



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/532/01078

CARACTERIZAÇÃO 3D DE UM MODELO FÍSICO DA FRENTE DE UM COMBOIO DE ALTA VELOCIDADE

Estudo realizado por solicitação do Departamento
de Estruturas do LNEC

Lisboa • Setembro de 2010

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 342/2010 – NQM

Caracterização 3D de um Modelo Físico da Frente de um Comboio de Alta Velocidade

Resumo

Este relatório descreve o estudo de caracterização tridimensional de um modelo físico (frente de um comboio de alta velocidade) realizado pelo Núcleo de Qualidade Metrológica do Centro de Instrumentação Científica do LNEC usando uma máquina de medição de coordenadas tridimensionais, realizado por solicitação do Núcleo de Observação de Estruturas do Departamento de Estruturas do LNEC. O presente documento contém uma descrição sumária da instalação do modelo físico, do processo de qualificação do equipamento de referência, dos ensaios para a medição da matriz de coordenadas e apresenta os resultados obtidos incluindo as coordenadas tridimensionais, a sua rastreabilidade e a incerteza de medição associada.

3D Characterization of the Front of a High Speed Train Physical Model:

Abstract

This report describes the three-dimensional characterization study developed by LNEC's Metrological Quality Division of the Scientific Instrumentation Centre of a physical model (the front part of a high speed train), using a three-dimensional coordinates measuring machine (CMM), by request of LNEC's Monitoring of Structures Division of the Structures Department. The document contains a description of the set-up, of the CMM initialization process, of the definition of the measuring matrix, of the testing performed and presents the results obtained including the three-dimensional coordinates, its traceability and the measurement uncertainty.

Caractérisation Tridimensionnelle d'un Modèle Physique du Front d'un Train à Grande Vitesse

Résumé

Ce rapport décrit l'étude de caractérisation d'un modèle physique tridimensionnel (front d'un train à grande vitesse) réalisé par la Division de Qualité Métrologique du Centre d'Instrumentation Scientifique du LNEC, utilisant une machine de mesure des coordonnées tridimensionnelles, sollicité par la Division d'Observation de Structures du Département de Structures du LNEC. Le présent document contient une brève description de l'installation du modèle physique, la procédure de qualification de l'équipement de référence, les essais pour mesurer la matrice de coordonnées et présente les résultats obtenus, y compris les coordonnées tridimensionnelles, leur traçabilité et l'incertitude de mesure associée.

Índice de matérias

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS	3
2.1 Estabilização Térmica.....	3
2.2 Instalação e Imobilização do Modelo Físico.....	3
2.3 Parametrização Inicial e Qualificação da Ponteira	4
3. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL	6
3.1 Determinação da Coordenada Vertical da Origem dos Eixos de Referência.....	7
3.2 Determinação da Coordenada Transversal da Origem dos Eixos de Referência.....	8
3.3 Selecção da Origem dos Eixos de Referência do Estudo.....	9
3.4 Planos de Medição	9
3.5 Resultados da Medição	10
3.6 Rastreabilidade e Incerteza de Medição	12
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	13
ANEXO A – COORDENADAS DA CARACTERIZAÇÃO 3D	15

1. INTRODUÇÃO

A actividade metrológica desenvolvida pelo Núcleo de Qualidade Metrológica do Centro de Instrumentação Científica do LNEC é constituída por diferentes vertentes, uma das quais consiste na caracterização metrológica de protótipos, modelos físicos e materiais aplicados em estudos de Engenharia Civil.

Esta actividade é desenvolvida em colaboração com outros sectores do LNEC ou com entidades externas constituindo, habitualmente, uma forma de obtenção de informação intermédia aplicada em estudos avançados.

O presente estudo foi efectuado por solicitação do Núcleo de Observação de Estruturas do Departamento de Estruturas, tendo como objectivo a caracterização tridimensional parcial de um modelo físico (frente de um comboio de alta velocidade, *vide* Fig. 1) visando a posterior aplicação dessa informação em modelação numérica associada a estudos avançados de aerodinâmica.

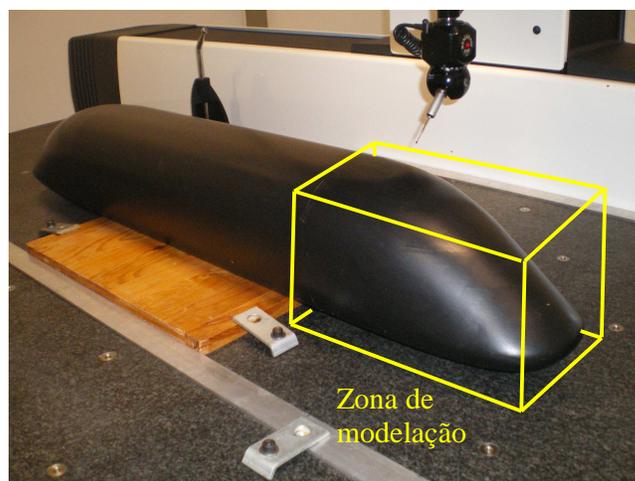


Figura 1 – Zona de modelação do modelo físico

A caracterização tridimensional do referido modelo foi efectuada com recurso ao Laboratório Central de Apoio Metrológico do LNEC, usando para esse efeito um sistema de medição incorporando uma máquina de medição de coordenadas tridimensionais DEA (MMC3D), rastreada aos padrões primários da grandeza comprimento e uma aplicação

computacional dedicada ao desenvolvimento de programação e interface com as ponteiros de medição, bem como, a automatização de processos de medição.

O estudo desenvolvido incluiu diversos ensaios visando, numa primeira fase, estabelecer o sistema de eixos de referência alinhado com o eixo longitudinal do modelo físico de modo a permitir a translação de coordenadas para outro sistema referencial, numa segunda fase, a definição das matrizes associadas aos planos de medição 2D parcelares e, numa terceira fase, o agrupamento de toda a informação recolhida, referenciada à origem do sistema de eixos de referência, gerando o ficheiro com a informação completa da geometria 3D do objecto de interesse, i.e., a frente do modelo físico do comboio de alta velocidade (adiante denominado simplificada por CAV).

Finalmente, refira-se que a terminologia adoptada neste documento segue as definições de conceitos fundamentais de natureza metrológica apresentados no Vocabulário Internacional de Metrologia [1] e que a avaliação de incertezas de medição segue o método proposto no Guia ISO/IEC para expressão da incerteza de medição [2].

