



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

***PROJECTO DE EQUIPAMENTO DE ROTAÇÃO DE
MOLDES DE GRANDE PORTE COM RECURSO AO
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS***

João Carlos Almeida Gomes



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**PROJECTO DE EQUIPAMENTO DE ROTAÇÃO DE
MOLDES DE GRANDE PORTE COM RECURSO AO
MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS**

João Carlos Almeida Gomes

1081626

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, Professor Adjunto Convidado, do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP e co-Orientação do Doutor Francisco José Gomes da Silva, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Mecânica do ISEP.

Júri

Presidente	Doutor Alexandre Gonçalves Santos Santiago Sottomayor <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Orientador	Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Co-orientador	Doutor Francisco José Gomes da Silva <i>Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
Arguente	Doutor José Luís Soares Esteves <i>Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto</i>

Agradecimentos

Ao Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, meu orientador do ISEP, pelas competências científicas que possui e procurou transmitir durante a realização de todo o trabalho, bem como pelas sugestões de melhoria e toda a orientação, confiança e disponibilidade demonstrada ao longo deste trabalho.

Ao Doutor Francisco José Gomes da Silva, meu co-orientador do ISEP, pelo acompanhamento do trabalho, disponibilidade revelada ao longo deste ano de trabalho, assim como pelas críticas, correcções e sugestões feitas durante a orientação.

Ao Carlos Dias, meu orientador da empresa IGM, pela sua disponibilidade e também sugestões de melhoria, bem como o apoio dado durante o desenvolvimento do trabalho.

As empresas contactadas, uma vez que foram muitas as empresas contactadas, fica aqui um obrigado geral a todas elas, pela disponibilidade demonstrada no solicitado.

Aos Engenheiros Nuno Leite, Bruno Ferreira e Eduardo Marques, mas acima de tudo amigos que ficaram com esta passagem de 5 anos pelo ISEP, é lógico que muitos outros podiam ser referidos, mas estes especialmente estiveram naqueles momentos chave, os dois primeiros durante a licenciatura o ultimo mais a partir do 3 ano. Não poderia deixar de os referir pois foram muitos os momentos vividos e partilhados, a entre ajuda nos trabalhos, no estudo, muitas vezes acesos debates, que nos fizeram crescer, resumindo foram um pilar fundamental para atingir este objectivo que agora parece tão linear! Aqui fica o meu obrigado e estamos juntos.

A toda a família e amigos de longa data, pela compreensão de grandes períodos de ausência, pelo apoio e incentivo dados durante estes últimos anos, que durou este percurso no ISEP.

Resumo

A fabricação de moldes é uma actividade que se desenvolve em Portugal há várias décadas, com qualidade reconhecida mundialmente. A indústria automóvel é um dos principais destinos de grande parte dos moldes produzidos em Portugal. Algumas das peças produzidas nesses moldes possuem dimensões apreciáveis, tendo em conta o peso e dimensão média das peças injectadas em plástico. São exemplo disso os pára-choques dos automóveis e o tabliê. A produção dos moldes para estas peças é complexa, implicando um longo tempo de maquinagem e a manipulação dos moldes em diferentes fases, com vista ao acesso a todas as faces do molde.

A IGM – Indústria Global de Moldes, SA. é a empresa responsável pela produção dos moldes para peças de média dimensão dentro do Grupo SIMOLDES. Atendendo à necessidade permanente de rodar a 90° moldes de grande porte, que podem apresentar pesos na ordem das 10 a 30 toneladas, e não existindo no mercado qualquer solução adaptável a esta necessidade, a empresa entendeu por bem levar a efeito o projecto desse equipamento, atendendo ao compromisso custo-benefício que torne viável a realização prática do mesmo.

Após os esboços iniciais e uma discussão interactiva e iterativa com a empresa, foram analisadas as diferentes soluções entendidas como viáveis, tendo sido escolhido um dos anteprojectos realizados. Foram ainda discutidas as diversas alternativas de accionamento. Com base nesse anteprojecto, a estrutura foi optimizada e verificada através do Método de Elementos Finitos, tendo sido elaborado o projecto final, com o grau de detalhe necessário à sua fabricação e implementação na empresa.

Palavras-chave

Estruturas Metálicas, Dimensionamento Estrutural, Método de Elementos Finitos.

