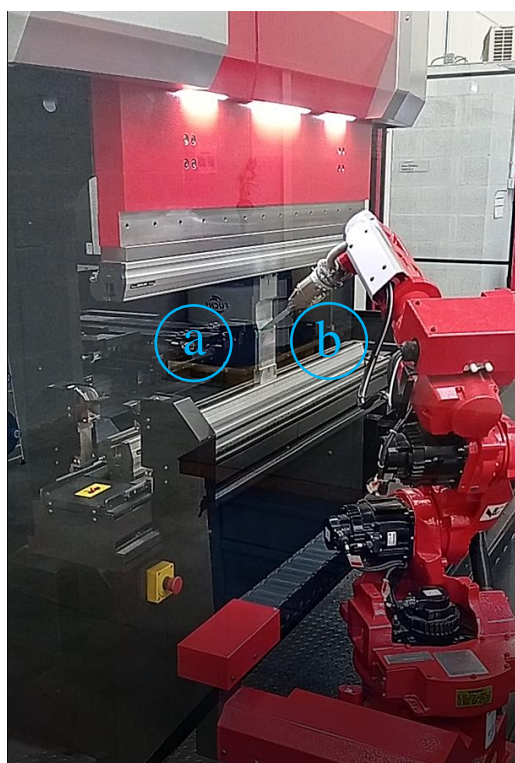


Figura 4.64 – Fotografia das duas faces a e b da matriz metaloplástica durante o processo de quinagem

4.2.3. Análise Tridimensional

Uma vez que as análises visual a olho nú e recorrendo ao microscópio ótico digital mostraram algum dano no polímero como resultado do processo de quinagem da chapas de alumínio, procedeu-se à análise dimensional deste por forma a quantificar o referido dano em vários pontos ao longo do seu comprimento. Para tal, utilizou-se o equipamento metrológico apresentado na figura 4.65.

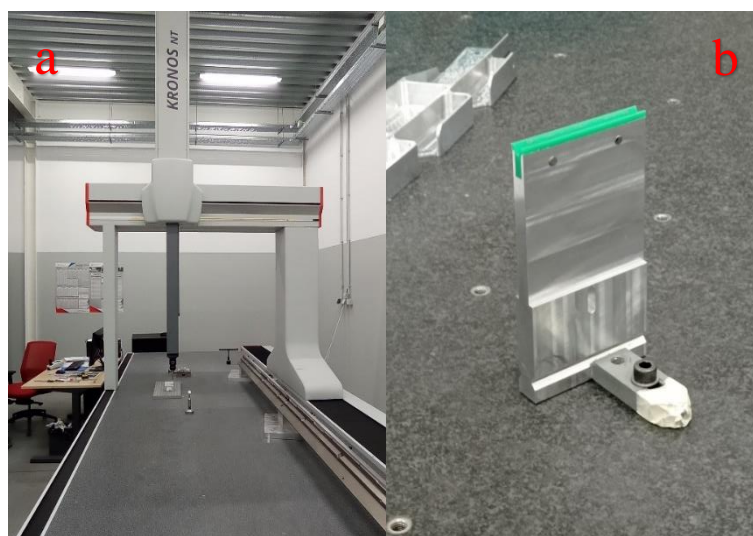


Figura 4.65 – Fotografia de: (a) equipamento metrológico, (b) fixação da matriz na mesa
(Coord3Industries, 2022); (anexo xv)

Apresenta-se na figura 4.66 a fotografia da marcação de pontos para verificação da distância dos desvios no eixo do polímero. Os gráficos da distância dos desvios ao eixo do polímero nos referidos pontos são apresentados nas figuras 4.67 e 4.68, a primeira relativa à vista de topo e a segunda à vista de perfil.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

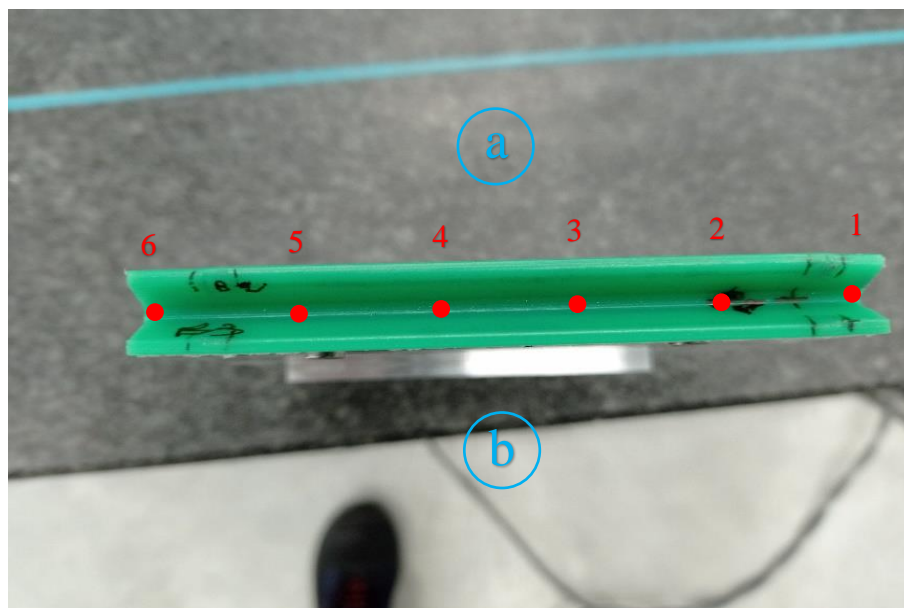


Figura 4.66 – Fotografia da marcação de pontos para verificação de desvios no eixo do polímero (vista de topo) (Nota: a) face traseira da matriz; b) face frontal da matriz)

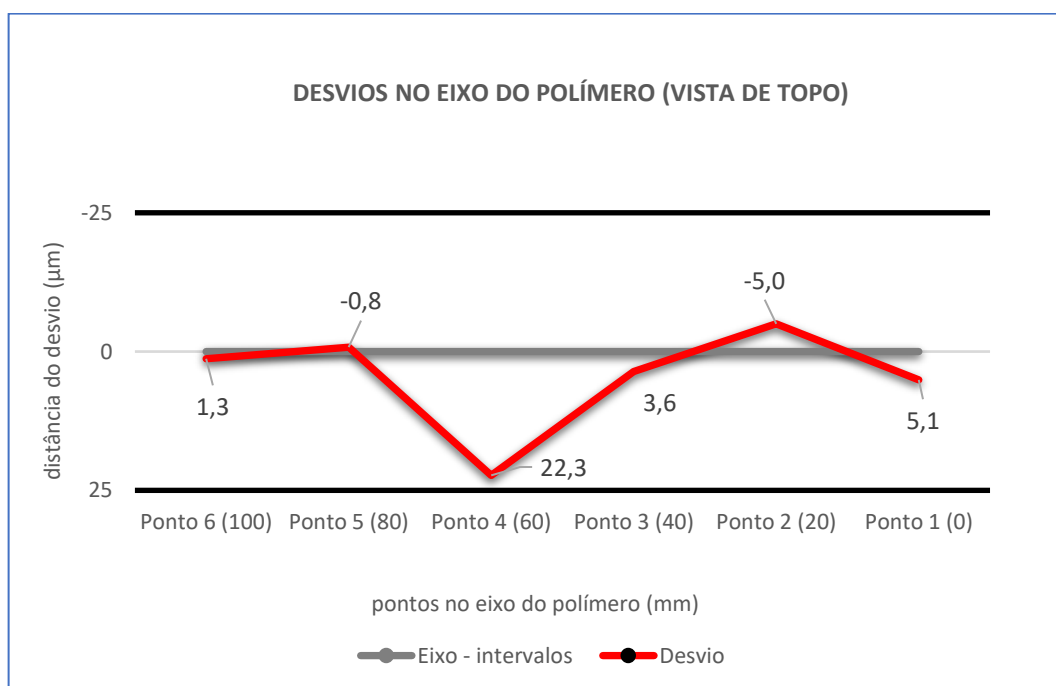


Figura 4.67 – Distância dos desvios no eixo do polímero em seis pontos (vista de topo)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

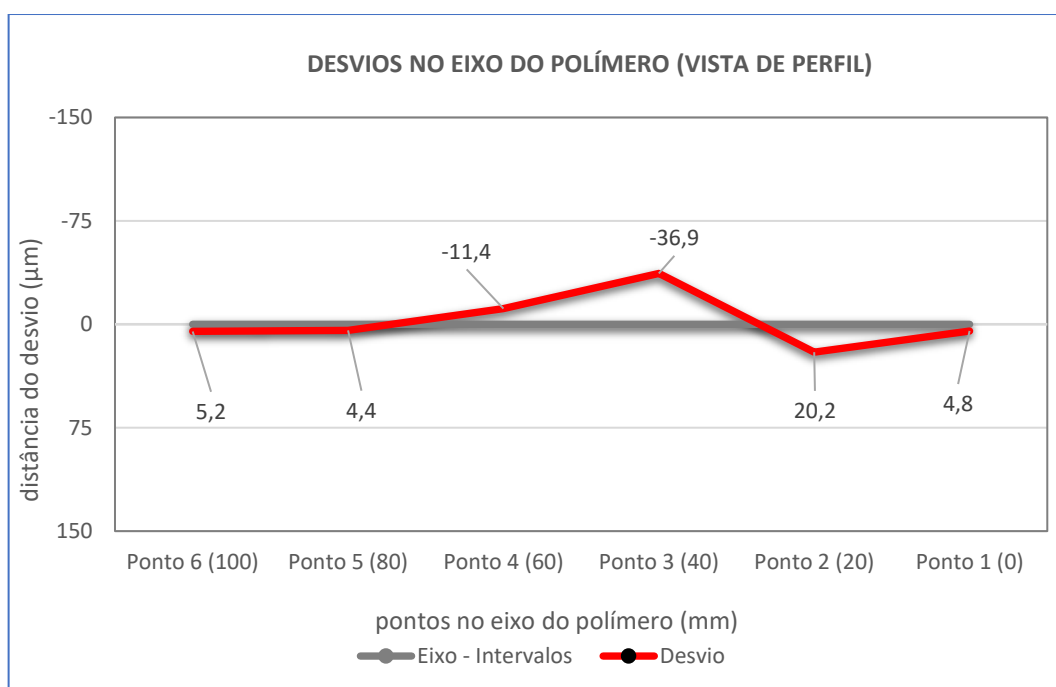


Figura 4.68 – Distância dos desvios no eixo do polímero em seis pontos (vista de perfil)

Apresentam-se nas Figuras 4.69 e 4.70 as fotografias da marcação de pontos para verificação da distância dos desvios na face interna do polímero e nas figura 4.71 e 4.72 os gráficos da distância dos desvios nos referidos pontos nas faces a e b.

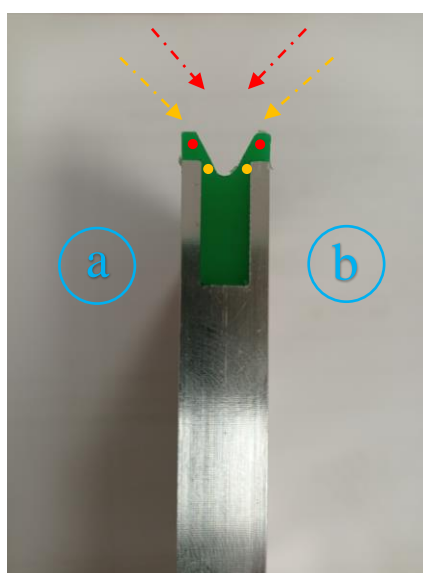


Figura 4.69 – Fotografia da marcação de pontos para verificação da distância dos desvios na face interna do polímero (vista lateral)

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

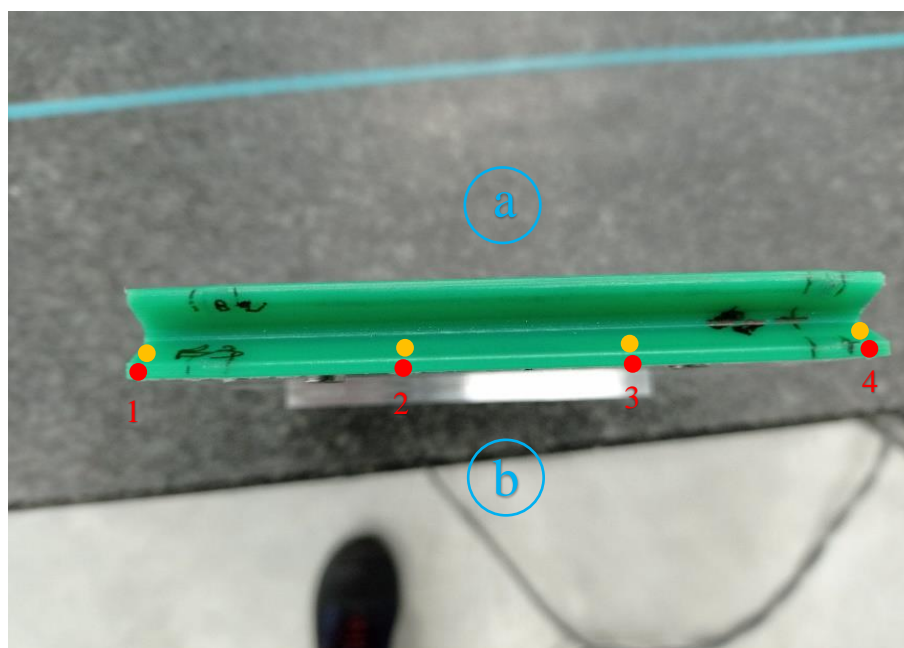


Figura 4.70 – Fotografia da marcação dos pontos para verificação da distância dos desvios na face interna do polímero (vista de topo)

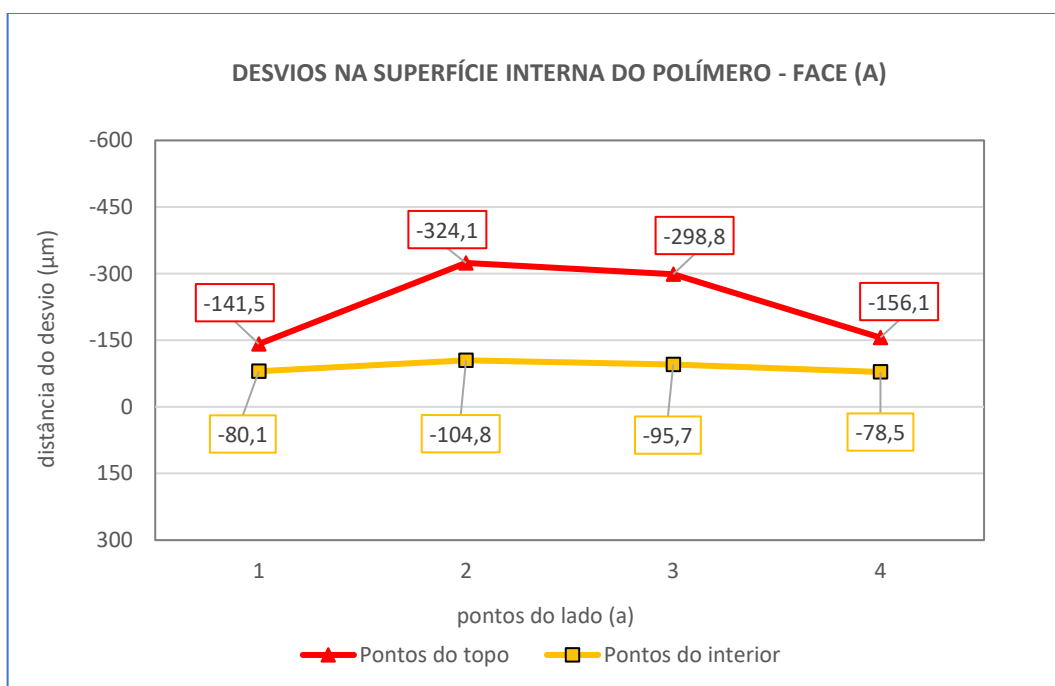


Figura 4.71 – Distância dos desvios na superfície interna do polímero em quatro pontos – face (a)

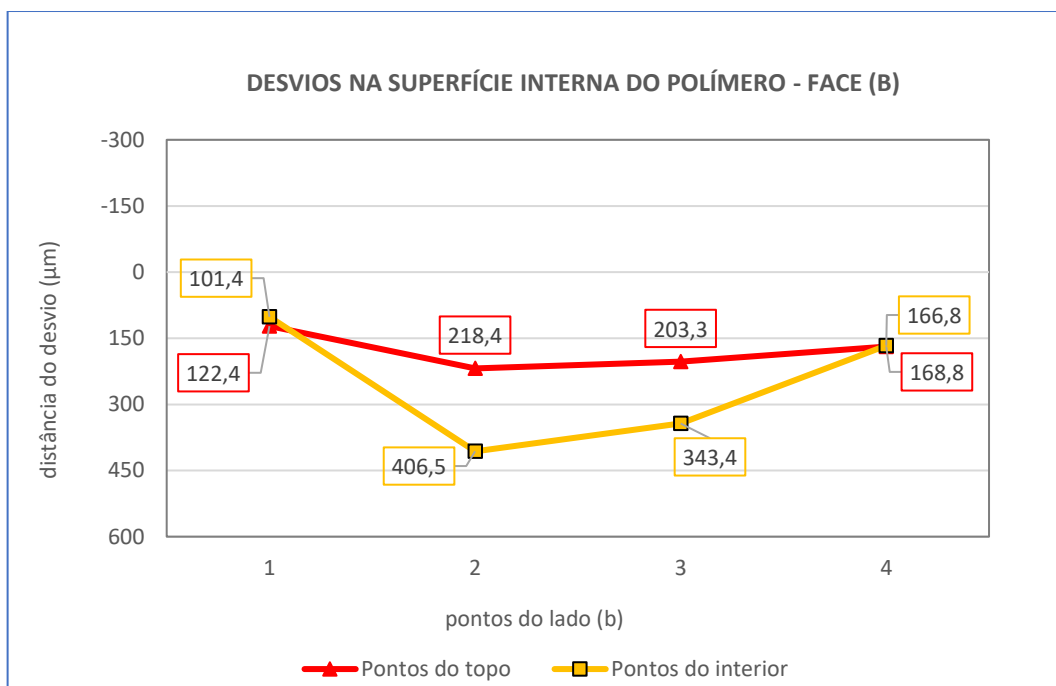


Figura 4.72 – Distância dos desvios na superfície interna do polímero em quatro pontos – face (b)

Apresenta-se na Figura 4.73 fotografia da marcação de pontos para verificação da distância dos desvios no topo do polímero (face b) e na figura 4.74 o gráfico da distância dos desvios nos referidos pontos nas faces a e b.

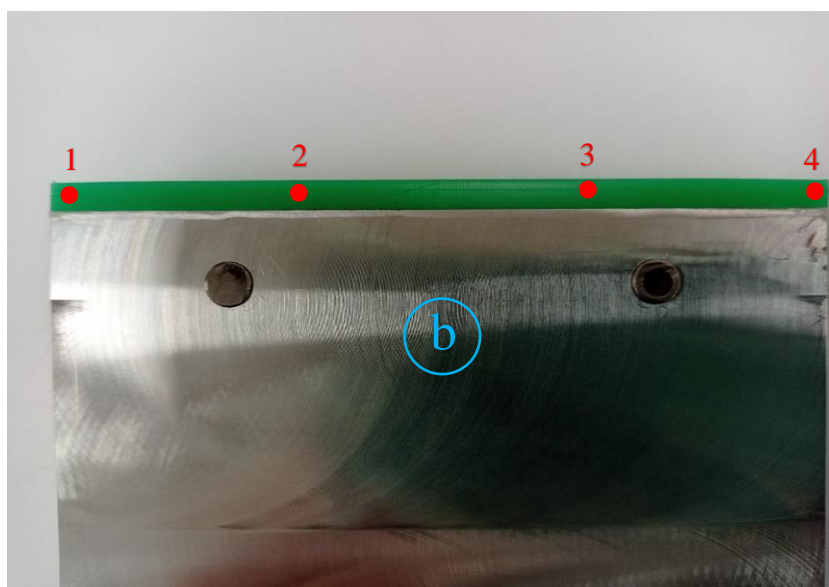


Figura 4.73 – Fotografia demarcação dos pontos para verificação da distância dos desvios no topo do polímero – face (b) (vista de perfil)

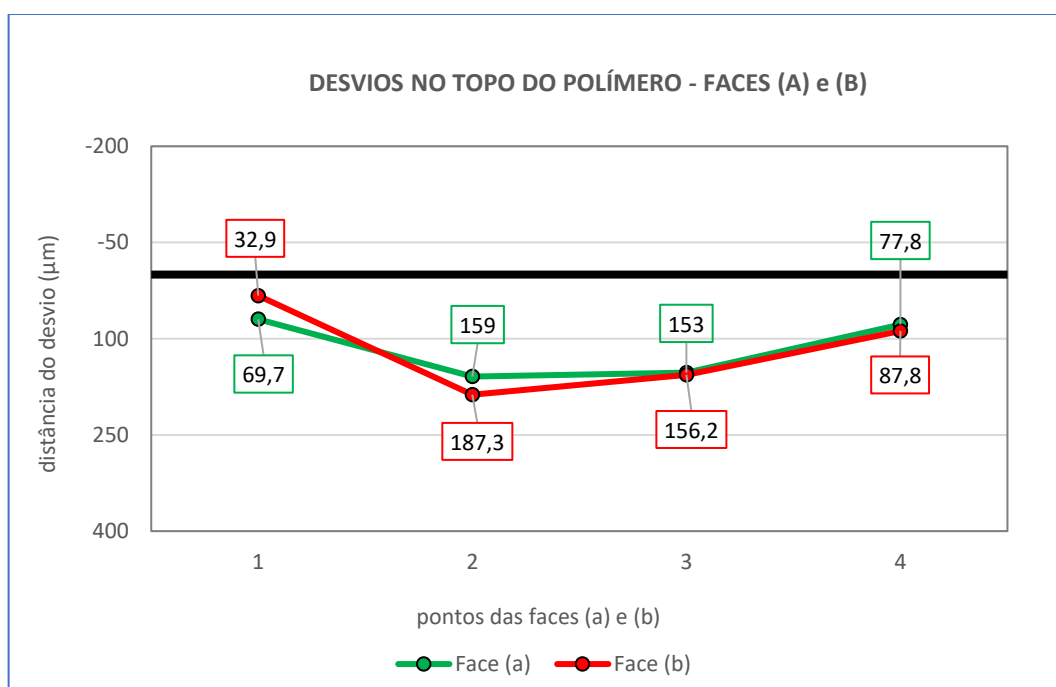


Figura 4.74 – Distância dos desvios no topo do polímero – faces (a) e (b) (vista de perfil)

Como descrito anteriormente, foram assinalados 6 pontos na aresta do polímero para se verificar eventuais desvios dimensionais resultantes do processo de quinagem das 1700 chapas de teste. Efetuando a análise com base na vista de topo (figura 4.67) e depois de perfil (figura 4.68) observa-se um ligeiríssimo desvio, tanto lateral ($\approx 22\mu\text{m}$) como em altura ($\approx 37\mu\text{m}$) na zona mais central do polímero. Para observar os desvios no topo e faces internas foram assinalados 4 pontos ao longo do polímero (figuras 4.69 e 4.70). Relativamente à vista de topo, observa-se um desvio tendencialmente maior na zona central comparativamente às extremidades que mantêm sensivelmente os mesmos valores. Na face traseira da matriz (figura 4.71) os valores dos desvios variam entre os ($\approx 324\mu\text{m}$) no topo central e os ($\approx 78\mu\text{m}$) na extremidade da superfície interna. Na face frontal da matriz (figura 4.72) os valores dos desvios variam entre os ($\approx 406\mu\text{m}$) no topo central e os ($\approx 101\mu\text{m}$) na extremidade da superfície interna. É de realçar que o desvio da superfície interna é significativamente superior ao desvio do topo do polímero em cerca de ($\approx 200\mu\text{m}$) na zona central. Este desvio é justificável, uma vez que, é nesta zona onde a força exercida pela chapa no topo do polímero e na sua face interna é maior.

4.3. Avaliação económica da ferramenta desenvolvida

Com o objetivo de analisar a viabilidade económica da matriz desenvolvida face à matriz de PTFE anteriormente testada pela empresa e à solução em utilização, ou seja, a manga de PU, foi efetuado o estudo que a seguir se apresenta. A comparação entre os três materiais foi feita com apenas uma gama de fabricação de chapas de Al2024 com 0,8mm de espessura, maquinadas na quinadeira automática. A mesma onde foi feito o ensaio de controlo do PE-UHMW.

- **Material: Poliuretano (PU)**

Matéria-prima: Rolo de manga de PU com 20000mm x 150mm x 0,5mm (permite a produção de 200 peças, cada uma com 100 x 150 x 0,5mm)

Apresenta-se na figura 4.75 esquema da otimização de corte do rolo de manga de PU.

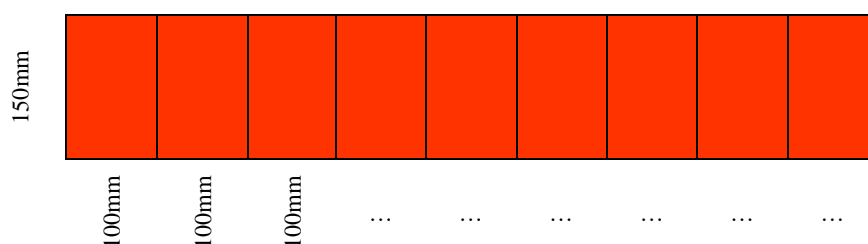


Figura 4.75 – Otimização de corte do rolo de manga de PU

- **Material: Politetrafluoretileno (PTFE)**

Matéria-prima: Bloco de Teflon com 1200 x 205 x 30mm (permite a produção de 76 peças, cada uma com 100 x 30 x 30mm)

Apresenta-se na figura 4.76 esquema da otimização de corte do bloco de PTFE.

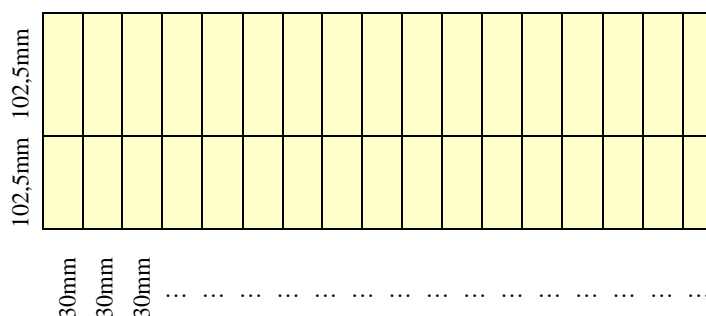


Figura 4.76 – Otimização de corte do bloco de PTFE

• **Material: Polietileno (PE - UHMW)**

Matéria-prima: Bloco de Tivar 1000TG1 com 575 x 205 x 36mm (permite a produção de 38 peças cada uma com 100 x 30 x 36mm).

Apresenta-se na figura 4.77 esquema da otimização de corte do bloco de PE-UHMW.

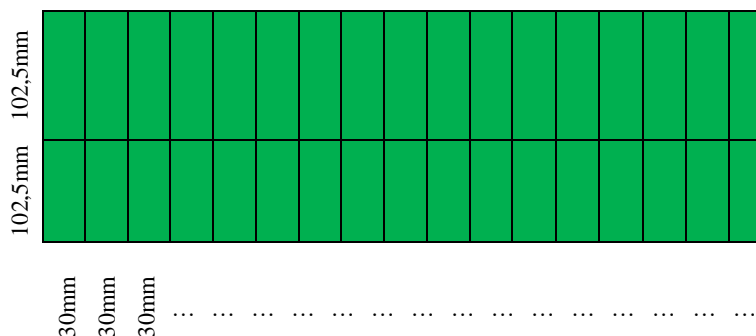


Figura 4.77 – Otimização de corte do bloco de PE-UHMW

A tabela 4.12 apresenta os custos de aquisição dos três materiais testados no processo de quinagem das chapas de alumínio.

Tabela 4.12 – Custos de aquisição dos materiais a usar na processo de quinagem das chapas de alumínio.

Material	Custo unitário (€)	Nº Peças	Custo total peças (€)	Portes (€)	Custo total aquisição (€)
PU	2,18	200	436,80	8,00	444,80
PTFE	9,13	76	693,88	8,00	701,88
PE-UHMW	2,31	38	87,78	8,00	95,78

Apresentam-se nas tabelas 4.13 e 4.14 os custos relativos à preparação dos três materiais testados no processo de quinagem no equipamento CNC e na quinadeira, respetivamente.

Tabela 4.13 - Custos relativos à preparação dos materiais no equipamento CNC

Material	Preparação (min)	Nº Peças	Máquina + homem (€/h)	Custo total CNC (€)
PU	Não aplicável	200	35,00	0,00
PTFE	60	76	35,00	2660,00
PE-UHMW	60	38	35,00	1330,00

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 4.14 – Custos relativos à preparação dos materiais na quinadeira

Material	Preparação (min)	Nº Peças	Máquina + homem Custo/h (€)	Custo total quinagem (€)
PU	5	200	35,00	583,33
PTFE	5	76	35,00	221,67
PE-UHMW	5	38	35,00	110,83

Apresentam-se na figura 4.78 os custos totais relativos a cada um dos três materiais testados no processo de quinagem das chapas de alumínio.

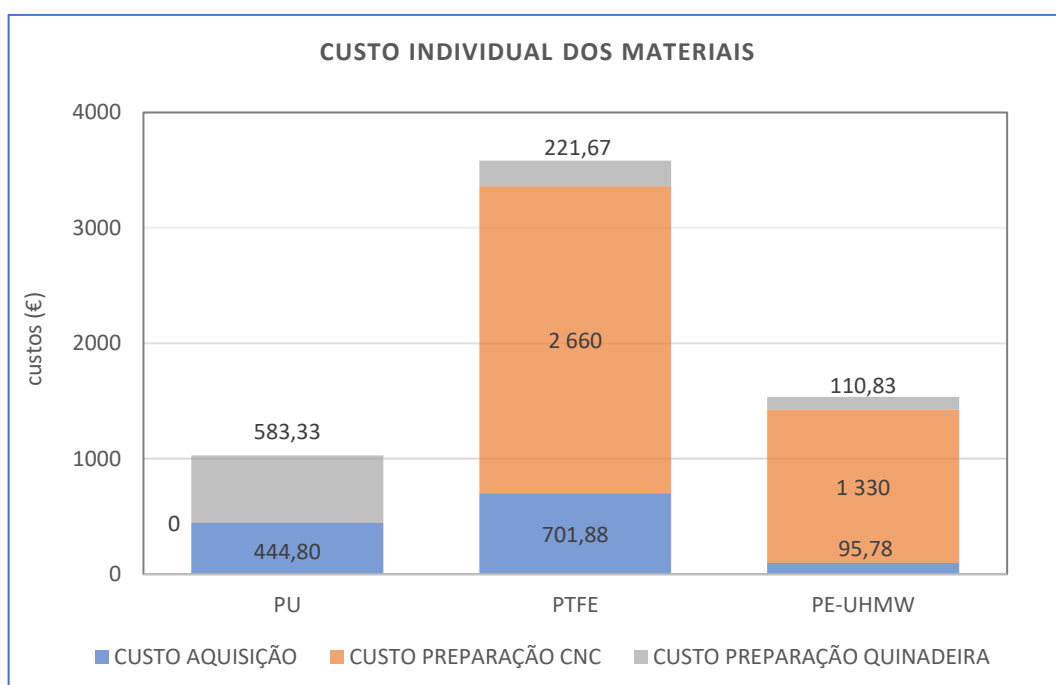


Figura 4.78 – Custo total dos três materiais

Apresentam-se na tabela 4.15 e na figura 4.79 o número total de quinagens realizadas com cada um dos três materiais, bem como o tempo total de operação associado a esse número de quinagens.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 4.15 – Total quinagens/nº de peças

Material	Nº Peças	Nº quinagens por peça ³⁰	Nº total de quinagens	Tempo ciclo quinagens (h) ³¹	Total operação (h)
PU	200	150	30000	1,25	250,00
PTFE	76	800	60800	6,67	506,67
PE-UHMW	38	1700	64600	14,17	538,33

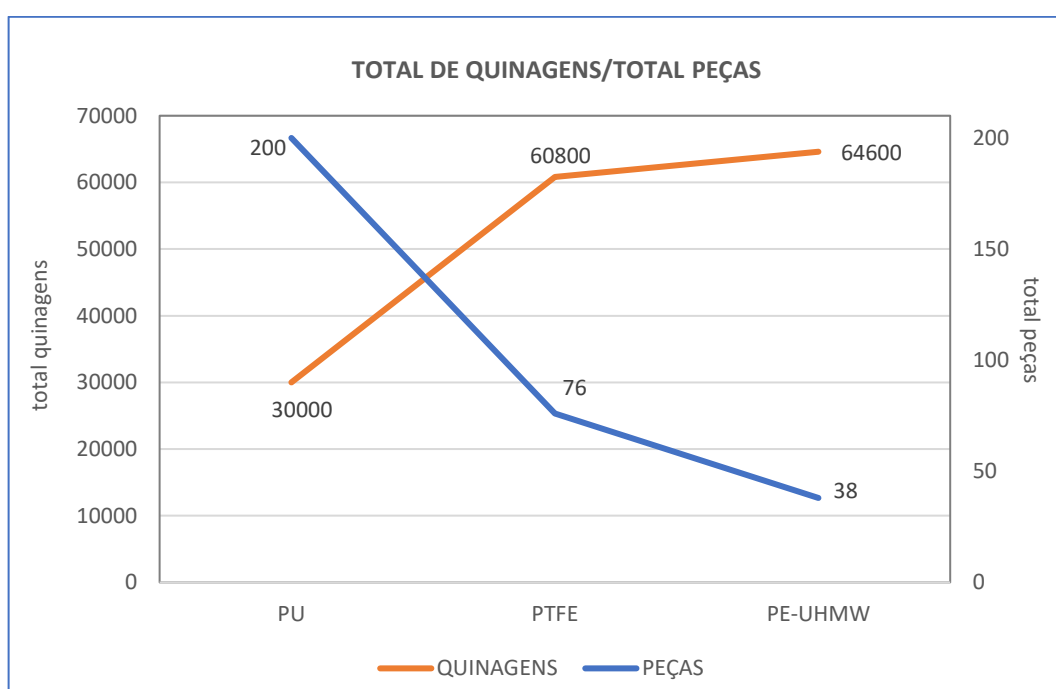


Figura 4.79 – Total de quinagens vs total de peças

Apresentam-se na tabela 4.16 os custos totais de produção da ferramenta de quinagem, o total de horas de quinagem com a referida ferramenta e custo/hora de uso da ferramenta de quinagem. Na figura 4.80 são representados na forma gráfico o custo total e o tempo de operação total (total de horas de quinagem) para cada um dos materiais.

³⁰ Até deformação irreversível

³¹ 1 quinagem ≈ 30 segundos

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Tabela 4.16 - Custos totais de produção da ferramenta de quinagem, total de horas de quinagem com a ferramenta e custo/hora de uso da ferramenta de quinagem

Material	Custo total material (€)	Tempo total operação (h)	Custo operação (€/h)
PU	1028,13	250,00	4,11
PTFE	3583,55	506,67	7,07
PE-UHMW	1536,61	538,33	2,85

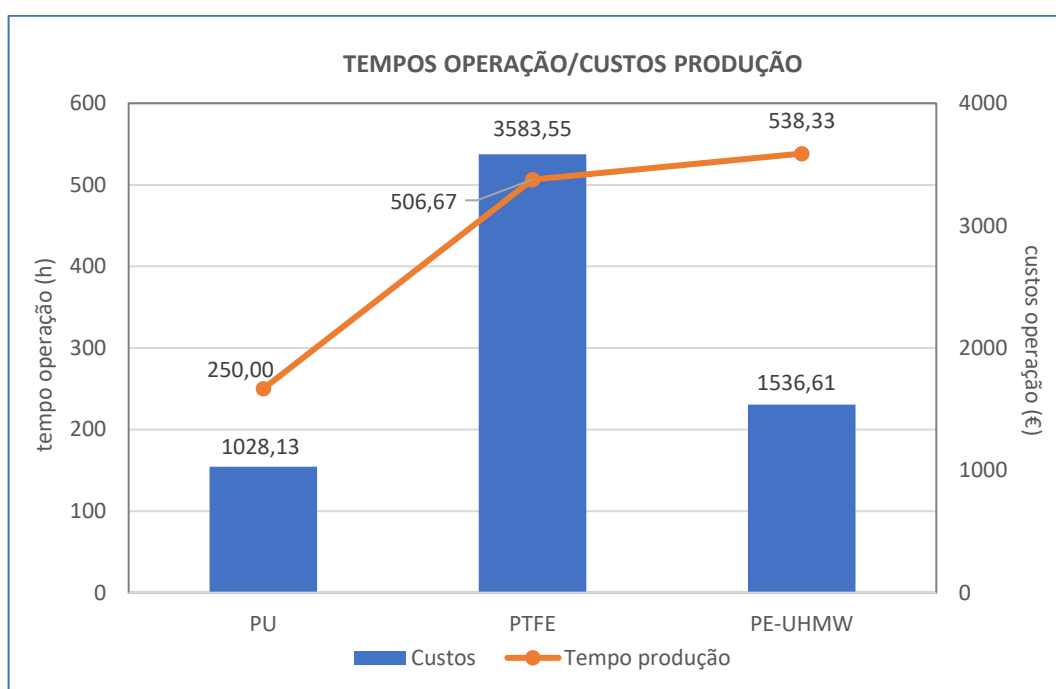


Figura 4.80 - Tempos de operação vs Totais custos produção

Após a análise económica entre os três materiais deste estudo, verifica-se o seguinte: o PTFE é quem tem o valor de aquisição mais elevado, o PE o mais baixo (cerca de 12,5% do maior valor de aquisição) e a manga de PU (cerca de 63% do maior valor de aquisição).

Relativamente à preparação dos materiais nas máquinas CNC (tabela 4.13) e quinadeira (tabela 4.14), são contabilizados os custos homem/máquina por hora.

A manga PU não tem qualquer custo associado ao equipamento CNC enquanto o PTFE é o polímero que apresenta os custos maiores. Já na quinadeira a manga é quem tem os custos mais elevados e o PE novamente o mais baixo.

No que diz respeito ao rácio nº de peças/nº de quinagens (figura 4.79) o PE é o material que permite realizar mais quinagens com o menor número de peças enquanto a manga de PU permite realizar cerca de metade das quinagens recorrendo a bastantes mais peças ($\approx +500\%$). O PE apresenta o maior tempo e maior ciclo de operação enquanto a manga de PU tem o menor tempo de operação ($\approx 50\%$) e menor ciclo ($\approx 9\%$). O PTFE apesar de ter um tempo de operação semelhante ao PE, necessita do dobro das peças e o seu ciclo de operação é cerca de metade (figura 4.79).

Numa análise geral a manga de PU tem o custo total mais baixo de ($\approx 1030 \text{ €}$) para 250 horas de operação. O PTFE tem um custo total de ($\approx 3585 \text{ €}$) para cerca de 510 horas de operação enquanto que o PE parece ser a opção mais rentável com custos totais de ($\approx 1540 \text{ €}$) para cerca de 540 horas de operação. O que se reflete num custo/hora de operação de $4,11 \text{ €/h}$ para a manga de PU, de $7,07 \text{ €/h}$ para o PTFE e de $2,85 \text{ €/h}$ para o PE-UHMW. Assim sendo, com base nos resultados apresentados, é possível concluir que a ferramenta desenvolvida no âmbito deste trabalho permite à empresa uma poupança imediata de $1,26 \text{ €/h}$ no processo de quinagem automática. Importa ainda referir que a referida ferramenta permite uma operação contínua durante 14,17 horas ao contrário da manga de PU (usada atualmente) que tem de ser substituída ao fim de 1,25 horas.

5 CONCLUSÕES

Numa primeira análise os testes realizados na quinadeira com a matriz metaloplástica desenvolvida tiveram um resultado bastante positivo, uma vez que o PTFE utilizado anteriormente teve um desempenho bastante inferior, permitindo apenas realizar 800 quinagens, o que demonstra que o PE-UHMW, com o qual se realizaram 1700 quinagens, é uma alternativa bastante melhor.

Importa mesmo assim salientar que as chapas de prova utilizadas neste projeto não estavam nas melhores condições, uma vez que estavam bastante sujas e com muitas rebarbas o que prejudicou a condição do polímero. Os cortes no topo do Polietileno serão, à partida, resultado das condições prévias das chapas, assim como, algumas das marcas na superfícies de algumas chapas podem ser o resultado da transferência de matéria do PE-UHMW depositado numa película de sujidade ou gordura na superfície das chapas.

A análise dimensional das chapas de teste (de 200 em 200 quinagens) revelou que os ângulos de quinagem não corresponderam aquilo que foi previsto programar. Os 90 graus que o desenho original apresenta não corresponde aos ângulos finais nas várias peças. Segundo o operador da quinadeira automática esta situação é resultado de um eventual “erro” no programa informático deste projeto ou mesmo na execução prática do processo. As diferenças de alguns ângulos nas chapas também estarão relacionadas com o facto das últimas 125 quinagens terem sido feitas em chapas com 1mm de espessura e com o mesmo programa de quinagem. Outra análise que se pode fazer é sobre a retitude das abas depois de quinadas. As chapas quinadas mantiveram uma reduzida “torção” nas abas, não excedendo os 262 μm de diferença entre a chapa com 200 quinagens e a chapa com 1200 quinagens.