2. PREPARAÇÃO DOS ENSAIOS

2.1 Estabilização Térmica

Os ensaios de natureza dimensional possuem no seu procedimento, um período prévio de estabilização térmica de modo a minimizar eventuais contribuições para a incerteza de medição devido à influência associada à variação de temperatura.

De modo a cumprir os requisitos associados a esta área de medição, o modelo físico foi colocado nas instalações laboratoriais durante 24 horas antes da realização dos ensaios, de modo a garantir que a temperatura do mesmo seja equivalente à dos padrões de referência e do ambiente laboratorial. No caso da grandeza comprimento, a temperatura de referência corresponde a 20 °C e o ambiente das salas laboratoriais é mantido a (20 ± 1) °C.

2.2 Instalação e Imobilização do Modelo Físico

Para este efeito foi utilizada uma base visando elevar o modelo físico (*vide* Fig. 2) de modo a permitir a medição de pontos nas regiões mais próximas da sua base, cuja acessibilidade é condicionada, por um lado, pela configuração do modelo que possui uma curvatura acentuada junto da superfície de base e, por outro lado, pela estrutura do braço que suporta a ponteira de medição da MMC3D, uma vez que o posicionamento da ponteira numa direcção horizontal requer que se garanta uma elevação complementar superior a metade do suporte da ponteira.



Figura 2 – Instalação da base e do modelo na mesa-plano

A medição das coordenadas que se pretende efectuar não é afectada pela presença desta base auxiliar, dado que todos os valores de coordenadas serão referenciados a uma origem de eixos de referência posicionada no modelo e, como tal, reproduzem medições relativas e não absolutas (referenciadas ao eixo de referência da máquina de medição).

A imobilização da base foi efectuada com a fixação à mesa-plano usando mordentes, sendo a imobilização do modelo a essa base concretizada utilizando fita autocolante de dupla face.

A avaliação do estado de imobilização foi efectuada realizando um ensaio prévio para verificação de inexistência de deslizamento do modelo durante o contacto com o apalpador da ponteira de medição. Este ensaio consistiu na repetição de um conjunto de medições efectuadas sucessivamente, em posições pré-definidas, tendo sido verificado que esse contacto sucessivo não provocou deriva nas observações efectuadas em cada uma das posições de teste, o que permitiu considerar que a contribuição desta componente para a incerteza de medição não é significativa.

2.3 Parametrização Inicial e Qualificação da Ponteira

A utilização da máquina de medição de coordenadas tridimensionais na medição de protótipos requer a realização inicial de um processo de parametrização e qualificação executado no modo de parametrização da aplicação computacional de apoio.

O sistema de coordenadas da ponteira é definido em função de dois ângulos (*vide* Fig. 3): ângulo α vertical associada ao eixo da ponteira (de amplitude compreendida entre 0° - posição vertical invertida - e $+105^\circ$) e ângulo β correspondente ao ângulo de rotação em torno do eixo vertical (de amplitude compreendida entre -180° e $+180^\circ$).

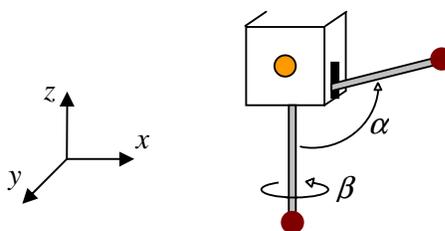


Fig.3 – Ângulos de posicionamento da ponteira da MMC

A parametrização, realizada no início de cada processo de medição, tem como objectivo promover a caracterização dimensional da esfera (em particular, o seu raio), utilizando como referência uma esfera-padrão (*vide* Fig. 4). Desta forma, o sistema computacional poderá efectuar a correcção sistemática das observações mediante a dedução do raio da esfera em cada medição. A parametrização inicial das posições da ponteira foi efectuada para quatro situações distintas apresentadas na Figura 5. Essas posições correspondem aos seguintes pares de ângulos (α, β) : $(0^\circ, 0^\circ)$; $(+90^\circ, +90^\circ)$; $(+90^\circ, -90^\circ)$; $(+90^\circ, +180^\circ)$.

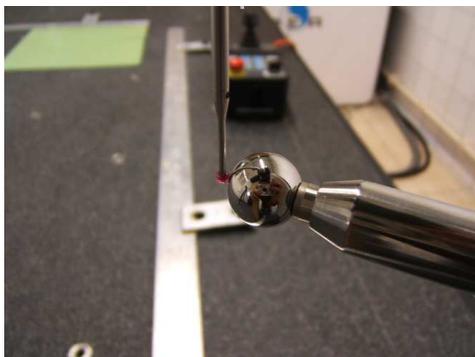


Figura 4 – Parametrização usando uma esfera-padrão

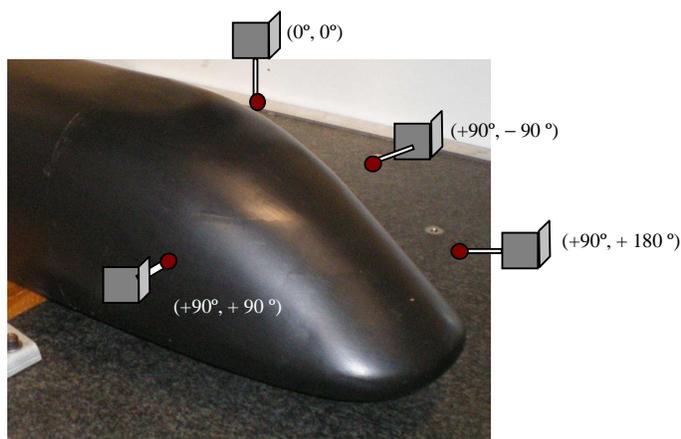


Figura 5 – Posições pré-definidas da ponteira de medição

A qualificação da ponteira decorre da introdução, em campos específicos da aplicação computacional, das coordenadas observadas no processo de parametrização. Este procedimento permite, conhecendo a dimensão de referência da esfera, retirar em cada medição uma quantidade equivalente ao raio do apalpador, corrigindo o resultado de forma a que, independentemente da orientação associada à medição, a posição de medição corresponda ao centro geométrico da esfera desse apalpador.