Abstract

The manufacture of moulds is an activity that has been developed in Portugal for several decades, with worldwide recognized quality. The automotive industry is one of the main markets of most of the moulds produced in Portugal. Some of the parts produced in that way have significant dimensions, taking into account the weight and average size of common injected plastic parts. As example of this we can consider bumpers and the dash boards of vehicles. The production of the moulds for these parts is complex, involving a time-causuming machining process and manipulation of the moulds in different phases, in order to access to all sides of the mould.

IGM – Indústria Global de Moldes, SA. is the company responsible for the production of moulds for larger parts within the SIMOLDES Group. Given the continuous need of turning the large moulds 90°, which may weigh between 10 and 30 tons, and because of the non-availability on the market of any solution to this need, the company decided to implement the project of this equipment, based on a cost-benefit compromise that makes feasible the practical implementation of the same.

After the initial sketches and an iterative and interactive discussion with the company, the different viable solutions were analyzed, having been chosen one of them. Some driving options were discussed. Based on these preliminary drafts, the structure was optimized and verified by the Finite Element Method, having been prepared the final design, with the degree of detail needed for its manufacture and implementation in the company.

Keywords

Metallic Structures, Mechanical Design, Finite Elements Analysis.

Lista de Símbolos e Abreviaturas

2D	Duas Dimensões
3D	Três Dimensões
ACS	Advanced Customer Service
Art.	Artigo
b	Braço
C.S.	Coefficiente de segurança
CA	Corrente Alternada
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAM	Computer Aided Manufacturing
CC	Corrente Continua
CNC	Computer Numeric Control
d	Diâmetro
DL	Decreto-lei
DR	Diário Republica
EC	Euro código
EN	European Norm
Eq.	Equivalente
F	Força
F _{av}	Força de avanço
F _{carga}	Força de carga
Fe	Ferro
GTO	Gate Turn-Off
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
IGM	Industria Global de Moldes
ISO	International Organization for Standardization
Kg	Quilograma
m	Metro
MAG	Metal active gás
MEF	Método de elementos finitos
M	Momento
MIG	Metal inerte gás
mm	Milímetros

mm^2	Milímetros Quadrados
MPa	Mega Pascal
M_t	Momento Torsor
N	Newton
N.m	Newton metro
n°	Número
NP	Norma Portuguesa
Qtd.	Quantidade
r	Raio
REAPE	Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios
R_y	Reacção em y
Sim	Simulação
Ton	Toneladas
σ_{Adm}	Tensão Admissível
σ_c	Tensão Cedência
τ_{adm}	Tensão de corte admissível
τ_{max}	Tensão de corte máxima