O PE-UHMW utilizado na construção da matriz teve um bom desempenho ao longo das 1700 quinagens, contudo observa-se uma evolução na degradação do topo do polímero com o aumento do nº de quinagens. Esta degradação é fruto das arestas defeituosas das chapas de alumínio, do número elevado de quinagens realizado e/ou da espessura superior das chapas (de 0,8mm para 1mm) a partir da quinagem 1200 até à quinagem 1700.

Os desvios revelados na aresta do polímero não são relevantes, contudo o “barrilamento” superior na superfície interna do polímero na face frontal, pode manifestar alguma preocupação. Este desvio pode influenciar a aresta final de quinagem assim como os ângulos finais de quinagem das chapas de Al2024.

Tanto a superfície das chapas como do PE-UHMW apresentaram marcas do processo de quinagem. As chapas não possuem, à primeira vista, fissuras ou outros danos estruturais; apenas estéticos.

O Polietileno tem alguns “rasgos” no topo, por um lado, porque era onde terminava a largura da chapa e também porque as rebarbas existentes aceleraram o rompimento. Contudo, a similaridade na largura das marcas nas chapas de teste, indica, por um lado, que a aresta do polímero não teve um desgaste significativo que altere criticamente a qualidade do processo de quinagem. De salientar que de uma forma geral o PE-UHMW revela uma elevada estabilidade dimensional.

As marcas ténues nas chapas, analisadas numa fase mais avançada com o microscópio ótico digital, são semelhantes em todas as chapas de teste analisadas. Têm sensivelmente a mesma largura e coloração, sendo que na chapa que diz respeito às 1700 quinagens uma ou outra marca já possui uma largura um pouco maior não sendo possível dizer se é característico desta chapa em particular (uma vez que a chapa tem 1mm de espessura) ou se terá a ver com algum eventual desgaste no polímero.

De uma maneira geral, pressupõe-se que este polímero ainda demonstra condições estruturais para efetuar um número superior de quinagens, sem comprometer a qualidade estrutural e estética das chapas, ao longo do processo. No entanto, não foi possível realizar mais ensaios de quinagem pois não havia mais chapas de alumínio disponíveis para testes.

Numa perspetiva económica, em comparação com o PTFE e com a manga de PU, o PE-UHMW é claramente o mais vantajoso. Além de ter o valor de aquisição mais baixo é o que suporta o maior número de quinagens. Se se comprovar que este polímero pode suportar um número maior de quinagens sem comprometer a integridade estrutural das chapas, então o seu custo/h mais baixo e a sua eficiência aumentará.

6 PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

- ✓ Maximizar o número de quinagens com a matriz híbrida metaloplástica atual até as marcas nas chapas serem consideradas não aceitáveis pelo departamento de controlo de qualidade da Lauak.
- ✓ Melhorar o design da matriz e do polímero, nomeadamente a fixação entre os dois;
- ✓ Desenvolver novas matrizes híbridas metaloplásticas utilizando Poliamidas e ligas metálicas de alumínio;
- ✓ Avaliar o uso de manufatura aditiva (impressão 3D), através da tecnologia: FDM – *Fused Deposition Materials* para uma eventual substituição de matrizes e punções em processos de quinagem.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aerotec. (2009). *Press Release*. Obtido em 21 de Abril de 2022, de Premium AEROTEC: <https://www.premium-aerotec.com/en/media/press-releases/autoclave-for-production-of-the-new-airbus-a350-xwb-arrives-at-premium-aerotecs-plant-in-nordenham/>
- AMADA. (s.d.). *Bending Machines*. Obtido em 24 de Março de 2022, de Bending Machines EG-AR: <https://www.amada.eu/ma-en/products/machines-and-automation/bending-machines/automated-bending-cells/eg-ar/>
- Amir Fathi, J.-H. K. (2015). *Composites Part B: Engineering. Full-field shear analyses of sandwich core materials using Digital Image Correlation (DIC)*, 70, pp. 156-166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.10.045>
- Araújo, H. A. (2018). *Desenvolvimento e avaliação de novos conceitos no projeto de honeycombs usados em painéis compósitos*. Instituto Superior Técnico, Engenharia de Materiais. Obtido em 13 de Abril de 2022
- Astika, I. M. (2004). Mechanical Engineering Study Program,. *Hardness improvement of aluminum alloy 2024 t3 after artificial aging treatment*. doi:[doi:10.1088/1757-899X/539/1/012004](https://doi.org/10.1088/1757-899X/539/1/012004)
- Bastardo, P. (Junho de 2013). Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. *Previsão de comportamentos típicos e análise do Processo de Quinagem pelo Método dos Elementos Finitos*, 12-14; 27-28. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em 24 de Março de 2022
- Bhat, B. N. (2018). *Aerospace Materials and Applications*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. doi:<https://doi.org/10.2514/4.104893>
- Braz, E. M. (2010). *Análise de quinadora e estudo da recuperação elástica das chapas quinadas em V no ar*. Universidade de Aveiro, Engenharia Mecânica. Obtido em 26 de Abril de 2022, de <https://ria.ua.pt/bitstream/10773/3642/1/240430.pdf>

- Britannica, E. (Ed.). (06 de 05 de 2022). *Britannica, The Editors of Encyclopaedia*. Obtido em 16 de 07 de 2022, de John Wesley Hyatt: <https://www.britannica.com/biography/John-Wesley-Hyatt>
- Britannica, T. E. (24 de Novembro de 2021). *John Wesley Hyatt*. Obtido em 12 de Abril de 2022, de Britannica: <https://www.britannica.com/biography/John-Wesley-Hyatt>
- Britannica, T. E. (19 de Março de 2022). *Hermann Staudinger*. Obtido em 01 de Junho de 2022, de Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Hermann-Staudinger>
- Britannica, T. E. (19 de Fevereiro de 2022). *Leo Baekeland*. Obtido em 12 de Abril de 2022, de Britannica: <https://www.britannica.com/biography/Leo-Baekeland>
- Carvalho, V. (Julho de 2009). Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. *FRED – Ferramenta para Relatórios de EcoDesign*, 59-61. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em 24 de Março de 2022
- Cauquil, O. (2015). World Materials Forum - Airbus. *3rd Generation of Composite Materials for Airframe*. Obtido em 21 de Abril de 2022, de <https://worldmaterialsforum.com/files/downloads/3-Composites.pdf>
- Coord3Industries. (04 de Maio de 2022). *DS 12_Kronos NT_EN_rev 00*. Obtido de Omni-Tech: <http://www.omnicmm.com/wp-content/uploads/2016/08/Kronos-NT.pdf>
- Devezas, T., & Ruão, H. (2021). The Economics of Digital Transformation. Studies on Entrepreneurship, Structural Change and Industrial Dynamics. (C. Springer, Ed.) *Aluminum Production and Aviation: An Interesting Case of an Interwoven Rebound Effect in a Digital Transforming World*, pp. 251-281. doi:https://doi.org/10.1007/978-3-030-59959-1_16
- F.C. Campbell, E. (2008). *Elements of Metallurgy and Engineering Alloys*. ASM International. Obtido em 24 de Março de 2022, de ASM International.

- Ferreira, A. (2014). Mestrado em Engenharia Mecânica. *Projecto de sistema de fixação de punções para*, 6-11. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Obtido em 24 de Março de 2022
- Ferreira, B. (Julho de 2015). Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. *Integração de Metodologias de Análise do Processo de Quinagem*, 11-18. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido em 24 de Março de 2022
- Globalpolymer. (2020). *UHMW PE APPLICATIONS*. Obtido em 09 de Junho de 2022, de Globalpolymer: <https://globalpolymer.com/uhmw-advantages/applications/>
- HARSLE. (Junho de 2020). *Analizando o factor K na dobragem de chapas*. Obtido em 24 de Março de 2022, de Harsle: <https://pt.harsle.com/Analizando-o-fator-k-na-dobragem-de-chapas-id6539106.html>
- HEALEY, J. T. (1976). Doctor of Philosophy in Materials Science and Engineering. *GUINIER-PRESTON ZONE EVOLUTION IN 7075 ALUMINUM*, 4-5. University of Florida. Obtido em 24 de Março de 2022, de <http://ufdcimages.uflib.ufl.edu/UF/00/09/75/06/00001/guinierprestonzo00healrich.pdf>
- Hill, C. (30 de Janeiro de 2020). *Wrought Aluminum Alloys Guide*. Obtido em 30 de Maio de 2022, de Framing Tech: <https://blog.framingtech.com/aluminum/wrought-aluminum-alloys-guide-infographic/>
- IAI, T. I. (2018). *Refining process*. Obtido em 30 de Maio de 2022, de Aluminium for future generations: <https://bauxite.world-aluminium.org/refining/process/>
- Institute, T. I. (2018). *Refining process*. Obtido em 30 de Maio de 2022, de Aluminium for future generations: <https://bauxite.world-aluminium.org/refining/process/>
- Junior, N. (2011). Mestrado em Engenharia de Materiais. *Previsão de comportamentos típicos e análise do Processo de Quinagem pelo Método dos Elementos Finitos*, 41-61. Universidade Presbiteriana Mackenzie. Obtido em 24 de Março de 2022

- Kesarwani, S. (2017). *Polymer Composites in Aviation Sector - A Brief Review Article*. Central Institute of Plastic Engineering and Technology (CIPET), Department Of Plastic Engineering, Índia. Obtido em 21 de Abril de 2022, de <https://www.ijert.org/research/polymer-composites-in-aviation-sector-IJERTV6IS060291.pdf>
- Landmarks, A. C. (2022). *Hall Process: Aluminum by Electrochemistry*. Obtido em 30 de Maio de 2022, de Hall Process: Production and Commercialization of Aluminum.: <https://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/aluminum-process.html>
- Mazumdar, D. S. (2022). *2022 State of the Industry Report*. Obtido em 21 de Abril de 2022, de <https://compositesmanufacturingmagazine.com/2022/02/84417/5/>
- Mendonça, V. (2019). *Caracterização das propriedades mecânicas de uma resina epoxy reforçada com nanotubos de carbono e ferro*. Instituto Politécnico de Leiria, Engenharia Mecânica - Produção Industrial. Obtido em 18 de Abril de 2022
- Merriam-Webster. (s.d.). *Methodology*. Obtido em 26 de 07 de 2022, de Merriam-Webster.com Dictionary, Merriam-Webster: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/methodology>
- Pier Giovanni Benzo, J. M.-C. (2022). Engineering Structures. *Optimization of steel web core sandwich panel with genetic algorithm*, 253. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113805>
- Polylanema. (2019). *Catálogo Técnico 2019*. Obtido em 24 de Março de 2022, de Plásticos de Engenharia e Alumínios Técnicos: https://www.polylanema.pt/client/files/0000000001/tivar-tg1-fichatecnica_1478.pdf; https://www.polylanema.pt/client/files/0000000001/nylatron-mc901-datasheet_1727.pdf; https://www.polylanema.pt/client/files/0000000001/ptfe-datasheet_1686.pdf

- Polymerdatabase. (2015). *POLYBISMALEIMIDES (BMI)*. Obtido em 18 de Abril de 2022, de Polymerdatabase: <https://polymerdatabase.com/polymer%20classes/Polybismaleimide%20type.html>
- Ryu, J. H. (2008). Master of Science. *Model for Mechanical Properties*, 9-15. Graduate Institute of Ferrous Technology, Pohang University of Science and Technology . Obtido em 24 de Março de 2022
- Science, M. o. (2022). *Pierre Berthier*. Obtido em 30 de Maio de 2022, de Scientist: <https://www.mindsofscience.com/scientist?name=Pierre%20Berthier>
- Sharma, A. &. (2010). Collection of Technical Papers - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference. *Homogenization of Plates with Microstructure and Application to Corrugated Core Sandwich Panels*, pp. 2-3. doi:10.2514/6.2010-2706
- Statista. (Março de 2021). *Global end use of aluminum products in 2020, by sector*. (Statista, Ed.) Obtido em 30 de Maio de 2022, de Metals: <https://www.statista.com/statistics/280983/share-of-aluminum-consumption-by-sector/>
- Steel, S. (2022). *Ultra high molecular weight polyethylene pipe*. Obtido em 03 de Maio de 2022, de SunnySteel: <https://www.sunnysteel.com/ultra-high-molecular-weight-polyethylene-pipe.php>
- Tiseo, I. (Dezembro de 2021). *Production forecast of thermoplastics worldwide from 2020 to 2050, by type*. Obtido em Junho de 2022, de Statista: <https://www.statista.com/statistics/1192886/thermoplastics-production-volume-by-type-globally/>
- Torres, A. A. (Abril de 2007). Dissertação de Mestrado em Ciências dos Materiais e Metalurgia. *Envelhecimento físico químico de tubulações de polietileno de alta densidade empregadas em redes de distribuição de derivados de petróleo* , 33-36. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA do Rio de Janeiro. Obtido em 24 de Março de 2022, de https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/11035/11035_3.PDF

- Total materia. (Janeiro de 2010). *Precipitation Hardening of Aluminum Alloys*. Obtido em 24 de Março de 2022, de Total materia: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&LN=PT&site=ktn&NM=235>
- USP. (2017). *Edisciplinas*. (U. d. Paulo, Ed.) Obtido em 18 de Abril de 2022, de Unidade 19 - Materiais Compósitos: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4141306/mod_resource/content/1/PMT3100_2017-Un19-Compositos-v4.0.pdf
- Viana, K. M., Lira, H. L., Melo, T. J., & Vilar, E. O. (2006). 9º congresso Brasileiro de Polímeros. *ESTUDO SOBRE A RESISTÊNCIA QUÍMICA DO PEUAPM EM MEIOS ÁCIDO, BÁSICO E SALINO*. Obtido em 24 de Março de 2022, de <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbpol/2007/PDF/264.pdf>
- Zainul Huda, T. Z. (9 de Novembro de 2008). *Journal of Alloys and Compounds. Kinetics of grain growth in 2024-T3: An aerospace aluminum alloy*, pp. 128-131. Obtido em 24 de Março de 2022, de www.elsevier.com/locate/jallcom
- Zhang, J. J. (2020). *Applied Petroleum Geomechanics*. doi:<https://doi.org/10.1016/C2017-0-01969-9>

8 ANEXOS

i. DIN 6935

UDC 621.981.01 : 669.14-4

DEUTSCHE NORMEN

October 1975

No guarantee can be given in respect of this translation of this translation in all cases the latest German-language version of this standard shall be taken as authoritative

Cold Bending
of Flat Rolled Steel Products

DIN
6935

Kaltbiegen von Flacherzeugnissen aus Stahl

Dimensions in mm

1 General

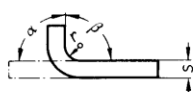
This Standard applies to bent components made from flat steel products for application in steel construction and general mechanical engineering.

For standards covering flat steel products, see page 4.

When bending flat rolled steel, such as sheets and plates, strips, wide flats etc., the rolling direction should be considered, since bending should if possible be carried out transverse to the rolling direction owing to the greater suitability to bending offered.

The bending suitability of the rolled steel shall be agreed with the manufacturer's works when ordering. To guarantee the bending suitability the rolled surface must be in satisfactory condition and the sheared edges must be straight. Furthermore, in the case of flat rolled steel, sheared edges on the outside of a bend must be deburred at the bending location in order to prevent cracks from spreading from the cut edges.

2 Bending radii



r Bending radius

α Bending angle

β Opening angle

The bending angle α may have any value between 0° and 180°. The thickness s is reduced by up to approx. 20 % in the rounded portion

To promote uniformity of radiusing on bending dies it is recommended that only bending radii from the series below should be chosen for bending purposes. The values printed in bold type are preferred.

r	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	28	32	36	40	45	50	63	80	100
---	---	-----	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

Anwenderinformation

Die Originalfassung der Norm enthält **Elemente, z.B. farbige Abbildungen oder Tabellen**, die in dieser gescannten Form der Norm nicht originalgetreu darstellbar sind. Dies muß bei der Anwendung berücksichtigt werden. Maßgebend für das Anwenden jeder DIN-Norm ist deren Originalfassung mit dem neuesten Ausgabedatum. Vergewissern Sie sich bitte in den DIN-Mitteilungen, im aktuellen DIN-Katalog mit dem neuesten Ergänzungsheft oder in der aktuellen Ausgabe der PERINORM.

and s he

bove 18 to 20 40 45 50 50 63

ck-

Continued on pages 2 to 4

Alleinverkauf der Normblätter durch Beuth Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln 10 76

DIN 6935 engl. Preisgr. 5
Vertr.-Nr. 0105

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

UDC 621.981.01 : 669.14-4

DEUTSCHE NORMEN

October 1975

No guarantee can be given that, respect of this translation of this translation In all cases the latest German-language version of this standard shall be taken as authoritative

Cold Bending
of Flat Rolled Steel Products

DIN
6935

Kaltbiegen von Flacherzeugnissen aus Stahl

Dimensions in mm

1 General

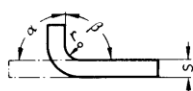
This Standard applies to bent components made from flat steel products for application in steel construction and general mechanical engineering.

For standards covering flat steel products, see page 4.

When bending flat rolled steel, such as sheets and plates, strips, wide flats etc., the rolling direction should be considered, since bending should if possible be carried out transverse to the rolling direction owing to the greater suitability to bending offered.

The bending suitability of the rolled steel shall be agreed with the manufacturer's works when ordering. To guarantee the bending suitability the rolled surface must be in satisfactory condition and the sheared edges must be straight. Furthermore, in the case of flat rolled steel, sheared edges on the outside of a bend must be deburred at the bending location in order to prevent cracks from spreading from the cut edges.

2 Bending radii



r Bending radius

α Bending angle

β Opening angle

The bending angle α may have any value between 0° and 180°. The thickness s is reduced by up to approx. 20 % in the rounded portion

To promote uniformity of radiusing on bending dies it is recommended that only bending radii from the series below should be chosen for bending purposes. The values printed in bold type are preferred.

r	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	28	32	36	40	45	50	63	80	100
---	---	-----	-----	---	-----	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

These bending radii agree with the radiusing according to DIN 250.

Table 1 gives the minimum permissible bending radii which may be chosen for given sheet and plate thicknesses and materials for the bending machines applicable. The indicated values apply to bending angles α ≤ 120°. For bending angles α > 120° the next higher value in the Table should be used, e.g., if Q St 42-2 plates with a thickness s = 6 mm are to be bent transverse to the rolling direction, the minimum permissible bending radius would be r = 10 mm for α ≤ 120° and r = 12 mm for α > 120°.

Table 1. Minimum permissible bending radius r

Steel grades with a guaranteed minimum tensile strength N/mm ²	for bending transverse and parallel to the rolling direction	Minimum permissible bending radius r for thicknesses s															
		1	1,5	2,5	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
up to 390	transverse	1	1,6	2,5	3	5	6	8	10	12	16	20	25	28	36	40	
	parallel	1	1,6	2,5	3	6	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	
above 390 to 490	transverse	1,2	2	3	4	5	8	10	12	16	20	25	28	32	40	45	
	parallel	1,2	2	3	4	6	10	12	16	20	25	32	36	40	45	50	
above 490 to 640	transverse	1,6	2,5	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	36	45	50	
	parallel	1,6	2,5	4	5	8	10	12	16	20	25	32	36	40	50	63	

Table 2 gives the permissible variations for the minimum bending radii, which must be reckoned with regarding the various sheet and plate thicknesses and materials.

Table 2. Permissible variations for minimum bending radii r

Steel grades with a guaranteed minimum tensile strength N/mm ²	Permissible variations for minimum bending radii r at thicknesses s		
	up to 3	above 3 to 8	above 8 to 20
up to 390	+0,5	+1	+1,5
	0	0	0
above 390 to 490	+0,8	+1,5	+2
	0	0	0
above 490 to 640	+1	+2	+3
	0	0	0

Continued on pages 2 to 4

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin 30, gestattet.

Translation Fachtechnisches Übersetzungsinstitut Henry G. Freeman, Düsseldorf

Alleinverkauf der Normblätter durch Beuth Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln 1

DIN 6935 engl. Preisgr. 5
Vertr.-Nr. 0105

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Page 2 DIN 6935

3 Material check list

Table 3 gives a guide to the grades for which suitability for cold bending, cold flanging and cold curling is guaranteed, subject to observance of the minimum permissible bending radii laid down in Table 1 (see also DIN 17100, September 1966 issue, Section 7.4.1).

Table 3. Material check list

Type of steel	Steel grade with a guaranteed minimum tensile strength		
	up to 390 N/mm ²	above 390 to 490 N/mm ²	above 490 to 640 N/mm ²
general structural steels according to DIN 17100	Q St 34-2 Q St 37-2, Q St 37-3	Q St 42-2, Q St 42-3 Q St 46-2	Q St 52-3

4 Smallest leg length

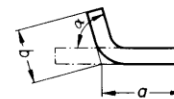
For bending of sheet and plate sections the leg length b is taken as being approximately 4 · r.



5 Permissible variations for angular positions on bending sections

Table 4. Permissible variations in angular positions

Leg length a and b (The shorter leg length counts as the nominal dimension)	up to 30	above 30 to 50	above 50 to 80	above 80 to 120	above 120
Permissible variations in bending angle α	± 2°	± 1° 45'	± 1° 30'	± 1° 15'	± 1°



The values apply when r : s = 4. For a larger (r : s) ratio a larger variation must be reckoned with owing to spring-back.

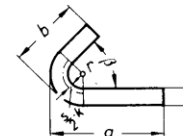
6 Calculation of flat lengths

Flat length = a + b + v. Depending on the value of the bending angle, so v varies and represents a compensating value which may be either negative or positive if the opening angle β lies between 0° and 65° (calculated value 65° 24' 30"); if the opening angle is above 65° v can only be negative.

Flat lengths should be rounded up to whole millimetres.

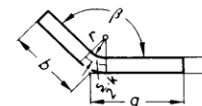
Opening angle β 0° to 90°:

$$\text{Compensating value } v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2(r + s) \quad (1)$$



Opening angle β > 90° to 165°:

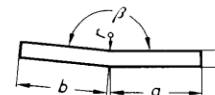
$$\text{Compensating value } v = \pi \cdot \left(\frac{180^\circ - \beta}{180^\circ} \right) \cdot \left(r + \frac{s}{2} \cdot k \right) - 2(r + s) \cdot \tan \frac{180^\circ - \beta}{2} \quad (2)$$



Opening angle β > 165° to 180°:

$$\text{Compensating value } v = 0$$

The values for v are negligibly small in this case and accuracy is adequate for practical purposes.



Correction factor k for determination of blanking lengths of bent workpieces

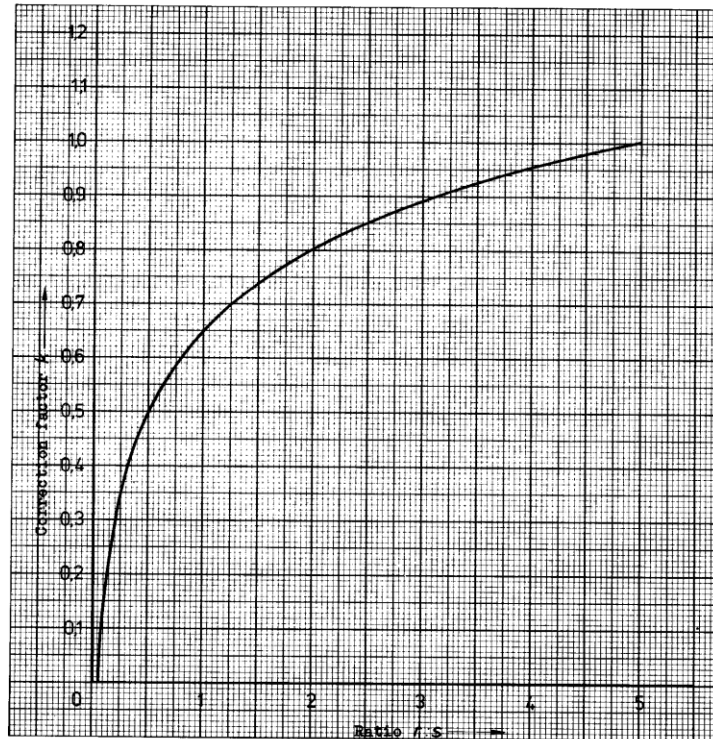
The correction factor k gives the amount by which the position of the neutral line differs from $\frac{s}{2}$ and may be calculated from

$$k = 0.65 + \frac{1}{2} \lg \frac{r}{s} \quad (3)$$

he can also be taken from the following graphical representation, which corresponds with the equation.

For r : s > 5 equation 3 is no longer valid, so that k = 1 is to be used.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



In the case that there are only small requirements for the determination of blanking lengths, the rounded values collected to groups according to Table 5 may be applied for the correction factor k.

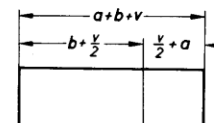
Table 5. Correction factor k, rounded values

Inside bending radius r as a function of sheet or plate thickness s	Ratio r : s	above 0,65 to 1	above 1 to 1,5	above 1,5 to 2,4	above 2,4 to 3,8	above 3,8
Correction factor k (rounded value)		0,6	0,7	0,8	0,9	1

For any values of β , r and s the compensating values v can also be found, with the aid of correction factor k, by way of the factors shown graphically in DIN 6935 Supplementary Sheet 1. For calculated compensating values v for various opening angles or bending angles on the basis of the above-mentioned formula for the correction factor k, see DIN 6935 Supplementary Sheet 2.

7 Representation and position of bend lines for developments

The bend line indicates the middle of the bending radius and should be shown in the developed view by a thin continuous line. The position of the bend line results from the adjacent leg lengths a and b with half the positive or negative compensating value v taken into account.



Developments should only be drawn separately if the shape of the sheet or plate blank is not clearly defined beyond all doubt by dimensioning and indication of the bend line.

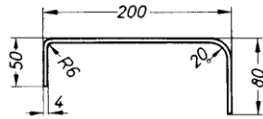
“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Page 4 DIN 6935

8 Examples of dimensioning and calculation of flat lengths (numerical values of lengths in mm)

Example 1

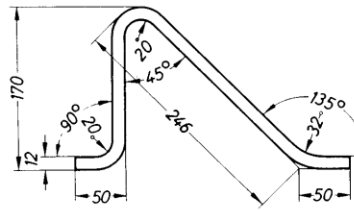
Material: Q St 37-2 (see Table 1, under "steel grades up to 390 N/mm² tensile strength").



Sum of leg lengths 50 + 200 + 80 = 330
 for $\beta = 90^\circ$, $r = 6$, $s = 4$
 it is found that $v = -8.26$
 for $\beta = 90^\circ$, $r = 20$, $s = 4$
 it is found that $v = -13.44 = -21.7$
 flat length = 308.3
 ≈ 309

Example 2

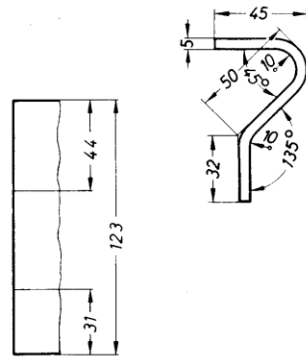
Material: Q St 37-2 (see Table 1, under "steel grades up to 390 N/mm² tensile strength").



Sum of leg lengths 50 + 170 + 246 + 50 = 516
 for $\beta = 90^\circ$, $r = 20$, $s = 12$
 it is found that $v = -25.41$
 for $\beta = 45^\circ$, $r = 20$, $s = 12$
 it is found that $v = -6.12$
 for $\beta = 135^\circ$, $r = 32$, $s = 12$
 it is found that $v = -7.25 = -38.78$
 flat length = 477.22
 ≈ 478

9 Example showing development and marking of the bend line position

Material: Q St 52-3 (see Table 1, under "steel grades above 490 to 640 N/mm² tensile strength").



Development:
 Sum of leg lengths 45 + 50 + 32 = 127
 for $\beta = 45^\circ$, $r = 10$, $s = 5$
 it is found that $v = -1.72$
 for $\beta = 135^\circ$, $r = 10$, $s = 5$
 it is found that $v = -3.00 = -4.72$
 flat length = 122.28
 ≈ 123

Position of bend lines:
 For leg length = 45, $\beta = 45^\circ$, $r = 10$, $s = 5$ and $v = -1.72$
 it is found that $45 - \frac{1.72}{2} = 45 - 0.86 = 44.14 \approx 44$
 For leg length = 32, $\beta = 135^\circ$, $r = 10$, $s = 5$ and $v = -3$
 it is found that $32 - \frac{3}{2} = 32 - 1.5 = 30.5 \approx 31$

Other standards

- For steel sheet under 3 mm (light sheet), see DIN 1623 Part 1 and Part 2
- For general structural steels; quality specifications, see DIN 17100
- For cold rolled strip of soft unalloyed steels, see DIN 1624
- For cold rolled wide strip and sheet of unalloyed steels, see DIN 1541
- For steel plate from 3 to 4.75 mm (medium plate), see DIN 1542
- For steel plate over 4.75 mm (heavy plate), see DIN 1543
- For cold rolled steel strip, see DIN 1544
- For hot rolled strip, hot rolled sheet under 3 mm, see DIN 1016
- For rolled flat steel, see DIN 1017 Part 1 and Part 2
- For hot rolled wide flats, see DIN 59200

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

ii. Liga de Al2024 -T351 ^(32,33)

Tabela 8.1 - Composição química da liga Al2024 - T351

Elemento Químico	Percentagem wt (%)
Al	90,75 – 93,35
Cu	3,8 – 4,9
Mg	1,2 – 1,8
Mn	0,3 – 0,9
Fe	0,5
Si	0,5
Zn	0,25
Ti	0,15
Cr	0,1
Outros	0,05 – 0,15

Adaptado de: <https://www.aviationaluminum.com/pt/2024-aluminum-plate-2.html>

Tabela 8.2 - Propriedades físicas e mecânicas do Al2024

Propriedades Físicas	
Densidade	≈ 2,78 g/cm ³
Condutividade Térmica	≈ 0,29 cal/cm.s.°C
Coefficiente de Expansão Térmica	≈ 23x10 ⁻⁶ /°C
Ponto de Fusão	≈ 500 – 640 °C
Propriedades Mecânicas	
Módulo Elástico	≈ 73 – 74 GPa
Resistência à tração	≈ 470MPa
Limite de resistência à fadiga	≈ 338 MPa
Limite elástico	≈ 476 MPa
Deformação (sentido da carga):	≈ 18%
Dureza (Brinell)	120 HB

³² T3 - tratamento de solubilização, trabalho a frio e envelhecimento natural.

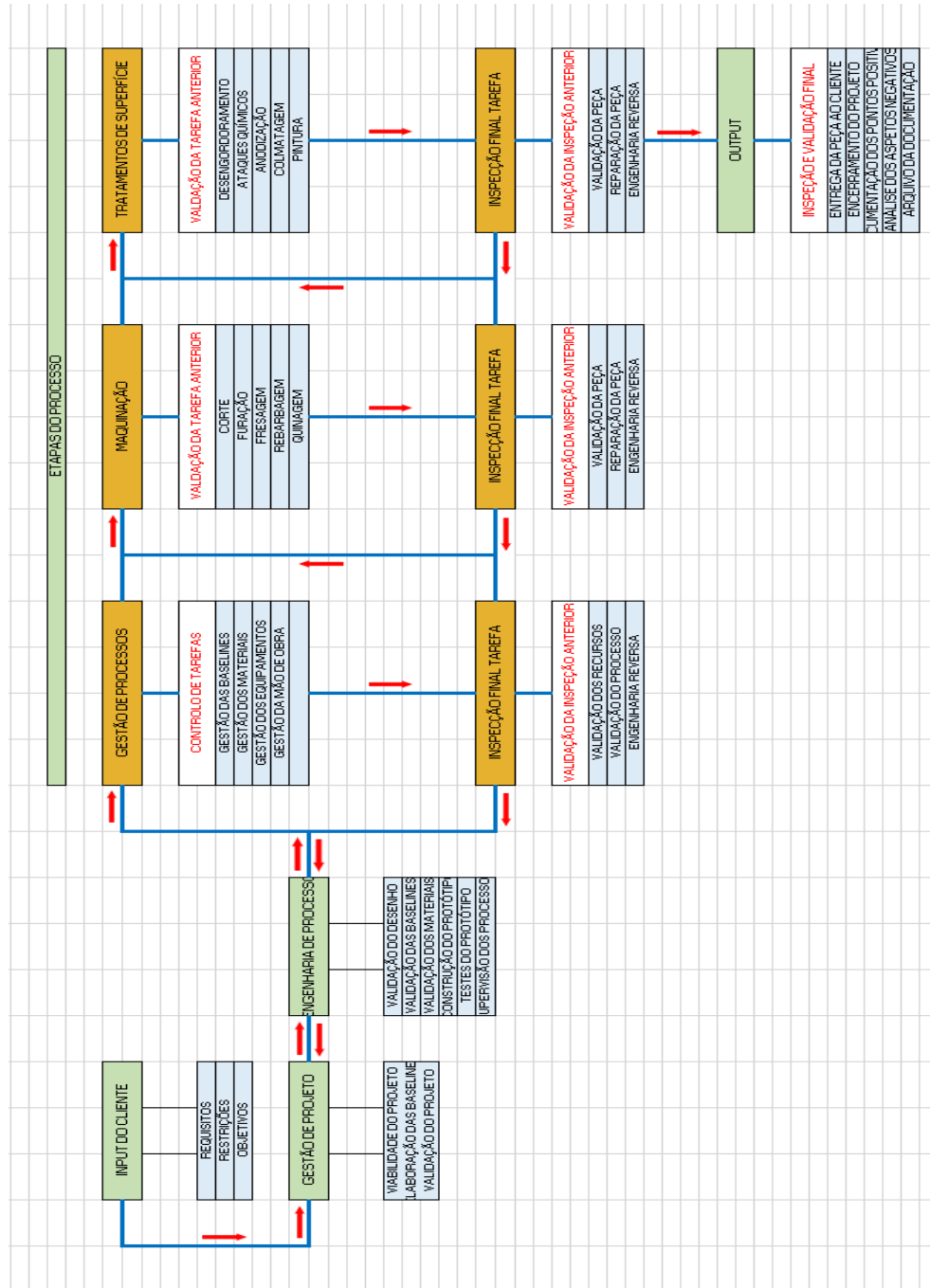
³³ Solubilização – (máx. ≤ 5,6 wt% de Cu em solução sólida de Al) tratamento térmico pré-envelhecimento que tem como principal objetivo homogeneizar todos os elementos (precipitados) existentes na liga, por ação do tempo e da temperatura.

Características: Baixa densidade (associado à presença de Cu na composição); elevada resistência mecânica; elevada resistência à corrosão (após revestimento galvânico com ligas de alta pureza ou por exemplo Mg-Si da série 6xxx); boa capacidade de conformação mecânica; boa capacidade de maquinagem.

Aplicações: Peças e componentes para aeronaves; equipamentos submetidos a altas tensões; engrenagens mecânicas; rebites; rodas de caminhão; outras peças forjadas ou maquinadas que necessitem de alta resistência.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

iii. Layout fases de um projeto



“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

iv. Tivar Dryslide



PE ● TIVAR® DRYSLIDE

Plástico semi-cristalino, que graças ao lubrificante e ao mais alto peso molecular, é o material que oferece o mais baixo coeficiente de fricção da família TIVAR® e melhor resistência ao desgaste e à abrasão do que o TIVAR® 1000. O baixo coeficiente de fricção e as suas propriedades anti-estáticas fazem do TIVAR® DRYSLIDE um excelente material em ambientes agressivos. Os aditivos utilizados também melhoram consideravelmente a resistência UV.



PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Auto-lubrificante
- Coeficiente de fricção extremamente baixo
- Excelente redução de ruído
- Resistência ao desgaste muito alta
- Alta resistência ao impacto
- Boa resistência química
- Resistência UV
- Não absorve humidade
- Dissipador electrostático
- Ideal para ambientes empoeirados
- Resistente à corrosão
- Anti-estático

APLICAÇÕES

- Curvas e guias para correntes em banda
- Placas de deslizamento para correias transportadoras
- Guias de correntes a altas velocidades
- Guias para correias planas e trapezoidais a altas velocidades
- Rampas de deslizamento
- Componentes de transmissão e deslizamento
- Componentes de deslizamento em elevadores
- Barras de desvio
- Rolos de guia e tampas de rolos

RESISTÊNCIA QUÍMICA

ISOLAMENTO ELÉTRICO

RESISTÊNCIA AO DESGASTE

PROPRIEDADES DESLIZANTES

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

+80°C*
-150°C
AMPLITUDE DE TEMPERATURA

*Uso contínuo (20.000H)

Todos os valores apresentados são meramente indicativos, e Polymerica Lda. não se responsabiliza pela utilização dos materiais sem consulta ao nosso departamento técnico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PE
FICHA TÉCNICA

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE TESTE	UNIDADES	TUAR* DRYSLIDE
COR		=	PRETO
DENSIDADE	ISO 1183-1	g/cm ³	0,935
PESO MOLECULAR	-	10 ⁴ g/mol	9
ABSORÇÃO DE ÁGUA A 23°C ATÉ À SATURAÇÃO ⁽¹⁾	-	%	< 0,1
PROPRIEDADES TÉRMICAS⁽²⁾			
TEMPERATURA DE FUSÃO (DSC, 10°C/MIN)	ISO 11357-4/3	°C	135
CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 23°C	-	W/(K.m)	0,40
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR			
ENTRE 23-100°C	-	M/(m.K)	200 x 10 ⁻⁶
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO NO AR			
PARA CURTOS PERÍODOS ⁽³⁾	-	°C	120
CONTINUAMENTE: PARA 20.000H ⁽⁴⁾	-	°C	80
TEMPERATURA MÍNIMA DE SERVIÇO ⁽⁵⁾	-	°C	-150
TEMPERATURA DE DEFORMAÇÃO SOB CARGA			
MÉTODO A: 1,8 MPa	ISO 75-4/-2	°C	42
TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT = VST/B50	ISO 306	°C	80
INFLAMABILIDADE ⁽⁶⁾	-		
ÍNDICE DE OXIGÊNIO ⁽⁷⁾	ISO 4589-1/-2	%	<20
DE ACORDO COM UL94 (5MM DE ESPESSURA)	-	-	HB
PROPRIEDADES MECÂNICAS A 23°C⁽⁸⁾			
TESTE À TRAÇÃO⁽⁹⁾			
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ⁽¹⁰⁾	ISO 527-1/-2	MPa	18
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA RUTURA	ISO 527-1/-2	%	>50
MÓDULO DE ELASTICIDADE ⁽¹¹⁾	ISO 527-1/-2	MPa	650
TESTE DE COMPRESSÃO⁽¹²⁾			
RESISTÊNCIA A 1/2/5% DE DEFORMAÇÃO NOMINAL ⁽¹³⁾	ISO 604	MPa	6,10/16
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY SEM ENTALHE ⁽¹⁴⁾	ISO 179-1/1eU	KJ/m ²	sz/ FRATURA
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE	ISO 179-1/1eA	KJ/m ²	100P
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE DUPLO DE 14 ⁽¹⁵⁾	ISO 11542-2	KJ/m ²	130
DUREZA POR BOLHA DE AÇÃO ⁽¹⁶⁾	ISO 2039-1	N/mm ²	32
DUREZA SHORE D (D5 S) ⁽¹⁷⁾	ISO 868	-	85
PROPRIEDADES ELÉTRICAS A 23°C			
RIGIDEZ ELÉTRICA ⁽¹⁸⁾	IEC 60243-1	kV/mm	-
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA	IEC 60093	Ohm.cm	=
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	IEC 60093	Ohm	< 10 ⁶
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r A 100HZ	IEC 60250	-	-
A 1MHZ	IEC 60250	-	-
FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉTRICA TAN δ A 100HZ	IEC 60250	-	-
A 1MHZ	IEC 60250	-	-
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI)	IEC 60112	-	-

NOTA: 1 g/cm³ = 1000 kg/m³ ; 1 MPa = 1 N/mm² ; 1 KJ/m² = 1 MW/m

(1) Medido em provetes de 1 mm. (2) Os números indicados nestas propriedades são, na maior parte, derivados de dados de fornecedores de matérias-primas. (3) Apenas para períodos de curta exposição (poucas horas) em aplicações onde apenas pouco ou nenhum peso é aplicado ao material. (4) Temperatura a que resiste durante um período mínimo de 20.000 horas. Após este período de tempo, há um decaimento cerca de 50% na resistência à tração, comparado com o valor original. Os valores de temperatura dados, são baseados na degradação por oxidação térmica que ocorre que provoca uma redução das propriedades. No entanto, a temperatura máxima de serviço permitível depende, em muitos casos, essencialmente da dedução e da magnitude dos esforços mecânicos a que o material é sujeito. (5) Dado que a resistência ao impacto diminui com a diminuição da temperatura, a temperatura mínima de serviço permitida é determinado pela extensão de impacto ao qual o material é sujeito. Os valores dados são baseados em condições de impacto desfavoráveis e não podem consequentemente ser considerados como sendo os limites absolutos. (6) Estas avaliações derivam das especificações técnicas dos fabricantes das matérias-primas, não permitindo determinar o comportamento dos materiais sob condições de fogo. (7) A maioria das figuras dadas pelas propriedades mecânicas dos materiais extrudidos, são valores médios dos testes feitos a placas com 30 mm de espessura. (8) Teste a provetes tipo 1B. (9) Teste de velocidade: 50 mm/min. (10) Teste de velocidade: 1 mm/min. (11) Teste a provetes: cilindros ø 8x16 mm. (12) Método usado: 1S. (13) Método usado: 2S. (14) Medido em provetes de 10 mm de espessura. (15) Configuração de eletrodos: cilindros ø 25/75mm coaxiais; no eixo de transformador de acordo com IEC 60236; Amostras teste de 1 mm de espessura.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

v. Tivar Tech



PE
TIVAR® TECH

Plástico semi-cristalino, esta qualidade de PE-UHMW com uma percentagem extremamente elevada de polimerização, contém MoS₂ (bissulfureto de molibdénio) resultando num material com resistência ao desgaste melhorada e propriedades de deslizamento acima do TIVAR® 1000. O coeficiente de fricção diminui com o aumento da pressão de contacto. O TIVAR® TECH é usado em aplicações com cargas elevadas e onde é necessário trabalhar a seco.



PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Auto-lubrificante
- Coeficiente de fricção muito baixo
- Elevada resistência ao desgaste
- Elevada resistência ao impacto
- Excelente resistência química
- Muito boa absorção do ruído e choque
- Não absorve humidade
- Boas propriedades de deslizamento

APLICAÇÕES

- Carretos para correntes e discos de engrenagens
- Componentes de deslizamento
- Casquilhos em carros de tracção por cabo
- Guias de rolos
- Componentes deslizantes para elevadores de ski e teleféricos
- Rodas dentadas

RESISTÊNCIA QUÍMICA

ISOLAMENTO ELÉTRICO

RESISTÊNCIA AO DESGASTE

PROPRIEDADES DESLIZANTES

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

+80°C*
-150°C
AMPLITUDE DE TEMPERATURA

*uso contínuo (20.000H)

Todos os valores apresentados são meramente indicativos, a Polyanemalife não se responsabiliza pela utilização dos materiais sem consulta ao nosso departamento técnico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PE
FICHA TÉCNICA

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE TESTE	UNIDADES	TIPOAR* TECH
COR		=	CINZA ESCURO
DENSIDADE	ISO 1183-1	g/cm ³	0,935
PESO MOLECULAR	-	10 ⁶ g/mol	9
ABSORÇÃO DE ÁGUA A 23°C ATÉ À SATURAÇÃO ⁽¹⁾	-	%	< 0,1
PROPRIEDADES TÉRMICAS⁽²⁾			
TEMPERATURA DE FUSÃO (DSC, 10°C/MIN)	ISO 11357-4/3	°C	135
CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 23°C	-	W/(K.m)	0,40
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR ENTRE 23-100°C	-	M/(m.K)	200 x 10 ⁻⁶
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO NO AR PARA CURTOS PERÍODOS ⁽³⁾	-	°C	120
CONTINUAMENTE PARA 20.000H ⁽⁴⁾	-	°C	80
TEMPERATURA MÍNIMA DE SERVIÇO ⁽⁵⁾	-	°C	-150
TEMPERATURA DE DEFORMAÇÃO SOB CARGA MÉTODO A: 1,8 MPa	ISO 75-1/-2	°C	42
TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT = VST/850	ISO 306	°C	80
INFLAMABILIDADE ⁽⁶⁾	-	-	-
ÍNDICE DE OXIDABILIDADE ⁽⁷⁾ DE ACORDO COM UL94 (5MM DE ESPESSURA)	ISO 4589-1/-2	%	<20 HB
PROPRIEDADES MECÂNICAS A 23°C⁽⁸⁾			
TESTE À TRAÇÃO ⁽⁹⁾			
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ⁽¹⁰⁾	ISO 527-1/-2	MPa	19
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA RUTURA	ISO 527-1/-2	%	>50
MÓDULO DE ELASTICIDADE ⁽¹¹⁾	ISO 527-1/-2	MPa	725
TESTE DE COMPRESSÃO ⁽¹²⁾			
RESISTÊNCIA A 1/2/5% DE DEFORMAÇÃO NOMINAL ⁽¹³⁾	ISO 604	MPa	6,5/10,5/17
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY SEM ENTALHE ⁽¹⁴⁾	ISO 179-1/1eU	KJ/m ²	s/ FRATURA
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE	ISO 179-1/1eA	KJ/m ²	105P
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE DUPL. DE 14 ⁽¹⁵⁾	ISO 11542-2	KJ/m ²	120
JU REZA POR BOLA DE AÇO ⁽¹⁶⁾	ISO 2039-1	N/mm ²	32
DUREZA SHORE D (D5 S) ⁽¹⁷⁾	ISO 868	-	59
PROPRIEDADES ELÉCTRICAS A 23°C			
RIGIDEZ ELÉCTRICA ⁽¹⁸⁾	IEC 60243-1	KV/mm	45
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA	IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹⁴
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	IEC 60093	Ohm	> 10 ¹²
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r A 100HZ A 1MHZ	IEC 60250	-	-
FATOR DE DISSIPACÃO DI ELÉCTRICA TAN δ : A 100HZ A 1MHZ	IEC 60250	-	-
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI)	IEC 60112	-	-

NOTA: 1 g/cm³ = 1000 kg/m³ ; 1 MPa = 1 N/mm² ; 1 KV/mm = 1 MV/m


(1) Medido em provetes de 1 mm. (2) Os números indicados nestas propriedades são, na maior parte, derivados de dados de fornecedores de matérias-primas. (3) Apenas para períodos de curta exposição (poucas horas) em aplicações onde apenas pouco ou nenhum peso é aplicado ao material. (4) Temperatura a que resiste durante um período mínimo de 20.000 horas. Após este período de tempo, há um decréscimo cerca de 50% na resistência à tração, comparado com o valor original. Os valores da temperatura dados, são baseados na degradação por oxidação térmica que ocorre que provoca uma redução das propriedades. No entanto, a temperatura máxima de serviço permitível depende, em muitos casos, essencialmente da dedução e da magnitude dos esforços mecânicos a que o material é sujeito. (5) Dado que a resistência ao impacto diminui com a diminuição da temperatura, a temperatura mínima de serviço permitida é determinado pela extensão de impacto ao qual o material é sujeito. Os valores dados são baseados em condições de impacto desfavoráveis e não podem consequentemente ser considerados como sendo os limites absolutos. (6) Estas avaliações derivam das especificações técnicas dos fabricantes das matérias-primas, não permitindo determinar o comportamento dos materiais sob condições de fogo. (7) A maioria das figuras dadas pelas propriedades mecânicas dos materiais extrudidos, são valores médios dos testes feitos a placas com 30 mm de espessura. (8) Teste a provetes tipo 1B. (9) Teste de velocidade: 50 mm/min. (10) Teste de velocidade: 1 mm/min. (11) Teste a provetes: cilindros e 8x16 mm. (12) Método usado: 151. (13) Método usado: 251. (14) Medido em provetes de 10 mm de espessura. (15) Configuração de eletrodes: cilindros e 25/75mm coaxiais no eixo de transformador de acordo com IEC 60296. Amostras teste de 1 mm de espessura.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

vi. Tivar 88

PE
TIVAR® 88

Plástico semi-cristalino, o TIVAR® 88 é um material azul escuro em base de polímero que foi otimizado para ser usado como um material de revestimento. Devido às suas excelentes propriedades (baixo coeficiente de fricção e excelente resistência ao desgaste), o TIVAR® 88 é o material recomendado para o revestimento de recipientes de armazenamento e transporte. O controlo de qualidade contínuo, garante um alto nível de qualidade. Devido às propriedades constantes do material, o TIVAR® 88 oferece uma qualidade confiável, também para trabalhos de manutenção.




PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Elevada resistência química e à corrosão
- Elevada resistência ao desgaste
- Resistente à abrasão
- Baixo coeficiente de fricção
- Sem absorção de humidade
- Reduz ou elimina o arqueamento e o fluxo errático
- Dissipativo eletroestático
- Resistente aos raios UV
- Superfície deslizante para qualquer tipo de material a granel

APLICAÇÕES

- Revestimento de calhas
- Revestimento de silos
- Revestimento de contentores para armazenamento e transporte
- Revestimento de funis de alimentação
- Revestimento de vagões ferroviários e qualquer tipo de equipamento de manuseamento de materiais a granel



*uso contínuo (20.000h)

Todos os valores apresentados são meramente indicativos, a Polyplásticos Lda, não se responsabiliza pela utilização dos materiais sem consulta ao nosso departamento técnico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PE
FICHA TÉCNICA


PROPRIEDADES	MÉTODOS DE TESTE	UNIDADES	TIPOAR® 98
COR		=	AZUL
DENSIDADE	ISO 1183-1	g/cm ³	0.93
PESO MOLECULAR	-	10 ⁶ g/mol	9
ABSORÇÃO DE ÁGUA A 23°C ATÉ À SATURAÇÃO ⁽¹⁾	-	%	< 0.1
PROPRIEDADES TÉRMICAS⁽²⁾			
TEMPERATURA DE FUSÃO (DSC, 10°C/MIN)	ISO 11357-4/3	°C	135
CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 23°C	-	W/(K.m)	0.40
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR ENTRE 23-100°C	-	M/(m.K)	200 x 10 ⁻⁶
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO NO AR PARA CURTOS PERÍODOS ⁽³⁾	-	°C	90
CONTINUAMENTE: PARA 20.000H ⁽⁴⁾	-	°C	80
TEMPERATURA MÍNIMA DE SERVIÇO ⁽⁵⁾	-	°C	-200
TEMPERATURA DE DEFORMAÇÃO SOB CARGA			
MÉTODO A: 1.8 MPa	ISO 75-1/-2	°C	42
TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT = VST/BS0	ISO 306	°C	80
INFLAMABILIDADE ⁽⁶⁾	-	-	-
*ÍNDICE DE OXIGÉNIO ⁽⁷⁾	ISO 4589-1/-2	%	<20
DE ACORDO COM UL94 (6MM DE ESPESSURA)	-	-	HB
PROPRIEDADES MECÂNICAS A 23°C⁽⁸⁾			
TESTE À TRAÇÃO⁽⁹⁾			
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ⁽¹⁰⁾	ISO 527-1/-2	MPa	79
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA RUTURA	ISO 527-1/-2	%	>50
MÓDULO DE ELASTICIDADE ⁽¹¹⁾	ISO 527-1/-2	MPa	790
TESTE DE COMPRESSÃO⁽¹²⁾			
RESISTÊNCIA A 1/2/5% DE DEFORMAÇÃO NOMINAL ⁽¹³⁾	ISO 604	MPa	7/10/16
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARNY SEM ENTALHE ⁽¹⁴⁾	ISO 179-1/1eU	KJ/m ²	s/ FRATURA
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARNY COM ENTALHE	ISO 179-1/1eA	KJ/m ²	96
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARNY COM ENTALHE DUPLO DE 14* ⁽¹⁵⁾	ISO 11542-2	KJ/m ²	-
DUREZA POR BOLA DE AÇO ⁽¹⁶⁾	ISO 2039-1	N/mm ²	29
DUREZA SHORE D (TS 5) ⁽¹⁷⁾	ISO 868	-	57
PROPRIEDADES ELÉCTRICAS A 23°C			
RIGIDEZ ELÉCTRICA ⁽¹⁸⁾	IEC 60243-1	kV/mm	-
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA	IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹²
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	IEC 60093	Ohm	> 10 ¹²
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r A 100HZ	IEC 60250	-	-
A 1MHZ	IEC 60250	-	-
FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉCTRICA TAN δ A 100HZ	IEC 60250	-	-
A 1MHZ	IEC 60250	-	-
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI)	IEC 60112	-	-

NOTA: 1 g/cm³ = 1000 kg/m³ ; 1 MPa = 1 N/mm² ; 1 KJ/m² = 1 MW/m

(1) Medido em provetes de 1 mm. (2) Os números indicados nestas propriedades são, na maior parte, derivados de dados de fornecedores de matérias-primas. (3) Apenas para períodos de curta exposição (poucas horas) em aplicações onde apenas pouco ou nenhum peso é aplicado ao material. (4) Temperatura a que resiste durante um período mínimo de 20.000 horas. Após este período de tempo, há um decréscimo cerca de 50% na resistência à tração, comparado com o valor original. Os valores de temperatura dados, são baseados na degradação por oxidação térmica que ocorre que provoca uma redução das propriedades. No entanto, a temperatura máxima de serviço permitida depende, em muitos casos, essencialmente da redução e da magnitude dos esforços mecânicos a que o material é sujeito. (5) Dado que a resistência ao impacto diminui com a diminuição da temperatura, a temperatura mínima de serviço permitida é determinado pela extensão de impacto ao qual o material é sujeito. Os valores dados são baseados em condições de impacto desfavoráveis e não podem consequentemente ser consideradas como sendo os limites absolutos. (6) Estas avaliações derivam das especificações técnicas dos fabricantes das matérias-primas, não permitindo determinar o comportamento dos materiais sob condições de fogo. (7) A maioria das figuras dadas pelas propriedades mecânicas dos materiais extrudidos, são valores médios dos testes feitos a placas com 30 mm de espessura. (8) Teste a provetes tipo 1B. (9) Teste de velocidade: 50 mm/min. (10) Teste de velocidade: 1 mm/min. (11) Teste a provetes: cilindros ø 8x16 mm. (12) Método usado: 15L. (13) Método usado: 25L. (14) Medido em provetes de 10 mm de espessura. (15) Configuração de eletrodos: cilindros ø 25/75mm coaxiais; no eixo de transformador de acordo com IEC 60296. Amostras teste de 1 mm de espessura.



“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

vii. Tivar Quicksilver



PE
TIVAR® Quicksilver

Plástico semi-cristalino, os revestimentos Quicksilver prolongam a vida útil de qualquer camião. Protegem o alumínio e permitem mais cargas úteis do que o aço. São projetados para descargas de materiais difíceis, incluindo o asfalto quente nas piores condições. Os revestimentos com Quicksilver libertam uma substância pegajosa, o que significa descarga mais rápida, menos danos ao equipamento, menos desgaste nas talhas, limpeza mínima e tempo de inatividade reduzido.




PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Resistente à abrasão, à corrosão e a produtos químicos
- Alta resistência ao impacto
- Supera os materiais tradicionais
- Pesa menos que alumínio ou aço
- Melhores propriedades antiaderentes
- Possibilita descarga completa e constante
- Sem congelamento
- Seguro, mesmo em terreno irregular
- Nenhum meio de separação e purificação necessário

APLICAÇÕES

- Revestimento de camiões de carga. Eficaz em todo o tipo de matéria-prima tal como: pedra, entulho, cascalho, brita, terra, areia, lodo (esgoto), solo superficial, argila, carvão, calcário, gesso, sais, minérios, cinzas, grãos, fertilizantes, entre outros



RESISTÊNCIA QUÍMICA

ISOLAMENTO ELÉTRICO

RESISTÊNCIA AO DESGASTE

PROPRIEDADES DESLIZANTES

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

AMPLITUDE DE TEMPERATURA
+80°C*
-150°C

*uso contínuo (20.000H)

Todos os valores apresentados são meramente indicativos. A Polyleno Ltd. não se responsabiliza pela utilização de materiais sem consulta ao nosso departamento técnico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PE
FICHA TÉCNICA



PROPRIEDADES	MÉTODOS DE TESTE	UNIDADES	TIPO* (QUELQUELVER)
COR		-	OPACA/ESCURO
DENSIDADE	ISO 1183-1	g/cm ³	0,935
PESO MOLECULAR	-	10 ³ g/mol	9
ABSORÇÃO DE ÁGUA A 23°C ATÉ À SATURAÇÃO ⁽¹⁾	-	%	< 0,1
PROPRIEDADES TÉRMICAS⁽²⁾			
TEMPERATURA DE FUSÃO (DSC, 10°C/MIN)	ISO 11357-4/3	°C	135
CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 23°C	-	W/(K.m)	0,40
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR ENTRE 23-100°C	-	M/(m.K)	200 x 10 ⁻⁶
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO NO AR PARA CURTOS PERÍODOS ⁽³⁾	-	°C	120
CONTINUAMENTE PARA 20.000H ⁽⁴⁾	-	°C	80
TEMPERATURA MÍNIMA DE SERVIÇO ⁽⁵⁾	-	°C	-150
TEMPERATURA DE DEFORMAÇÃO SOB CARGA MÉTODO A: 1,8 MPa	ISO 75-1/-2	°C	42
TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT +VST/BS0	ISO 306	°C	80
INFLAMABILIDADE ⁽⁶⁾	-	-	-
ÍNDICE DE OXIDENÇÃO DE ACORDO COM UL94 (5MM DE ESPESURA)	ISO 4589-1/-2	%	<20 HB
PROPRIEDADES MECÂNICAS A 23°C⁽⁷⁾			
TESTE À TRAÇÃO⁽⁸⁾			
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ⁽⁹⁾	ISO 527-1/-2	MPa	17
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA RUTURA	ISO 527-1/-2	%	>50
MÓDULO DE ELASTICIDADE ⁽¹⁰⁾	ISO 527-1/-2	MPa	575
TESTE DE COMPRESSÃO⁽¹¹⁾			
RESISTÊNCIA A 1/2/5% DE DEFORMAÇÃO NOMINAL ⁽¹²⁾	ISO 604	MPa	4,5/7,5/13,5
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY SEM ENTALHE ⁽¹³⁾	ISO 179-1/1eU	KJ/m ²	sz / FRATURA
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE	ISO 179-1/1eA	KJ/m ²	80P
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE DUPLA DE 14x ⁽¹⁴⁾	ISO 11542-2	KJ/m ²	90
DUREZA POR BOLA DE AÇO ⁽¹⁵⁾	ISO 2039-1	N/mm ²	30
DUREZA SHORE D (D5 S) ⁽¹⁶⁾	ISO 868	-	58
PROPRIEDADES ELÉCTRICAS A 23°C			
RIGIDEZ ELÉCTRICA ⁽¹⁷⁾	IEC 60243-1	KV/mm	-
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA	IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹⁴
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	IEC 60093	Ohm	> 10 ¹²
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r : A 100HZ	IEC 60250	-	-
A 1MHZ	IEC 60250	-	-
FATOR DE DISSIPACÃO DIÉLÉCTRICA TAN δ: A 100HZ	IEC 60250	-	-
A 1MHZ	IEC 60250	-	-
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI)	IEC 60112	-	-

NOTA: 1 g/cm³ = 1000 kg/m³ ; 1 MPa = 1 N/mm² ; 1 KV/mm = 1 MV/m

(1) Medido em provetes de 1 mm. (2) Os números indicados nestas propriedades são, na maior parte, derivados de dados de fornecedores de matérias-primas. (3) Apenas para períodos de curta exposição (poucas horas) em aplicações onde apenas pouco ou nenhum peso é aplicado ao material. (4) Temperatura a que resiste durante um período mínimo de 20.000 horas. Após este período de tempo, há um decréscimo cerca de 50% na resistência à tração, comparada com o valor original. Os valores de temperatura dados, são baseados na degradação por oxidação térmica que ocorre que provoca uma redução das propriedades. No entanto, a temperatura máxima de serviço permitível depende, em muitos casos, essencialmente da dedução e da magnitude dos estornos mecânicos a que o material é sujeito. (5) Dado que a resistência ao impacto diminui com a diminuição da temperatura, a temperatura mínima de serviço permitida é determinado pela extensão de impacto ao qual o material é sujeito. Os valores dados são baseados em condições de impacto desfavoráveis e não podem consequentemente ser considerados como sendo os limites absolutos. (6) Estas avaliações derivam das especificações técnicas dos fabricantes das matérias-primas, não permitindo determinar o comportamento dos materiais sob condições de fogo. (7) A maioria das figuras dadas pelas propriedades mecânicas dos materiais extrudidos, são valores médios dos testes feitos a placas com 30 mm de espessura. (8) Teste a provetes tipo 1B. (9) Teste de velocidade: 50 mm/min. (10) Teste de velocidade: 1 mm/min. (11) Teste a provetes: cilindros e 8x16 mm. (12) Pêndulo usado: 13J. (13) Pêndulo usado: 25J. (14) Medido em provetes de 10 mm de espessura. (15) Configuração de eletrodos: cilindros e 25/75mm coaxiais no óleo de transformador de acordo com IEC 60296; Amostras teste de 1 mm de espessura.

viii. Nylatron MC901

PA

NYLATRON® MC 901

Plástico semi-cristalino, o NYLATRON® MC 901 é uma poliamida vazada e modificada. Distingue-se pela sua cor azul característica e exibe maior tenacidade, flexibilidade e resistência à fadiga do que o ERTALON® 6 PLA.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Alta resistência ao impacto
- Alta elasticidade/flexibilidade
- Alta resistência à fadiga
- Alta tenacidade
- Excelente resistência ao desgaste
- Boas propriedades deslizantes
- Boas propriedades de isolamento elétrico
- Boa resistência às radiações de alta energia (Raios Gama e X)
- Alta capacidade de amortecimento mecânico
- Fácil maquinação

APLICAÇÕES

- Maquinações em tornos automáticos
- Rodas dentadas de módulos altos
- Rodas e rolos
- Casquilhos
- Separadores
- Peças de grandes dimensões sujeitas a cargas elevadas

RESISTÊNCIA QUÍMICA

ISOLAMENTO ELÉTRICO

RESISTÊNCIA AO DESGASTE

PROPRIEDADES DESLIZANTES

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

+90°C*
-30°C
AMPLITUDE DE TEMPERATURA

*uso contínuo (20.000H)

Todos os valores apresentados são meramente indicativos, a Polyarami Ltd. não se responsabiliza pela utilização dos materiais sem consulta ao nosso departamento técnico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PA
FICHA TÉCNICA

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE TESTE	UNIDADES	NYLATRON® MC 901
COR		=	AZUL
DENSIDADE	ISO 1183-1	g/cm ³	1,15
ABSORÇÃO DE ÁGUA			
APÓS 24/96H DE IMERSÃO EM ÁGUA A 23°C ¹	ISO 62	mg	49/93
APÓS 24/96H DE IMERSÃO EM ÁGUA A 23°C ¹	ISO 62	%	0,72/1,37
NA SATURAÇÃO DO AR A 23°C / 50% RH	-	%	2,3
NA SATURAÇÃO DA ÁGUA A 23°C	=	%	6,6
PROPRIEDADES TÉRMICAS²			
TEMPERATURA DE FUSÃO (DSC, 10°C/MIN)	ISO 11357-4/3	°C	215
TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO DO VIDRO (DSC, 20°C/MIN) ³	ISO 11357-1/3	°C	-
CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 23°C	-	W/(K.m)	0,29
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR			
VALOR MÉDIO ENTRE 23-60°C	-	M/(m.K)	80 x 10 ⁻⁶
VALOR MÉDIO ENTRE 23-100°C	-	M/(m.K)	90 x 10 ⁻⁶
TEMPERATURA DE DEFORMAÇÃO SOB CARGA			
MÉTODO A 18 MPa	+ ISO 75-1/2	°C	80
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO NO AR			
PARA CURTOS PERÍODOS ⁴	-	°C	170
CONTINUAMENTE: PARA 5.000/20.000H ⁵	=	°C	105/90
TEMPERATURA MÍNIMA DE SERVIÇO ⁶	=	°C	-30
INFLAMABILIDADE ⁷			
ÍNDICE DE OXIDABILIDADE ⁸	ISO 4589-4/2	%	25
DE ACORDO COM UL94 (3/6MM DE ESPESURA)	-	-	HB/HB
PROPRIEDADES MECÂNICAS A 23°C⁹			
TESTE À TRACÇÃO ¹⁰			
RESISTÊNCIA À TRACÇÃO NO ESCOAMENTO/RUTURA ¹¹ +	ISO 527-1/-2	MPa	82/-
RESISTÊNCIA À TRACÇÃO NO ESCOAMENTO/RUTURA ¹² ++	ISO 527-1/-2	MPa	50/-
RESISTÊNCIA À TRACÇÃO ¹³ +	ISO 527-1/-2	MPa	84
TENSÃO ELÁSTICA NO ESCOAMENTO ¹⁴ +	ISO 527-1/-2	%	5
TENSÃO ELÁSTICA NA RUTURA ¹⁵ +	ISO 527-1/-2	%	35
TENSÃO ELÁSTICA NA RUTURA ¹⁶ ++	ISO 527-1/-2	%	>50
MÓDULO DE ELASTICIDADE ¹⁷ +	ISO 527-1/-2	MPa	3300
MÓDULO DE ELASTICIDADE ¹⁸ ++	ISO 527-1/-2	MPa	1600
TESTE DE COMPRESSÃO ¹⁹			
RESISTÊNCIA A 1/2/5% DE DEFORMAÇÃO NOMINAL ²⁰ +	ISO 604	MPa	32/61/90
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY SEM ENTALHE ²¹ +	ISO 179-1/1eU	KJ/m ²	5/ FRATURA
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE +	ISO 179-1/1eA	KJ/m ²	3
DUREZA POR BOLA DE AÇO ²² +	ISO 2039-1	N/mm ²	160
DUREZA DE ROCKWELL ²³ +	ISO 2039-2	-	M 85
PROPRIEDADES ELÉTRICAS A 23°C			
RIGIDEZ DIELÉTRICA ²⁴ +	IEC 60243-1	kV/mm	25
RIGIDEZ DIELÉTRICA ²⁵ ++	IEC 60243-1	kV/mm	17
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA +	IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹⁴
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA ++	IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹²
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL +	IEC 60093	Ohm	> 10 ¹⁰
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL ++	IEC 60093	Ohm	> 10 ⁸
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r : A 100HZ +	IEC 60250	-	3,6
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r : A 100KHZ ++	IEC 60250	-	6,6
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r : A 1MHZ +	IEC 60250	-	3,2
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r : A 1MHZ ++	IEC 60250	-	3,7
FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉTRICA TAN δ : A 100HZ +	IEC 60250	-	0,012
FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉTRICA TAN δ : A 100HZ ++	IEC 60250	-	0,14
FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉTRICA TAN δ : A 1MHZ +	IEC 60250	-	0,016
FATOR DE DISSIPACÃO DIELÉTRICA TAN δ : A 1MHZ ++	IEC 60250	-	0,05
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI) +	IEC 60112	-	600
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI) ++	IEC 60112	-	600

NOTA: 1g/cm³ = 1000 kg/m³ ; 1MPa = 1 N/mm² ; 1kW/mm = 1 MW/m

+ valores referentes ao material seco

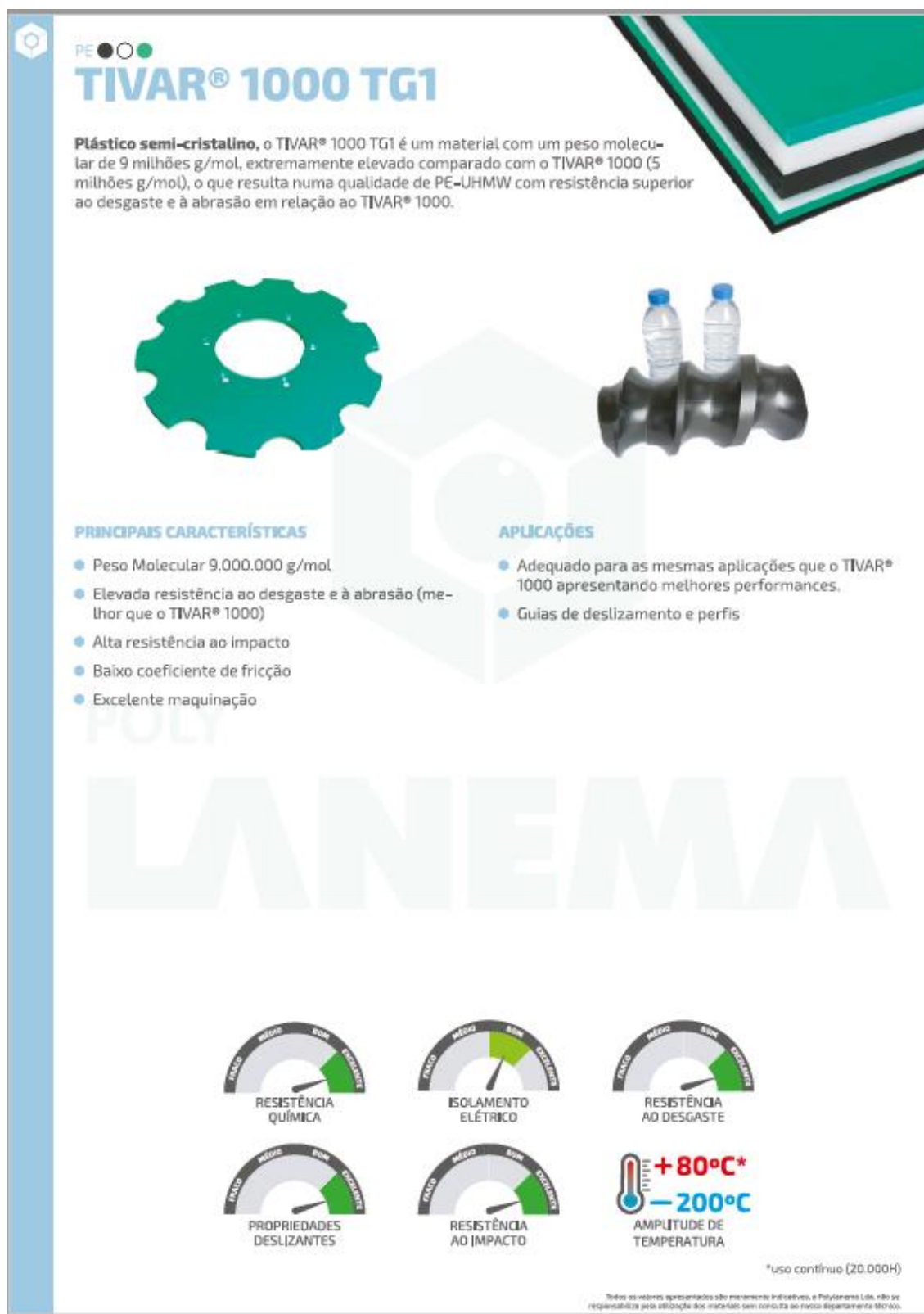
++ valores referentes a material em equilíbrio com a atmosfera padrão 23°C / 50% rh

(1) De acordo com o método 1 do ISO 62 e medido em discos e 50x3 mm. (2) Os elementos fornecidos para esta propriedade são na sua maior parte fornecidos pelos fabricantes das matérias-primas. (3) Os valores desta propriedade são apenas atribuídos a materiais amorfos e não a semi-cristalinos. (4) 50 para períodos de exposição curtos em aplicações em que são aplicadas somente cargas muito baixas sobre o material. (5) Temperatura a que reside depois de um período de 5.000/20.000 horas. Após este período de tempo, há um decréscimo de cerca de 50% na resistência à tração, comparado com o valor original. Os valores de temperatura dados, são baseados na degradação por oxidação térmica que ocorre que provoca uma redução das propriedades. No entanto, a temperatura máxima de serviço permitível depende, em muitos casos, essencialmente da duração e da magnitude dos esforços mecânicos a que o material é sujeito. (6) Dado que a resistência ao impacto diminui com a diminuição da temperatura, a temperatura mínima de serviço permitida é determinada pela extensão de impacto ao qual o material é sujeito. Os valores dados são baseados em condições de impacto desfavoráveis e não podem consequentemente ser considerados como sendo os limites absolutos. (7) Estas avaliações, derivam das especificações técnicas dos fabricantes das matérias-primas, não permitindo determinar o comportamento dos materiais em condições de fogo. (8) A maioria das figuras dadas pelas propriedades dos materiais (+), são valores médios dos testes feitos a espécies maquinados com ø 40-60 mm. (9) Teste a espécies tipo Ib. (10) Teste de velocidade: 5 ou 50 mm/min. (11) Teste de velocidade: 1m/min. (12) Teste a espécies cilindros ø 8 x 16 mm. (13) Pêndulo usado: 15J. (14) Teste em espécimes com 10 mm de espessura. (15) Configuração do electrodo: cilindros ø 25 / ø 75 mm, no óleo do transformador de acordo com IEC 60296.

Atenção que a força elétrica para o material, preto extrudido pode ser consideravelmente mais baixa que a do material natural. A possível micro porosidade no centro de formas conservadas em stock reduz significativamente a força elétrica.


“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

ix. Tivar 1000TG1



PE ● ○ ●
TIVAR® 1000 TG1

Plástico semi-cristalino, o TIVAR® 1000 TG1 é um material com um peso molecular de 9 milhões g/mol, extremamente elevado comparado com o TIVAR® 1000 (5 milhões g/mol), o que resulta numa qualidade de PE-UHMW com resistência superior ao desgaste e à abrasão em relação ao TIVAR® 1000.



PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

- Peso Molecular 9.000.000 g/mol
- Elevada resistência ao desgaste e à abrasão (melhor que o TIVAR® 1000)
- Alta resistência ao impacto
- Baixo coeficiente de fricção
- Excelente maquinação

APLICAÇÕES

- Adequado para as mesmas aplicações que o TIVAR® 1000 apresentando melhores performances.
- Guias de deslizamento e perfis

RESISTÊNCIA QUÍMICA

ISOLAMENTO ELÉTRICO

RESISTÊNCIA AO DESGASTE

PROPRIEDADES DESLIZANTES

RESISTÊNCIA AO IMPACTO

+80°C*
-200°C*
AMPLITUDE DE TEMPERATURA

*uso contínuo (20.000H)

Todos os valores apresentados são meramente indicativos, a Polydema Ltd. não se responsabiliza pela utilização dos materiais sem consulta ao nosso departamento técnico.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

PE
FICHA TÉCNICA

PROPRIEDADES	MÉTODOS DE TESTE	UNIDADES	TIPO** 1000 TGI
COR		-	BRANCO/PRATO VERDE/OUTRAS
DENSIDADE	ISO 1183-1	g/cm ³	0.94
PESO MOLECULAR	-	10 ⁶ g/mol	9
ABSORÇÃO DE ÁGUA A 23°C ATÉ À SATURAÇÃO ⁽¹⁾	-	%	< 0.1
PROPRIEDADES TÉRMICAS⁽²⁾			
TEMPERATURA DE FUSÃO (DSC, 10°C/MIN)	ISO 11357-4/3	°C	136
CONDUTIVIDADE TÉRMICA A 23°C	-	W/(K.m)	0.40
COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA LINEAR ENTRE 23-100°C	-	M/(m.K)	200 x 10 ⁻⁴
TEMPERATURA MÁXIMA DE SERVIÇO NO AR PARA CURTOS PERÍODOS ⁽³⁾	-	°C	120
CONTINUAMENTE: PARA 20.000H ⁽⁴⁾	-	°C	80
TEMPERATURA MÍNIMA DE SERVIÇO ⁽⁵⁾	-	°C	-200
TEMPERATURA DE DEFORMAÇÃO SOB CARGA			
MÉTODO A: 1.8 MPa	ISO 75-1/-2	°C	42
TEMPERATURA DE AMOLECIMENTO VICAT = VST/B50	ISO 306	°C	80
INFLAMABILIDADE⁽⁶⁾			
ÍNDICE DE OXIGÉNIO ⁽⁷⁾	ISO 4589-1/-2	%	<20
DE ACORDO COM UL94 (5MM DE ESPESSURA)	-	-	HB
PROPRIEDADES MECÂNICAS A 23°C⁽⁸⁾			
TESTE À TRAÇÃO⁽⁹⁾			
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ⁽¹⁰⁾	ISO 527-1/-2	MPa	79
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA RUTURA	ISO 527-1/-2	%	>50
MÓDULO DE ELASTICIDADE ⁽¹¹⁾	ISO 527-1/-2	MPa	750
TESTE DE COMPRESSÃO⁽¹²⁾			
RESISTÊNCIA A 1/2/5% DE DEFORMAÇÃO NOMINAL ⁽¹³⁾	ISO 604	MPa	-
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY SEM ENTALHE ⁽¹⁴⁾	ISO 179-1/1eU	KJ/m ²	5/ FRATURA
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE	ISO 179-1/1eA	KJ/m ²	-
RESISTÊNCIA AO IMPACTO DE CHARPY COM ENTALHE DUPL. DE 18° ⁽¹⁵⁾	ISO 11542-2	KJ/m ²	100
DUREZA POR BOLHA DE AÇO ⁽¹⁶⁾	ISO 2039-1	N/mm ²	33
DUREZA SHORE D (YS S) ⁽¹⁷⁾	ISO 868	-	60
PROPRIEDADES ELÉCTRICAS A 23°C			
RIGIDEZ ELÉCTRICA ⁽¹⁸⁾	IEC 60243-1	kV/mm	45
RESISTIVIDADE VOLUMÉTRICA	IEC 60093	Ohm.cm	> 10 ¹²
RESISTIVIDADE SUPERFICIAL	IEC 60093	Ohm	> 10 ¹²
PERMEABILIDADE RELATIVA ε _r : A 100HZ	IEC 60250	-	2.1
A 1MHZ	IEC 60250	-	3.0
FATOR DE DISSIPACÃO DIELECTRICA TAN δ : A 100HZ	IEC 60250	-	0.0004
A 1MHZ	IEC 60250	-	0.0010
ÍNDICE DE SEGUIMENTO COMPARATIVO (CTI)	IEC 60112	-	600

NOTA: 1 g/cm³ = 1000 kg/m³ ; 1 MPa = 1 N/mm² ; 1 KJ/m² = 1 MJ/m²

(1) Medido em provetes de 1 mm. (2) Os números indicados nestas propriedades são, na maior parte, derivados de dados de fornecedores de matérias-primas. (3) Apenas para períodos de curta exposição (poucas horas) em aplicações onde apenas pouco ou nenhum peso é aplicado ao material. (4) Temperatura a que resiste durante um período mínimo de 20.000 horas. Após este período de tempo, há um decréscimo cerca de 50% na resistência à tração, comparado com o valor original. Os valores da temperatura dados, são baseados na degradação por oxidação térmica que ocorre que provoca uma redução das propriedades. No entanto, a temperatura máxima de serviço permitida depende, em muitos casos, essencialmente da degradação e da magnitude dos esforços mecânicos a que o material é sujeito. (5) Dado que a resistência ao impacto diminui com a diminuição da temperatura, a temperatura mínima de serviço permitida é determinado pela extensão de impacto ao qual o material é sujeito. Os valores dados são baseados em condições de impacto desfavoráveis e não podem consequentemente ser consideradas como sendo os limites absolutos. (6) Estas avaliações derivam das especificações técnicas dos fabricantes das matérias-primas, não permitindo determinar o comportamento dos materiais sob condições de fogo. (7) A maioria das figuras dadas pelas propriedades mecânicas dos materiais extrudidos, são valores médios dos testes feitos a placas com 30 mm de espessura. (8) Teste a provetes tipo 1B. (9) Teste de velocidade: 50 mm/min. (10) Teste de velocidade: 1 mm/min. (11) Teste a provetes: cilindros ø 8x16 mm. (12) Método usado: 151. (13) Método usado: 251. (14) Medido em provetes de 10 mm de espessura. (15) Configuração de eletrodos: cilindros ø 25/75mm coaxiais, no eixo de transformador de acordo com IEC 60236. Amostras teste de 1 mm de espessura.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

- x. Processo de Anodização Tartárica Sulfúrica

Confidencial

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

xi. Características da quinadeira AMADA EG6013 AR



DIMENSIONS
EG-6013 AR
(L) 5045 x (W) 3610 x (H) 3028

Unit: mm

MACHINE SPECIFICATIONS

PRESS BRAKE		EG-6013AR	
Capacity	kN	600	
Open height	mm	635	
Stroke length	mm	150	
Approach speed	mm/s	220	
Bending speed	mm/s	25 (without robot follow-up)	
ROBOT		EG-6013AR	
Axis composition		Robot: 6 axes, Travel axis: 1 axis	
Payload	kg	10 (with gripper)	
Travel axis	Stroke length	m	3.2
Grippers	Number of grippers for bending	2 (combination type)	
	Number of grippers for tools	1	
Tool stockers	Number of tool stockers	10 (stocker type LS2)	
	Number of loading positions	4	
Loader	Workpiece size	mm	300 x 300
	Workpiece stack height	mm	300
	Number of containers	2	
Unloader (option)	Conveyor size	mm	550 x 2000
	Conveyor capacity	kg	60
Maximum workpiece size	mm	300 x 300 x 2.5	
Minimum workpiece size	mm	40 x 80 x 0.6	

Specifications, appearance, and equipment are subject to change without notice by reason of improvement.



For Your Safe Use
Be sure to read the operator's manual carefully before use.
Use of this product requires hazard prevention measures to suit your work.

- Hazard prevention measures are removed in the photos used in this catalogue.
- Safety devices recommended by Amada are available as options for your use in taking appropriate safeguard measures to suit the parts you produce.

The official model name of machine described in this catalogue is EG6013AR. Use the registered model name when you contact the authorities for applying for installation, exporting, or financing. The hyphenated spelling EG-6013AR is used in some portions of this catalogue for ease of readability.

AMADA UK LTD.
Spennells Valley Road,
Kiddeminster,
Worcestershire DY10 1XS
United Kingdom
Tel: +44 (0)1562 749500
Fax: +44 (0)1562 749510
www.amada.co.uk

AMADA SA
Paris Nord II
96, avenue de la Pyramide
93290 Tremblay en France
France
Tél: +33 (0)1 49 90 30 00
Fax: +33 (0)1 49 90 31 99
www.amada.fr

AMADA GmbH
Amada Allee 1
42781 Haan
Germany
Tel: +49 (0)2104 2126-0
Fax: +49 (0)2104 2126-999
www.amada.de

AMADA ITALIA S.r.l.
Via Amada I, 1/3
29010 Pontenure
(Piacenza)
Italia
Tel: +39 (0)523 872111
Fax: +39 (0)523 872101
www.amada.it



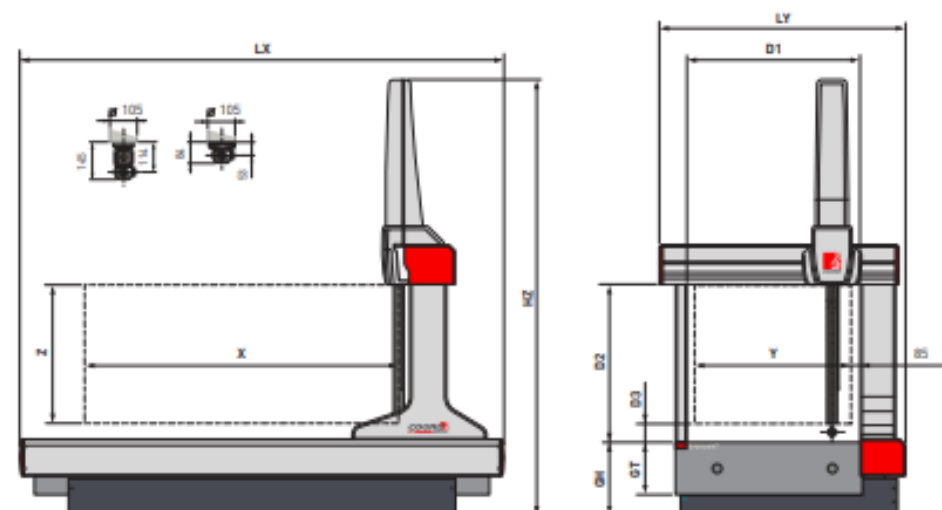
E049-EU03en - Septembre 2017 - © AMADA EUROPE. All rights reserved.