O passo seguinte consiste na definição e qualificação das posições de interesse da ponteira para o ensaio a realizar. Neste caso, as posições seleccionadas foram $(0^\circ, 0^\circ)$, para efectuar as medições de topo, $(+90^\circ, +90^\circ)$, para as medições da face lateral esquerda (na vista frontal); $(+90^\circ, -90^\circ)$, para as medições da face lateral direita e $(+90^\circ, +180^\circ)$ para as medições da face frontal. No final deste procedimento é efectuado o arquivo do ficheiro de parametrização e selecciona-se, em seguida, o modo de medição da MMC3D que permite proceder à realização dos ensaios dimensionais pretendidos.

3. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL

A caracterização tridimensional de um modelo físico com a configuração do CAV em estudo requer que se estabeleça uma origem e um sistema de eixos de referência, (o, x, y, z) , onde ox representa o eixo transversal, oy , o eixo longitudinal (associado à orientação do modelo físico na MMC3D e oz , o eixo vertical.

Este sistema de eixos deverá permitir definir uma origem do referencial adequada de modo a que as posições observadas possuam uma simetria em torno desse eixo, facilitando a transposição das coordenadas para qualquer outro referencial de interesse. O sistema natural de eixos de referência está alinhado com o eixo longitudinal do modelo físico conforme exposto na Figura 6.

A adopção da origem do referencial indicado na figura é inviabilizada, no presente estudo, uma vez que a posição em causa se encontra fisicamente inacessível à ponteira. Assim, foi seleccionado um sistema de referência alternativo, obtido por translação segundo o eixo oz , para uma posição acessível à ponteira no topo do modelo (*vide* Fig. 7).

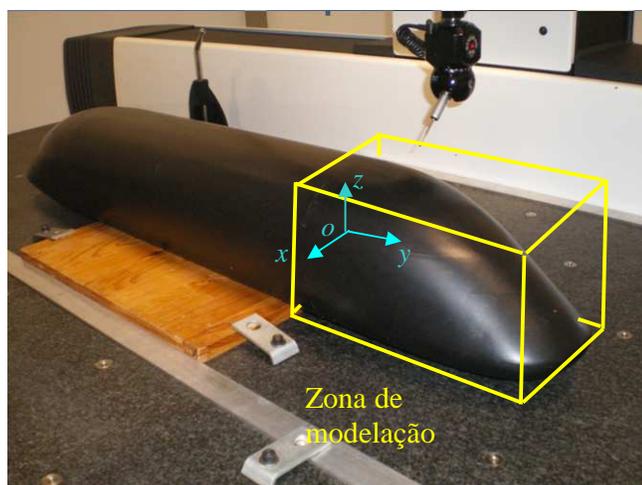


Figura 6 – Sistema de eixos de referência natural

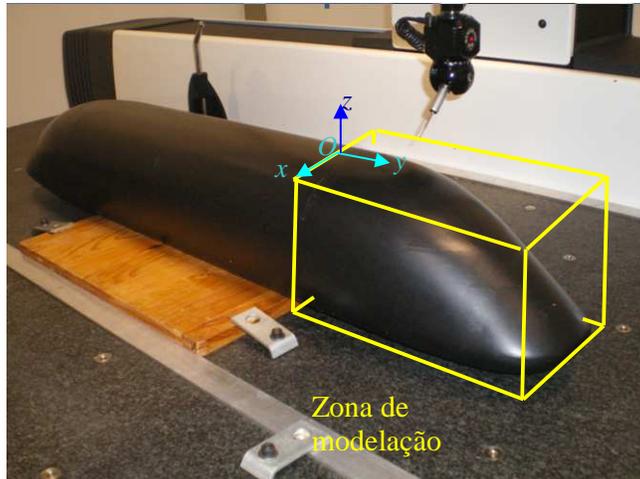


Figura 7 – Sistema de eixos de referência adoptado

Os ensaios desenvolvidos no processo de caracterização dimensional do modelo decorrem, conseqüentemente, em cinco etapas:

- a. determinação da altura do modelo, permitindo estimar a coordenada z da origem do sistema de referência;
- b. determinação da largura média do modelo, permitindo estimar a coordenada x da origem do sistema de referência;
- c. selecção da posição adoptada como origem do eixo de referência para o processo de medição;
- d. selecção dos planos de medição e mapeamento de posições a medir;
- e. medição e agrupamento de conjuntos de coordenadas obtidos nos diferentes planos de medição de modo a constituir a informação tridimensional.

3.1 Determinação da Coordenada Vertical da Origem dos Eixos de Referência

A determinação da altura média do modelo físico tem como objectivo obter uma estimativa da coordenada z da origem do sistema de eixos de referência adoptado.

A estimativa da grandeza em causa foi determinada com o modelo físico colocado na base da mesa-plano da MMC3D (sem a presença da base). Nesta situação, foi efectuada a criação de um elemento-plano¹ a partir de quatro posições na superfície da mesa-plano e foi efectuada a observação de um ponto no topo do modelo físico.

¹ O sistema de medição permite criar elementos geométricos definidos em espaços 2D, por exemplo, os elementos-linha e em espaços 3D, por exemplo, os elementos-plano. A definição destes elementos permite um conjunto de funcionalidades particularmente úteis no contexto da análise geométrica, nomeadamente, determinar parâmetros como a linearidade e distâncias de pontos a linhas e a planos.

A distância desse ponto, localizado no topo do modelo físico, ao plano criado (referente à superfície da mesa-plano), fornece uma estimativa da altura média do modelo físico na região de modelação (frente do CAV), ou seja, uma estimativa da coordenada z relativamente à base correspondente à posição de origem z do referencial do modelo físico. O valor obtido para a altura máxima do modelo físico na região de modelação, que foi considerado como estimativa da coordenada z associada à origem do sistema de eixos de referência, corresponde a 177,306 mm.

3.2 Determinação da Coordenada Transversal da Origem dos Eixos de Referência

A determinação da coordenada transversal correspondente à coordenada no eixo ox correspondente ao eixo longitudinal do CAV, tendo sido obtida pela definição, no referencial do sistema de medição, de dois planos representativos das duas faces laterais opostas do modelo (na Fig. 9 estes são identificados como o plano F1 – da face esquerda – e o plano F2 – da face direita).

O sistema de medição permite a definição de dois elementos-plano e a determinação da distância média² entre os planos, a qual constitui a estimativa da coordenada transversal pretendida (associada ao eixo de referência do modelo físico). O seu valor corresponde à semi-amplitude do afastamento entre esses dois planos.