Índice de Figuras

FIGURA 1 – MÁQUINA DE INJEÇÃO E MOLDE.....	6
FIGURA 2 – ESTRUTURA DE UM MOLDE SIMPLES, VISTA LATERAL [REINERT, 2004].....	7
FIGURA 3 - IMAGEM COM AS DUAS PARTES DE UM MOLDE: A) EXEMPLO DE UM MACHO; B) EXEMPLO DE UMA CAVIDADE.....	8
FIGURA 4 – DESENHO ESQUEMÁTICO DE UM MOLDE DE DUAS PLACAS, VISTA EXPLODIDA [REINERT, 2004].	9
FIGURA 5 - VISTA EM CORTE DE UM MOLDE SIMPLES [PONTES E BRITO, 2003].....	10
FIGURA 6 – MODELAÇÃO DE UM MOLDE PARA INJEÇÃO DE UMA PEÇA PLÁSTICA.....	12
FIGURA 7 - RESUMO DO DIAGRAMA DE FLUXO NO DEPARTAMENTO TÉCNICO.....	13
FIGURA 8 - TRAJECTO TEÓRICO DO MACHO E CAVIDADE DE UM MOLDE NO PROCESSO DE FABRICO (AMARELO OU COR CLARA ESTÃO IDENTIFICADAS AS OPERAÇÕES NAS MÁQUINAS CNC, AS RESTANTES COM O RESPECTIVO SECTOR).....	15
FIGURA 9 - DIAGRAMA COM O CICLO DOS COMPONENTES NO SECTOR DA FURAÇÃO EM PROFUNDIDADE.....	18
FIGURA 10 - CICLO NORMAL DE UM MOLDE TÍPICO.....	21
FIGURA 11 – PONTE ROLANTE COM DOIS CARROS GUINCHO.....	22
FIGURA 12 -MOLDE A SER RODADO POR TOMBAMENTO, DA ESQUERDA PARA A DIREITA.....	23
FIGURA 13 - EXEMPLO LIGAÇÃO COM PARAFUSOS.....	28
FIGURA 14 – DISCRETIZAÇÃO DE UM MODELO: (A) MODELO CAD DE UMA PEÇA DE SUPORTE; (B) MODELO DIVIDIDO EM ELEMENTOS.....	31
FIGURA 15 – ESQUEMA ELÉCTRICO DO SISTEMA ROTATIVO - WARD-LEONARD.....	34
FIGURA 16 – ESQUEMA ELÉCTRICO DO SISTEMA DA 2ª GERAÇÃO WARD LEONARD.....	35
FIGURA 17 - ESQUEMA ELÉCTRICO DO SISTEMA DA 3ª GERAÇÃO WARD-LEONARD.....	35
FIGURA 18 – ESQUEMA HIDRÁULICO APLICADO EM VÁRIAS SITUAÇÕES NUMA MÁQUINA DE INJEÇÃO.....	37
FIGURA 19 – SISTEMA DE MOVIMENTAÇÃO DE PLATAFORMA FLUTUANTE IMPLEMENTADO PELA SEW-EURODRIVE NUMA EMPRESA DO GRUPO MOTA-ENGIL [WWW.SEW-EURODRIVE.PT, 2012].....	38
FIGURA 20 - ABASTECIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA ATRAVÉS DE UM CIRCUITO PNEUMÁTICO.....	41
FIGURA 21 – EMPRESAS DO GRUPO SIMOLDES.....	43
FIGURA 22 - TIPOS DE PRODUTOS DESENVOLVIDOS E PRODUZIDOS NO GRUPO SIMOLDES.....	45
FIGURA 23 – ESBOÇO COM ALGUNS DOS REQUISITOS DO CLIENTE.....	46
FIGURA 24 - PRIMEIROS ESBOÇOS PARA ESTRUTURA.....	48
FIGURA 25 - DIAGRAMA DOS TIPOS DE ACCIONAMENTOS PONDERADOS PARA O PROJECTO.....	49
FIGURA 26 – ASPECTO DA SOLUÇÃO ELÉCTRICA APLICANDO DOIS MOTO-REDUTORES SINCRONIZADOS.....	51
FIGURA 27 – ESQUEMA 2D COM DETALHE DA SOLUÇÃO ELÉCTRICA.....	52
FIGURA 28 – CROQUI ENVIADO COM REQUISITOS PARA ACCIONAMENTO HIDRÁULICO.....	54
FIGURA 29 – ESBOÇO DA SOLUÇÃO COM ACCIONAMENTO HIDRÁULICO.....	55
FIGURA 30 - DIAGRAMA CORPO LIVRE DA SOLUÇÃO ELÉCTRICA.....	57