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais



“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

KRONOS NT 13.10-15.13



PERFORMANCE

Modelo	Maximum Permissible Error ISO 10360-2 / ISO 10360-4												Max. 3D Pos. Speed	Max. 3D Accel.		
	MPE [μm], L [mm], t [mm]															
	$T_p: 18 \pm 22^\circ\text{C}$						$T_p: 16 \pm 26^\circ\text{C}$									
	PH10M-TP20		PH10M-TP200		PH10M-SP25		PH10M-TP20		PH10M-TP200		PH10M-SP25					
⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁	⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁	⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁	⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁	⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁	⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁	⁽¹⁾ MPE ₀	⁽²⁾ MPE ₁			
[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[mm/s]	[mm/s ²]			
xx.13.10	3,0 + L/285	3,0	2,8 + L/285	2,8	3,5 + L/285	3,5	5,0/120	3,7 + L/143	3,7	3,5 + L/143	3,5	3,3 + L/143	3,3	4,5/120	700	1200
xx.15.13	3,5 + L/285	3,5	3,3 + L/285	3,3	3,2 + L/285	3,2	4,5/120	5,0 + L/143	5,0	4,5 + L/143	4,5	4,8 + L/143	4,0	8,0/120	700	950
30.15.13	3,5 + L/285	3,5	3,3 + L/285	3,3	3,2 + L/285	3,2	4,5/120	5,0 + L/133	5,0	4,5 + L/133	4,5	4,8 + L/133	4,0	8,0/120	700	950

Performance data are only valid if the following specifications are met:
 - PH10M/PH10M0/TP200/TP2000. Tip diameter $\varnothing 4$ mm x Stylus length 10 mm
 - PH10M0/SP25. SMI, Stylus $\varnothing 5$ mm x 50 mm
 - L = measuring length in mm
 - Ambient temperature

$T_p: 18 \pm 22^\circ\text{C}$, Max. Gradients: $1,0^\circ\text{C/h} - 2,0^\circ\text{C/5h} - 0,5^\circ\text{C/h}$
 $T_p: 16 \pm 26^\circ\text{C}$, Max. Gradients: $1,0^\circ\text{C/h} - 5,0^\circ\text{C/5h} - 1,0^\circ\text{C/h}$

⁽¹⁾ According to ISO 10360-2, Error of indication of a CMM for size measurement

⁽²⁾ According to ISO 10360-2, Probing Error

⁽³⁾ Scanning probe error according to ISO 10360-4 applicable to the SP25/SP80 probes only

STROKES, DIMENSIONS, WEIGHTS

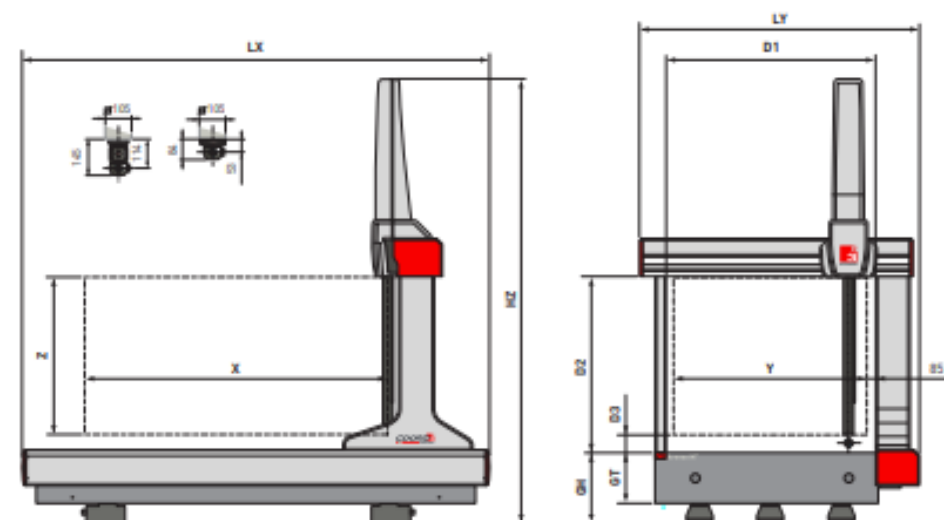
Modelo	Measuring Strokes			Overall Dimensions ⁽¹⁾			Surface Plate				Daylights			Weights		
	X	Y	Z	LX	LY	HZ	Height	Thickness	M8 Hole Pattern	X	Y	D1	D2	D3	Max. Part Weight	Machine Weight
	[mm]			[mm]			[mm]				[mm]		[mm]			[kg]
20.13.10	2000	1300	1000	3430	2154	3540	700	340	250	250	1455	1200	144		4000	4200
20.15.13	2000	1500	1300	3430	2354	4140	700	340	250	250	1455	1500	180		4500	4770
25.15.13	2500	1500	1300	4130	2354	4140	700	430	200	300	1455	1500	180		5000	5550
30.15.13	2000	1500	1300	4430	2354	4140	700	430	200	300	1455	1500	180		5000	5550

For detailed dimensions refers to the installation drawings.

⁽¹⁾ Table (900 x 700 mm) and control cabinet (400 x 400 x 1096 mm) not included

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

KRONOS NT 20.15



PERFORMANCE

Models	Maximum Permissible Error ISO 10360-2 / ISO 10360-4												Max. 3D Pos. Speed	Max. 3D Accel.		
	MPE [μm], L [mm], v [mm/s]															
	T_p 18+22 °C						T_p 16+26 °C									
	PH10M-TP20		PH10M-TP200		PH10M-SP25		PH10M-TP20		PH10M-TP200		PH10M-SP25					
	⁽¹⁾ MPE _v	⁽²⁾ MPE _v	⁽¹⁾ MPE _v	⁽²⁾ MPE _v	⁽¹⁾ MPE _v	⁽²⁾ MPE _v	⁽¹⁾ MPE _v	⁽²⁾ MPE _v	⁽¹⁾ MPE _v	⁽²⁾ MPE _v	⁽¹⁾ MPE _v	⁽²⁾ MPE _v				
	[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[μm]		[mm/s]	[mm/s ²]		
xx.20.15	4,0 + L/200	4,0	3,8 + L/200	3,8	3,6 + L/200	3,6	7,5/100	6,5 + L/133	6,5	5,5 + L/133	5,5	5,3 + L/133	5,2	16,0/100	500	800

Performance data are only valid if the following specifications are met:
- PH10M/PH10M-TP200/TP200: Tip diameter ϕ 4 mm x Stylus length 10 mm
- PH10M/SP25: SM1, Stylus ϕ 5 mm x 50 mm
- L = measuring length in mm
- Ambient temperature:

T_p 18 + 22 °C; Max. Gradients: 1,0 °C/h - 2,0 °C/0,1h - 0,5 °C/h
 T_p 16 + 26 °C; Max. Gradients: 1,0 °C/h - 5,0 °C/0,1h - 1,0 °C/h

⁽¹⁾ According to ISO 10360-2, Error of indication of a CMM for size measurement

⁽²⁾ According to ISO 10360-2, Probing Error

⁽³⁾ Scanning probing error according to ISO 10360-4 applicable to the SP25/SP0 probe only

STROKES, DIMENSIONS, WEIGHTS

Models	Measuring Strokes			Overall Dimensions ⁽¹⁾			Surface Plate			Daylights			Weights			
	X	Y	Z	LX	LY	HZ	Height	Thickness	M8 Hole Pattern	X	Y	D1	D2	D3	Max. Part Weight	Machine Weight
	[mm]			[mm]			[mm]			[mm]			[kg]			
33.20.15	3300	2000	1500	4930	2854	6470	610	450	600	400	2155	1700	164	5000	14300	
40.20.15	4000	2000	1500	5930	2890	6512	650	450	600	400	2155	1700	164	5000	20000	
50.20.15	5000	2000	1500	6930	2890	6512	650	450	600	400	2155	1700	164	5000	21000	

For detailed dimensions refers to the installation drawings.

⁽¹⁾ Table (900 x 700 mm) and control cabinet (400 x 400 x 1000 mm) not included

“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

TECHNICAL CHARACTERISTICS

STRUCTURE

Coordinate Measuring Machine, CNC type, with mobile bridge structure on granite table machine base

Guideways:

X Axis: dovetail guideways, machined into the granite table
Y Axis: micromachined anodized light alloy extrusion
Z Axis: Silicon Carbide extrusion

Drive Method:

X axis: zero hysteresis friction drive [20.13.10/20.15.13], rack & pinion system
Y axis: zero hysteresis friction drive
Z axis: zero hysteresis friction drive

Sliding System:

Air bearings on all axes

Motion Control:

DC servomotor on all axes

Thermal Compensation:

Multi-sensors temperature compensation system [total 5 sensors] for part and scale

Measuring System:

Linear scales, System Resolution: 0,5 µm

PROBING SYSTEM

Motorized Probe Head:

PH10M, PH10MQ

Point-to-point Trigger Probe:

TP20, TP200

Analog Contact Probe:

SP25, SP80 (Optional)

Laser Probe:

NIKON Metrology LC/XC series [qualification sphere included]

Stylus and Probe Changer:

Fully automated stylus and probe changers

CONTROL UNIT

Terminal Unit is used by the operator to manually control the motorized measuring machine.
The controller features the continuous interpolation of axes motion for cycle time optimization.

Optional

- Index/continuous Rotary Table

WARRANTY

12 months from the date of acceptance test or a maximum of 15 months from date of shipment

ENVIRONMENT

Temperature Range for Metrological Specification:

T₁: Temperature Range: 18 + 22 °C

Max. gradient per hour: 1,0 °C/h
Max. gradient per day: 2,0 °C/24h
Max. gradient in space: 0,5 °C/m

T₂: Temperature Range: 16 + 26 °C

Max. gradient per hour: 1,0 °C/h
Max. gradient per day: 5,0 °C/24h
Max. gradient in space: 1,0 °C/m

Operating Temperature:

15 + 35 °C

Relative Humidity:

40 + 80 % (non condensing)

Acceptable Vibrations:

(vibration acceleration between peaks)
30 mm/s² from 1 to 10 Hz
15 mm/s² from 10 to 20 Hz
50 mm/s² from 20 to 100 Hz

Optional

- Metrology Room or CMM protection system

AIR SUPPLY

Air Consumption:

160 NL/min

Minimum Air Supply:

6 Bar (79 PSI)

POWER SUPPLY

Power Supply Voltage:

230 V ± 10%; 50 Hz ± 2% (single phase)

Maximum Power Consumption:

10A 1600 W

[data for CC3 controller only]

Optional

- Voltage: 115 V ± 10%; 60 Hz ± 2% (single phase)

OPTION

Passive vibration insulating system

Active vibration insulation system (AVM)

Multi-wire cable

Loading/unloading pallet system, manual or automatic

PC & Printer

Training c/o Coord3 Center or Agents

Installation by Coord3 or Agents personnel



Coord3 Industrie S.r.l.
Headquarters/Administration and Sales:
Strada Statale 25, n. 3
10050 Bruzolo (TO) - Italia
Tel.: +39 011 9625511 | Fax: +39 011 9625566
info@coord3.it
www.coord3.it | www.coord3-cmm.com

Italian offices:
Via B. Diotti, 21
20153 Milano - Italia
Tel.: +39 02 47999197
Fax: +39 02 47999756



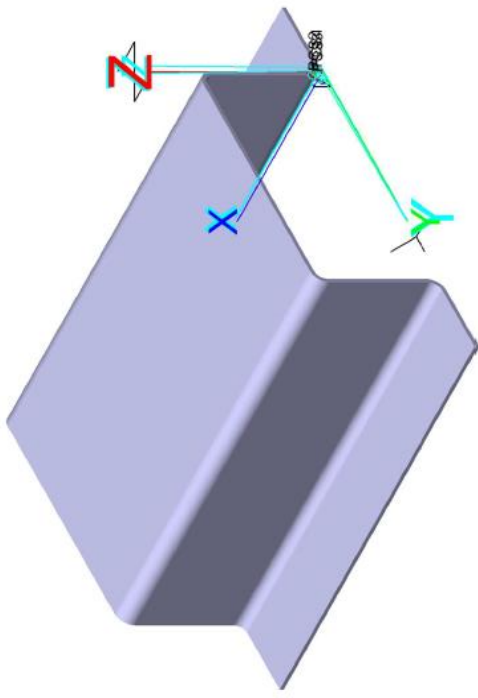
Via degli Cleandri, 8
51100 Luc. Nespole
Chianciano (PT) - Italia
Tel.: +39 0573 925058
Fax: +39 0573 529970

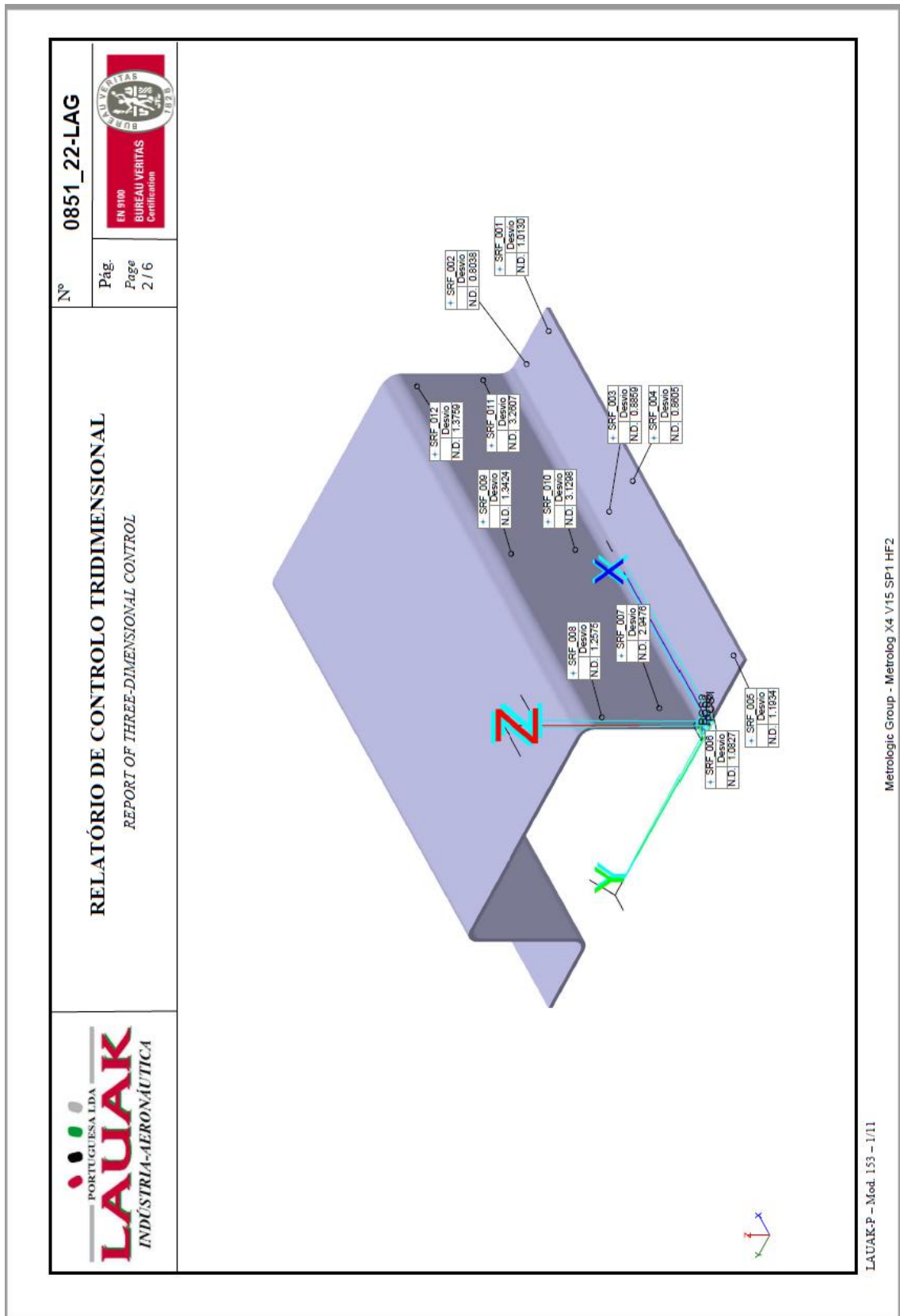
Full list of Agents & Distributors available at www.coord3.it

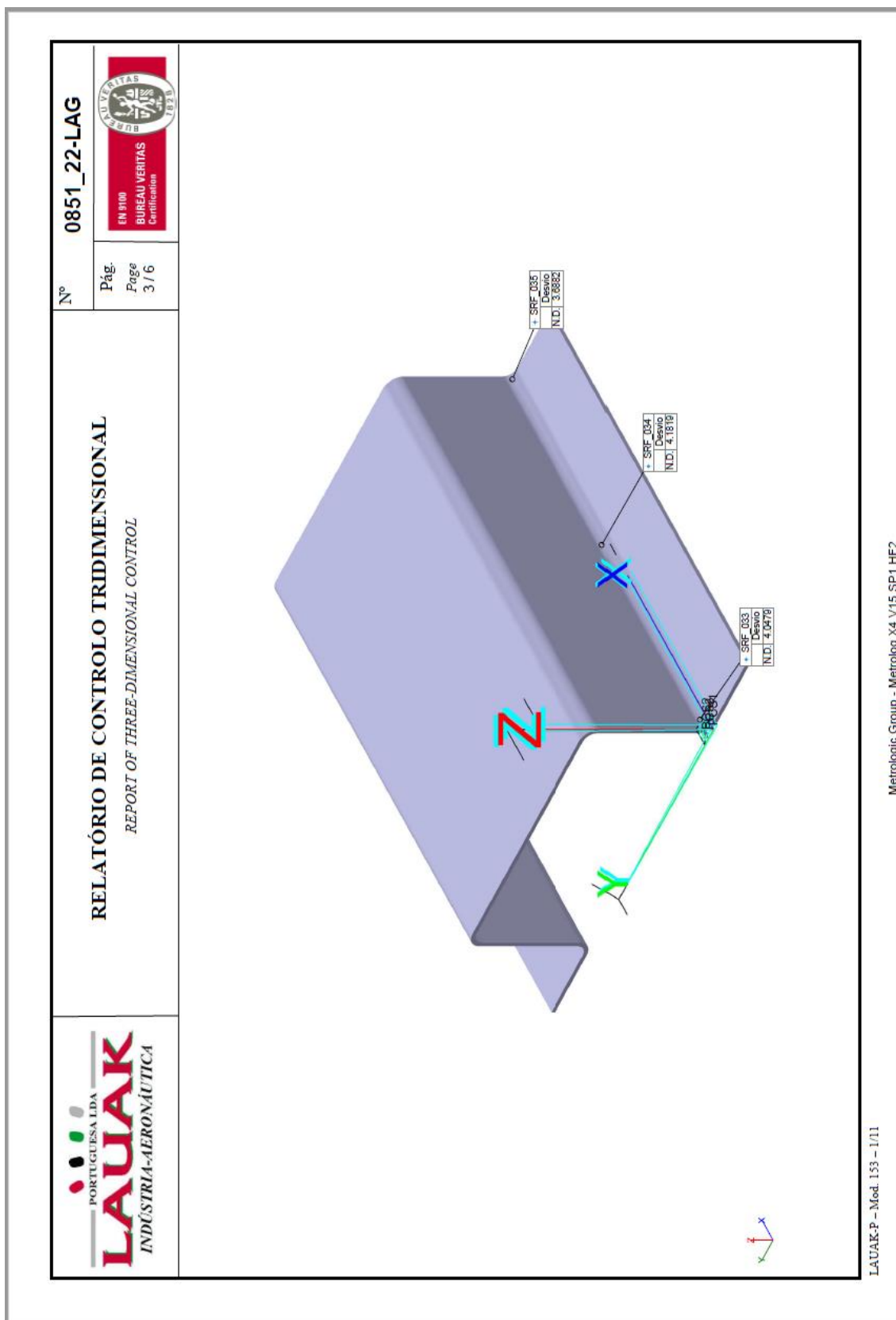
AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
= ISO 9001 =

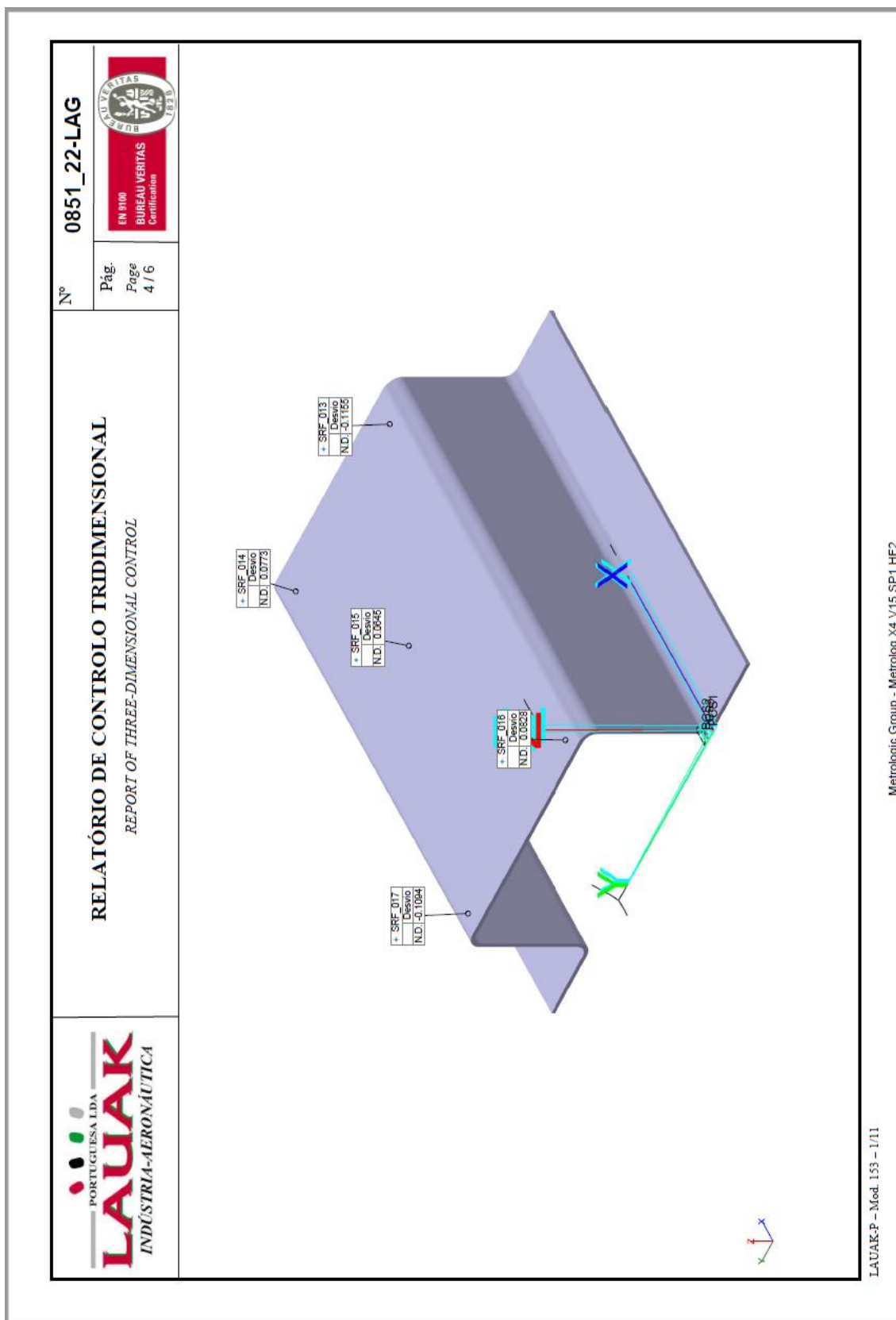
88 - riproduzione e ristampa in tutto il territorio sono vietate per legge e possono essere

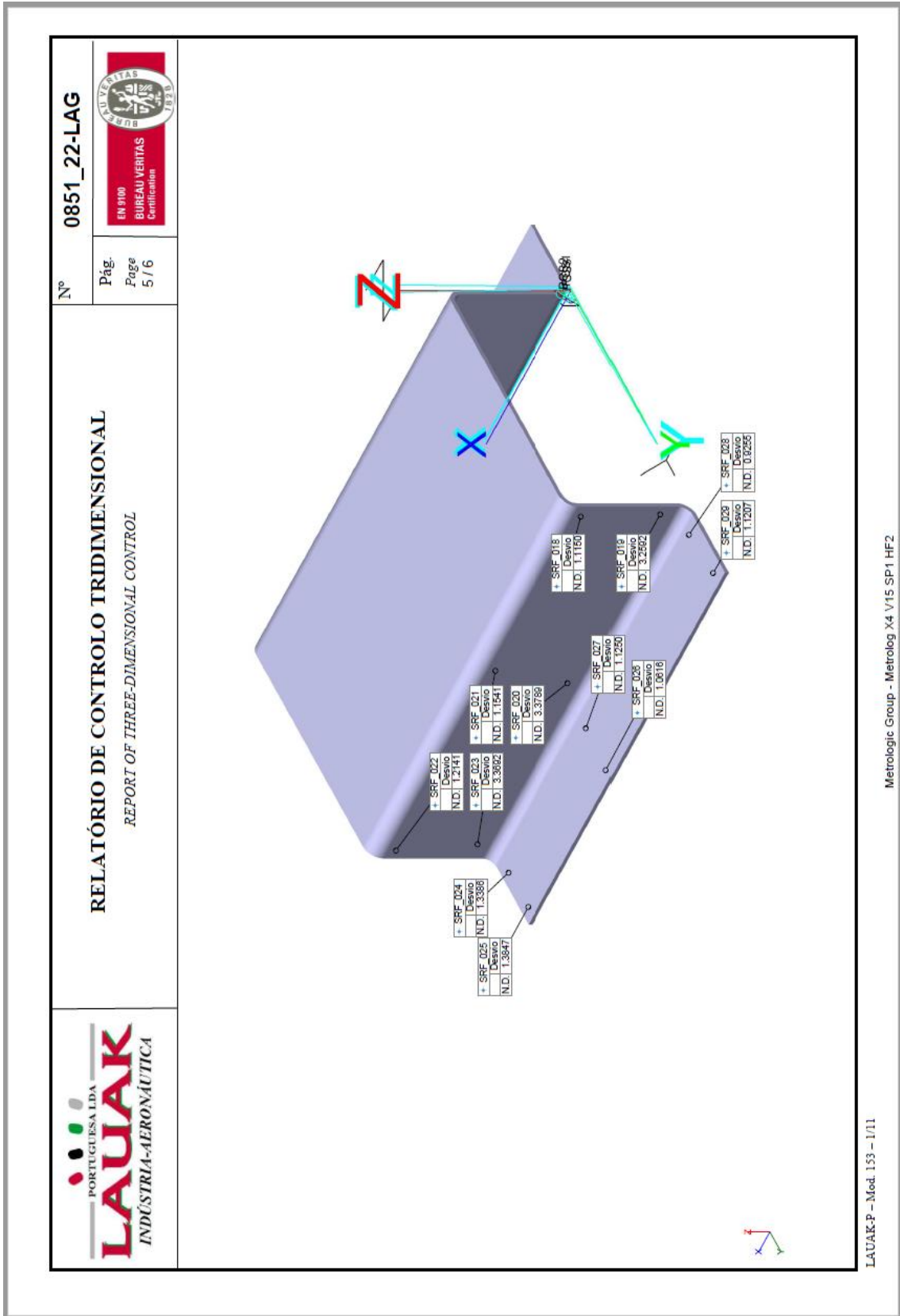
xiv. Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 50

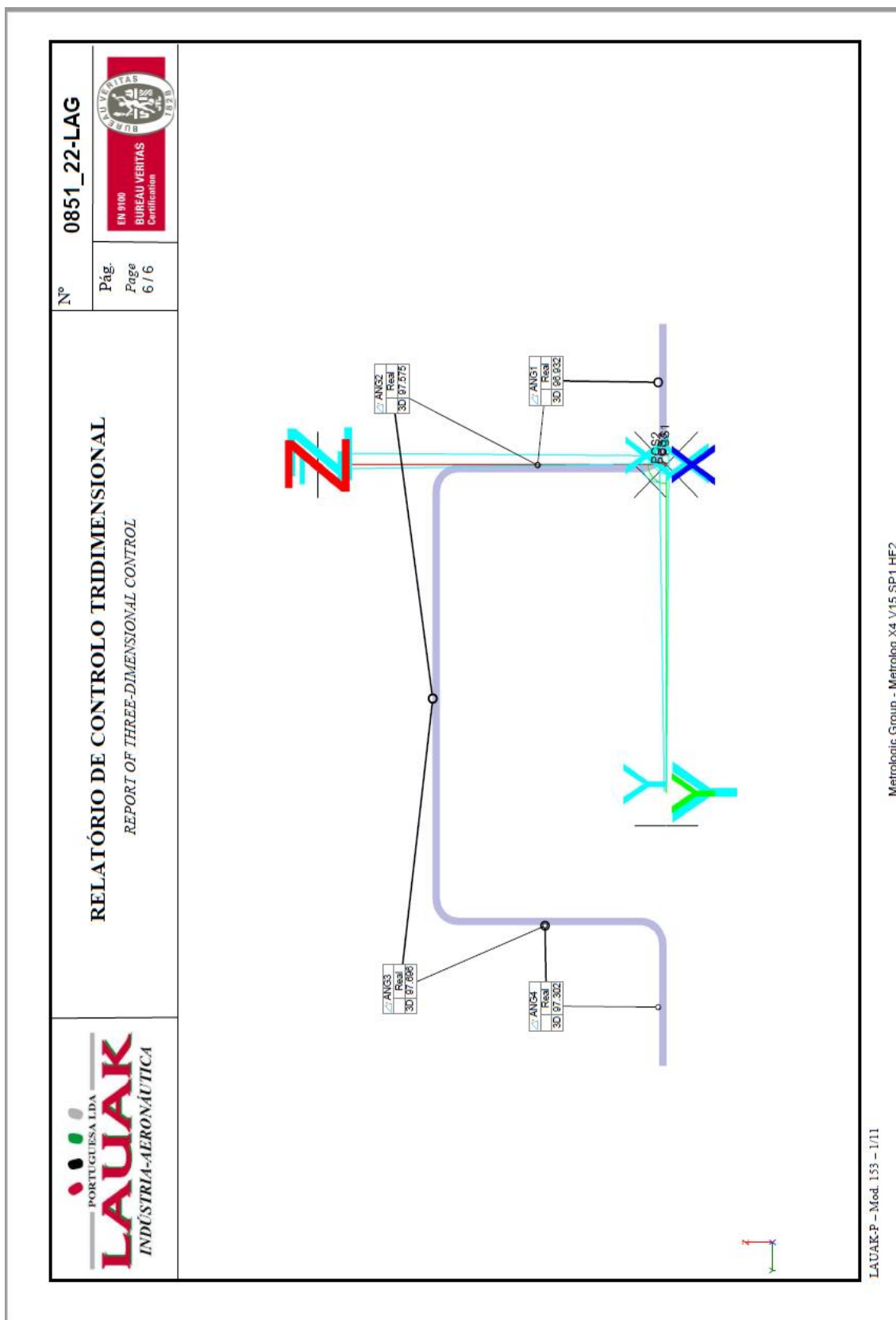
		<p align="center">RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTI</i> Comentário: Vari...</p>		Nº	0851_22-LAG
				Pág- Page	1 / 6
					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment	Marca / Marking	Modelo / Model	Nº de Série/ Serial nr.	Nº EMM / MME nr.	Operador / Operator
CMM	COORD3METRO...	KRONOS NT	04686	LAG 270	JROMAO
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr.	Designação / Designation			Nº de OF / Work Order.Nr.	Data / Date
50	ESTUDO QUINAGEM			28/04/22 11:18:02	
					
LAUAK-P - Mod. 152 - 2/14		Metrolog Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2			





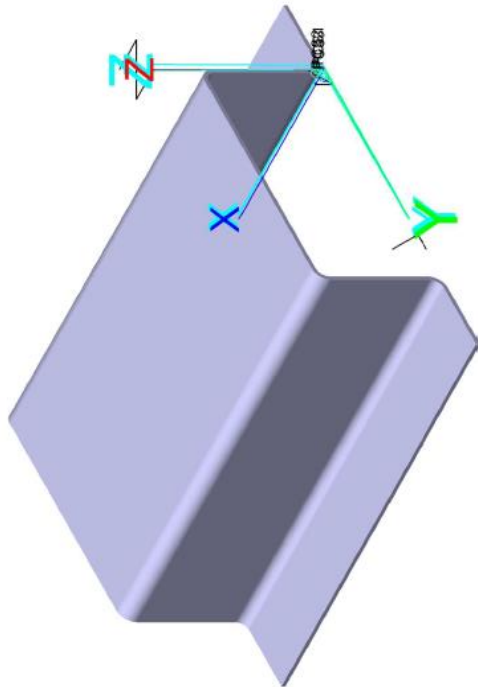


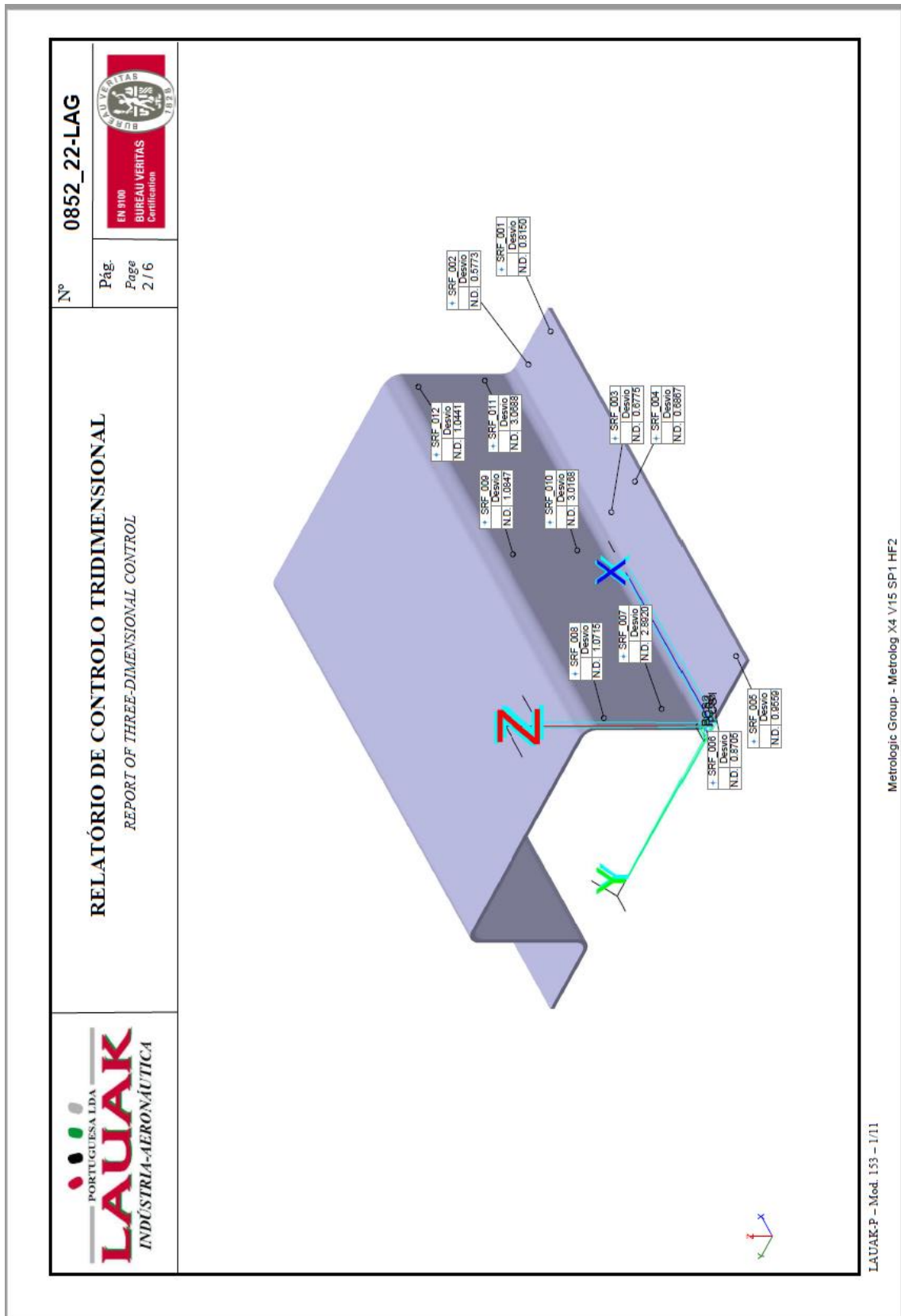


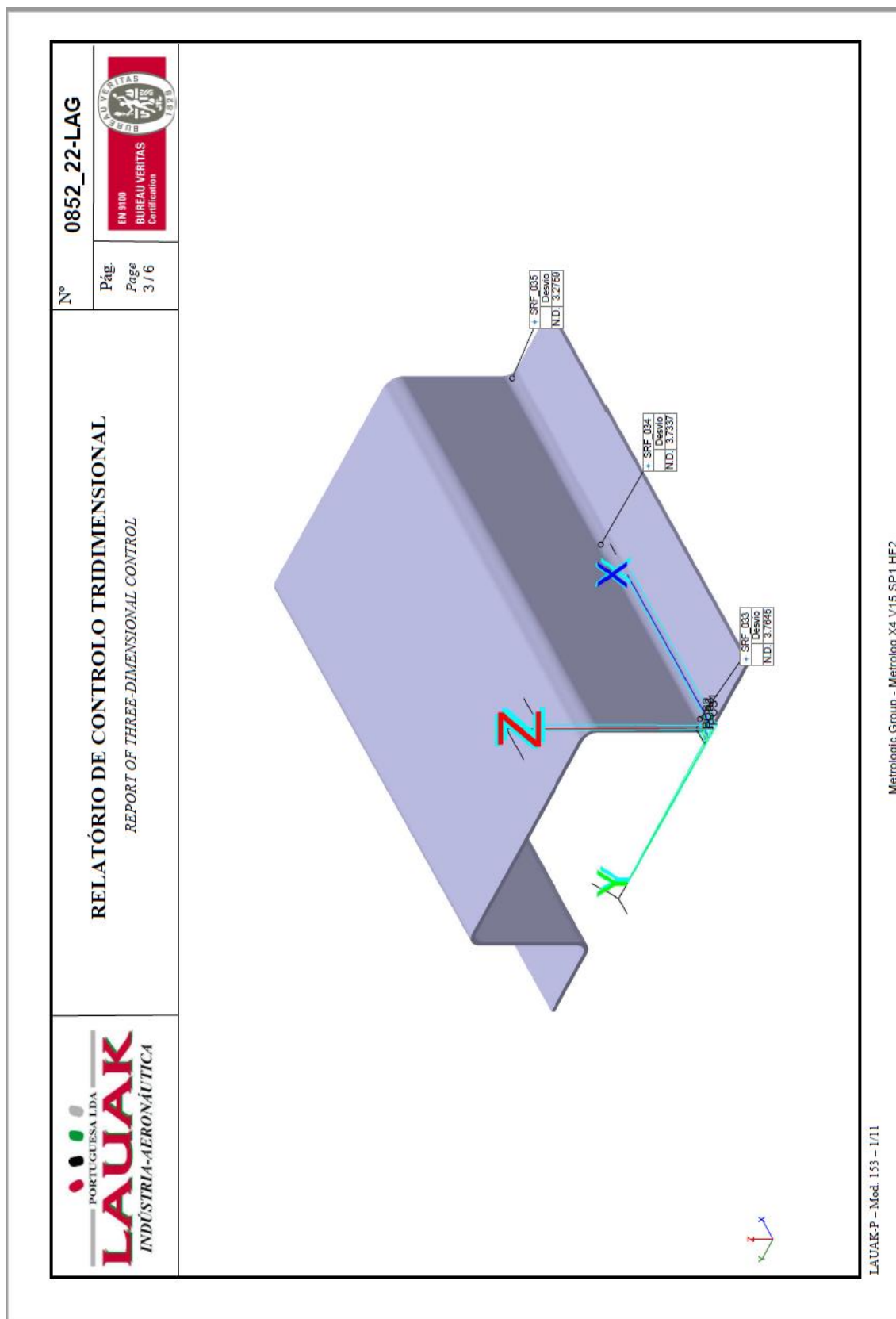




Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 100

	RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <small>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTI Commentário: Vari...</small>		Nº 0852_22-LAG
			
		IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT	Pág. Page 1 / 6
Equipamento / Equipment CMM	Marca / Marking COORD3METRO...	Nº de Série/ Serial nr. 04686	Operador / Operator JROMAO
		IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION	
Nº Peça / Part Nr. 100	Designação / Designation ESTUDO QUINAGEM		Data / Date 28/04/22 11:17:22
			
<small>LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14</small>			
<small>Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2</small>			





RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL
REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL