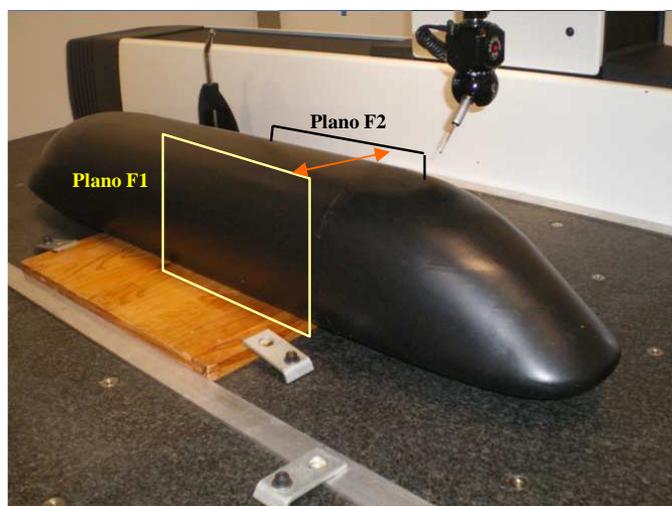


Figura 9 – Planos laterais utilizados na determinação da estimativa da coordenada transversal do eixo longitudinal do modelo físico

² Considera-se como estimativa a distância média entre os planos numa região limitada pelos pontos que originaram a criação dos planos porque, devido à natureza construtiva dos modelos, os planos em causa não são paralelos.

O valor obtido para a estimativa da distância transversal média foi de 201,238 mm, permitindo determinar a posição intermédia segundo o eixo ox que foi adoptada para a definição dessa coordenada do sistema de eixos de referência.

3.3 Selecção da Origem dos Eixos de Referência do Estudo

A selecção da posição de referência é particularmente relevante no processo de medição, uma vez que todas as medições subsequentes tomam como referencial de origem a posição escolhida. A medição usando a MMC3D requer que essa posição corresponda a um ponto mensurável, pelo que este teve que ser seleccionado na superfície do modelo. A posição escolhida como origem do sistema de eixos de referência foi o topo da região de interesse a caracterizar, correspondendo a uma posição obtida por translação em oz do referencial natural associado ao eixo longitudinal do modelo.

3.4 Planos de Medição

O estudo desenvolvido teve como objectivo central a obtenção de cerca de 500 coordenadas de pontos distribuídos pela superfície de modelação, distribuídos por quatro planos de referência. Em cada um destes foi efectuado um mapeamento prévio, criando uma matriz de posições para medição. Os quatro planos foram definidos nas faces laterais, de topo e frontal, cobrindo toda a zona de modelação, conforme se observa na Figura seguinte.

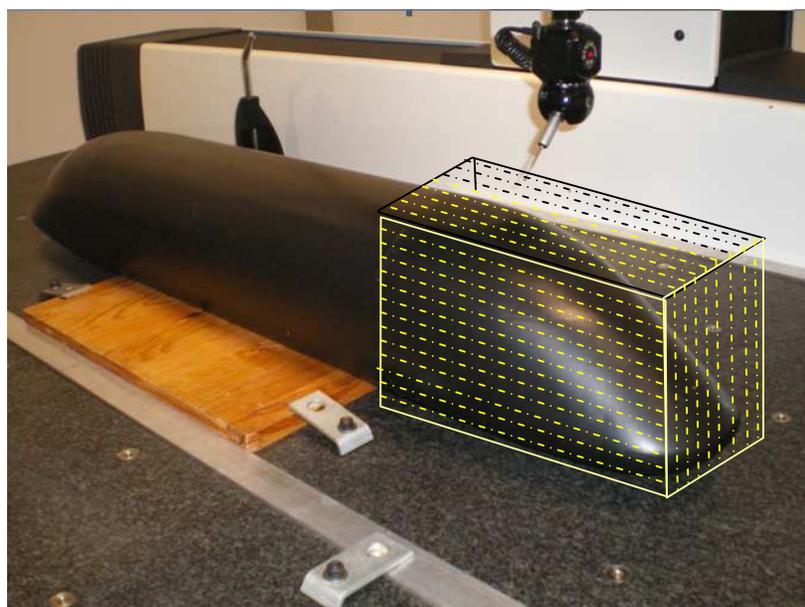


Figura 9 – Vista dos planos lateral esquerdo, de topo e frontal

Cada um dos planos contém uma matriz com cerca de 120 pontos com afastamento variável de modo a aumentar a concentração destes em regiões onde o relevo da superfície envolve variações mais significativas. É o caso da parte inferior do plano frontal onde a frente do modelo físico possui uma configuração que requer um maior detalhe geométrico.

3.5 Resultados da Medição

A utilização da MMC3D permitiu obter um conjunto de coordenadas, apresentadas graficamente nas Figuras 10 a 13 (expostas em duas orientações distintas) e os seus valores numéricos referentes à caracterização 3D do modelo físico em estudo encontram-se no Anexo 1 deste documento..

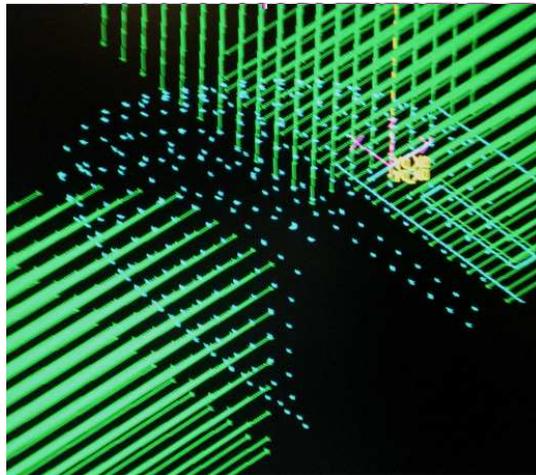


Figura 10 – Imagem lateral obtida usando o software do sistema de medição

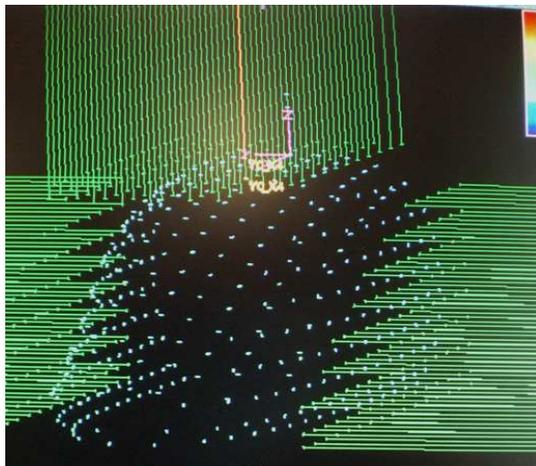


Figura 11 – Imagem frontal obtida usando o software do sistema de medição

Estas figuras exibem as posições observadas na superfície do modelo e as matrizes originais do mapeamento de posições pré-definidas nos planos laterais e de topo.