FIGURA 31 – CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA A SIMULAÇÃO 1_1.....	60
FIGURA 32 – CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA A SIMULAÇÃO 1_2.....	60
FIGURA 33 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA A SIMULAÇÃO 1_3.....	61
FIGURA 34 - FIXAÇÃO EFECTUADA NOS PONTOS ASSINALADOS.	61
FIGURA 35 - FORÇA TOTAL APLICADA NOS 15 NÓS.	62
FIGURA 36 - MALHA GERADA PARA A SIMULAÇÃO DA ESTRUTURA 1_3.....	62
FIGURA 37 - TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 1_3.....	63
FIGURA 38 - DESLOCAMENTO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 1_3.....	63
FIGURA 39 - C.S. PARA A SIMULAÇÃO 1_3.	64
FIGURA 40 – CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS PARA A SIMULAÇÃO 2_1.....	65
FIGURA 41 – VISTA 3D DO EQUIPAMENTO FINAL.....	68
FIGURA 42 – VISTA 3D DO EQUIPAMENTO FINAL (LADO CONTRÁRIO À FIGURA 41).....	68
FIGURA 43 - VISTAS 2D DO EQUIPAMENTO FINAL COM DIMENSÕES MÁXIMAS.	69
FIGURA 44 – SECÇÃO TRANSVERSAL DE PERFIS:.....	71
FIGURA 45 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SOLUÇÃO HIDRÁULICA A 0°.	73
FIGURA 46 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SOLUÇÃO HIDRÁULICA A 45°.	74
FIGURA 47 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE DA SOLUÇÃO HIDRÁULICA A 90°.	74
FIGURA 48 – ESTRUTURA FIXA PELA FACE DO VEIO PARA AS SIMULAÇÕES 3_1 E 3_2.....	75
FIGURA 49 – CARGA DISTRIBUÍDA NA FACE SUPERIOR DO SUPORTE L PARA AS SIMULAÇÕES 3_1 E 3_2.....	76
FIGURA 50 - MALHA GERADA PARA A SIMULAÇÃO 3_1.	76
FIGURA 51 – TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 3_1.....	77
FIGURA 52 – DESLOCAMENTO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 3_1.....	78
FIGURA 53 – DEFORMAÇÃO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 3_1.	78
FIGURA 54 – C.S. PARA A SIMULAÇÃO 3_1.....	79
FIGURA 55 – LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÕES 3_1 E 3_2.....	80
FIGURA 56 – PONTOS RETIRADOS PARA O VALOR DA TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 3_1.	80
FIGURA 57 – ALTERAÇÕES EFECTUADAS NA SIMULAÇÃO 4_1 RELATIVAMENTE ÀS ANTERIORES.....	82
FIGURA 58 – TIPO DE FIXAÇÃO DA ESTRUTURA UTILIZADA PARA A SIMULAÇÃO 4_1.	82
FIGURA 59 – MALHA GERADA PARA A SIMULAÇÃO 4_1.	83
FIGURA 60 - TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 4_1.....	84
FIGURA 61 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DA TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 4_1	84
FIGURA 62 - DESLOCAMENTO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 4_1.....	85
FIGURA 63 - DEFORMAÇÃO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 4_1.	85
FIGURA 64 - C.S. PARA A SIMULAÇÃO 4_1.	86
FIGURA 65 - ELEMENTOS PARA AS SIMULAÇÕES 5_1, 5_2 E 5_3.	87
FIGURA 66 - MALHA GERADA PARA A SIMULAÇÃO 5_3.	88
FIGURA 67 - TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 5_3.....	89

FIGURA 68 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 5_3.	89
FIGURA 69 - DESLOCAMENTO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 5_3.	90
FIGURA 70 - DEFORMAÇÃO RESULTANTE PARA A SIMULAÇÃO 5_3.	90
FIGURA 71 - C.S. PARA A SIMULAÇÃO 5_3.	91
FIGURA 72 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 6_1.	92
FIGURA 73 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 6_1.	93
FIGURA 74 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 7_1.	94
FIGURA 75 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 7_1.	94
FIGURA 76 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 8_1.	96
FIGURA 77 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 8_1.	96
FIGURA 78 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 9_1.	97
FIGURA 79 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DA TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 9_1.	98
FIGURA 80 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 10_1.	99
FIGURA 81 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 10_1.	99
FIGURA 82 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 11_1.	100
FIGURA 83 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 11_1.	101
FIGURA 84 - CONFIGURAÇÃO DOS ELEMENTOS ACRESCENTADOS PARA A SIMULAÇÃO 12_1.	102
FIGURA 85 - LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO CRÍTICA DE TENSÃO EQUIVALENTE DE VON MISES PARA A SIMULAÇÃO 12_1.	102
FIGURA 86 - IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES PARA A MONTAGEM FINAL.	104
FIGURA 87 - IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES CORRESPONDENTES AO SUPORTE EM “L” (SUBCONJUNTO IDENTIFICADO COM A LETRA B), D – SUPORTE HORIZONTAL E E – SUPORTE VERTICAL.	105
FIGURA 88 - IDENTIFICAÇÃO DOS COMPONENTES DA BASE (SUBCONJUNTO IDENTIFICADO COM A LETRA C).	105
FIGURA 89 - ÁRVORE DO PRODUTO.	106
FIGURA 90 - CILINDROS HIDRÁULICOS TELESCÓPICOS DE SIMPLES EFEITO: (A) POSIÇÃO AVANÇADA E (B) POSIÇÃO RECUADA.	107
FIGURA 91 – LIGAÇÃO DOS CILINDROS HIDRÁULICOS À ESTRUTURA.	108
FIGURA 92 - LIGAÇÃO ENTRE A CHUMACEIRA DE ROLOS E VEIO.	109
FIGURA 93 – SUBCONJUNTO SUPORTE EM “L”: LIGAÇÃO DE TODOS OS COMPONENTES ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDADURA.	109
FIGURA 94 – SUBCONJUNTO BASE: LIGAÇÃO DE TODOS OS COMPONENTES ATRAVÉS DO PROCESSO DE SOLDADURA.	110
FIGURA 95 – SERROTE DE FITA.	111
FIGURA 96 – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO SERROTE DE FITA.	112
FIGURA 97 – EXEMPLO DE EQUIPAMENTO DE CORTE POR PLASMA CNC.	112
FIGURA 98 - IMAGEM DA FRESADORA CNC.	113