LAUAK
INDÚSTRIA-AERONÁUTICA

PORTUGUESA LDA

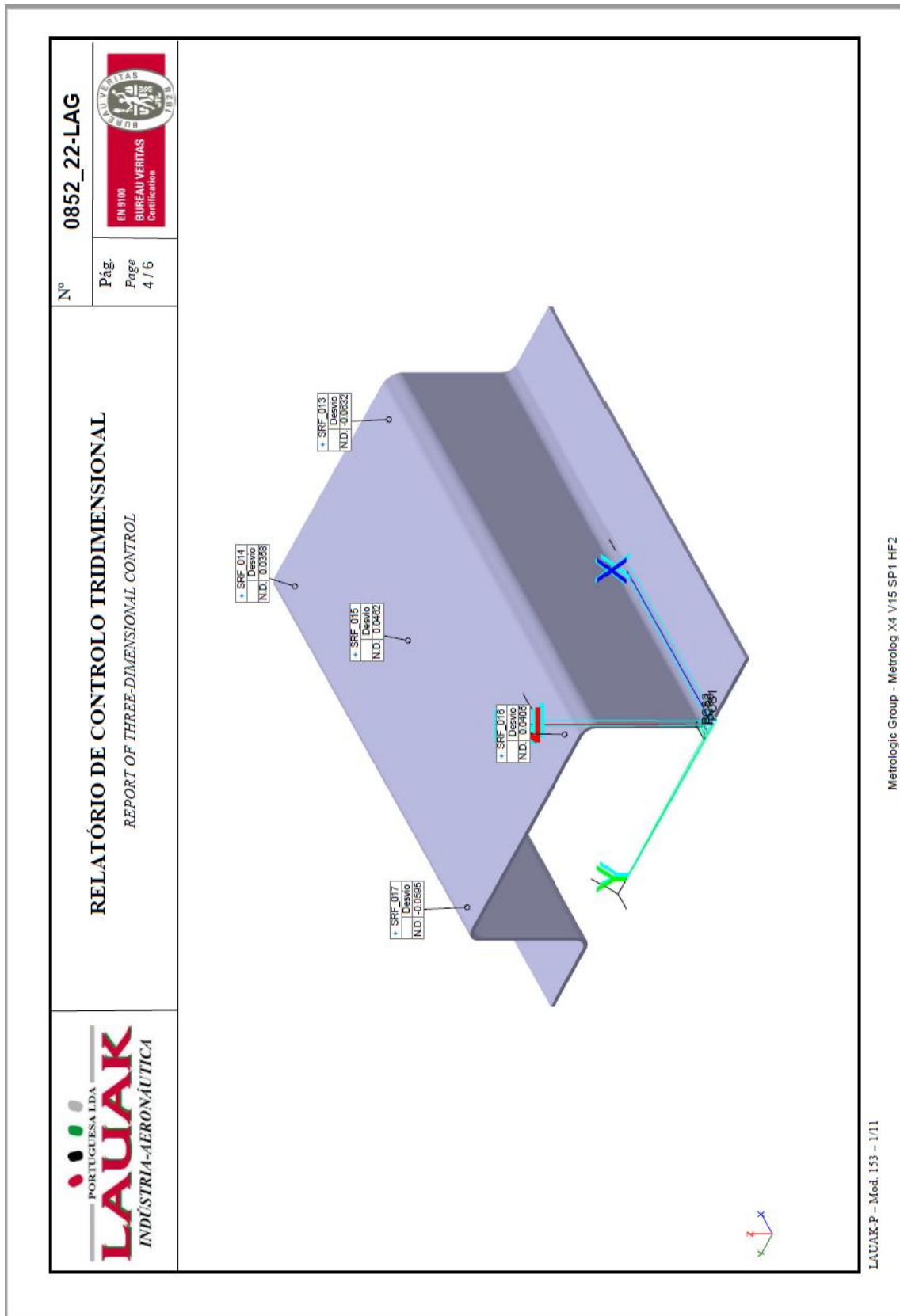
Nº 0852_22-LAG

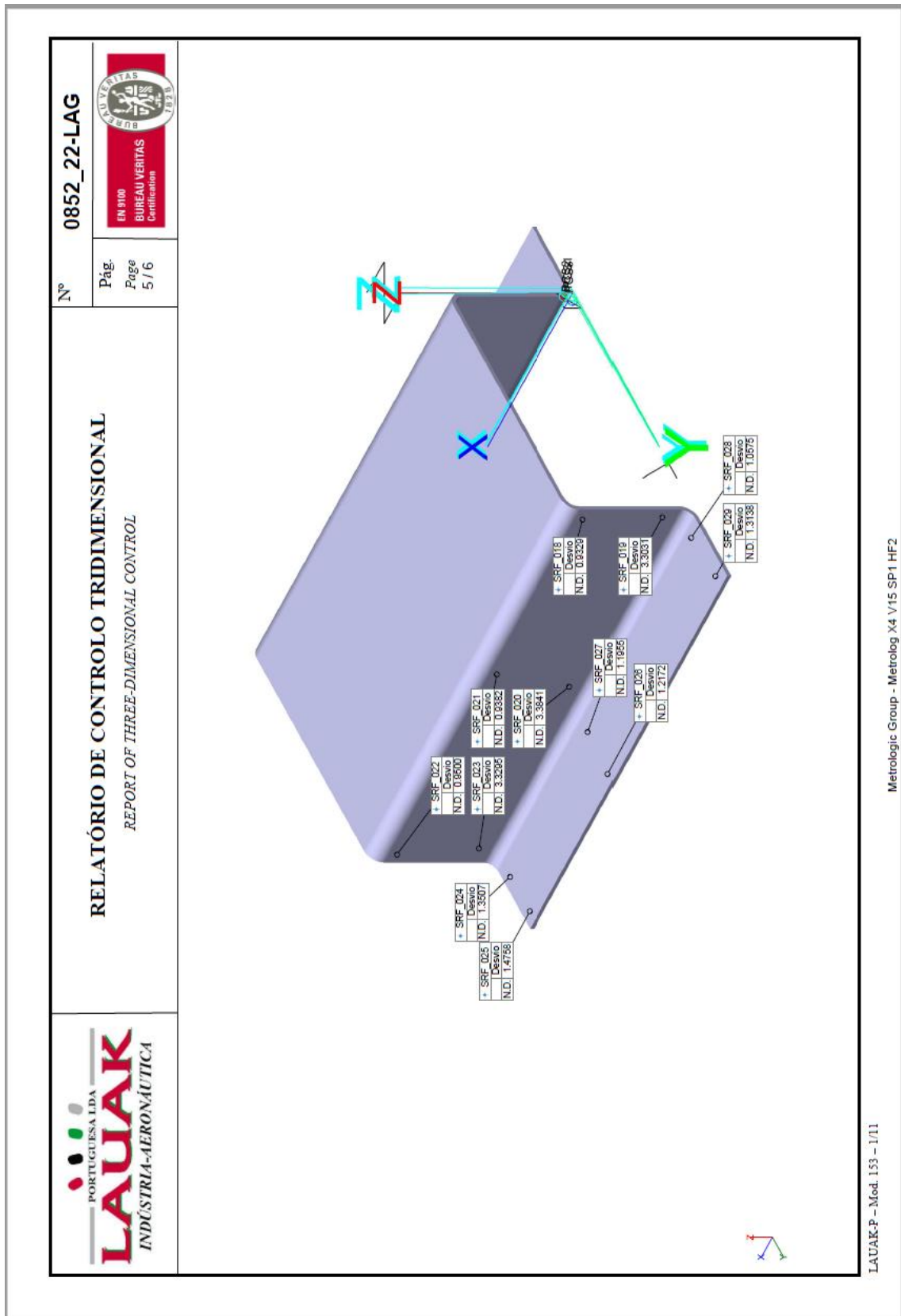
Pág. 3 / 6

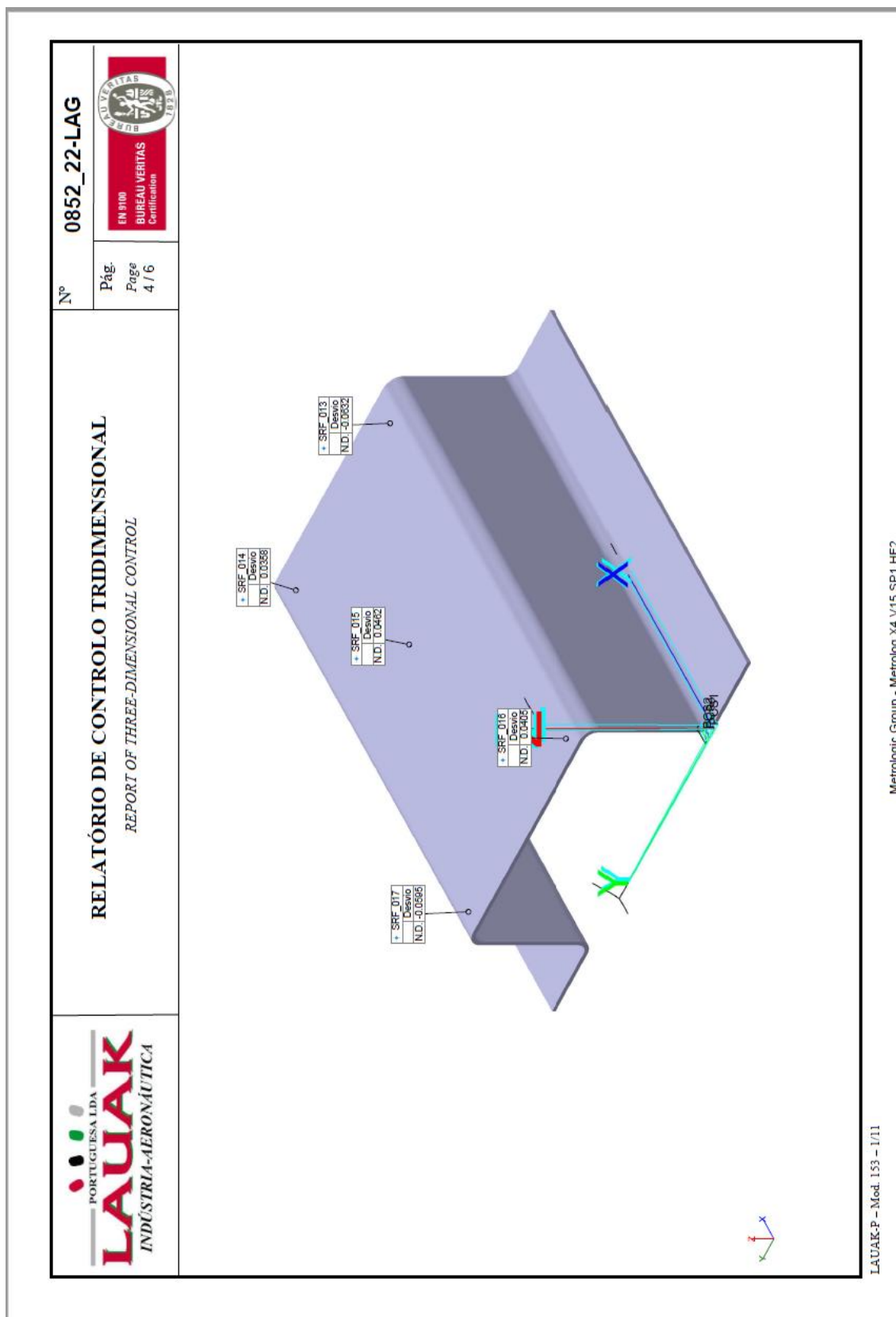
EN 9100
BUREAU VERITAS
Certification

LAUAK-P – Mod. 153 – 1/11



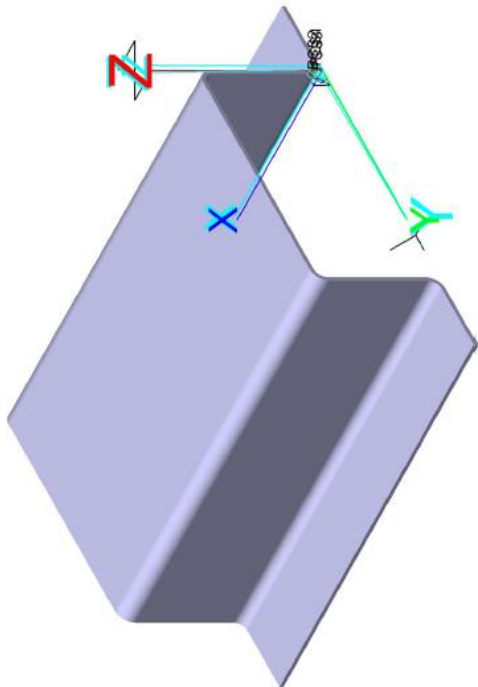
Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2

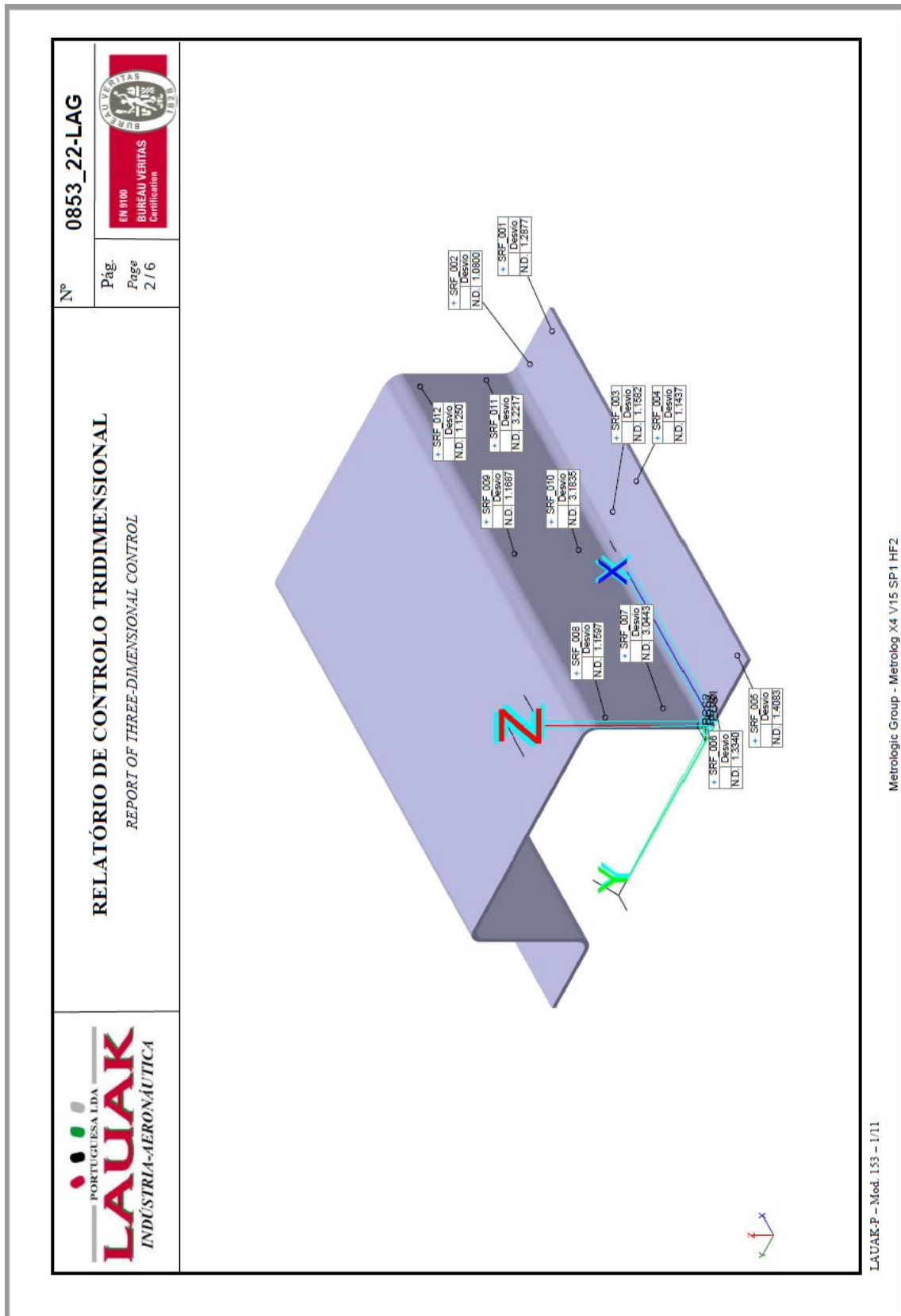


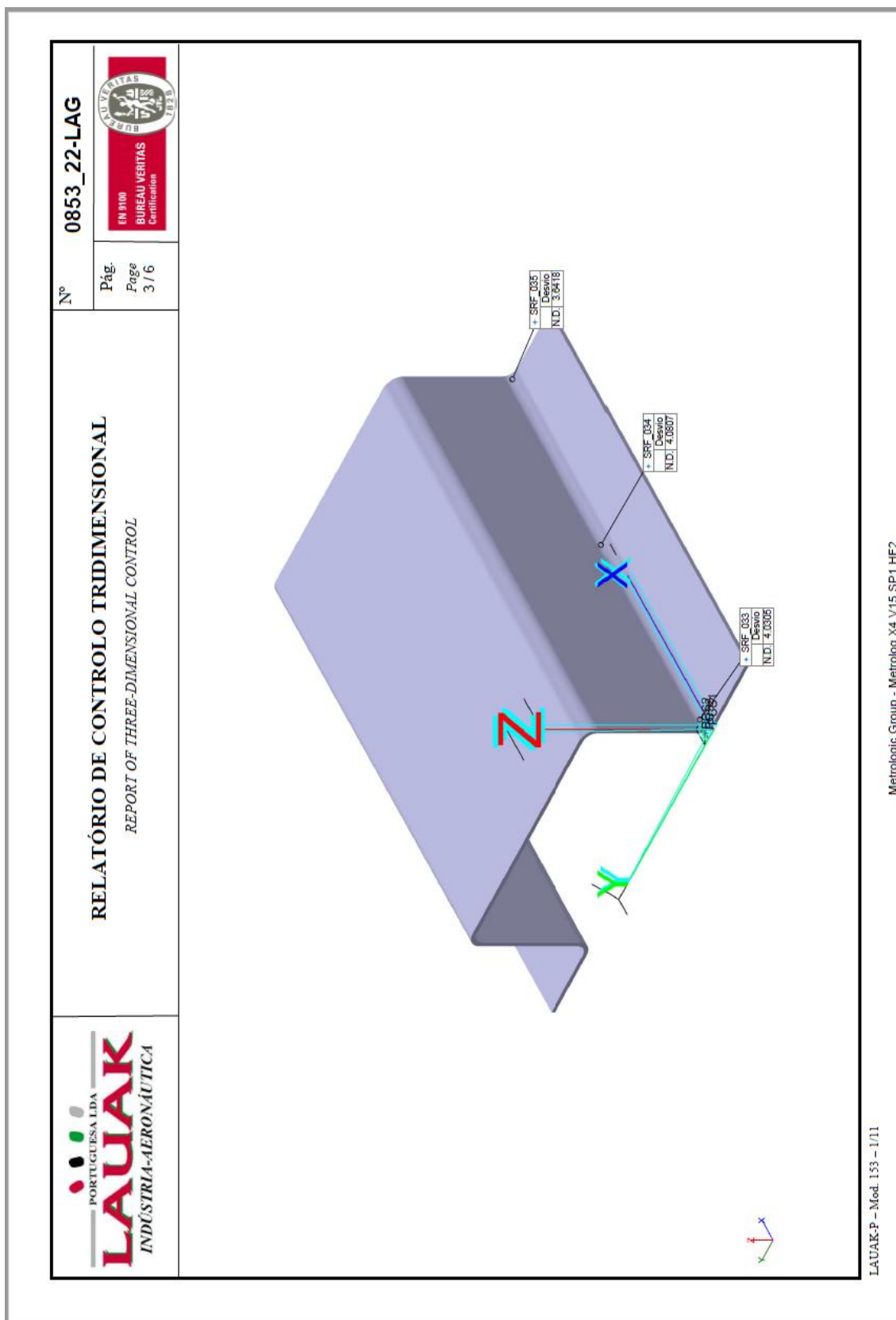


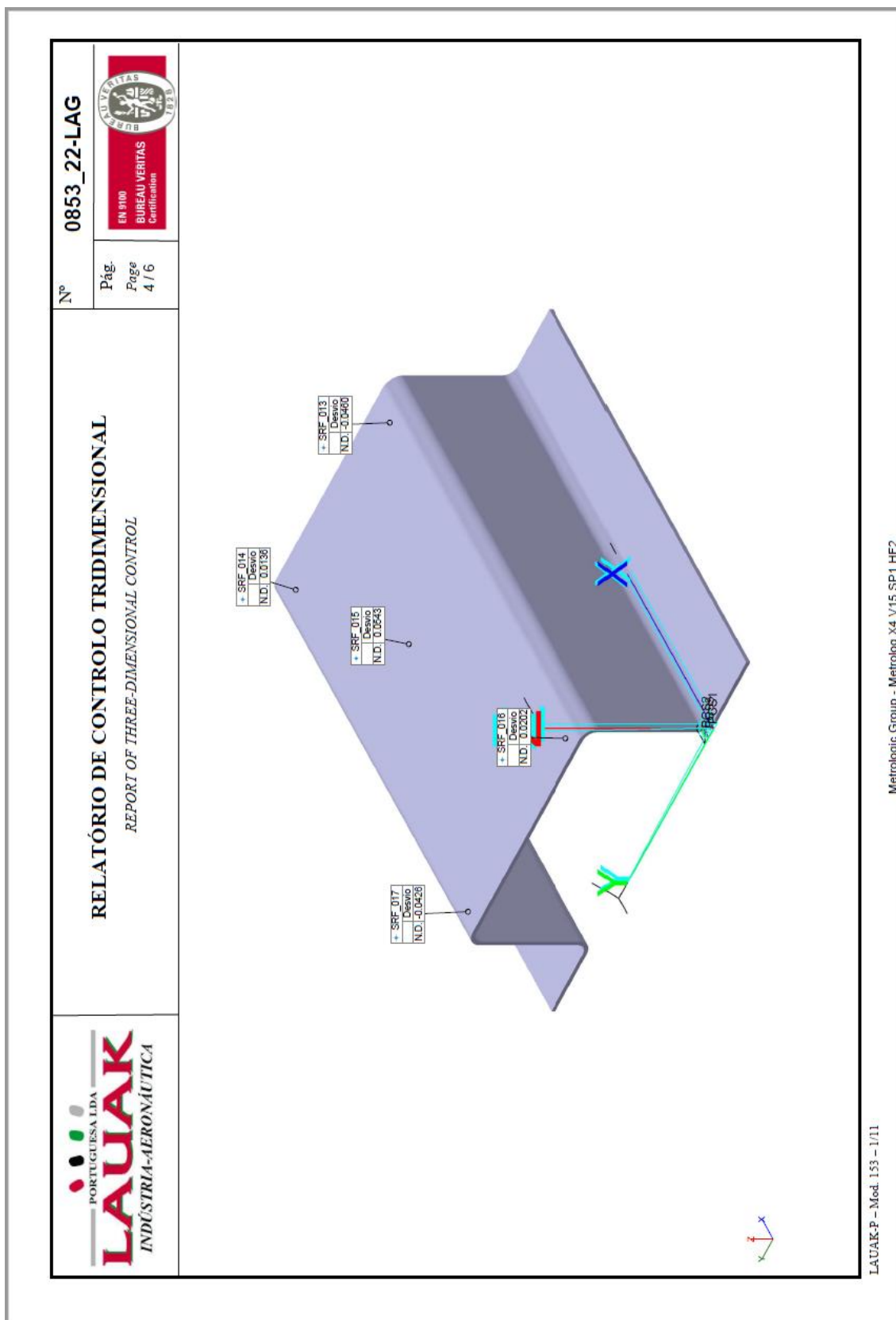


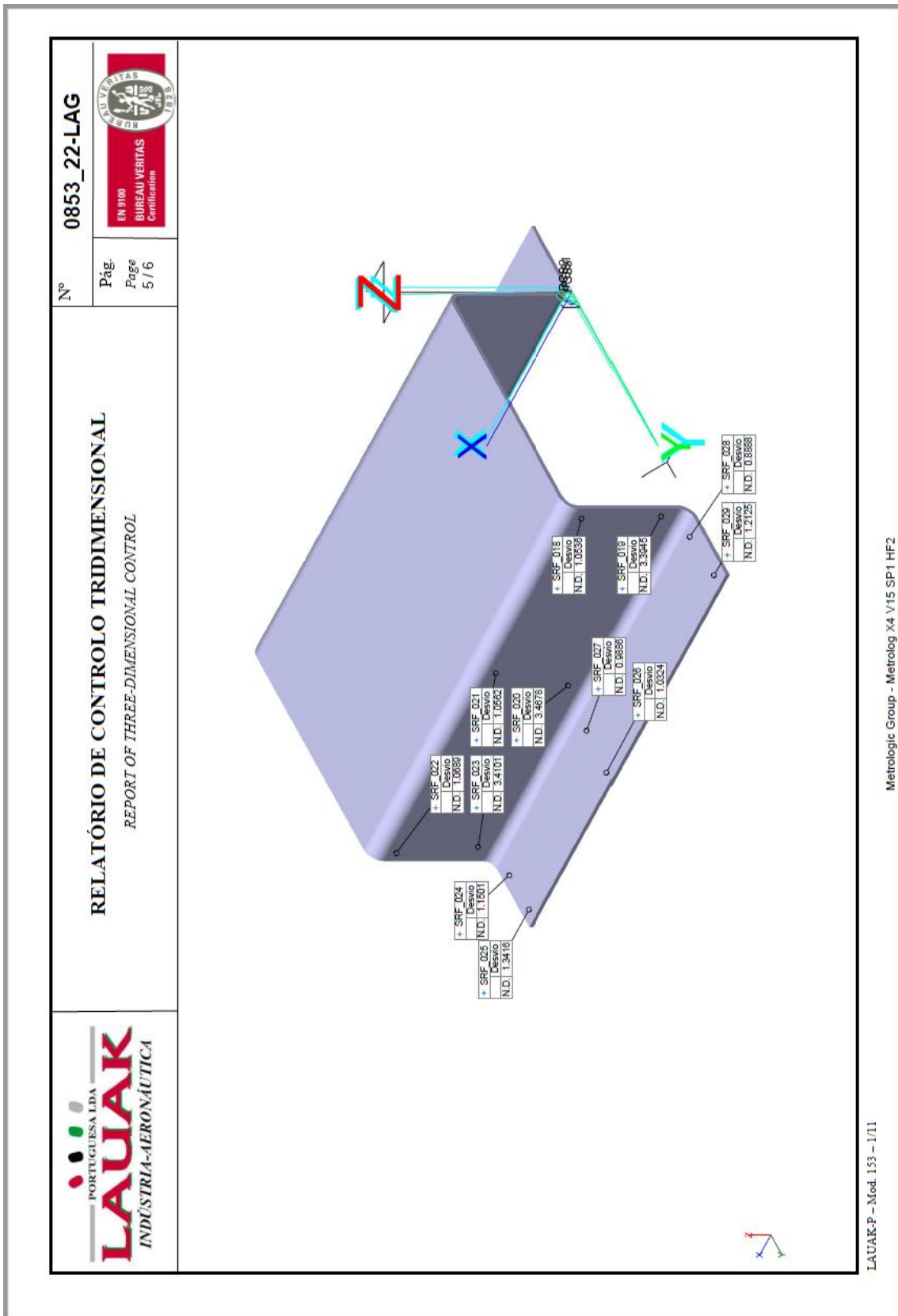
Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 150

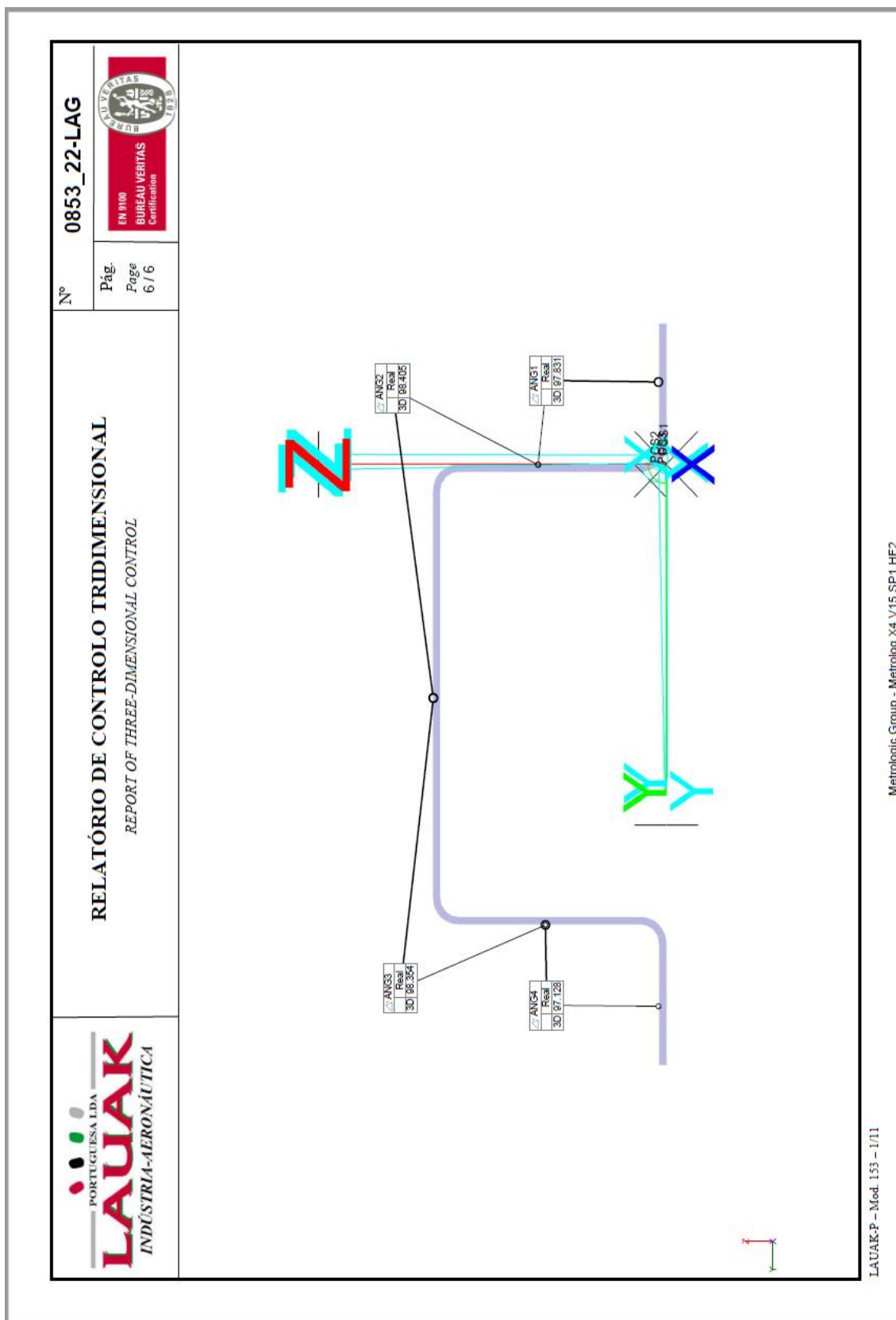
		<p align="center">RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...</p>		Nº	0853_22-LAG
				Pág. Page	1 / 6
					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment	Marca / Marking	Nº de Série/ Serial nr.	Nº EMM / MME nr.	Operador / Operator	
CMM	COORD3METRO...	KRONOS NT	04686	LAG 270	JROMAO
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr.	Designação / Designation			Nº de OF / Work Order Nr.	Data / Date
150	ESTUDO QUINAGEM				28/04/22 11:16:13
					
LAUAK-P - Mod. 152 - 2/14		Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2			





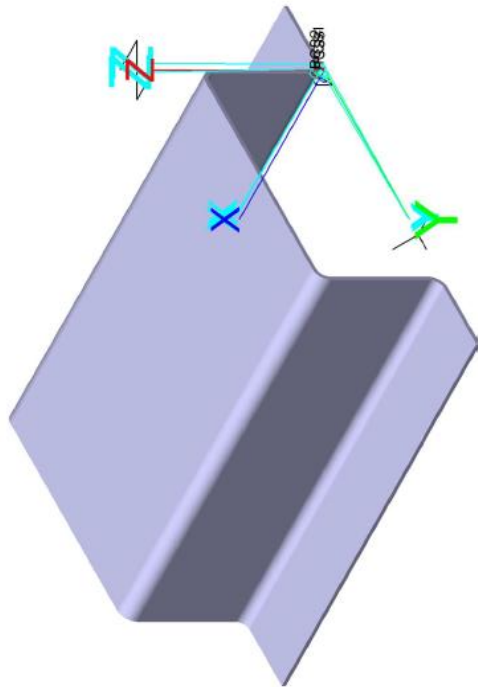



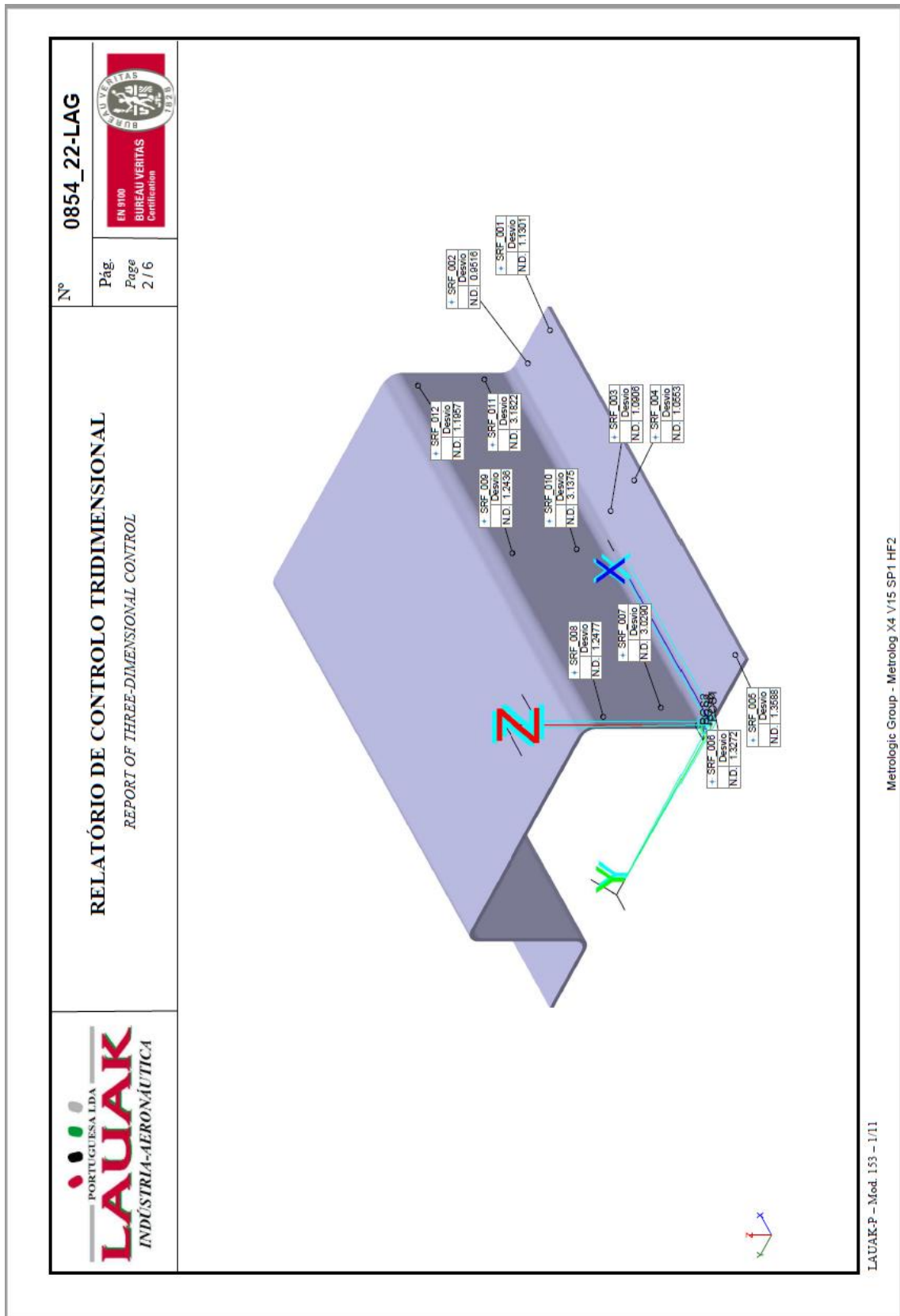


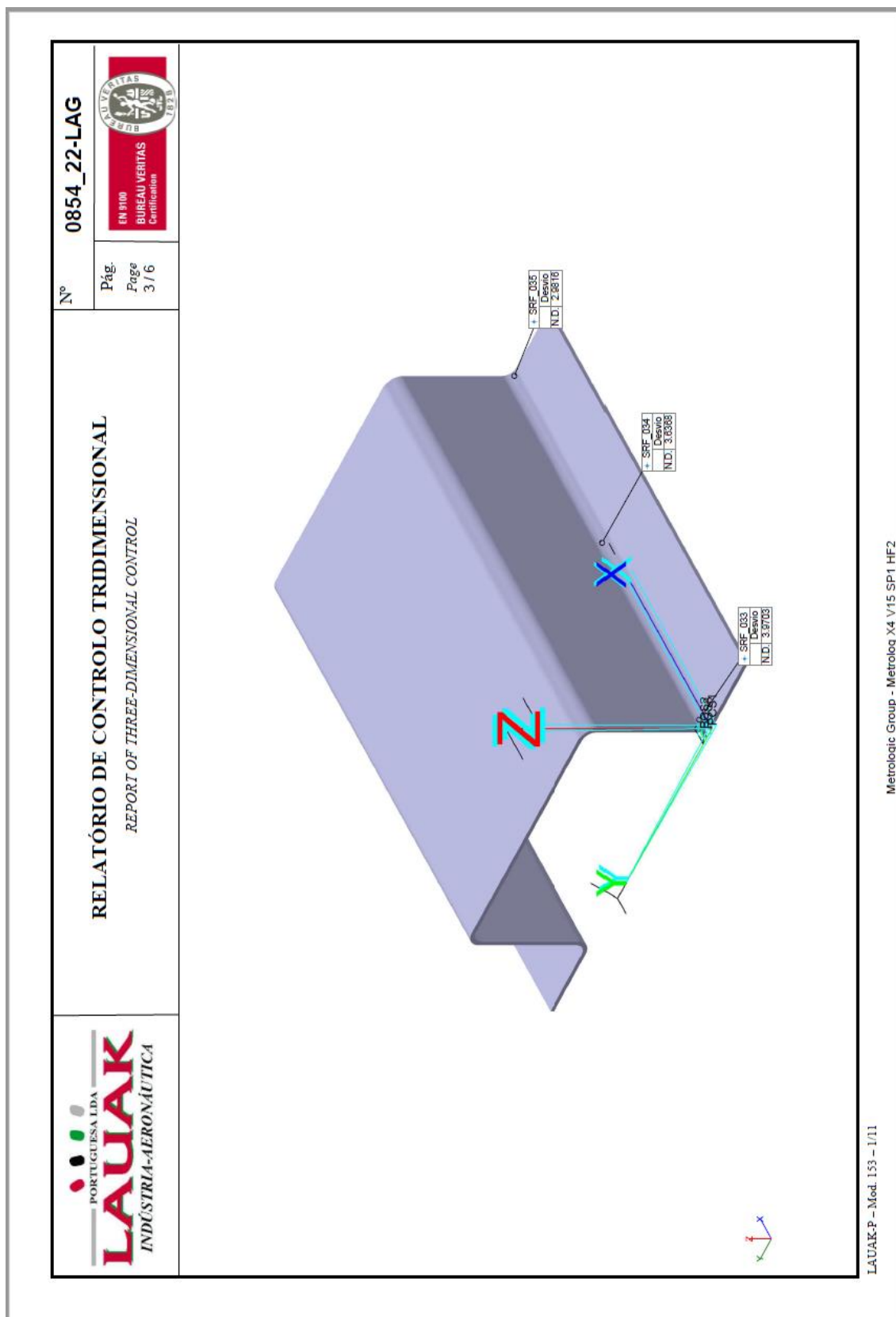


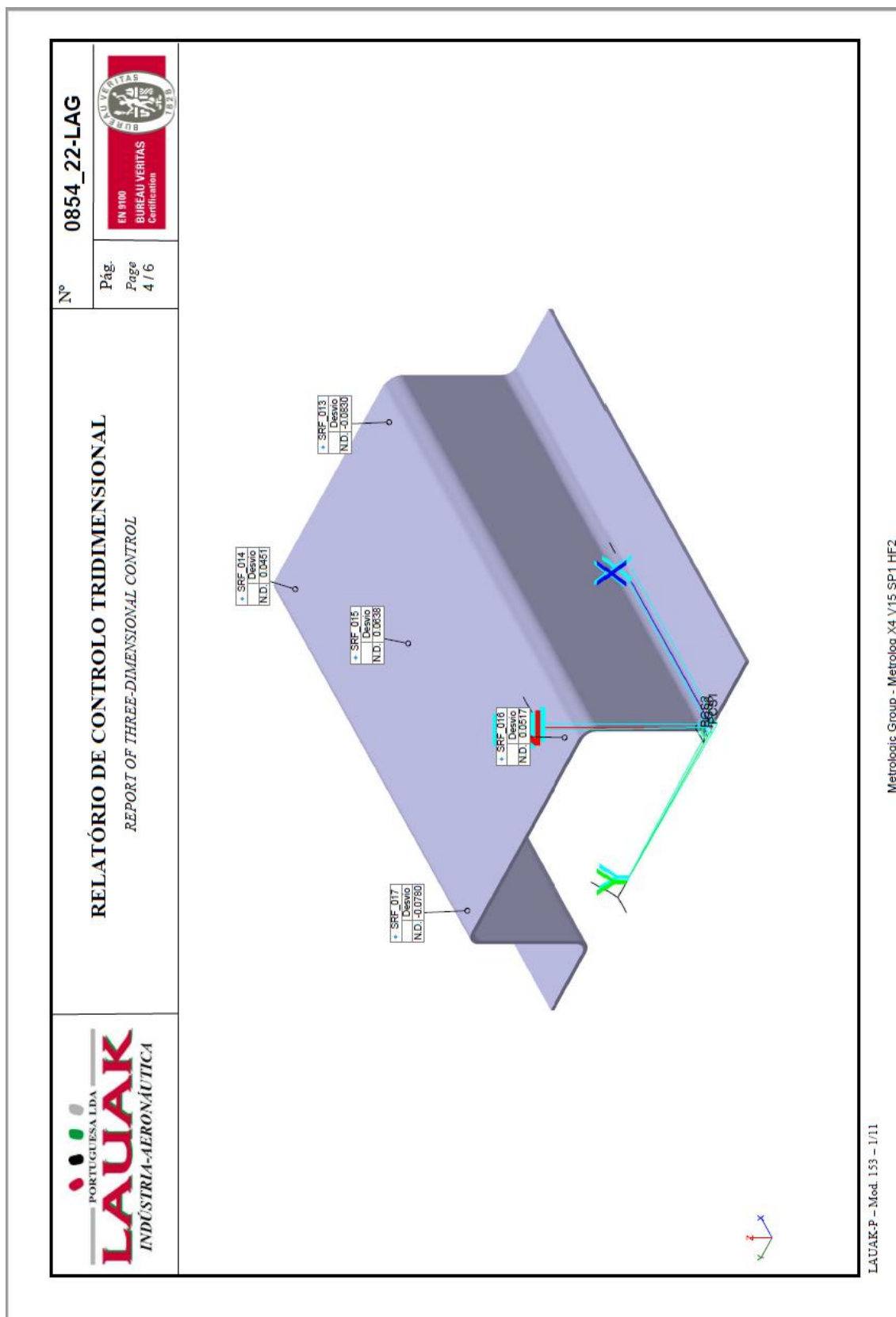


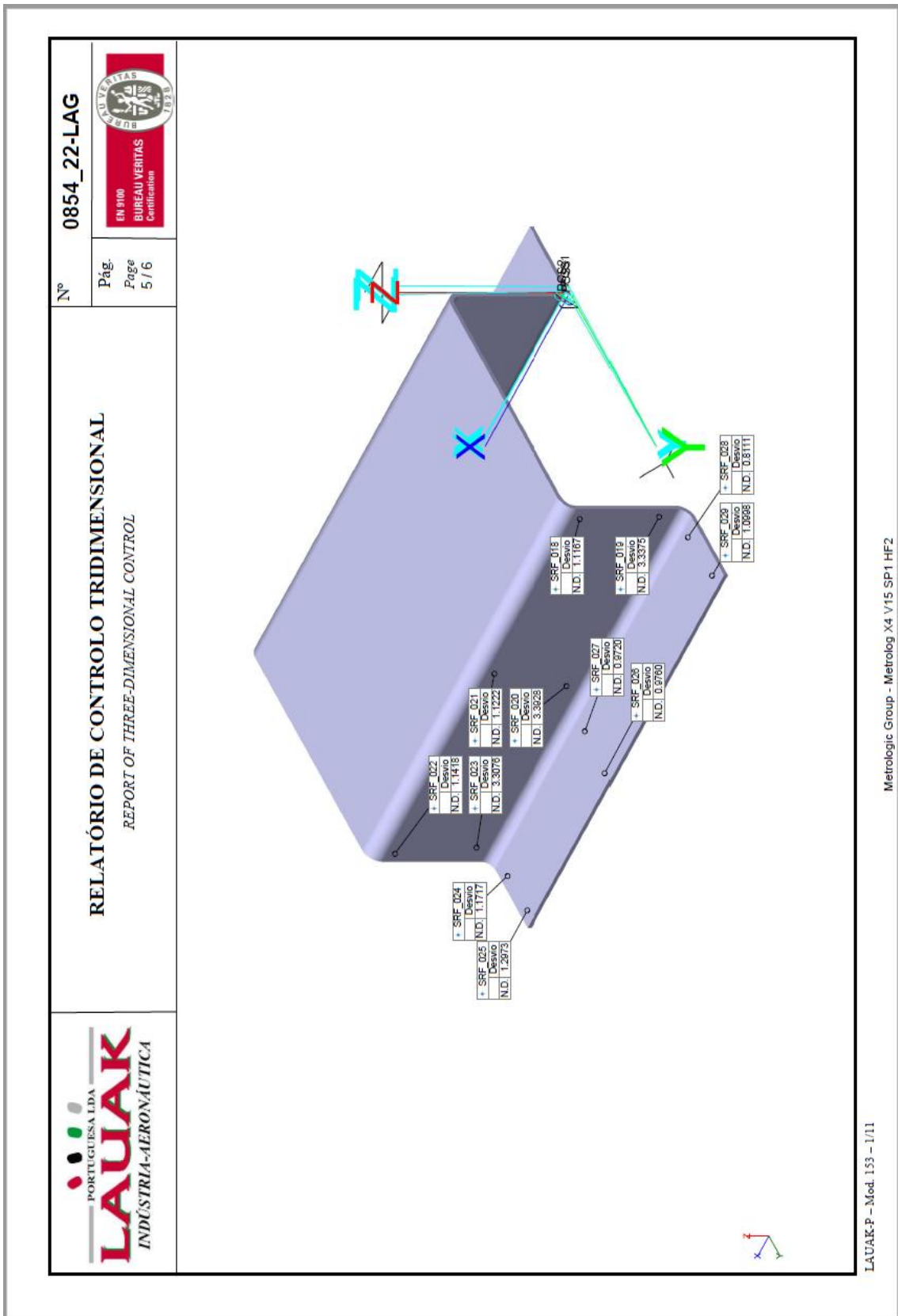
Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 200