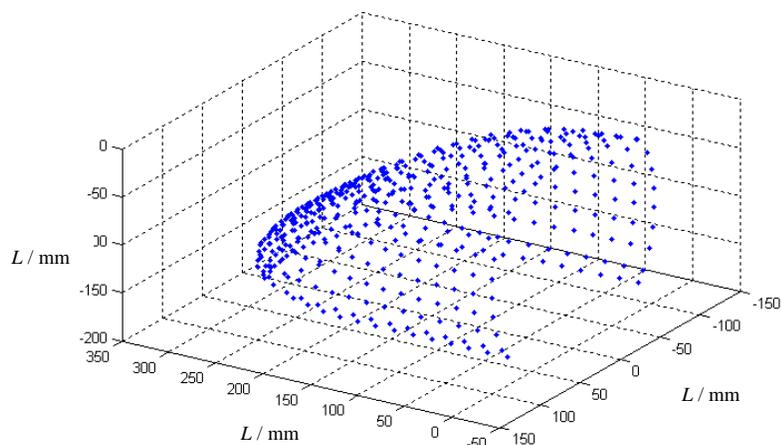


Figura 12 – Imagem em perspectiva da distribuição dos pontos observados

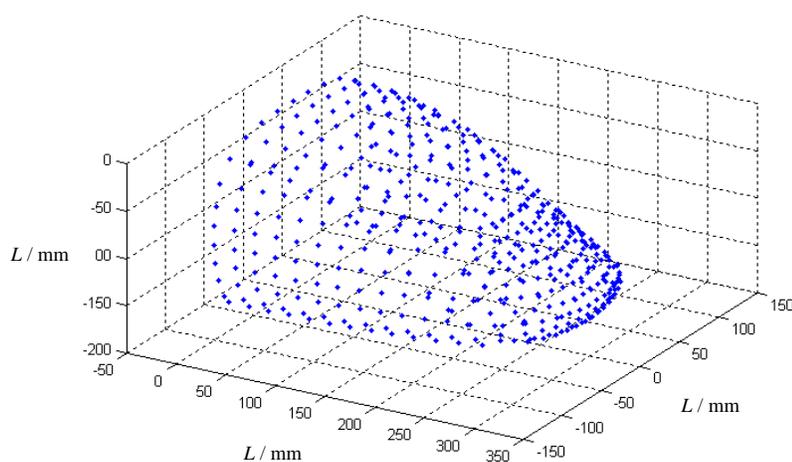


Figura 13 – Imagem em perspectiva da distribuição dos pontos observados

O processo de validação dos dados foi efectuado avaliando a informação tridimensional obtida comparando-a com valores nominais conhecidos. Complementarmente, procurou detectar-se a ocorrência de observações espúrias (*outliers*). Na amostra de valores obtidos experimentalmente não foram detectadas situações desta natureza, sendo indicadas, no Anexo 1, todas as coordenadas dos pontos experimentais.

3.6 Rastreabilidade e Incerteza de Medição

As medições efectuadas encontram-se rastreadas ao Laboratório de Ensaios e Calibrações Emílio de Azevedo Campos, pelo certificado n.º01/041/2008 de 2008/08/26, cujo equipamento de referência se encontra rastreado ao METAS (Instituto Nacional de Metrologia da Suíça).

No que se refere à avaliação das incertezas de medição associadas aos resultados obtidos (coordenadas tridimensionais), a incerteza de medição expandida (num intervalo de confiança de 95%) corresponde a $(3,4 \cdot 10^{-3} + 7,7 \cdot 10^{-6} L)$ mm (com L em mm), de acordo com a tabela de balanço de incertezas apresentada em seguida.

Quadro 1 – Tabela de balanço de incertezas associadas à medição dimensional usando a MMC3D

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F _a P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X_i		$u(x_i)$	C_i	$u_i(y)$	ν_i
L_s	Incerteza de medição alvo ^(a)	N	$1,5 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$1,5 \cdot 10^{-3}$ mm	50
d	Desvio de calibração (repetibilidade instrumental)	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
	Desvio de calibração (correlação coef. linear exp. térmica vs. temperatura)	N	$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	1	$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$6 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$3,46 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição comprimento e erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de referência.	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de referência	N	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do instrumento a calibrar	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	- 1	0 mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	$(5 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(5 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arco-seno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (1,7 \cdot 10^{-3} + 3,7 \cdot 10^{-6} L)$ mm
k	Graus de liberdade efectivos (100 mm): 178
ν_{eff}	Factor de expansão: 2,01
$U_{95\%}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (3,4 \cdot 10^{-3} + 7,7 \cdot 10^{-6} L)$ mm

A elaboração desta tabela foi baseada no método GUM [2] aplicando a Lei de Propagação de Incertezas. Nesta, foi ainda aplicada a fórmula de Welch-Satterthwaite ([2],[3] e [4]) visando a determinação do número de graus de liberdade efectivos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento recente da Metrologia como ramo transversal da Ciência e a crescente consciência de que a qualidade da medição é um importante contributo para a qualidade da investigação tem permitido promover, cada vez mais, a sua interacção com outros ramos da Ciência, nomeadamente, apoiando estudos de I&DT.

O LNEC, ao promover o incremento das suas competências ao nível metrológico, tem criado condições para que a actividade desenvolvida nos seus diversos sectores beneficie directa ou indirectamente desta valência, quer pela via da rastreabilidade da sua instrumentação científica, quer pela sua aplicação na medição de grandezas físicas.

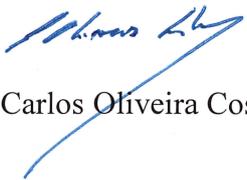
Salienta-se que o estudo desenvolvido permitiu ao sector que solicitou este trabalho obter informação que será necessária para a posterior modelação numérica do modelo físico e ao NQM desenvolver competências numa área de actividade emergente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)*, 3ª edição. Caparica (Portugal): Instituto Português da Qualidade (IPQ), Novembro de 2008.
- [2] *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*. Genève (Suíça): International Organization for Standardization (ISO), 1995.
- [3] Satterthwaite, F. E., (1946) *Biometrics Bull.* **2**(6), 110-114.
- [4] Welch, B. L., (1947) *Biometrika.* **34**, 28-35.