FIGURA 99 - IMAGEM DE UM TORNO CONVENCIONAL.....	113
FIGURA 100 – MÁQUINA DE SOLDAR PELO PROCESSO MIG-MAG.....	114
FIGURA 101 – DIAGRAMA DO PROCESSO.....	117
FIGURA 102 – OPTIMIZAÇÃO PARA CORTE DE TUBOS.....	119
FIGURA 103 - OPTIMIZAÇÃO DAS CANTONEIRAS 50X50X5.	120
FIGURA 104 - OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL UPN280.	120
FIGURA 105 – OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL HEB280.	120
FIGURA 106 – OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL QUADRADO 220.....	121
FIGURA 107 – OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL RECTANGULAR 140X80X8.	121
FIGURA 108 - OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL RECTANGULAR 200X100.	121
FIGURA 109 - OPTIMIZAÇÃO DO PERFIL RECTANGULAR 200X100X10.	121
FIGURA 110 - LAYOUT PARA CORTE DE CHAPAS DE REFORÇO POR PLASMA.....	122
FIGURA 111 – EXEMPLO DE COMPONENTE A MAQUINAR NA FRESADORA CNC.	123
FIGURA 112 – CHAPA DE REFORÇO COM CHANFRO PARA SOLDADURA.....	123
FIGURA 113 – VISTA 3D DO PINO DE ROTAÇÃO, OBTIDO PELO TORNO.....	123
FIGURA 114 - SIMBOLOGIA PARA SOLDADURA DOS COMPONENTES DA BASE.	124
FIGURA 115 - SIMBOLOGIA PARA SOLDADURA DOS COMPONENTES DO SUPORTE EM “L”	125
FIGURA 116 - SIMBOLOGIA PARA SOLDADURA DOS COMPONENTES DE REFORÇO DO SUPORTE EM “L”.126	
FIGURA 117 – SOLDADURA PARCIAL DO SUBCONJUNTO SUPORTE EM “L”	128
FIGURA 118 - SOLDADURA FINAL DO SUBCONJUNTO SUPORTE EM “L”.....	128