		<p align="center">RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...</p>		Nº	0854_22-LAG
				Pág. Page	1 / 6
					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment	Marca / Marking	Nº de Série/ Serial nr.	Nº EMM / MME nr.	Operador / Operator	
CMM	COORD3METRO...	04686	LAG 270	JROMAO	
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr.	Designação / Designation		Nº de OF / Work Order Nr.	Data / Date	
200	ESTUDO QUINAGEM			28/04/22 11:14:12	
					
					
LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14		Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2			

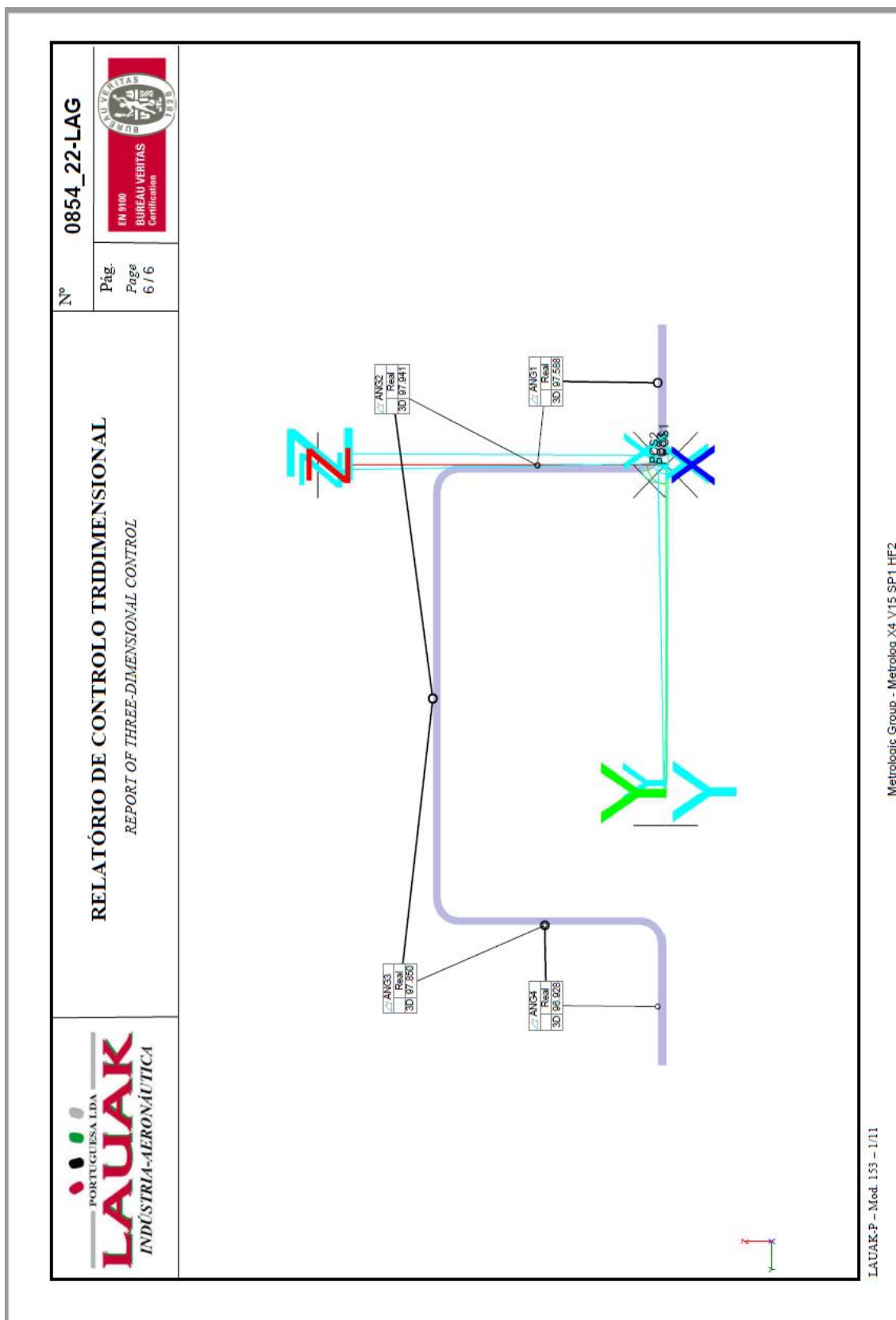






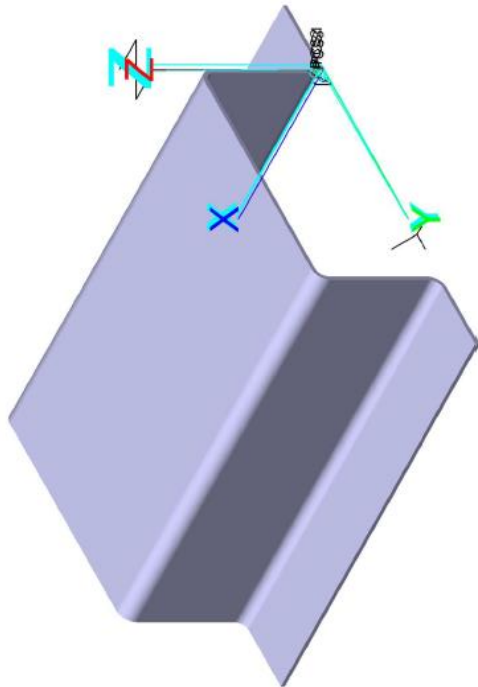


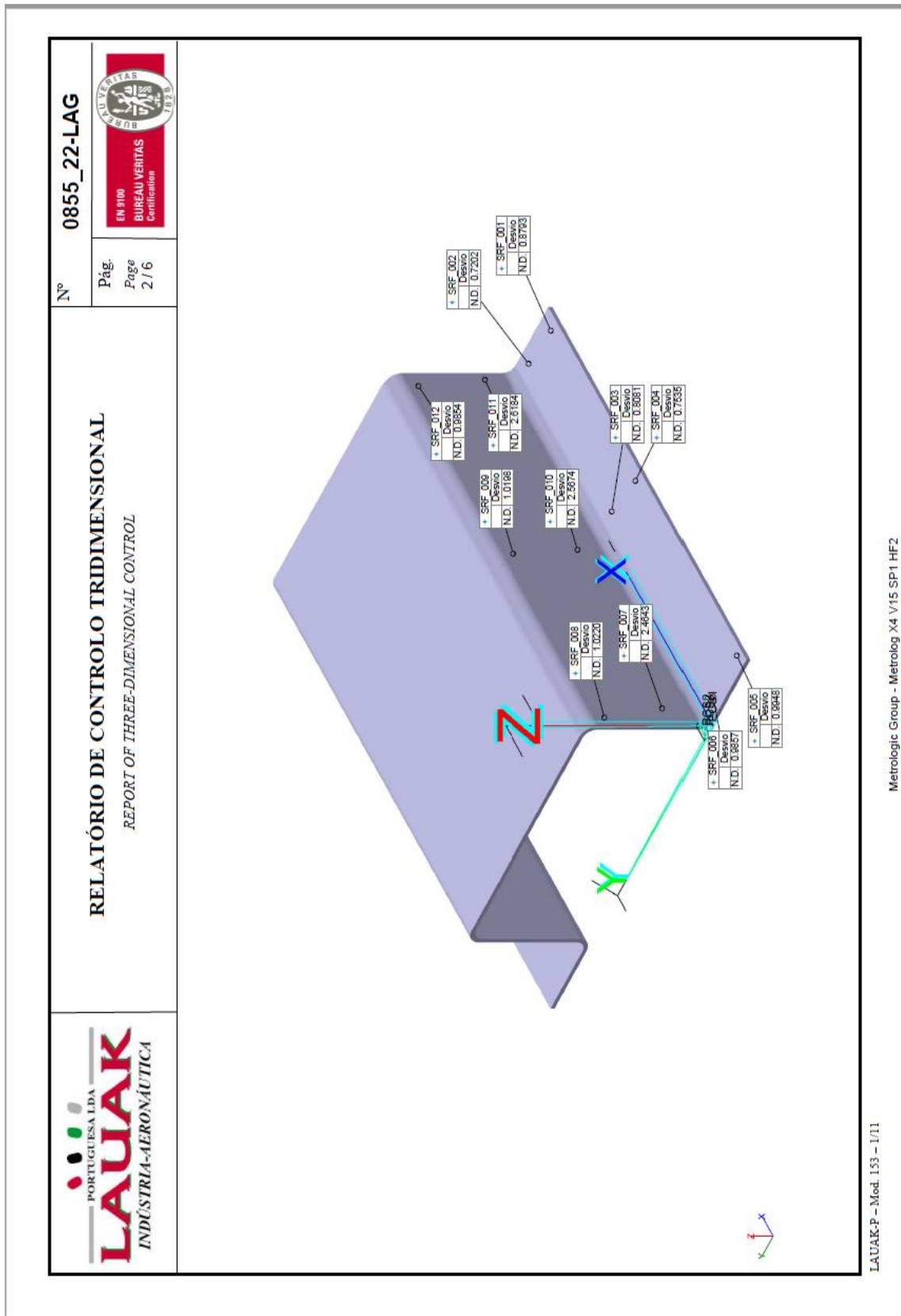


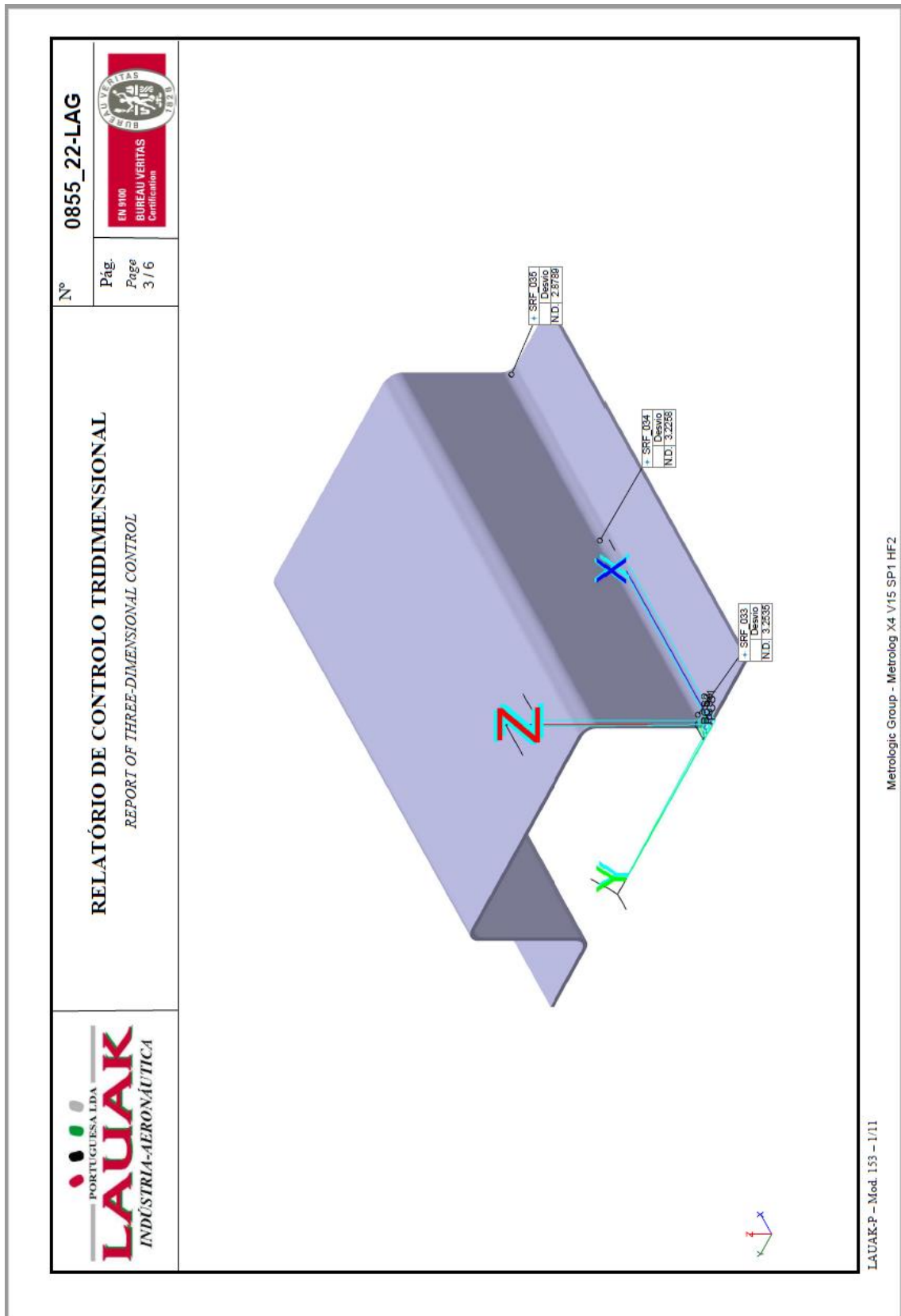
Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2



Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 250

	RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...		Nº 0855_22-LAG
	Pág. Page 1 / 6		
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT			
Equipamento / Equipment CMM	Marca / Marking COORD3METRO...	Nº de Série/ Serial nr. 04686	Nº EMM / MME nr. LAG 270
		Operador / Operator JROMAO	
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION			
Nº Peça / Part Nr. 250	Designação / Designation ESTUDO QUINAGEM		Nº de OF / Work Order Nr. Data / Date 28/04/22 11:32:21
			
LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14		Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2	





LAUAK
INDÚSTRIA-AERONÁUTICA
PORTUGUESA LDA

RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL
REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL

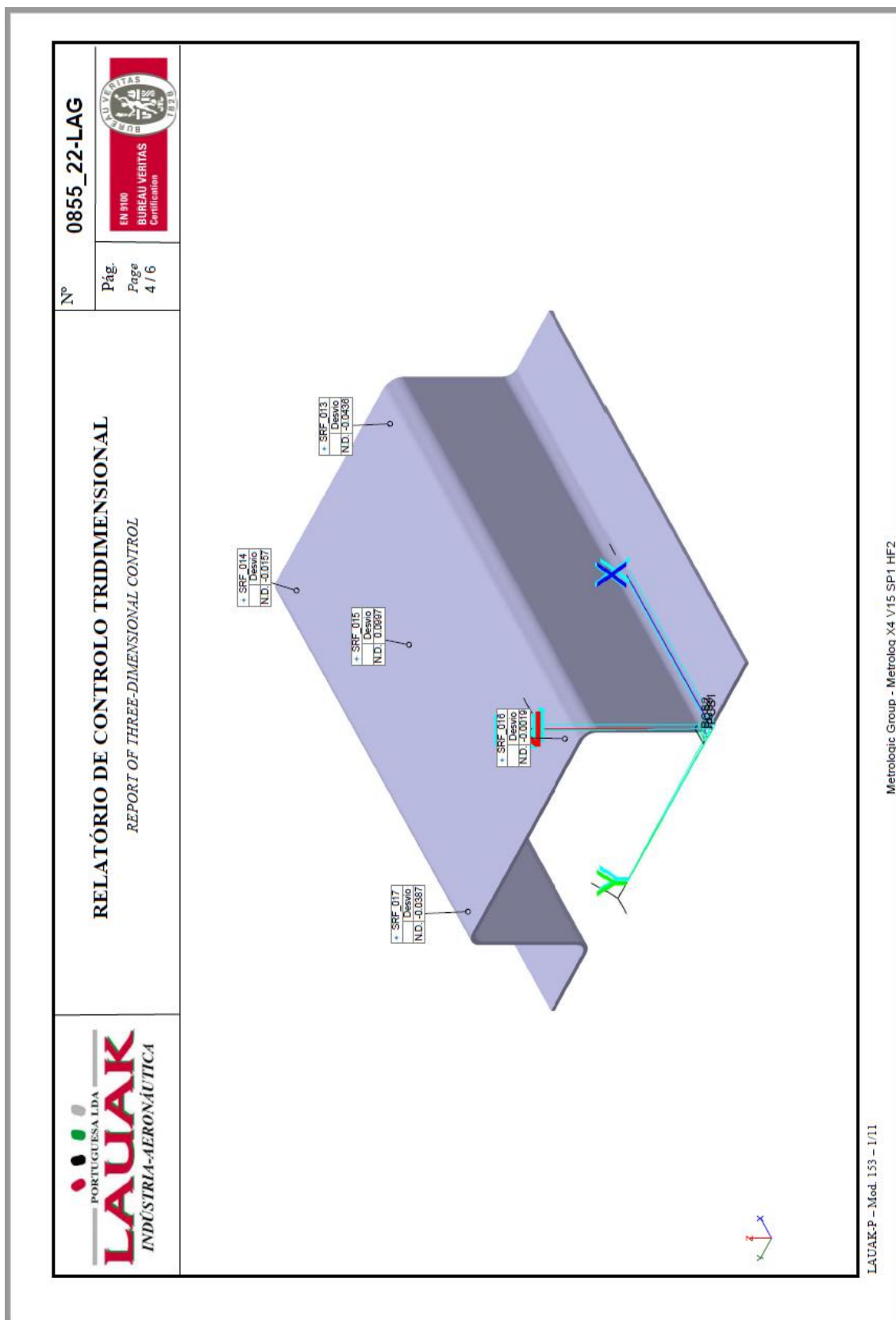
Nº **0855_22-LAG**

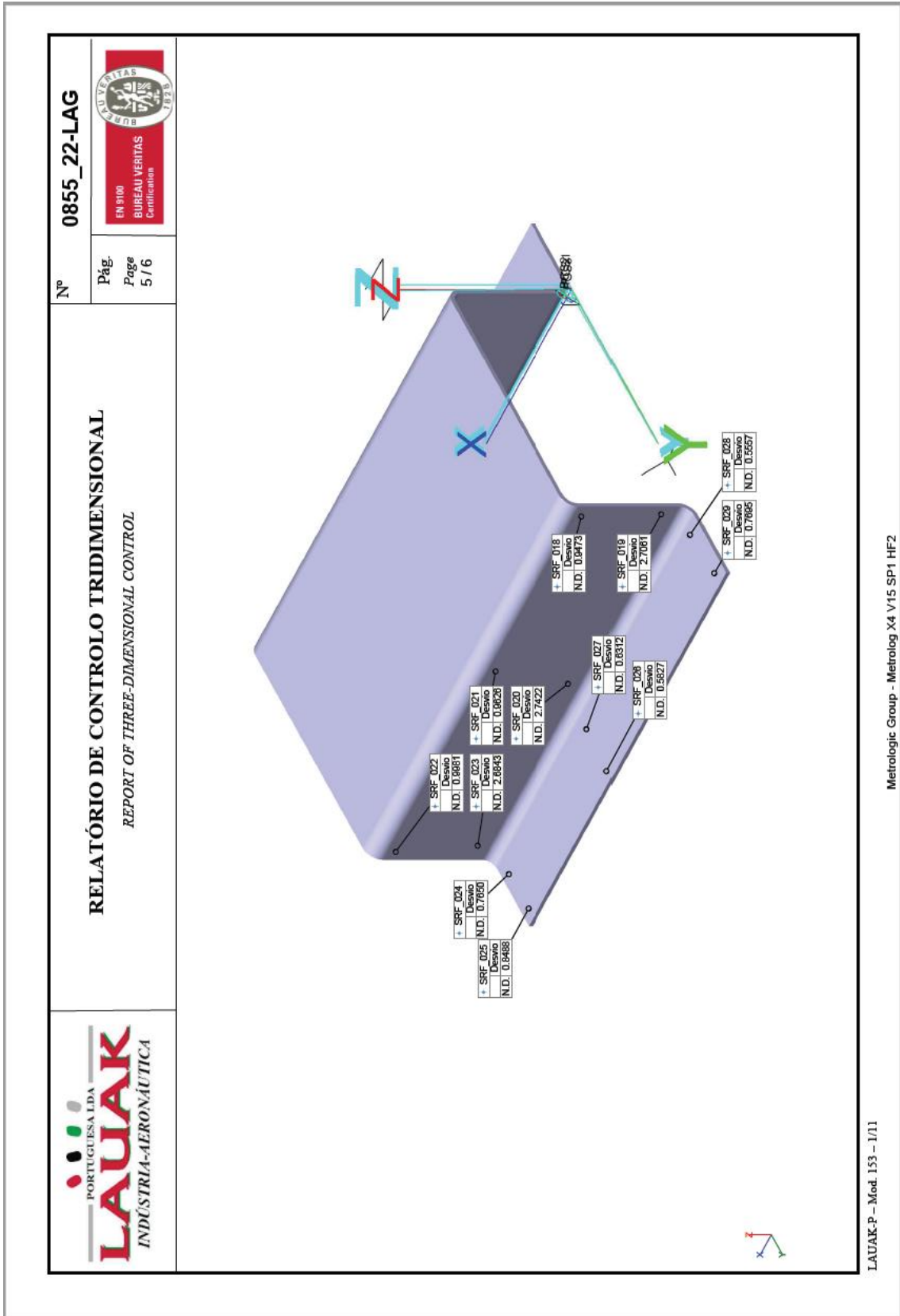
Pág. **3 / 6**
Page

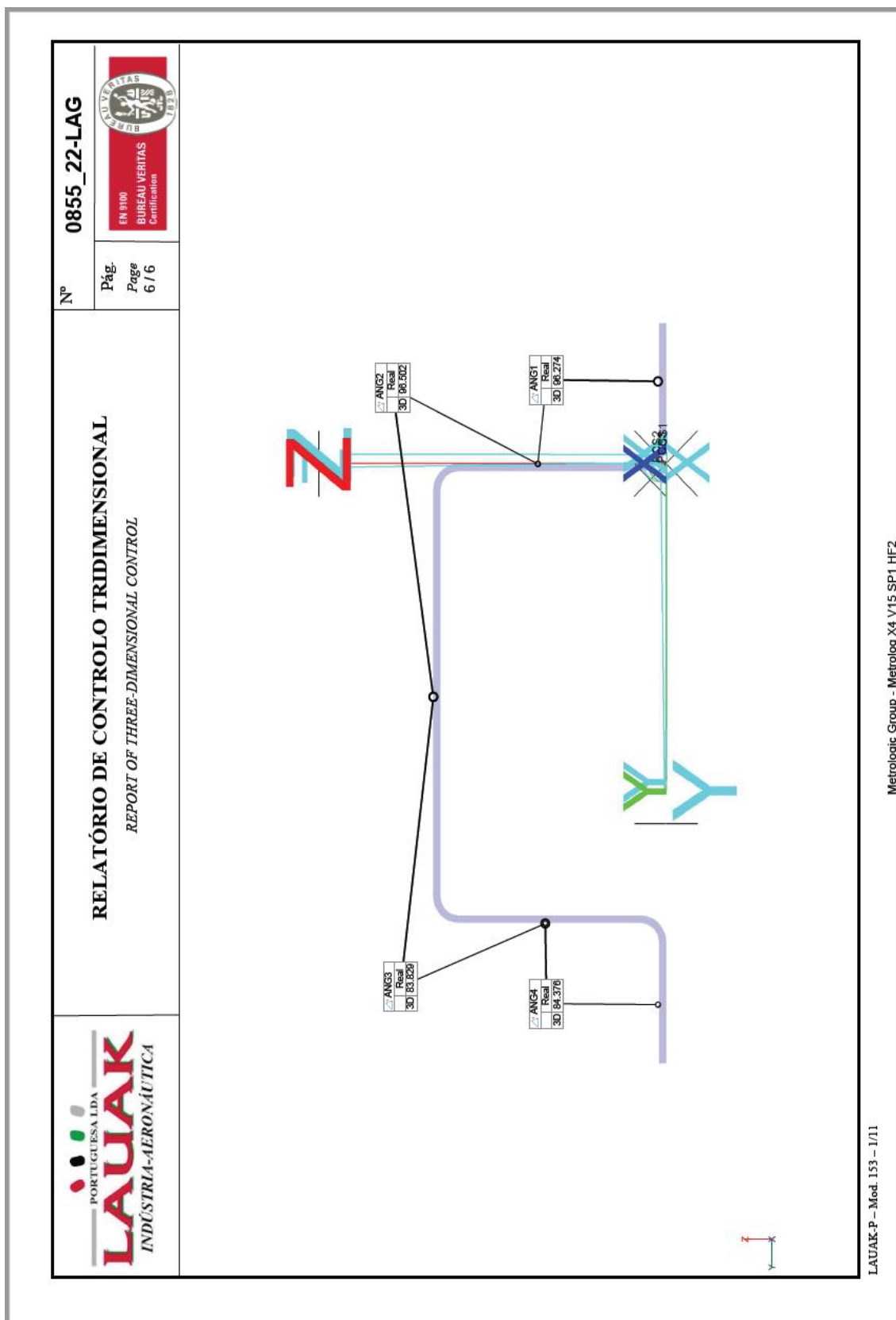
EN 9100
BUREAU VERITAS
Certification

LAUAK-P - Mod. 153 - 1/11



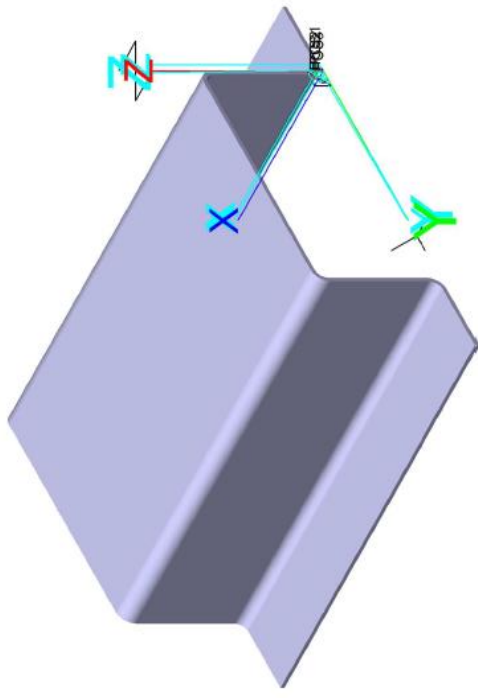
Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2

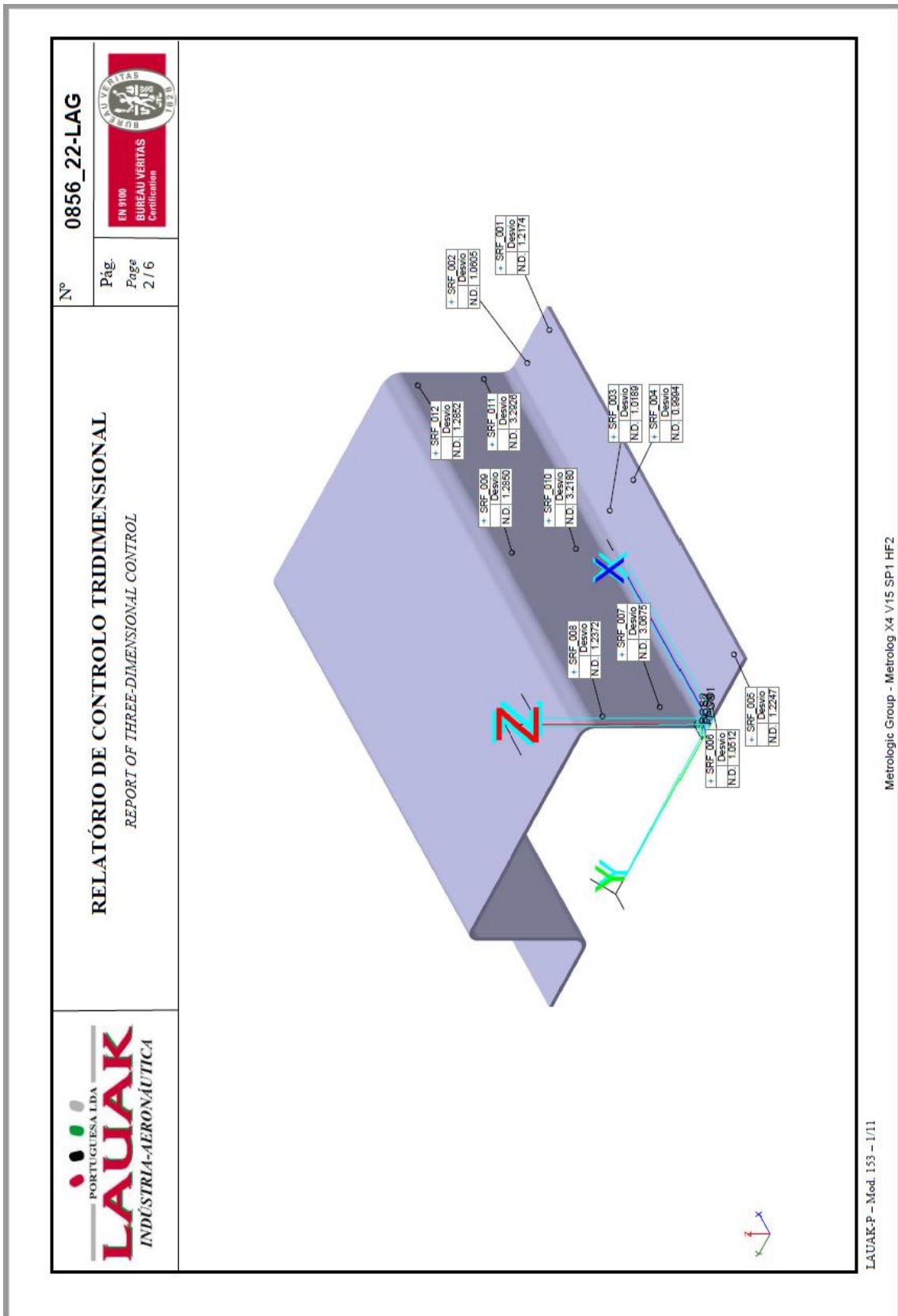


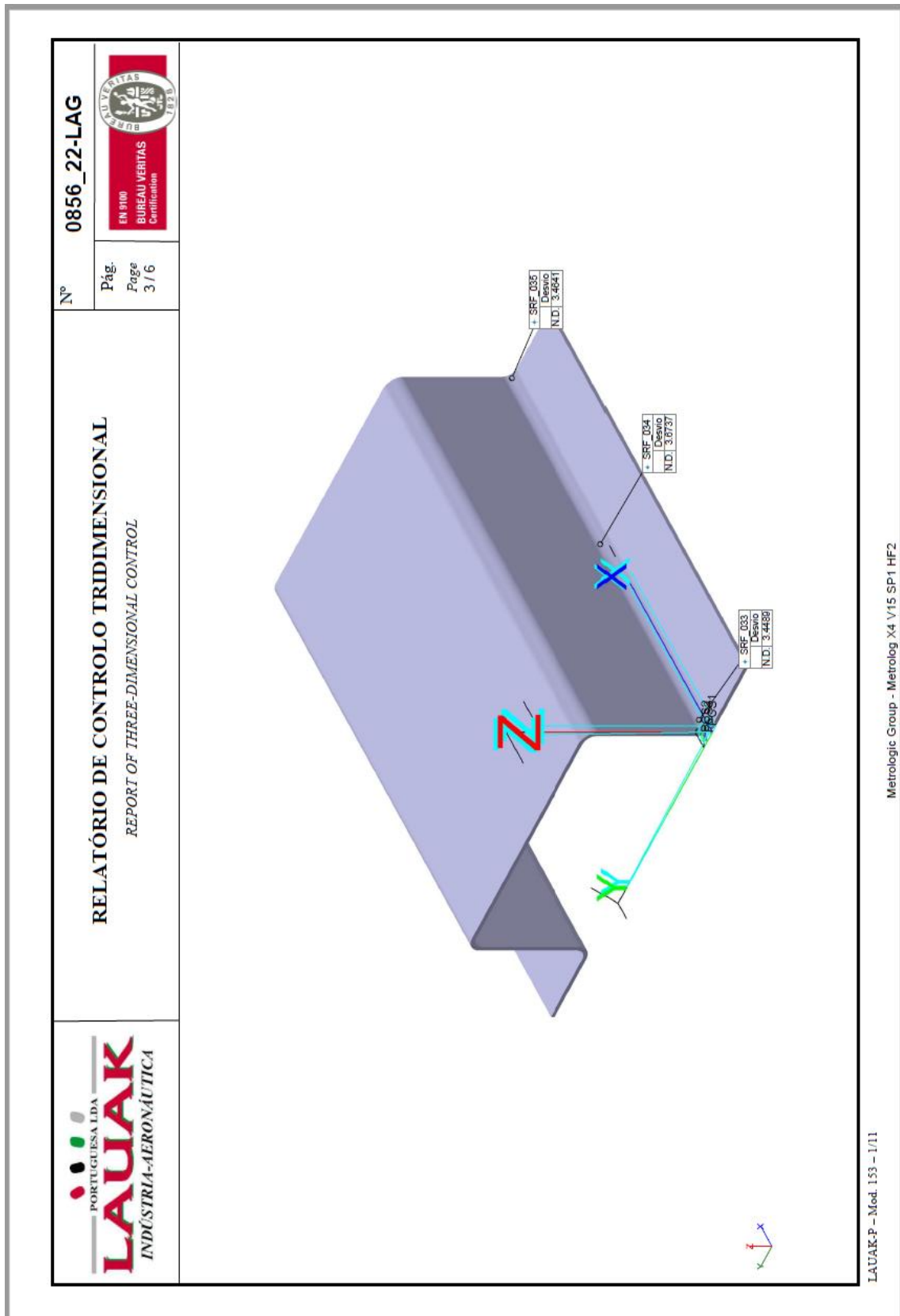




Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 300

		<p align="center">RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...</p>		Nº	0856_22-LAG
				Pág. Page	1 / 6
					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment	Marca / Marking	Modelo / Model	Nº de Série/ Serial nr.	Nº EMM / MME nr.	Operador / Operator
CMM	COORD3METRO...	KRONOS NT	04686	LAG 270	JROMAO
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr.	Designação / Designation			Nº de OF / Work Order Nr.	Data / Date
300	ESTUDO QUINAGEM				28/04/22 11:42:07
					
LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14		Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2			