VISTOS

O Director do CIC,



Carlos Oliveira Costa

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro

Lic.º Física Tecnológica, Doutor
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM



Luís Filipe Lages Martins

Lic.º em Engenharia Mecânica
Bolsheiro de Iniciação à Investigação Científica

ANEXO A – COORDENADAS DA CARACTERIZAÇÃO 3D

Anexo A – Coordenadas de caracterização 3D

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
001	-0,002	-0,002	-0,221
002	19,997	0,001	-0,854
003	39,995	0,001	-1,699
004	59,995	-0,001	-2,563
005	79,998	-0,001	-5,789
006	99,996	0,001	-11,200
007	119,994	-0,001	-17,750
008	139,997	0,000	-25,309
009	159,995	0,001	-34,666
010	179,995	0,001	-45,559
011	199,997	-0,001	-57,005
012	219,996	0,001	-69,847
013	239,997	0,001	-83,150
014	259,998	0,001	-96,870
015	279,996	0,001	-111,409
016	299,999	-0,001	-128,831
017	0,004	19,999	-0,838
018	19,997	19,999	-1,513
019	40,001	20,000	-2,322
020	59,998	20,000	-3,371
021	80,005	20,001	-7,175
022	100,000	20,000	-12,430
023	119,999	19,998	-19,020
024	139,999	20,001	-26,623
025	160,000	20,000	-36,248
026	180,000	20,000	-47,125
027	199,998	20,000	-58,710
028	219,999	20,000	-71,959
029	239,999	20,000	-85,490
030	259,997	20,000	-99,692
031	280,000	20,001	-114,641
032	300,000	20,000	-132,434
033	-0,006	39,999	-2,702
034	20,002	39,999	-3,479
035	39,999	40,000	-4,558
036	59,999	39,999	-6,700
037	79,997	39,999	-10,603
038	99,998	40,000	-16,070
039	119,999	39,999	-23,001
040	140,000	40,001	-31,504
041	159,998	39,999	-41,427
042	180,002	40,001	-52,645
043	200,000	40,000	-65,720
044	219,999	39,999	-79,703
045	239,993	40,000	-94,046
046	260,003	39,999	-108,694
047	280,016	40,000	-123,964
048	-0,016	59,998	-7,677
049	20,041	59,999	-8,997
050	39,998	60,002	-10,741

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
051	59,967	59,999	-13,511
052	80,003	60,001	-17,678
053	99,990	59,999	-23,594
054	119,995	60,002	-31,511
055	139,998	60,000	-41,245
056	160,000	59,999	-51,923
057	180,002	60,000	-65,480
058	200,001	59,999	-80,612
059	220,008	60,000	-96,103
060	239,996	59,999	-110,945
061	260,018	60,001	-125,377
062	279,998	60,000	-140,482
063	0,036	79,998	-20,384
064	19,975	79,999	-21,311
065	39,990	80,001	-23,528
066	60,000	80,000	-27,248
067	80,016	80,000	-32,565
068	100,002	79,999	-40,275
069	120,009	80,001	-50,092
070	139,972	80,000	-61,879
071	160,001	79,999	-78,778
072	179,971	80,000	-98,085
073	200,000	79,999	-115,824
074	219,991	79,999	-130,583
075	0,019	-20,002	-0,400
076	20,009	-20,001	-1,109
077	40,016	-19,999	-1,985
078	59,990	-20,002	-3,038
079	80,023	-20,000	-6,940
080	100,006	-20,000	-12,441
081	119,983	-20,001	-19,194
082	140,002	-20,000	-27,109
083	160,033	-20,001	-37,010
084	179,992	-20,001	-47,716
085	199,984	-20,001	-59,122
086	220,005	-20,001	-72,548
087	240,012	-20,000	-85,857
088	260,033	-19,999	-99,749
089	279,999	-20,000	-113,839
090	300,045	-20,000	-131,200
091	0,013	-40,001	-1,926
092	20,001	-40,001	-2,572
093	39,988	-40,001	-3,617
094	59,992	-40,001	-6,027
095	79,996	-40,001	-10,243
096	100,011	-40,000	-16,149
097	119,987	-40,001	-23,474
098	139,988	-40,001	-32,333
099	160,045	-40,001	-42,825
100	179,999	-40,000	-53,860

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
101	200,032	-40,000	-67,028
102	220,002	-40,001	-80,671
103	239,987	-40,001	-94,598
104	259,991	-40,001	-108,075
105	279,962	-40,001	-121,952
106	-0,048	-60,001	-7,226
107	20,000	-60,002	-8,203
108	39,996	-60,001	-10,262
109	60,033	-60,000	-13,485
110	80,000	-60,001	-18,108
111	99,995	-60,000	-24,470
112	119,994	-60,000	-33,037
113	139,990	-60,001	-43,089
114	160,000	-60,000	-54,239
115	179,958	-60,001	-68,104
116	200,009	-60,000	-83,004
117	219,979	-60,001	-97,308
118	240,002	-60,000	-110,506
119	259,999	-60,001	-122,765
120	280,010	-60,000	-137,813
121	-0,002	-80,000	-19,757
122	20,000	-80,001	-21,535
123	40,000	-80,001	-24,743
124	60,018	-80,000	-29,056
125	80,013	-80,001	-35,104
126	99,995	-80,000	-42,697
127	120,023	-80,001	-51,881
128	139,993	-80,003	-64,876
129	159,989	-80,000	-81,003
130	180,008	-80,001	-98,517
131	199,993	-80,000	-115,442
132	220,036	-80,000	-129,207
133	0,000	-80,255	-19,999
134	0,004	-93,132	-40,007
135	-0,003	-98,803	-59,999
136	-0,003	-100,928	-79,998
137	0,002	-101,043	-99,999
138	-0,006	-99,667	-119,998
139	-0,004	-95,839	-139,999
140	0,001	-88,057	-159,998
141	0,003	-81,655	-169,999
142	20,002	-78,462	-19,999
143	20,000	-91,810	-39,999
144	20,001	-97,808	-59,999
145	20,003	-100,211	-79,998
146	20,000	-100,611	-99,999
147	20,000	-99,434	-119,999
148	19,997	-96,082	-139,999
149	19,998	-88,337	-159,999
150	19,999	-81,816	-169,999