Índice de Tabelas

TABELA 1 - VALORES DE CÁLCULO DAS TENSÕES ADMISSÍVEIS.....	56
TABELA 2 – VALORES CONSIDERADOS E CALCULADOS.....	58
TABELA 3 – VALORES OBTIDOS PARA O DIÂMETRO DO VEIO RELATIVOS AOS TRÊS TIPOS DE AÇO CONSIDERADOS.	58
TABELA 4 - DADOS E RESULTADOS DO PRIMEIRO GRUPO DE SIMULAÇÕES.....	64
TABELA 5 - DADOS E RESULTADOS DO SEGUNDO GRUPO DE SIMULAÇÕES (OPTIMIZAÇÃO COM PERFIS UPN).....	66
TABELA 6 - VALORES NOMINAIS DA TENSÃO DE CEDÊNCIA F_y E DA TENSÃO DE ROTURA F_u , PARA AÇOS CORRENTES DE ACORDO COM A EN 10025-2.....	70
TABELA 7 - DADOS E RESULTADOS RELATIVOS ÀS SIMULAÇÕES 3_1 E 3_2.....	81
TABELA 8 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO COM CONTACTO ENTRE CHUMACEIRAS E VEIO.....	86
TABELA 9 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO COM IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO DE ACCIONAMENTO HIDRÁULICO.....	91
TABELA 10 - DADOS E RESULTADOS OBTIDOS PARA A SIMULAÇÃO 6_1.....	93
TABELA 11 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO 7_1.....	95
TABELA 12 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO 8_1.....	96
TABELA 13 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO 9_1.....	98
TABELA 14 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO 10_1.....	100
TABELA 15 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO 11_1.....	101
TABELA 16 - DADOS E RESULTADOS PARA A SIMULAÇÃO 12_1.....	103
TABELA 17 - CÓDIGOS E DESIGNAÇÕES DE COMPONENTES E RESPECTIVOS SUBCONJUNTOS PARA A MONTAGEM FINAL (DIMENSÕES EM MM).....	106
TABELA 18 – PARÂMETROS PARA A SOLDADURA MAG FORNECIDOS PELO FABRICANTE	114
TABELA 19 - CÓDIGOS ATRIBUÍDOS A CADA POSTO DE TRABALHO.....	115
TABELA 20 - GAMA OPERATÓRIA.....	115
TABELA 21 - CONTINUAÇÃO DA GAMA OPERATÓRIA	116
TABELA 22 - ESTIMATIVA DE TEMPOS.....	118
TABELA 23 -RESUMO DA ESTIMATIVA DE TEMPOS POR PT.....	119
TABELA 24 - ELEMENTOS E CUSTOS DE MATERIAL METÁLICO EM S275	130
TABELA 25 - CUSTOS DE COMPONENTES DIVERSOS (DIMENSÕES EM MM).....	131
TABELA 26 – CUSTOS PARA ACCIONAMENTO HIDRÁULICO.....	131
TABELA 27 - CUSTOS COM PROCESSOS DE FABRICO E MÃO-DE-OBRA.....	132
TABELA 28 – CÁLCULO DO DESPERDÍCIO DE MATERIAL.....	132

Índice

AGRADECIMENTOS	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABELAS.....	XIX
ÍNDICE.....	XXI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJECTIVOS	2
1.3. METODOLOGIA	3
1.4. ESTRUTURA.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. INJECCÃO DE PLÁSTICOS	5
2.1.1. CONSTITUIÇÃO DE UM MOLDE PARA A INJECCÃO DE PLÁSTICOS.....	7
2.1.2. PROJECTO DE MOLDES PARA A INJECCÃO DE PLÁSTICOS	11
2.1.3. PRODUÇÃO DE MOLDES PARA A INJECCÃO DE PLÁSTICOS	15
2.1.4. NECESSIDADE DE ROTAÇÃO DOS MOLDES	22
2.2. ESTRUTURAS METÁLICAS: BREVE INTRODUÇÃO	24
2.2.1. TIPOS DE ESTRUTURAS METÁLICAS	25
2.2.2. PROCESSOS DE LIGAÇÃO PASSÍVEIS DE SER USADOS EM ESTRUTURAS METÁLICAS	26
2.2.3. CUIDADOS A OBSERVAR NO DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS METÁLICAS	29
2.2.4. MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS	30
2.2.4.1. INTRODUÇÃO AO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF).....	30
2.2.4.2. O MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS APLICADO A ESTRUTURAS METÁLICAS	32
2.3. ACCIONAMENTOS MECÂNICOS.....	34
2.3.1. INTRODUÇÃO AOS ACCIONAMENTOS ELECTROMECCÂNICOS	34
2.3.2. ACCIONAMENTOS ELECTROMECCÂNICOS	36
2.3.2.1. ACCIONAMENTOS HIDRÁULICOS.....	36
2.3.2.2. ACCIONAMENTOS POR MOTO-REDUTOR	38
2.3.2.3. OUTROS TIPOS DE ACCIONAMENTO.....	40
3. DESENVOLVIMENTO	43
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA QUE ACOLHEU O PROJECTO	43
3.2. DEFINIÇÃO DOS OBJECTIVOS E PRINCIPAIS REQUISITOS DO PROJECTO	45
3.3. ANTEPROJECTO DO EQUIPAMENTO.....	47
3.3.1. PRIMEIROS ESBOÇOS	47