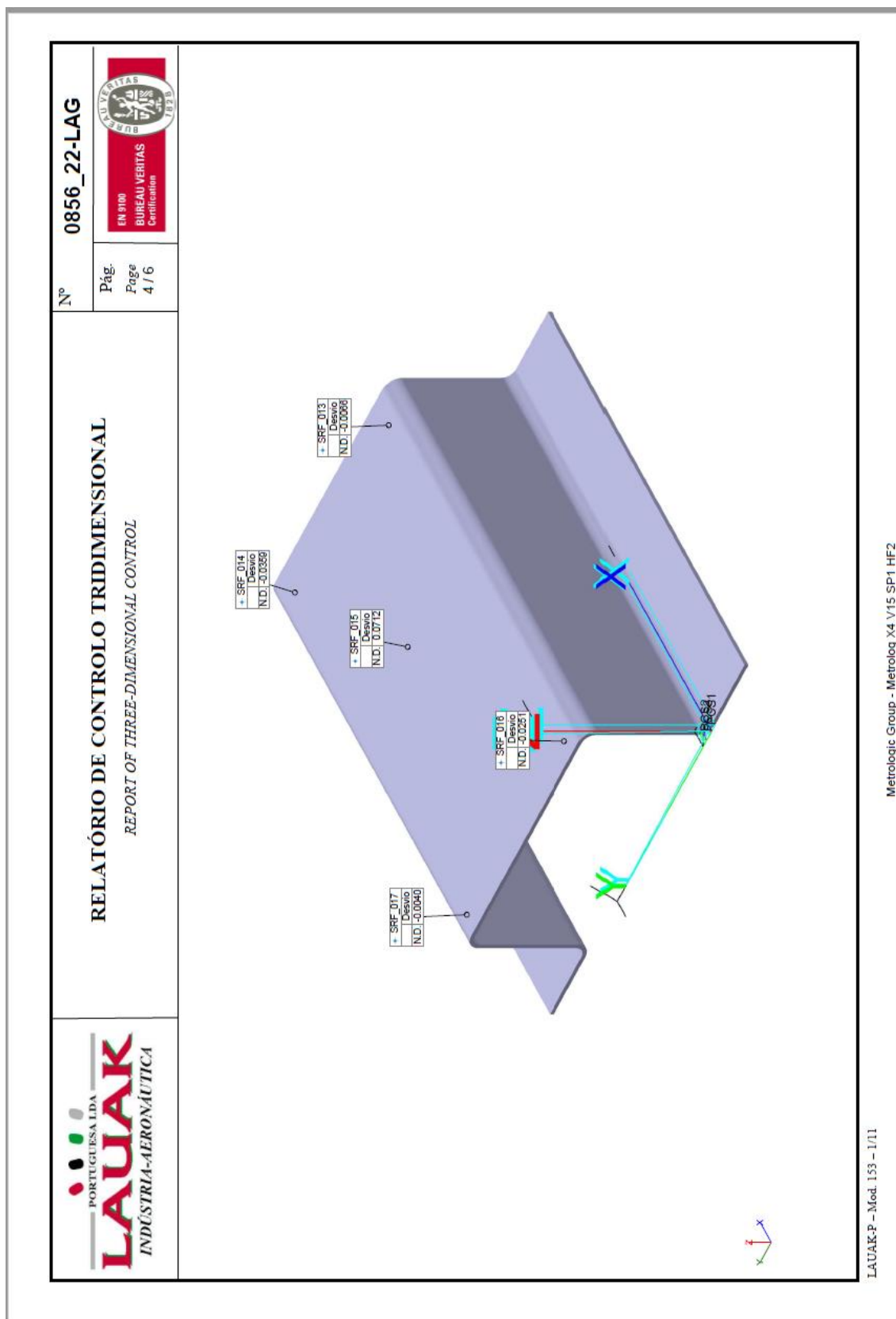
Nº 0856_22-LAG

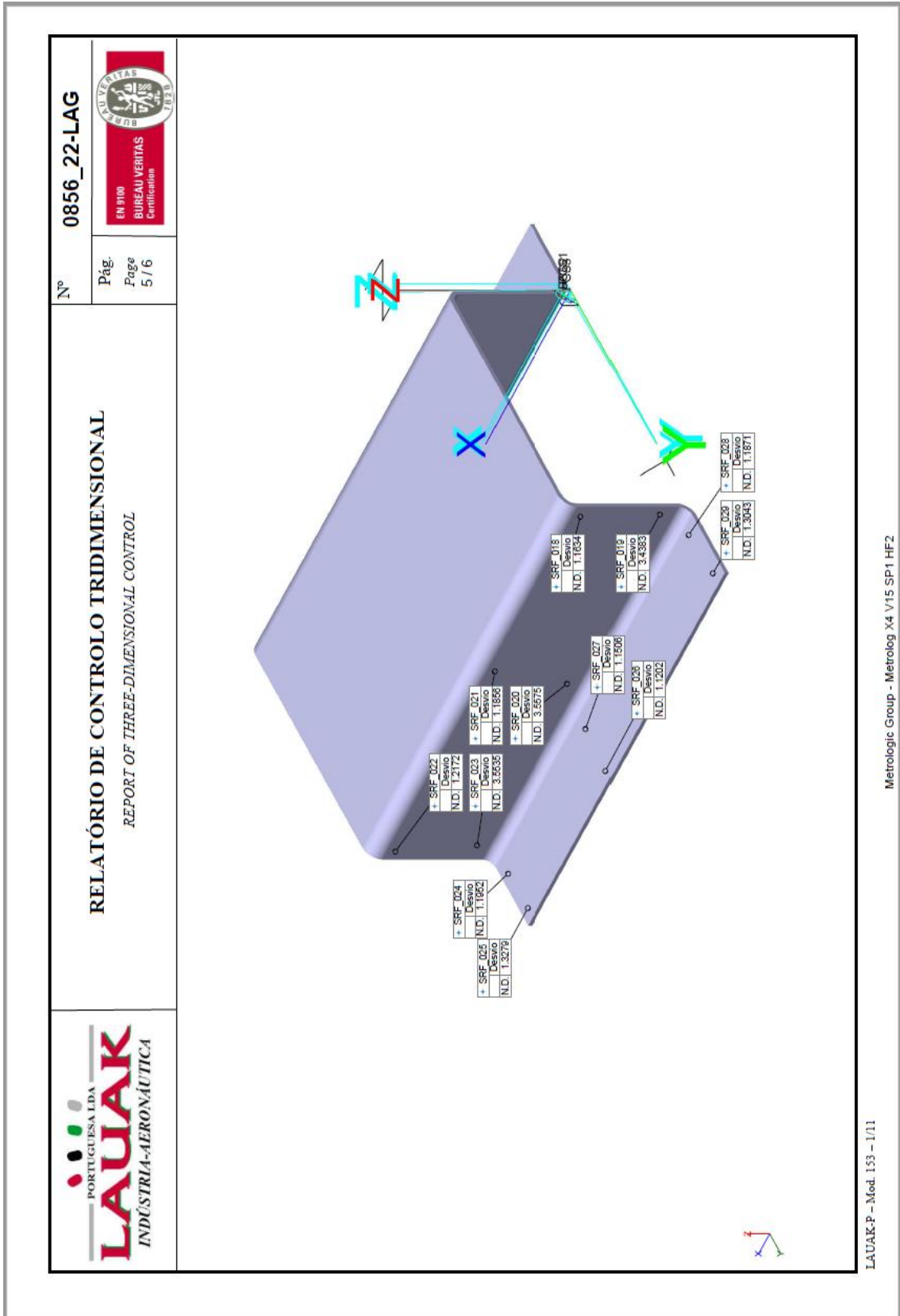
Pág. 3 / 6

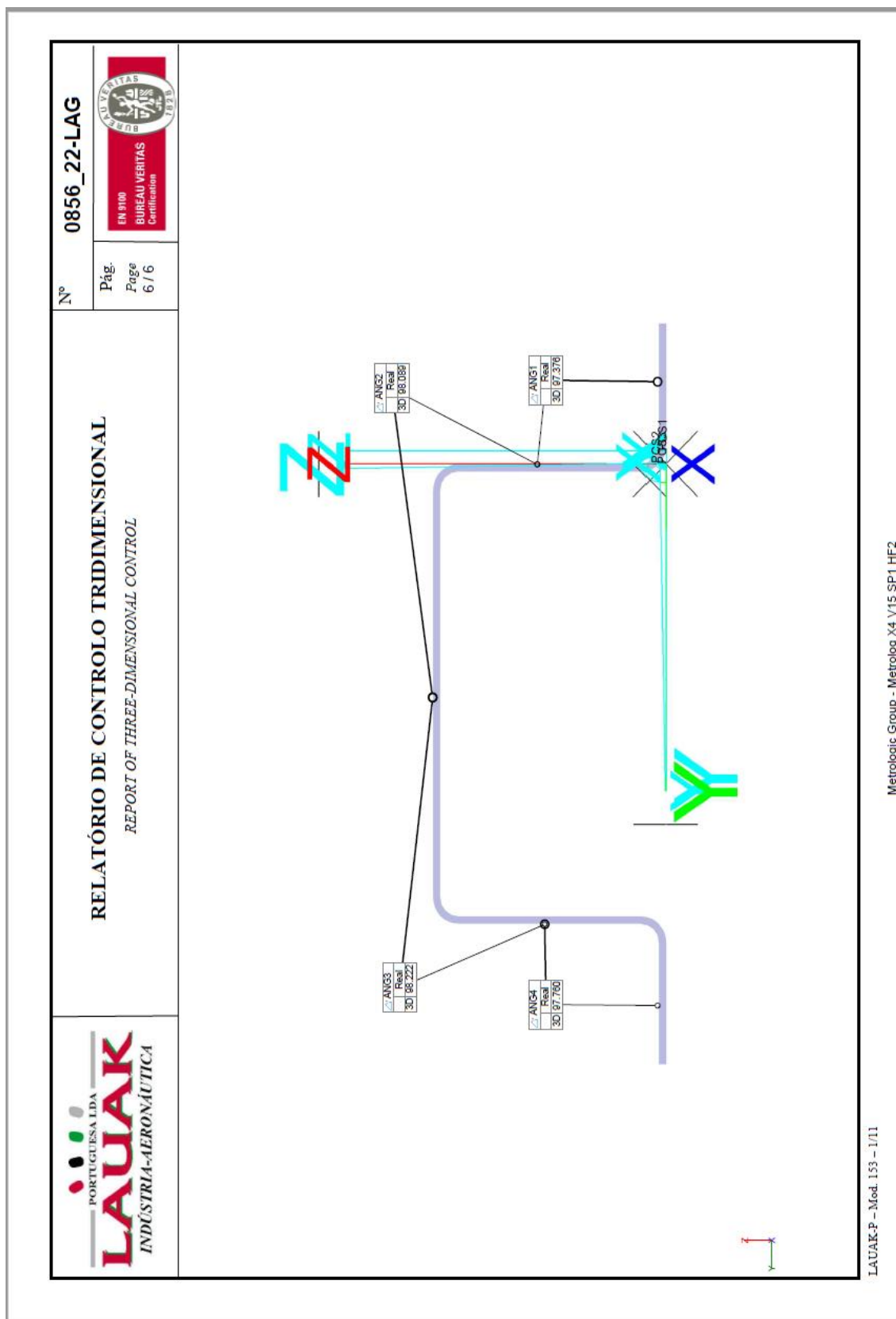
EN 9100
BUREAU VERITAS
Certification

RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL
REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL



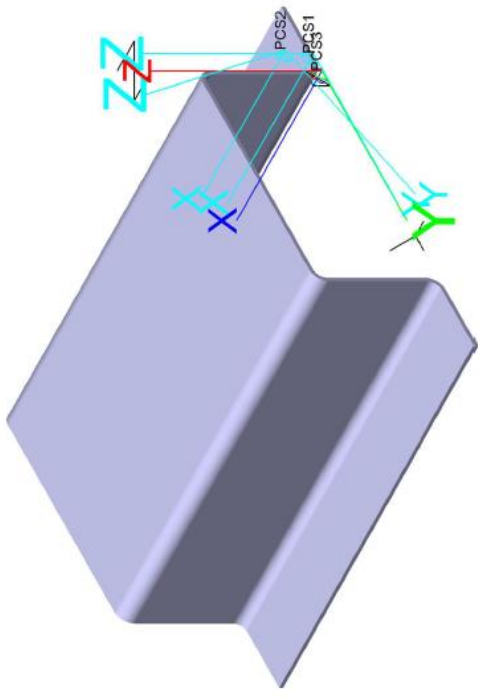


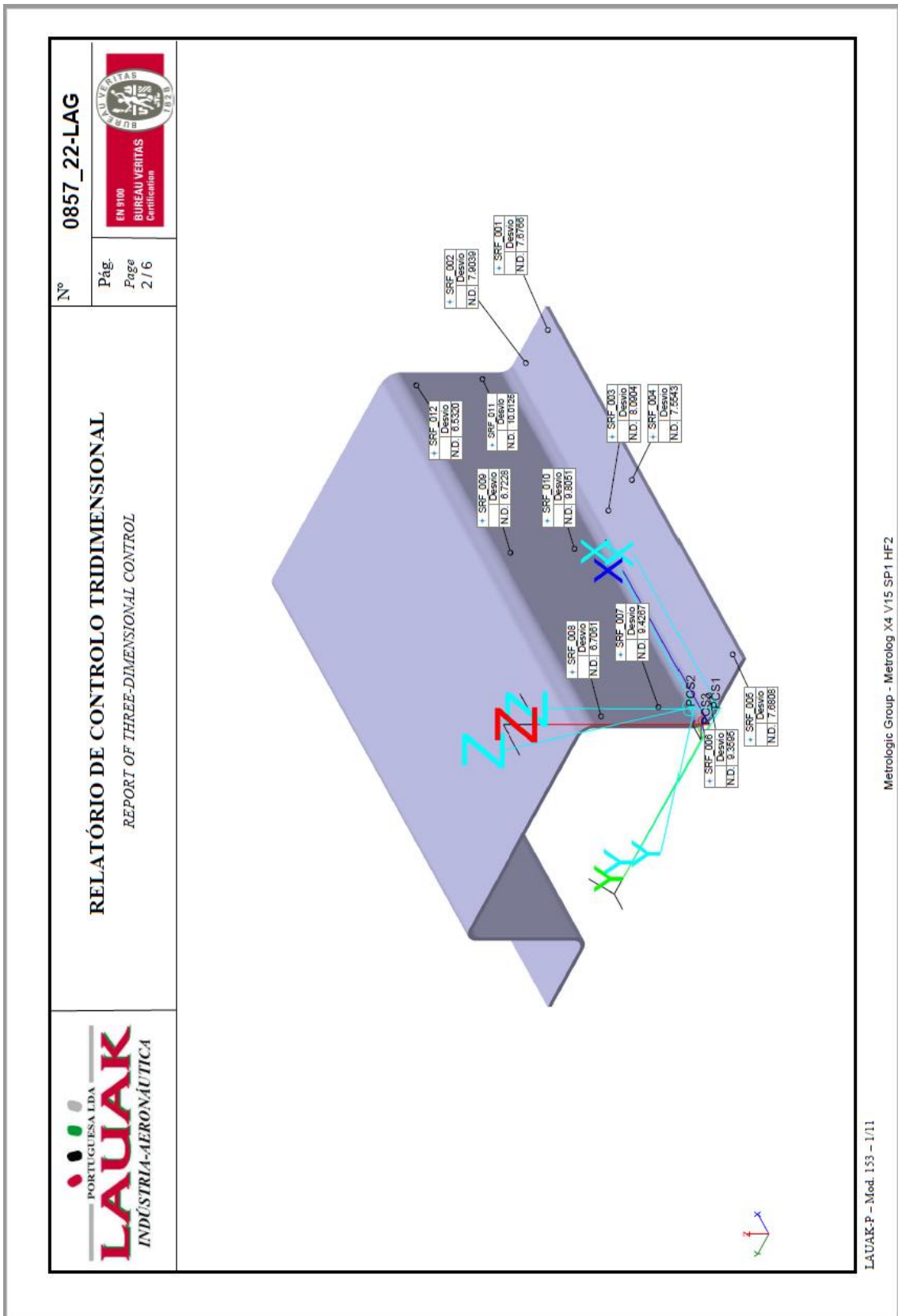






Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 350

		<p align="center">RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...</p>		Nº	0857_22-LAG
				Pág. / Page	1 / 6
					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment	Marca / Marking	Modelo / Model	Nº de Série/ Serial nr.	Nº EMM / MME nr.	Operador / Operator
CMM	COORD3METRO...	KRONOS NT	04686	LAG 270	JROMAO
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr.	Designação / Designation			Nº de OF / Work Order Nr.	Data / Date
350	ESTUDO QUINAGEM				28/04/22 12:05:26
					
LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14		Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2			



Nº **0857_22-LAG**

Pág. **2 / 6**

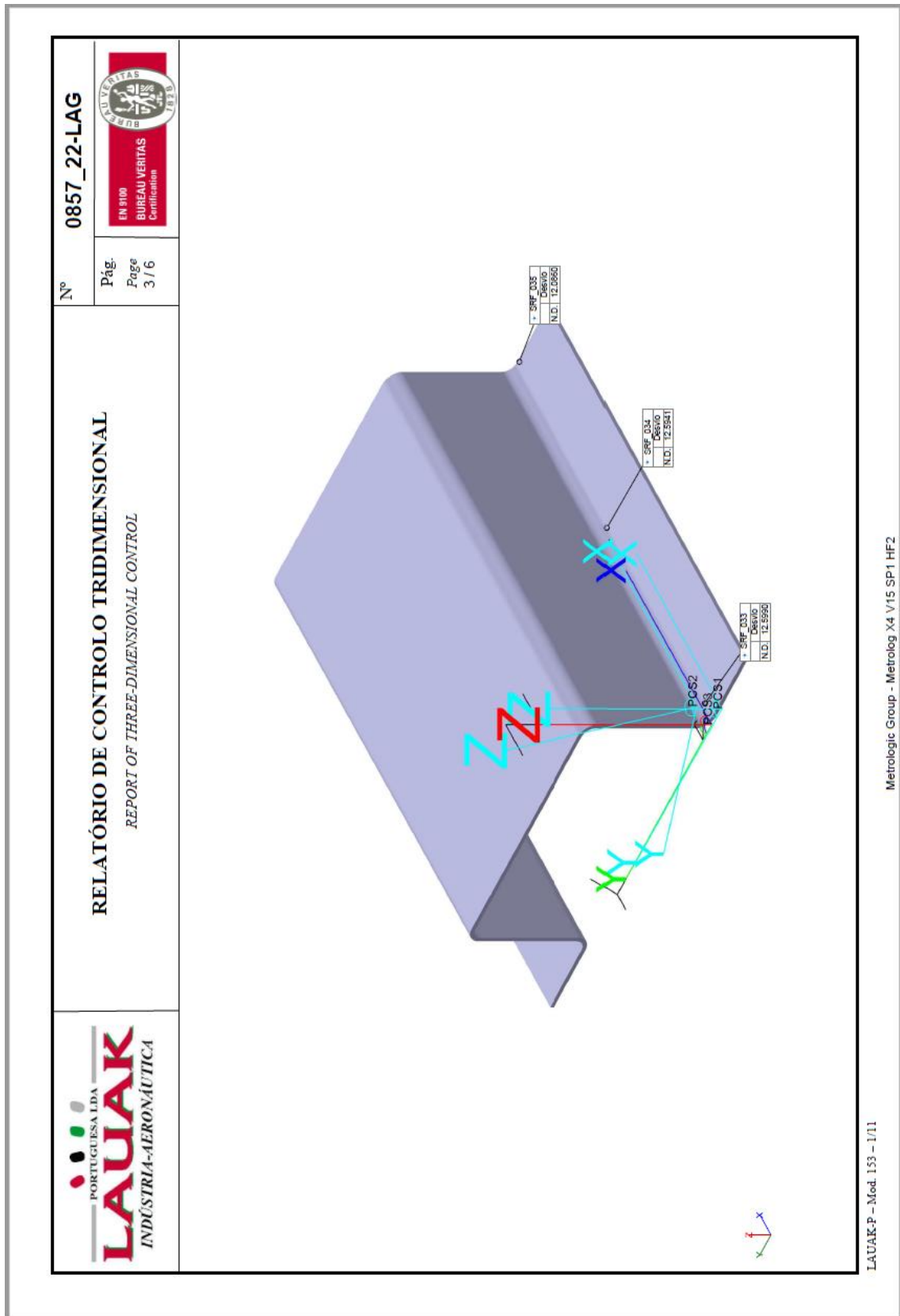
EN 9100
BUREAU VERITAS
 Certification

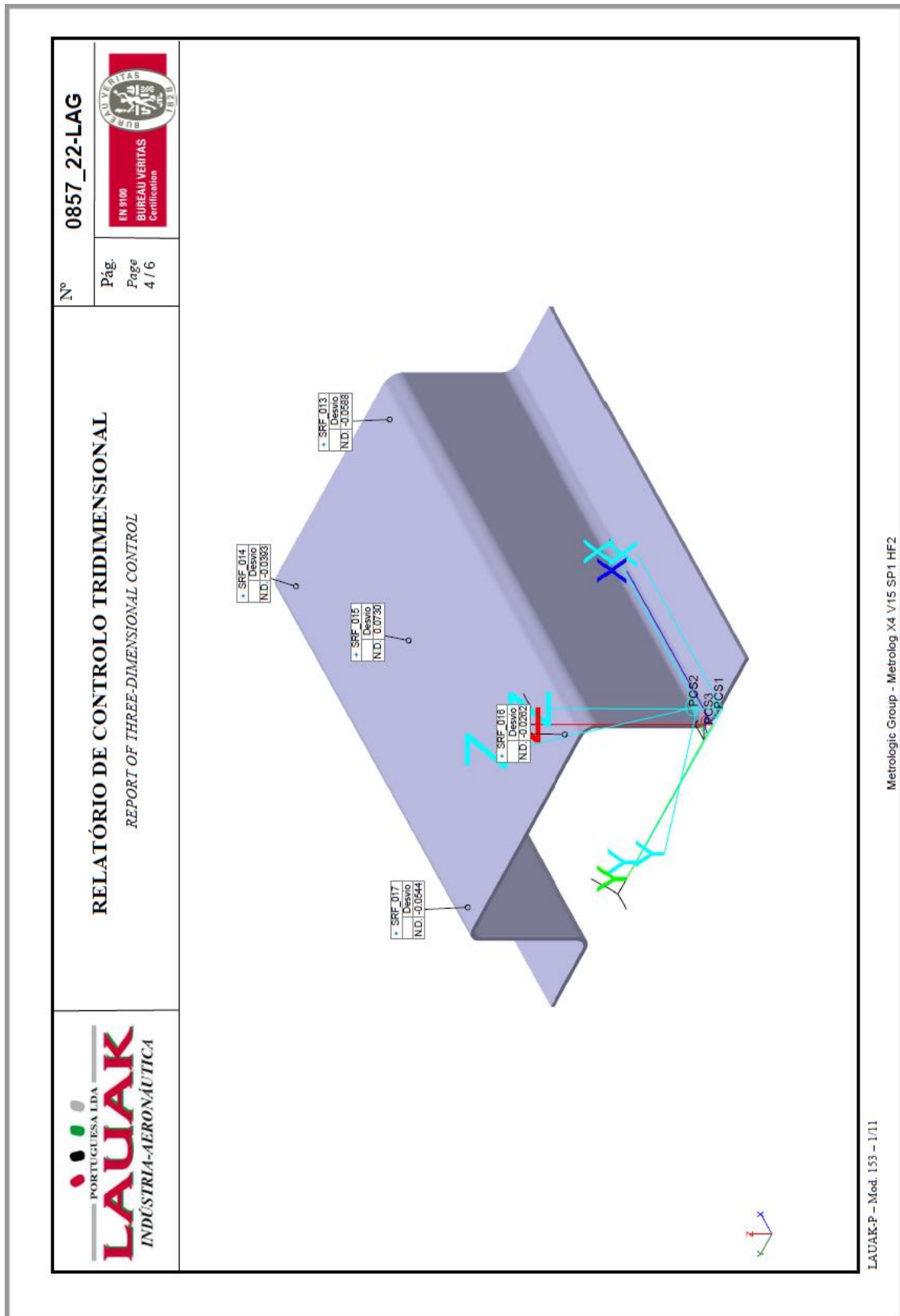
RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL
REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL

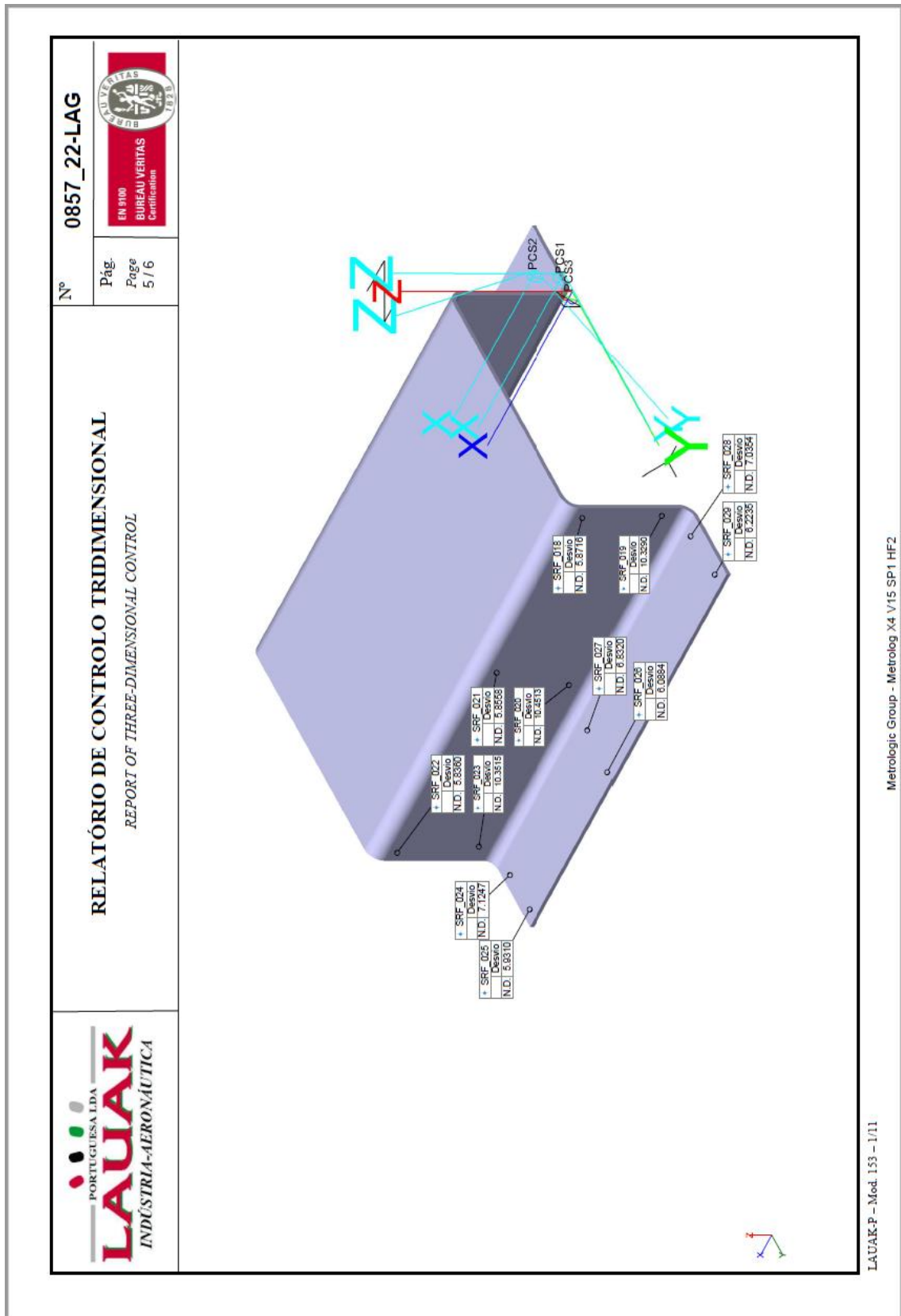


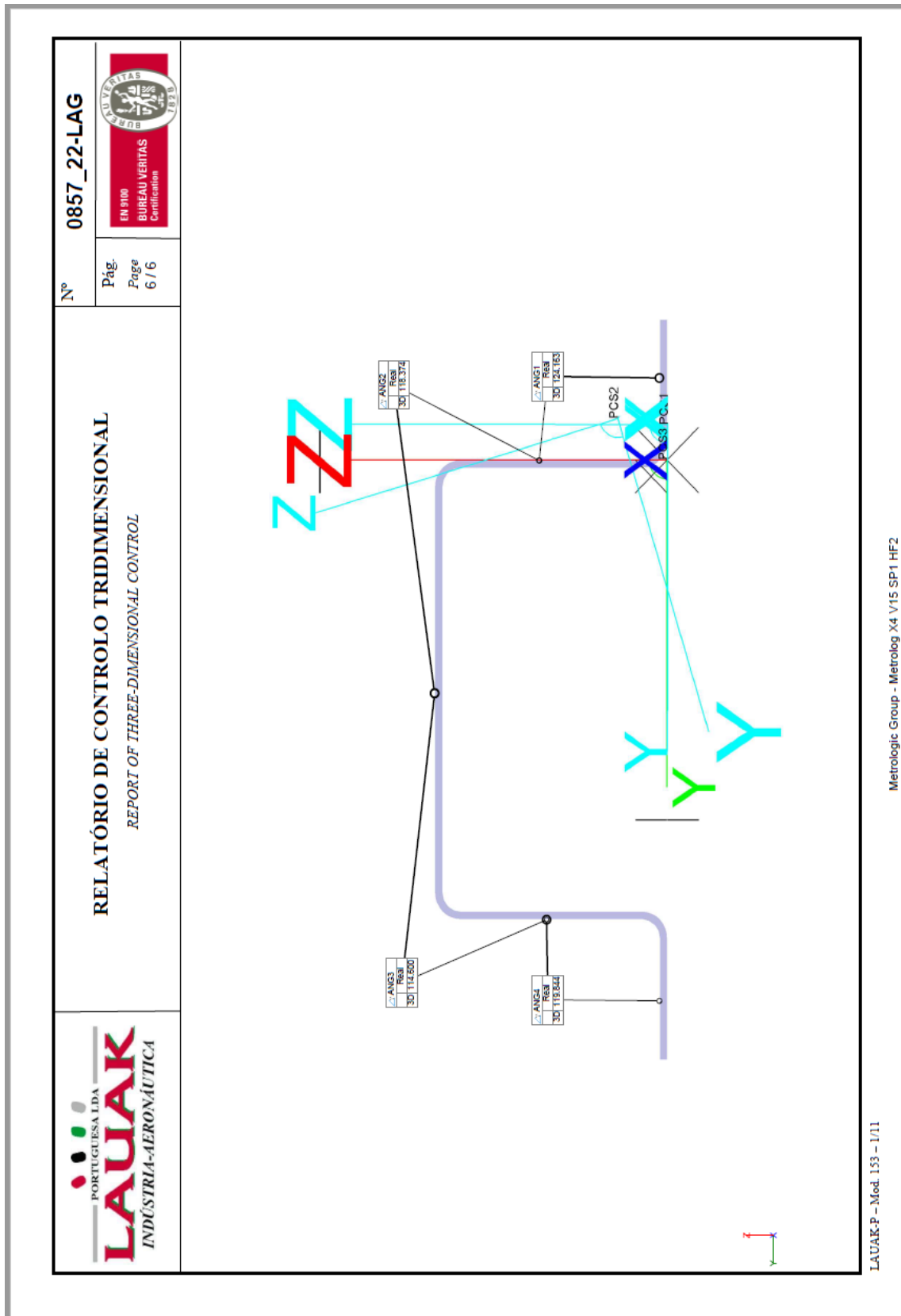
LAUAK-P – Mod. 153 – 1/11

Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2



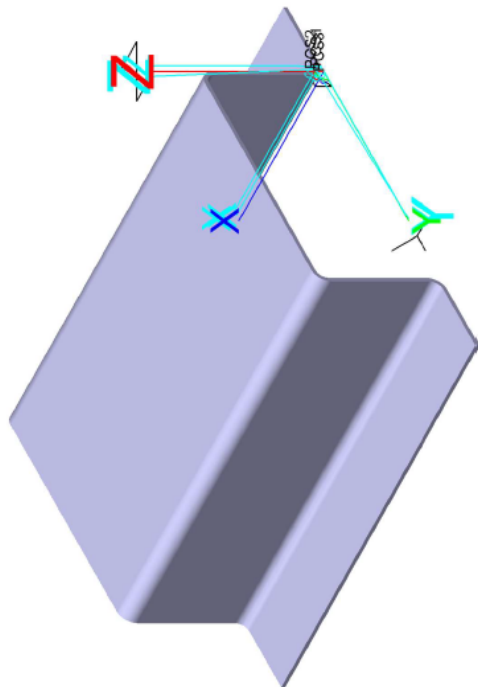



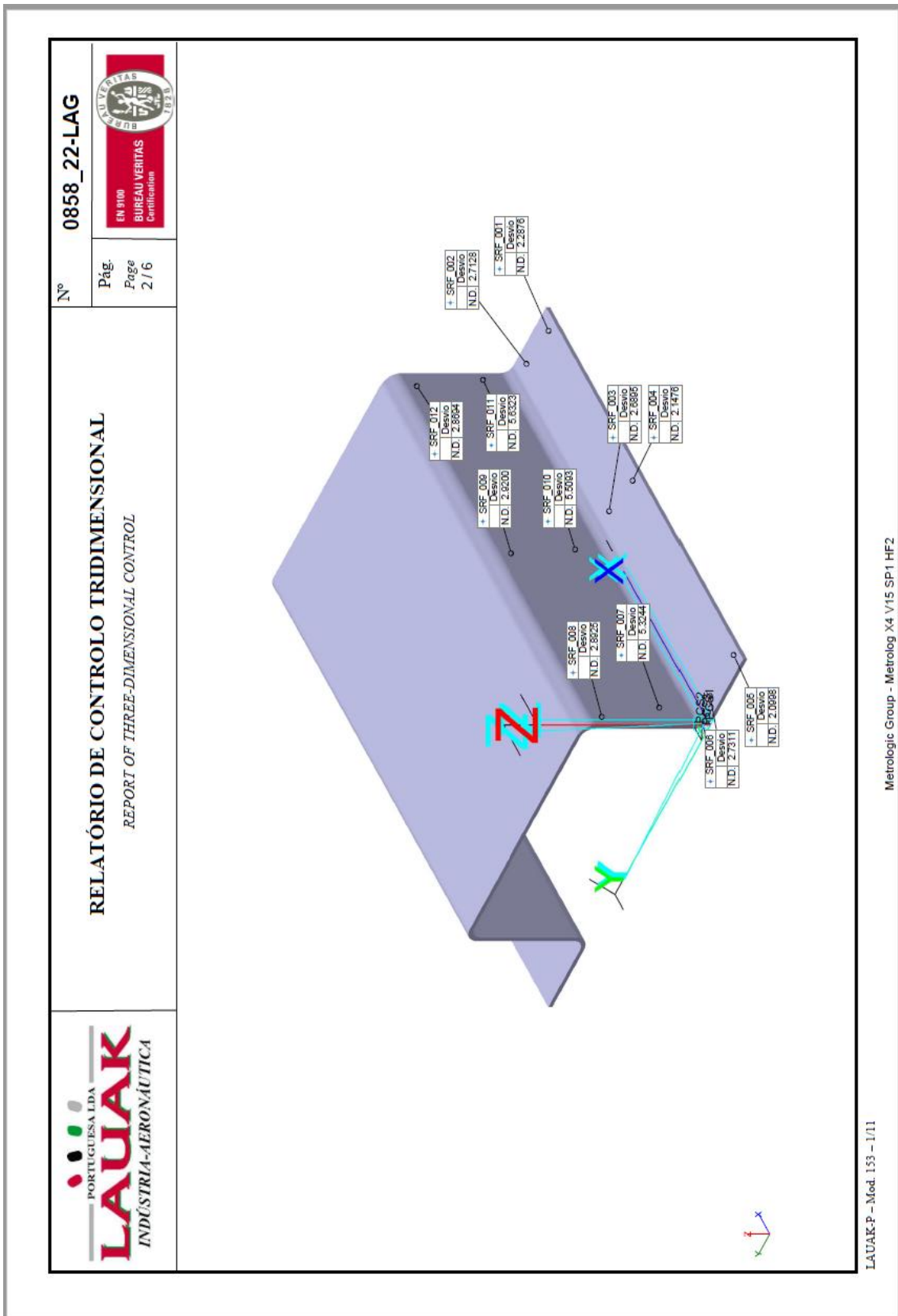


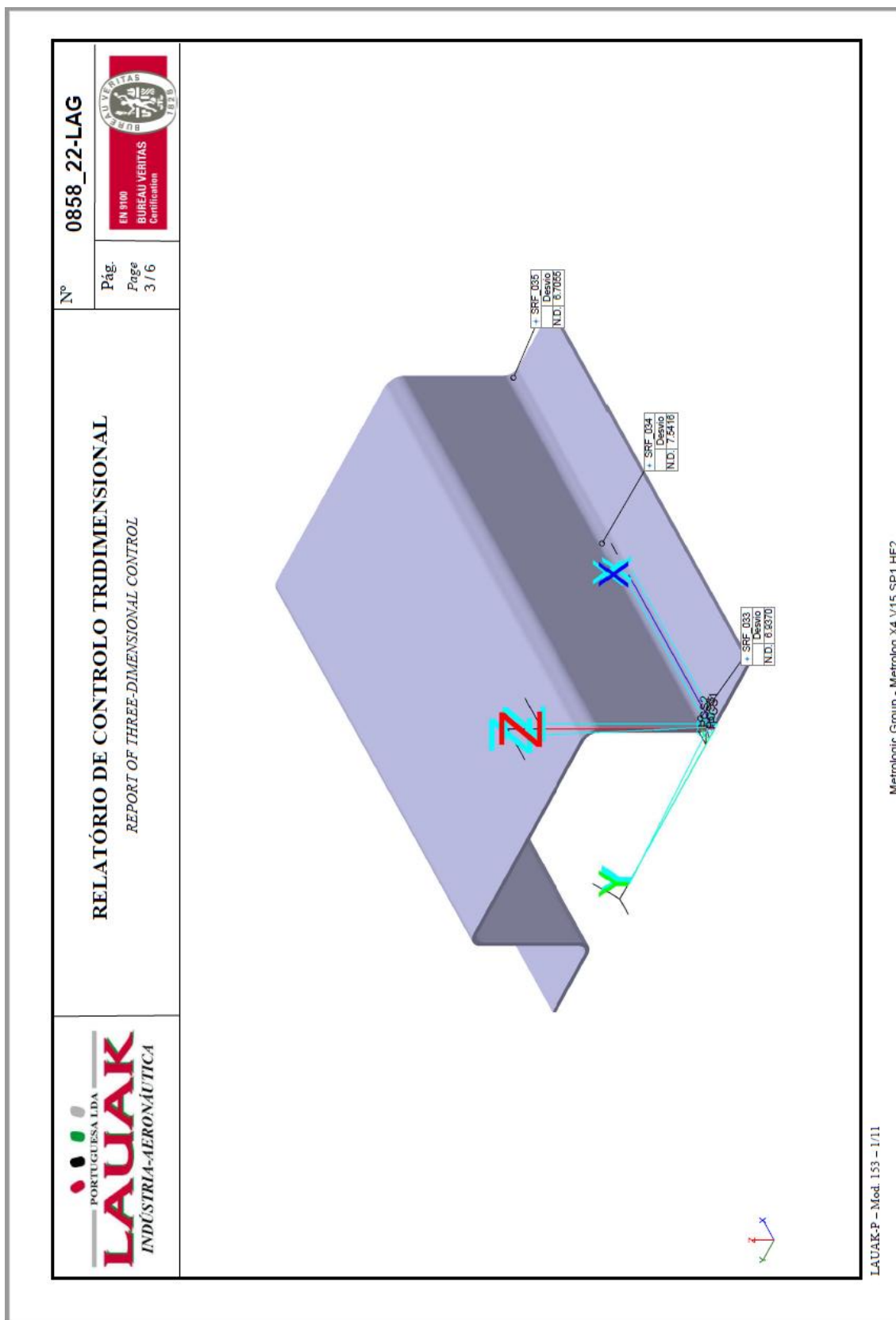


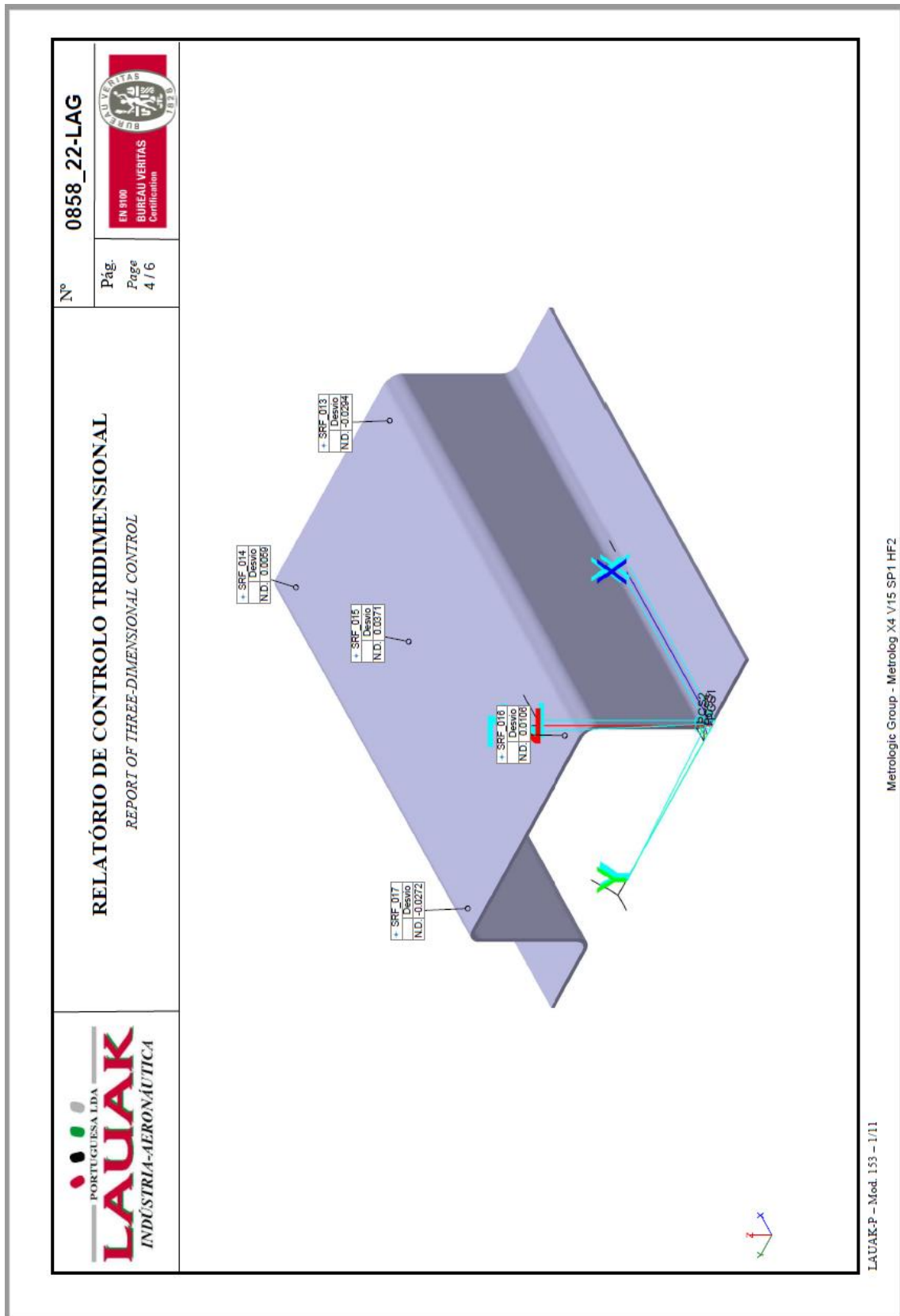


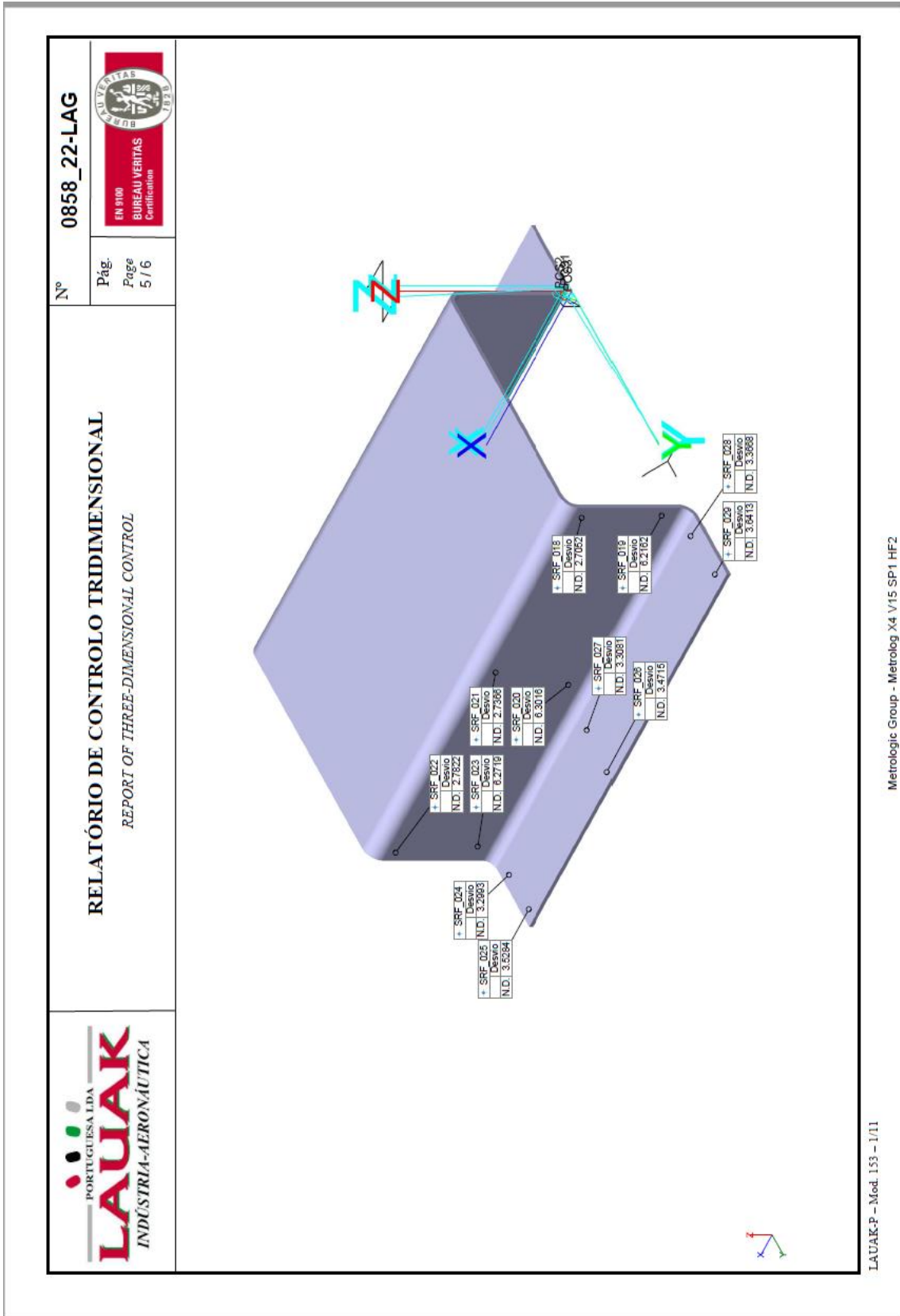
Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 400