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
151	39,997	-75,276	-19,999
152	40,001	-90,005	-39,998
153	39,998	-96,478	-59,999
154	39,998	-99,321	-79,998
155	39,998	-100,088	-99,999
156	40,000	-99,191	-119,999
157	39,996	-96,136	-139,999
158	40,002	-88,444	-159,999
159	39,999	-81,806	-169,999
160	60,000	-70,788	-19,999
161	60,000	-87,495	-39,999
162	59,998	-94,895	-59,999
163	60,002	-98,104	-79,998
164	59,999	-99,242	-99,999
165	60,001	-98,607	-119,999
166	60,002	-95,978	-139,999
167	59,998	-88,322	-159,998
168	59,998	-81,436	-169,999
169	79,999	-63,921	-19,999
170	80,000	-83,393	-39,999
171	80,004	-92,576	-59,999
172	80,002	-96,659	-79,998
173	80,002	-98,118	-99,999
174	80,001	-97,694	-119,999
175	80,001	-95,493	-139,999
176	80,000	-87,945	-159,998
177	80,002	-80,945	-169,999
178	100,000	-52,964	-19,999
179	100,001	-77,529	-39,998
180	100,002	-89,214	-59,999
181	100,001	-94,415	-79,998
182	99,998	-96,595	-99,999
183	100,002	-96,517	-119,998
184	99,996	-94,635	-139,999
185	99,996	-87,360	-159,999
186	100,002	-80,342	-169,999
187	119,999	-69,235	-39,999
188	120,001	-84,277	-59,999
189	119,996	-91,032	-79,998
190	120,002	-94,352	-99,999
191	119,998	-94,967	-119,998
192	120,002	-93,642	-139,999
193	119,996	-86,466	-159,998
194	120,003	-79,386	-169,999
195	139,999	-56,182	-39,999
196	139,999	-76,395	-59,999
197	139,999	-85,824	-79,998
198	139,999	-90,595	-99,999
199	139,999	-92,796	-119,998
200	139,998	-92,366	-139,999

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
201	140,001	-85,296	-159,999
202	140,000	-78,065	-169,999
203	160,001	-65,780	-59,999
204	160,001	-78,732	-79,998
205	160,000	-85,851	-99,999
206	159,998	-89,642	-119,998
207	160,000	-90,627	-139,999
208	160,000	-83,710	-159,998
209	159,996	-76,383	-169,999
210	180,000	-51,028	-59,999
211	179,999	-69,391	-79,998
212	180,001	-79,711	-99,999
213	179,998	-85,617	-119,999
214	179,997	-88,327	-139,999
215	179,999	-81,689	-159,999
216	180,002	-74,162	-169,999
217	199,999	-57,132	-79,999
218	199,997	-71,980	-99,999
219	200,003	-80,729	-119,999
220	199,996	-85,616	-139,999
221	200,003	-79,104	-159,998
222	200,001	-71,313	-169,999
223	219,997	-62,071	-99,999
224	219,998	-74,910	-119,999
225	219,997	-82,398	-139,999
226	219,998	-75,786	-159,999
227	219,998	-67,518	-169,999
228	240,001	-48,561	-99,999
229	239,997	-67,988	-119,999
230	239,997	-78,545	-139,999
231	239,998	-71,056	-159,998
232	239,999	-62,279	-169,999
233	260,000	-57,126	-119,999
234	259,996	-72,162	-139,999
235	259,997	-64,311	-159,998
236	279,990	-60,748	-139,999
237	280,008	-52,525	-159,999
238	299,984	-37,229	-139,999
239	0,002	79,632	-19,999
240	0,000	92,873	-39,998
241	0,001	98,333	-59,999
242	0,001	100,124	-79,998
243	0,001	100,195	-99,999
244	-0,004	98,869	-119,998
245	-0,001	95,235	-139,999
246	0,001	87,583	-159,999
247	-0,003	81,349	-169,999
248	19,995	78,687	-19,999
249	19,999	92,314	-39,999
250	20,006	98,118	-59,999

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
251	20,005	100,072	-79,999
252	20,000	100,134	-99,999
253	19,994	98,668	-119,998
254	20,001	95,055	-139,999
255	19,996	87,835	-159,999
256	19,998	81,782	-169,999
257	40,004	76,173	-19,999
258	39,997	91,287	-39,998
259	39,998	97,688	-59,999
260	39,999	99,844	-79,999
261	39,997	99,982	-99,999
262	40,000	98,326	-119,998
263	40,000	94,709	-139,999
264	40,003	87,852	-159,999
265	39,998	81,885	-169,999
266	60,001	71,738	-19,999
267	59,997	89,002	-39,998
268	59,996	96,559	-59,999
269	60,001	99,350	-79,999
270	60,003	99,588	-99,999
271	60,005	97,870	-119,998
272	59,998	94,384	-139,999
273	60,000	87,700	-159,999
274	60,002	81,720	-169,999
275	80,002	65,331	-19,999
276	79,996	85,169	-39,998
277	79,995	94,451	-59,999
278	80,004	98,038	-79,999
279	80,004	98,687	-99,999
280	80,001	97,220	-119,998
281	79,994	94,197	-139,999
282	79,996	87,645	-159,999
283	79,997	81,518	-169,999
284	99,997	54,163	-19,999
285	99,996	79,455	-39,998
286	100,003	90,674	-59,999
287	100,002	95,765	-79,999
288	99,997	97,220	-99,999
289	100,002	96,287	-119,998
290	99,999	93,660	-139,999
291	100,001	87,363	-159,998
292	100,001	81,262	-169,999
293	119,999	71,135	-39,999
294	120,000	85,435	-59,999
295	120,003	91,975	-79,999
296	120,002	94,687	-99,999
297	120,002	94,723	-119,998
298	119,995	92,801	-139,999
299	120,001	86,898	-159,999
300	120,005	80,916	-169,999