3.3.2. POSSÍVEIS SISTEMAS DE ACCIONAMENTO A UTILIZAR	48
3.3.3. ESTUDO PRÉVIO DAS SOLICITAÇÕES A QUE O EQUIPAMENTO ESTARÁ SUJEITO	56
3.3.4. PRIMEIROS ESTUDOS ATRAVÉS DO MEF	59
3.3.4.1. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS DE ESTRUTURA	59
3.3.4.2. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS DE ESTRUTURA (OPTIMIZAR COM PERFIL UPN)	65
3.4. PROJECTO DO EQUIPAMENTO SELECIONADO	67
3.4.1. PROJECTO-BASE	67
3.4.2. OPTIMIZAÇÃO DA ESTRUTURA COM BASE NO MEF	73
3.4.2.1. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (PARTINDO DAS ESTRUTURAS FINAIS DO ANTEPROJECTO)	75
3.4.2.2. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (COM CONTACTO ENTRE CHUMACEIRA E VEIO)	81
3.4.2.3. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (COM IMPLEMENTAÇÃO DA SOLUÇÃO DE ACCIONAMENTO HIDRÁULICO).....	87
3.4.2.4. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (AJUSTAR OS PERFIS DA PLATAFORMA DE ROTAÇÃO (SUPORTE L) AO VEIO E REFORÇAR ZONA COM CHAPA ENCASTRADA NO PERFIL HEB).....	92
3.4.2.5. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (REFORÇAR ZONA DE PASSAGEM DO VEIO NAS FACES DOS PERFIS UPN COM PERFIS RECTANGULARES).....	93
3.4.2.6. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (REFORÇAR ZONA DE PASSAGEM DO VEIO NAS FACES DOS PERFIS HEB COM PERFIS QUADRADOS 220).....	95
3.4.2.7. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (REFORÇAR PERFIS UPN NA TRANSVERSAL).....	97
3.4.2.8. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (REFORÇAR COM CHAPAS PERFIS UPN EXTERIOR JUNTO A CHUMACEIRA).....	98
3.4.2.9. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (REFORÇAR PERFIS UPN NA TRANSVERSAL MAIS AFASTADOS DO VEIO).....	100
3.4.2.10. SIMULAÇÕES COM ELEMENTOS SÓLIDOS (REFORÇAR COM 2 PERFIS UPN NA TRANSVERSAL)	101
3.4.3. LISTA DE COMPONENTES	104
3.4.4. DESENHOS DE PORMENOR.....	107
3.4.5. SELECÇÃO DOS PROCESSOS DE FABRICO E PARÂMETROS PARA O FABRICO	111
3.4.6. PORMENORES DE MONTAGEM	127
3.4.7. ESTUDO ECONÓMICO DO PROJECTO.....	130
3.4.8. ANÁLISE CRÍTICA DO PROJECTO	133
4. CONCLUSÕES	135
5. BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	139
ANEXO I	143
ANEXO II	149
ANEXO III	153
ANEXO IV	155
ANEXO V	159
ANEXO VI	163
ANEXO VII	171

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Portugal tem assumido, nas últimas décadas, um lugar de relevo mundial no projecto e fabricação de moldes para a injeção de plásticos. Ao contrário de outros países produtores de moldes para o mesmo fim, a indústria nacional sempre apostou na qualidade como factor de diferenciação no mercado, tendo atingido notoriedade mundial neste sector de actividade. A indústria automóvel, extremamente exigente em termos de qualidade e rigor no cumprimento das especificações, tem sido o mercado preferencial das nossas empresas, principalmente as que estão implantadas na Região Norte e Centro.

Efectivamente, existem duas Regiões onde este sector de actividade tem uma vincada preponderância: na Região Centro, mais propriamente em Leiria e Marinha Grande, onde os moldes e produção de peças em plástico se destinam mais a artefactos domésticos (sem excluir também a indústria automóvel), e na Região Norte, mais propriamente em Oliveira e Azeméis e arredores, onde são realizados moldes preferencialmente para a indústria automóvel.

O Grupo SIMOLDES conseguiu angariar, ao longo dos tempos, um prestígio notável, tanto na fabricação dos moldes, através da SIMOLDES – AÇOS e de todas as outras empresas do grupo dedicadas ao fabrico deste tipo de ferramentas, como na injeção de plásticos, através da SIMOLDES – PLÁSTICOS e de outras empresas-satélite. Dentro do Grupo SIMOLDES, e no que respeita ao fabrico de moldes, a IGM – INDUSTRIA GLOBAL DE MOLDES, SA. tem-se especializado no fabrico de moldes para peças de medias dimensões, o que implica a realização de moldes igualmente com dimensões generosas.