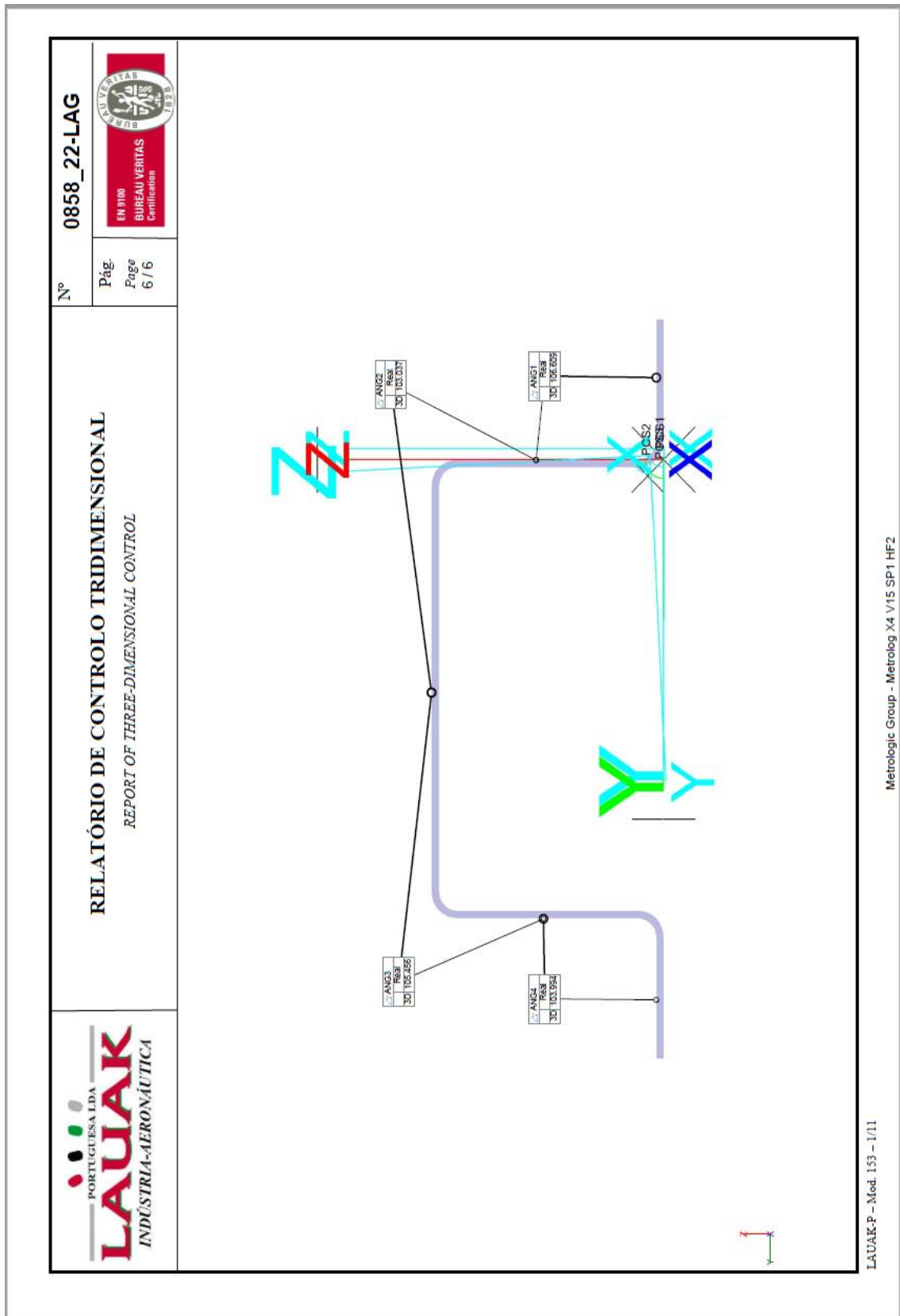
		<p align="center">RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...</p>		Nº	0858_22-LAG
				Pág. Page	1 / 6
					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment	Marca / Marking	Nº de Série / Serial nr.	Nº EMM / MME nr.	Operador / Operator	
CMM	COORD3METRO...	04686	LAG 270	JROMAO	
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr.	Designação / Designation		Nº de OF / Work Order Nr.	Data / Date	
400	ESTUDO QUINAGEM			28/04/22 12:17:42	
					
					
LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14		Metrologic Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2			





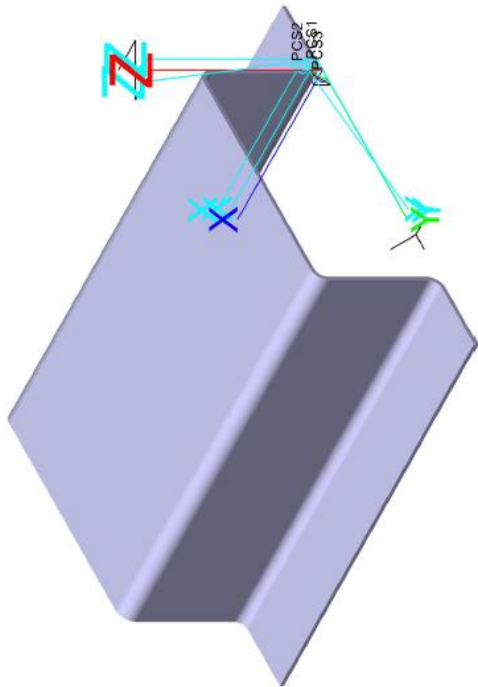


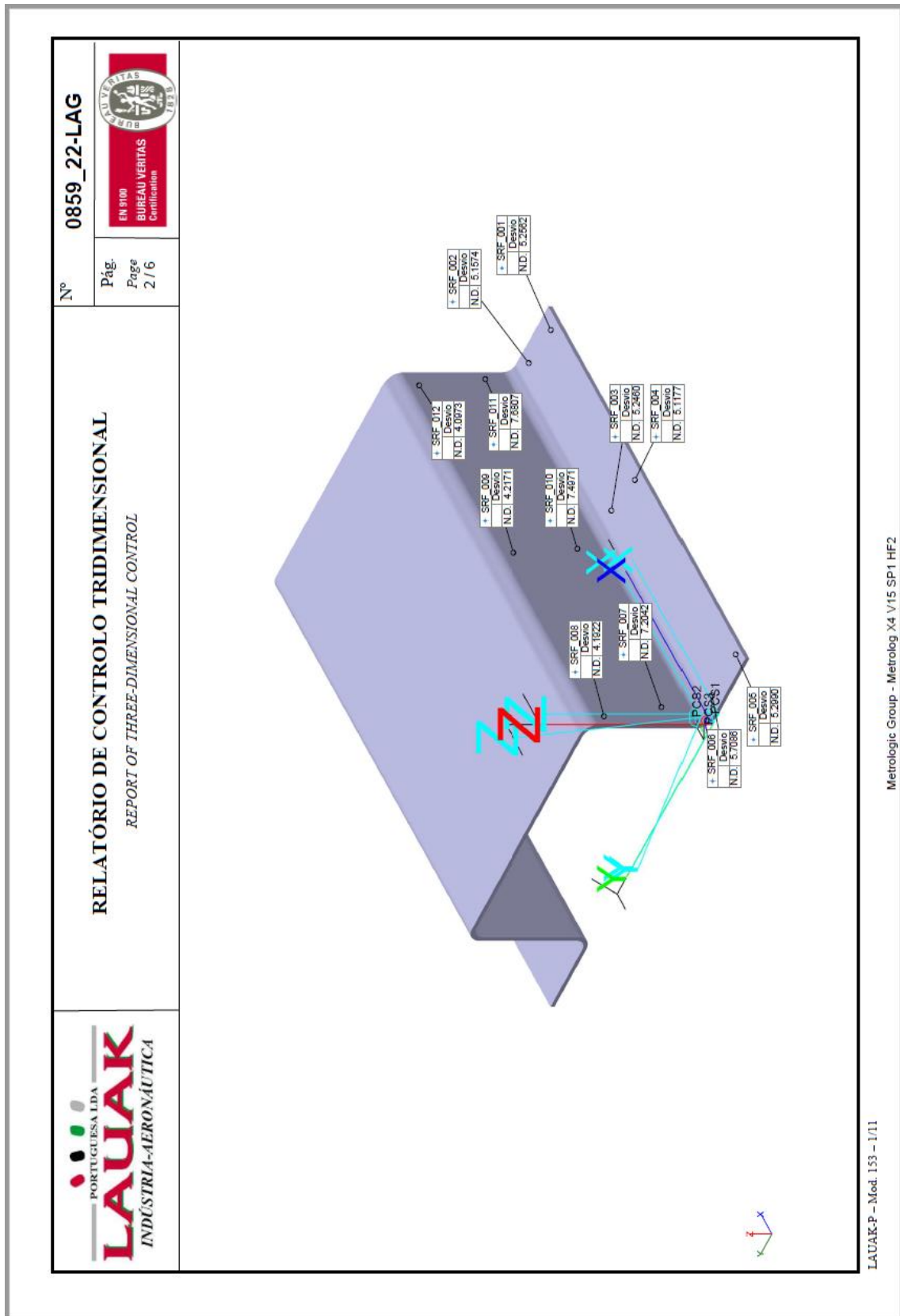


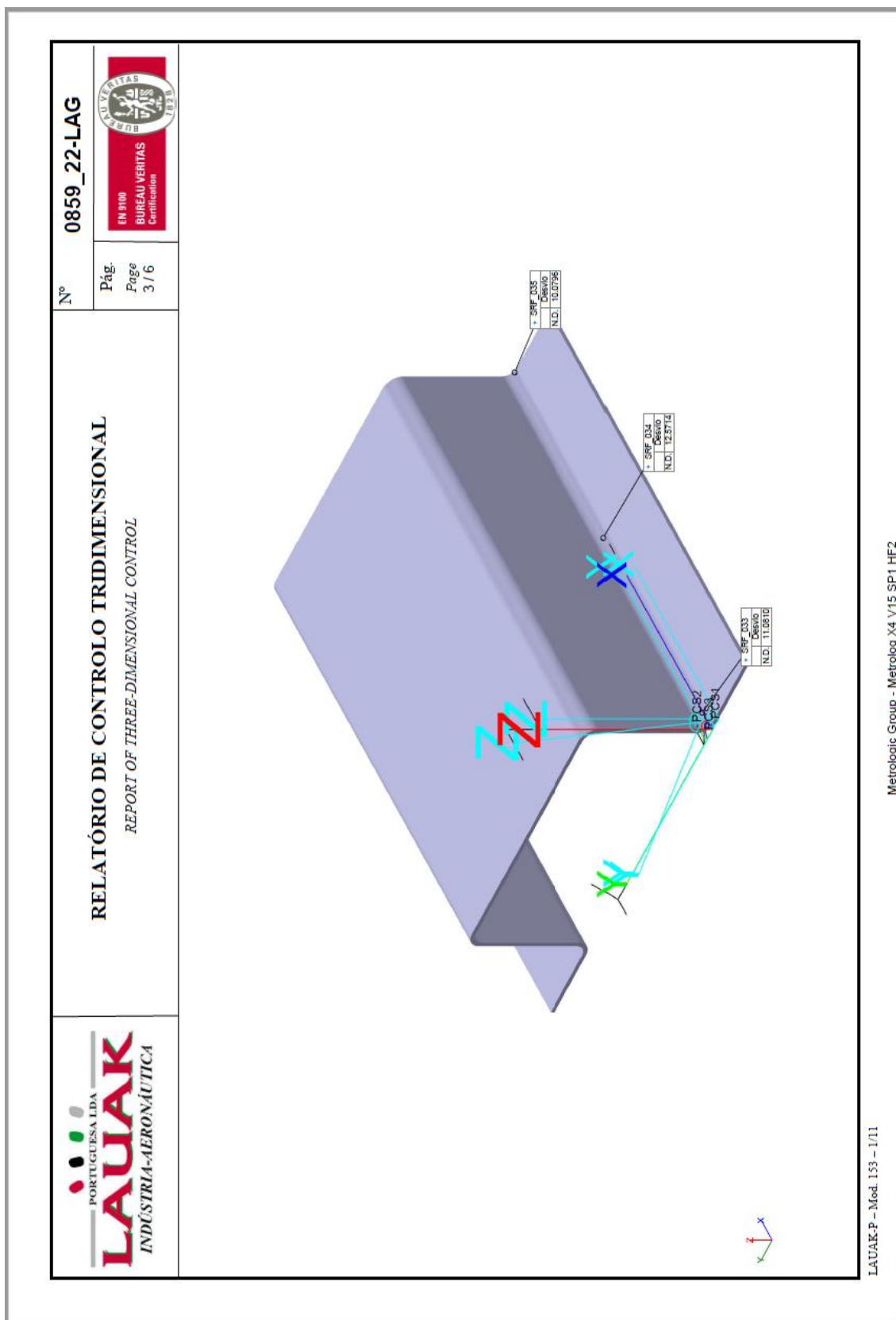


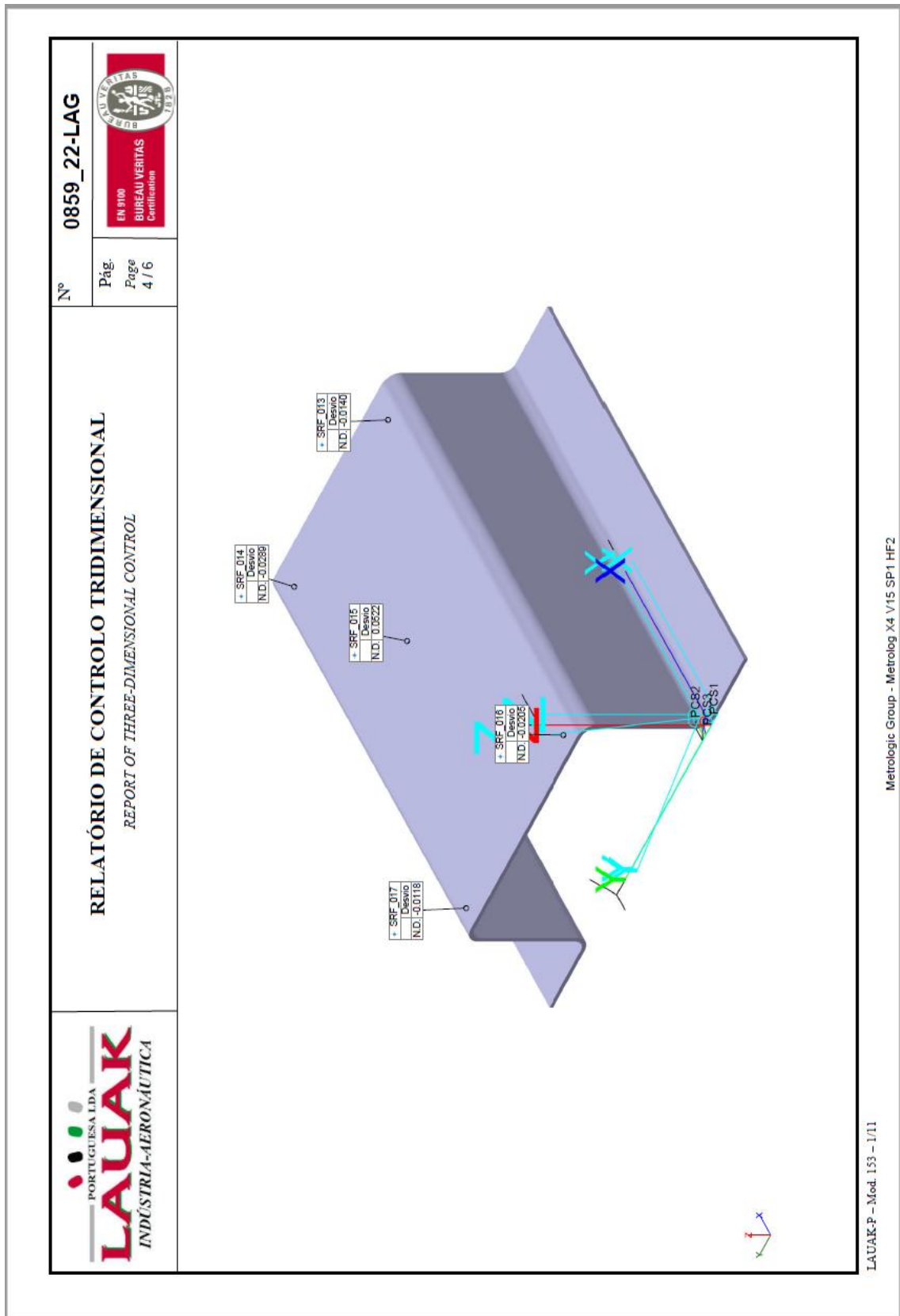


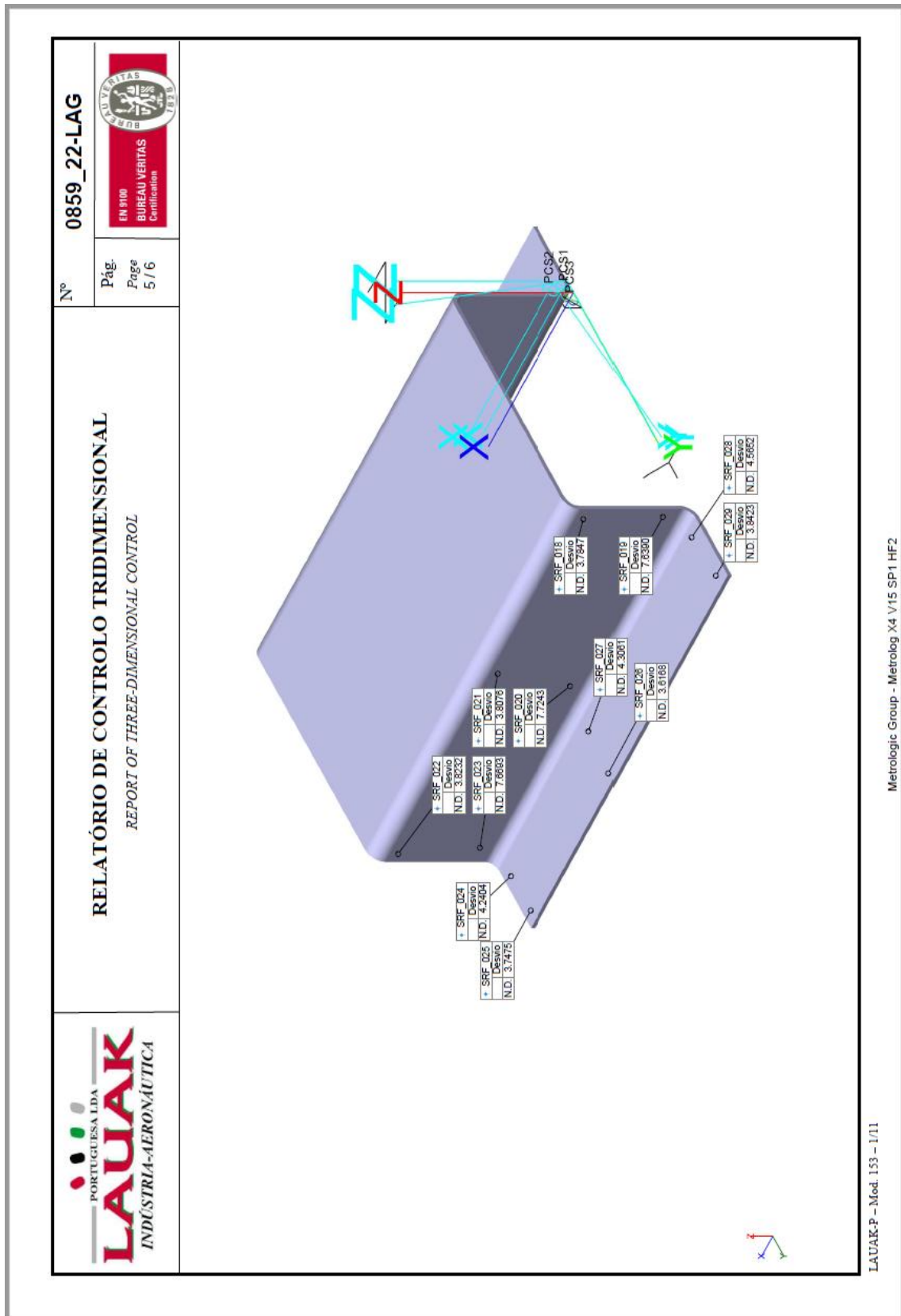
Análise tridimensional – relatório de controlo das chapas de Al2024, peça nº 425

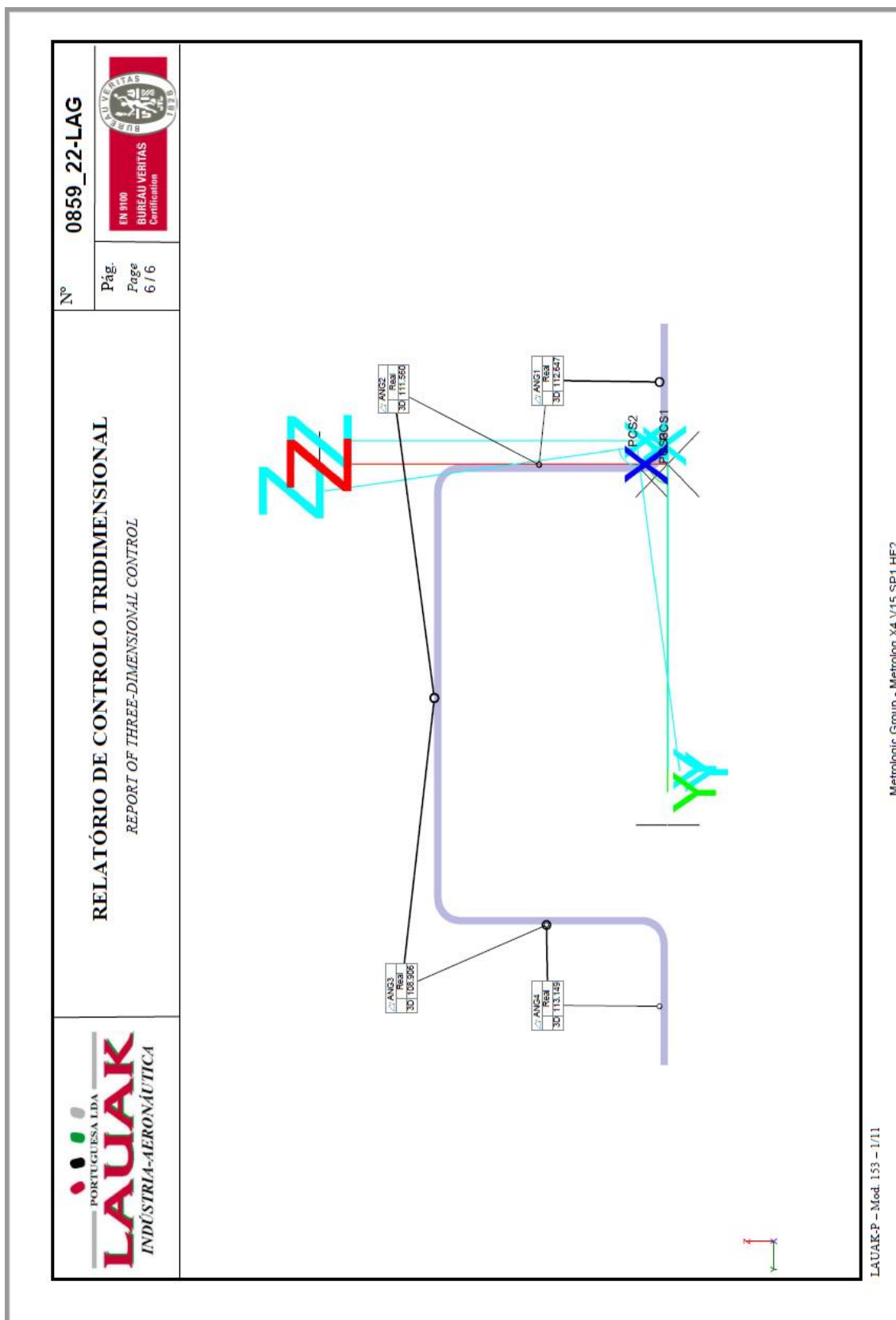
	RELATÓRIO DE CONTROLO TRIDIMENSIONAL <i>REPORT OF THREE-DIMENSIONAL CONTROL</i> Comentário: Vari...				Nº 0859_22-LAG
					
Pág. Page 1 / 6					
IDENTIFICAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO / IDENTIFICATION OF MEASURING EQUIPMENT					
Equipamento / Equipment CMM	Marca / Marking COORD3METRO...	Modelo / Model KRONOS NT	Nº de Série/ Serial nr. 04686	Nº EMM / MME nr. LAG 270	Operador / Operator NLASSAAD
IDENTIFICAÇÃO DA PEÇA / PART IDENTIFICATION					
Nº Peça / Part Nr. 425	Designação / Designation ESTUDO QUINAGEM				Nº de OF / Work Order Nr. 28/04/22 12:34:41
					
LAUAK-P – Mod. 152 – 2/14					
Metrolog Group - Metrolog X4 V15 SP1 HF2					





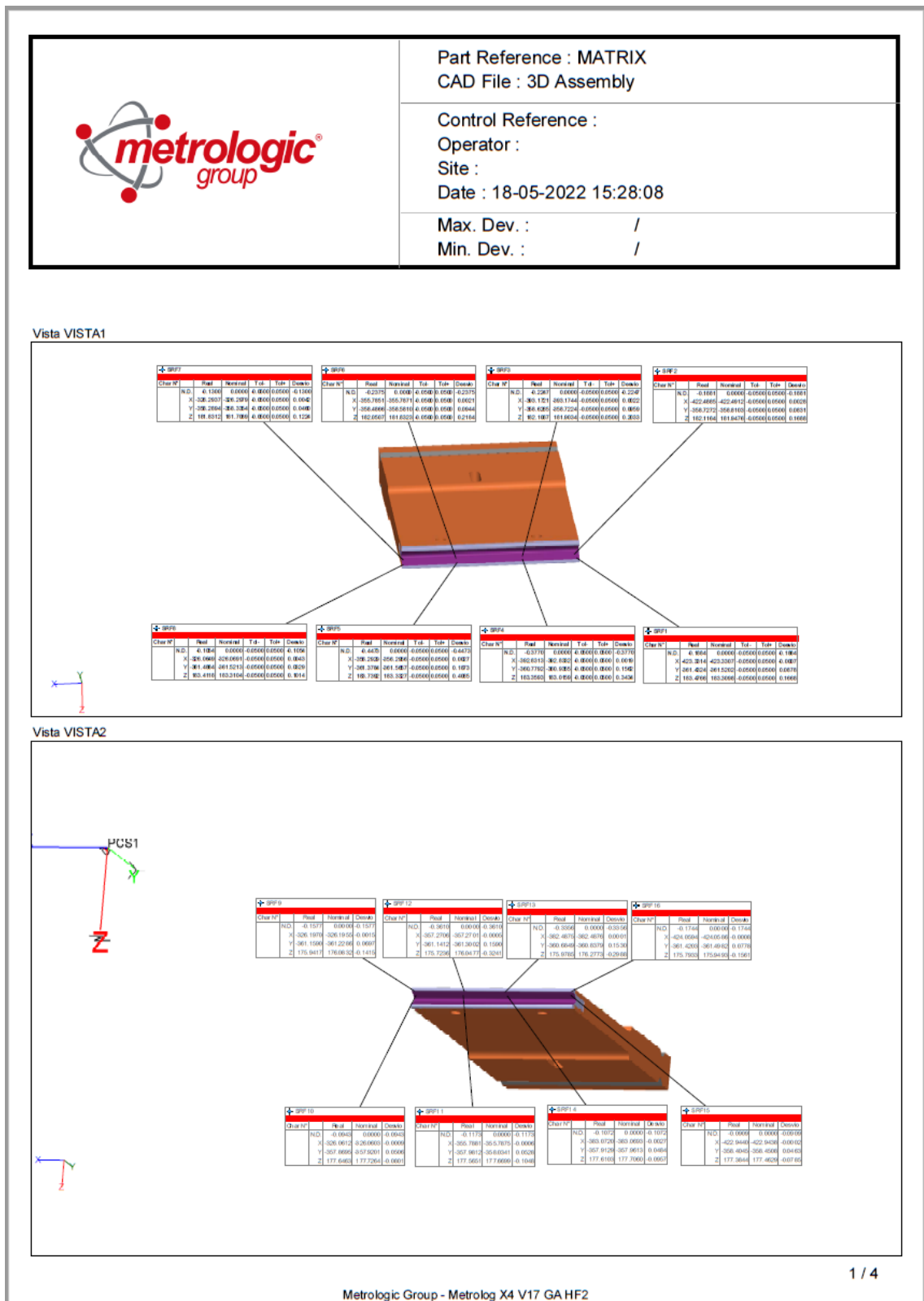






“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

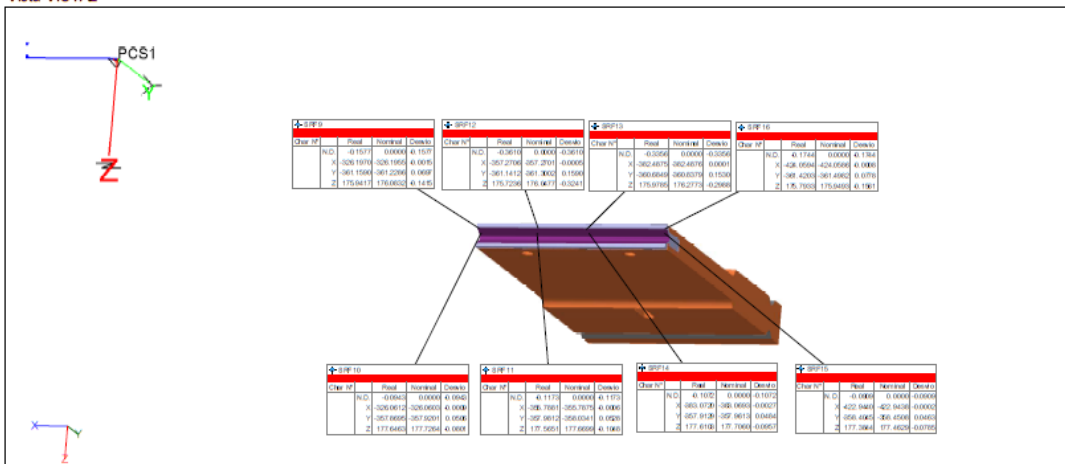
xv. Análise tridimensional relatório de controlo do polímero



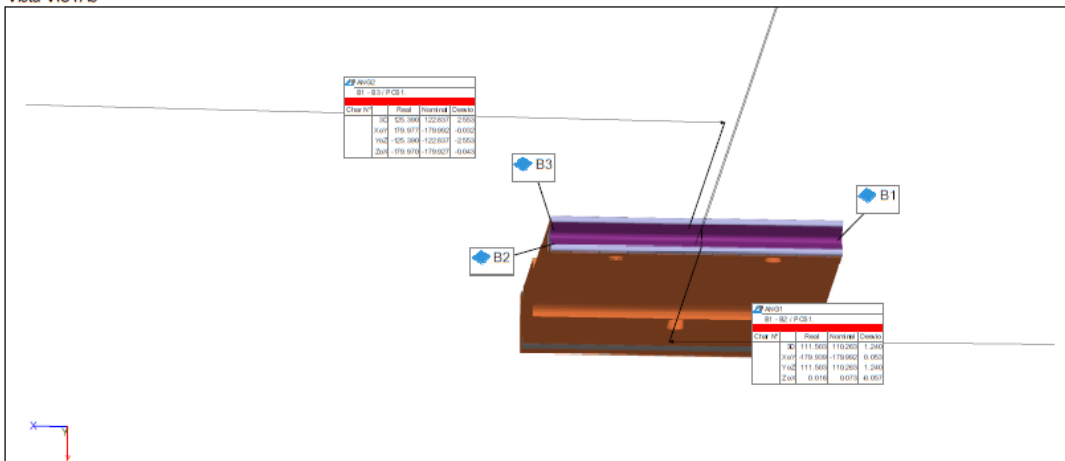
“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Part Reference :
Date : 18-05-2022 15:28:08

Vista VISTA2



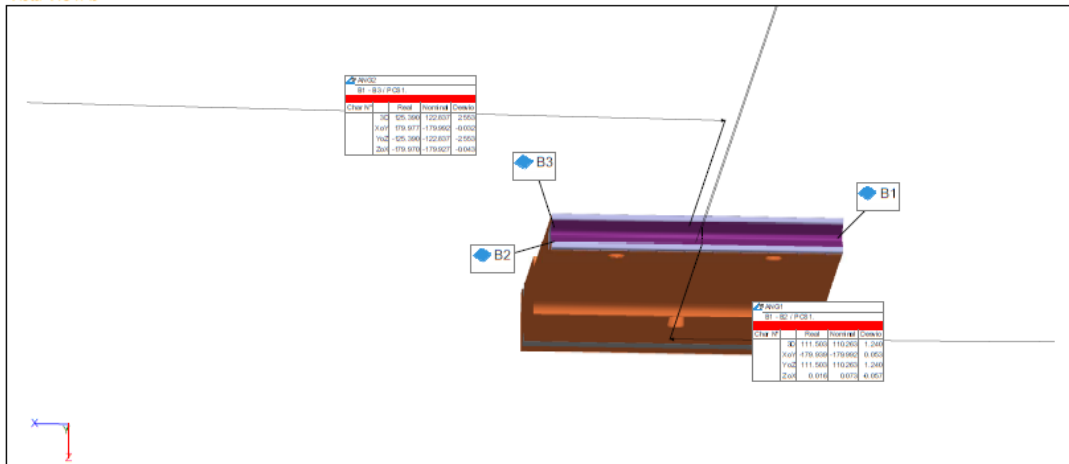
Vista VISTA3



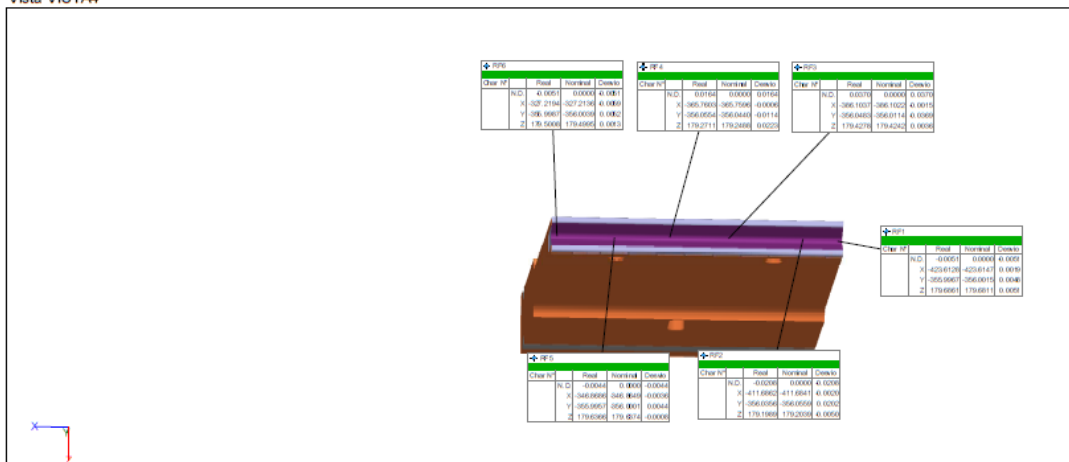
“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Part Reference :
Date : 18-05-2022 15:28:08

Vista VISTA3



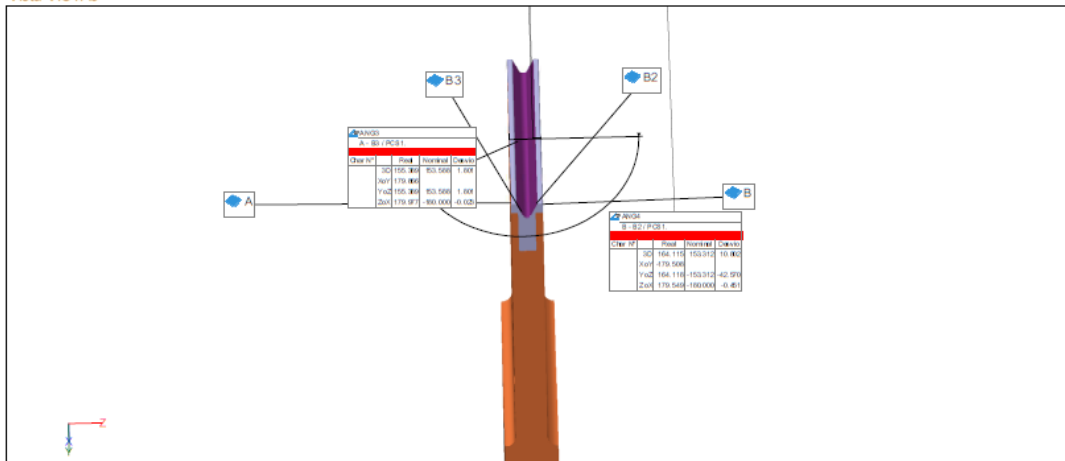
Vista VISTA4



“Seleção de Polímeros Termoplásticos para Matrizes Híbridas Metaloplásticas
usadas em Processos de Quinagem de Componentes Aeronáuticos”
Mestrado em Engenharia de Materiais

Part Reference :
Date : 18-05-2022 15:28:08

Vista VISTA5



Vista CAPA