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
301	140,005	58,875	-39,999
302	139,998	78,259	-59,999
303	139,999	86,541	-79,999
304	140,001	90,868	-99,999
305	139,998	92,412	-119,998
306	139,998	91,723	-139,999
307	140,002	86,287	-159,999
308	140,003	80,452	-169,999
309	160,001	68,307	-59,999
310	159,999	79,618	-79,999
311	160,005	85,890	-99,999
312	160,005	89,166	-119,999
313	160,002	90,221	-139,999
314	159,997	85,402	-159,998
315	160,003	79,605	-169,999
316	179,998	53,836	-59,999
317	180,003	70,780	-79,999
318	179,997	79,712	-99,999
319	180,004	85,259	-119,998
320	180,002	88,366	-139,999
321	179,997	84,005	-159,999
322	179,998	78,183	-169,999
323	199,995	59,300	-79,999
324	200,005	72,401	-99,999
325	199,997	80,490	-119,999
326	200,003	85,578	-139,999
327	200,000	82,007	-159,999
328	199,997	75,882	-169,999
329	219,998	62,806	-99,999
330	220,002	74,596	-119,999
331	219,995	81,954	-139,999
332	220,000	79,054	-159,999
333	219,998	71,751	-169,999
334	239,993	48,757	-99,999
335	240,002	66,598	-119,999
336	240,000	77,108	-139,999
337	239,995	74,477	-159,999
338	239,993	65,322	-169,999
339	259,989	54,796	-119,999
340	260,012	70,196	-139,999
341	259,987	67,445	-159,999
342	280,012	59,257	-139,999
343	280,009	55,665	-159,998
344	300,015	34,865	-139,999
345	219,718	79,999	-130,000
346	233,413	80,001	-140,000
347	234,430	70,002	-120,000
348	248,474	69,999	-130,000
349	262,336	69,999	-140,000
350	268,055	69,998	-150,000

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
351	225,652	59,998	-100,000
352	239,230	59,999	-109,999
353	253,112	60,002	-120,000
354	266,849	60,000	-130,000
355	279,519	59,998	-140,000
356	281,921	60,000	-150,000
357	275,016	59,998	-160,000
358	225,526	49,999	-90,000
359	238,784	50,000	-100,000
360	252,559	49,998	-110,000
361	266,140	50,001	-120,000
362	279,167	49,999	-130,000
363	289,849	49,999	-139,999
364	290,994	50,001	-150,000
365	285,133	49,999	-160,000
366	279,353	50,000	-165,000
367	221,093	39,999	-79,999
368	235,048	39,998	-90,000
369	248,720	39,998	-100,000
370	262,238	40,001	-110,000
371	275,429	39,998	-120,000
372	287,662	39,998	-130,000
373	296,633	39,999	-140,000
374	297,114	39,999	-150,000
375	291,331	39,998	-160,000
376	286,000	39,999	-165,000
377	213,331	29,998	-70,000
378	228,028	29,999	-80,000
379	242,071	29,998	-90,000
380	255,933	30,000	-100,000
381	269,338	29,999	-110,000
382	282,109	30,001	-120,000
383	293,597	29,999	-130,000
384	301,239	30,000	-140,000
385	301,087	29,999	-150,000
386	295,271	29,999	-159,999
387	290,043	30,000	-164,999
388	217,799	19,999	-70,000
389	232,766	20,000	-80,000
390	247,088	20,000	-90,000
391	260,924	19,998	-100,000
392	274,367	19,999	-110,000
393	286,881	19,998	-120,000
394	297,615	19,998	-130,000
395	304,212	20,002	-139,999
396	303,587	19,998	-149,999
397	297,845	20,000	-160,000
398	292,739	20,000	-165,000
399	220,396	9,999	-70,000
400	235,423	9,998	-80,000

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
401	250,052	10,001	-90,000
402	263,967	9,999	-100,000
403	277,492	10,000	-110,000
404	289,696	9,999	-120,000
405	299,901	9,997	-130,000
406	305,955	10,000	-140,000
407	305,038	10,000	-149,999
408	299,304	9,998	-159,999
409	294,273	10,000	-165,000
410	221,015	-0,002	-70,000
411	236,011	0,003	-80,000
412	250,823	-0,002	-90,000
413	265,000	0,002	-100,000
414	278,610	-0,001	-110,000
415	290,704	-0,001	-120,000
416	301,077	0,001	-130,000
417	306,739	0,000	-140,000
418	305,640	-0,001	-149,999
419	299,715	-0,002	-159,999
420	294,544	-0,002	-165,000
421	219,682	-10,000	-70,000
422	234,791	-9,997	-80,000
423	249,775	-10,000	-90,000
424	263,947	-9,998	-100,000
425	277,886	-10,000	-110,000
426	290,118	-9,999	-120,000
427	300,710	-10,001	-129,999
428	306,473	-10,002	-140,000
429	305,412	-10,003	-149,999
430	299,097	-10,002	-160,000
431	293,723	-10,000	-165,000
432	216,943	-20,000	-70,000
433	231,883	-19,999	-80,000
434	246,743	-20,000	-90,000
435	261,070	-20,000	-100,000
436	275,319	-20,003	-110,000
437	287,987	-20,001	-120,000
438	298,853	-20,001	-130,000
439	305,125	-20,000	-140,000
440	304,134	-20,001	-149,999
441	297,509	-20,000	-159,999
442	291,931	-20,001	-165,000
443	212,195	-30,000	-69,999
444	226,880	-30,001	-80,000
445	241,581	-30,000	-90,000
446	256,076	-30,003	-100,000
447	270,698	-30,001	-110,000
448	284,076	-29,999	-120,000
449	295,559	-30,000	-130,000
450	302,357	-30,001	-140,000

Posição	Coordenadas / mm		
	x	y	z
451	301,528	-30,001	-150,000
452	294,735	-30,001	-160,000
453	288,892	-30,003	-165,000
454	219,728	-39,999	-80,000
455	234,039	-40,002	-90,000
456	248,640	-40,001	-100,000
457	263,679	-40,000	-110,000
458	277,863	-39,999	-120,000
459	290,321	-40,003	-130,000
460	297,799	-40,002	-140,000
461	297,219	-40,002	-149,999
462	290,079	-40,002	-160,000
463	283,974	-40,002	-165,000
464	224,118	-49,998	-90,000
465	238,577	-50,001	-100,000
466	253,922	-49,999	-110,000
467	268,977	-49,999	-120,000
468	282,482	-50,002	-130,000
469	291,014	-50,002	-140,000
470	290,842	-50,002	-149,999
471	282,671	-50,003	-159,999
472	275,650	-50,003	-165,000
473	224,552	-60,001	-100,000
474	240,157	-60,002	-110,000
475	256,547	-60,001	-120,000
476	271,185	-60,000	-130,000
477	281,232	-60,001	-139,999
478	281,288	-60,000	-150,000
479	270,399	-60,001	-160,000
480	237,198	-70,001	-120,000
481	254,517	-70,001	-129,999
482	266,510	-70,000	-140,000
483	264,193	-70,000	-150,000
484	222,572	-80,000	-130,000
485	238,678	-80,001	-140,000