Os moldes apresentam geralmente pesos consideráveis, mesmo quando as peças são de pequena ou média dimensão. No entanto, quando se trata de moldes para peças de grandes dimensões, os moldes atingem com relativa facilidade algumas dezenas de toneladas. Atendendo a que o processo de fabrico passa invariavelmente por inúmeras operações de maquinagem em cada uma das suas faces, o manuseamento dos moldes torna-se um factor importante no processo de fabrico.

Atendendo a que a empresa pretende que estas operações sejam realizadas com toda a segurança, visando a completa segurança dos operários, e que a operação de rotação dos moldes é bastante frequente durante o processo de fabricação dos mesmos, foi entendido como prioritário o projecto de um equipamento que permitisse a realização desta operação de forma eficaz e segura, poupando tempo ao ciclo de fabricação e assegurando completa segurança durante o processo de rotação.

1.2. Objectivos

Atendendo ao anteriormente exposto, este trabalho teve como objectivo principal proceder ao projecto de um equipamento de rotação de moldes de grande porte, que agilize este processo e assegure todas as condições de segurança, tendo em atenção as premissas que seguidamente se enunciam:

- ◆ O equipamento deverá permitir a rotação de moldes até 30 toneladas de peso bruto;
- ◆ As dimensões máximas da mesa do equipamento de rotação são: 3000 x 3000 mm²;
- ◆ O ângulo de rotação desejado é de 90°;
- ◆ A estrutura deverá ter por base a construção soldada;
- ◆ Deverá ser tão leve quanto possível, assegurando toda a segurança anteriormente referida;
- ◆ Não existem restrições quanto ao tipo de accionamento da mesma;
- ◆ A estrutura deverá ser otimizada e verificada através do Método de Elementos Finitos;
- ◆ O custo deverá ser otimizado.

Para a prossecução dos objectivos anteriormente referidos, tornar-se-á necessário:

- ◆ Estudo prévio de levantamento de equipamentos já existentes para funções afins;
- ◆ Estudo prévio dos esforços em jogo;
- ◆ Estudo de possíveis configurações geométricas para o equipamento;
- ◆ Análise de diferentes alternativas de accionamento (electromecânico e hidráulico);
- ◆ Apresentação à empresa das diferentes soluções consideradas, por forma a recolher a opinião da empresa sobre qual o modelo que recolhe a sua preferência;
- ◆ Aprofundamento do projecto seleccionado;

- ◆ Aplicação do Método de Elementos Finitos para a realização da optimização estrutural;
- ◆ Adaptação da optimização aos perfis e componentes existentes no mercado;
- ◆ Verificação estrutural com recurso ao Método de Elementos Finitos;
- ◆ Passagem do projecto final para desenhos próprios para fabricação, bidimensional (2D);
- ◆ Elaboração da lista de peças e componentes;
- ◆ Elaboração dos requisitos necessários à fabricação;
- ◆ Descrição detalhada dos processos de fabrico;
- ◆ Elaboração do estudo económico de realização e implementação do projecto.

1.3. Metodologia

A elaboração do presente trabalho seguiu a metodologia que seguidamente se descreve:

- ◆ Pesquisa bibliográfica sobre equipamentos já existentes que realizem operações similares, mesmo que para solicitações de menor envergadura;
- ◆ Estudo preliminar dos esforços a que a estrutura estará sujeita em funcionamento, principalmente quando o molde deixa de estar apoiado numa das plataformas para se apoiar na outra (em torno dos 45°);
- ◆ Elaboração de anteprojectos, tendo em conta o ponto anterior e as premissas enunciadas nos objectivos;
- ◆ Análise do eixo de rotação e esforços aplicados no mesmo;
- ◆ Análise dos perfis metálicos existentes no mercado e adaptação dos esboços realizados aos perfis disponíveis;
- ◆ Apresentação dos diferentes anteprojectos à empresa e selecção do projecto a desenvolver;
- ◆ Análise por Elementos Finitos da estrutura;
- ◆ Optimização da estrutura;
- ◆ Elaboração do projecto final com desenhos próprios para fabricação (2D);
- ◆ Listagem completa dos componentes e acessórios;
- ◆ Estudo dos processos de fabrico envolvidos no projecto e garantia da correcta realização dos mesmos, com estabelecimento de parâmetros de controlo;
- ◆ Estudo económico de realização e implantação do equipamento;
- ◆ Redacção da presente dissertação.

1.4. Estrutura

A estrutura deste trabalho está assente essencialmente em duas partes: uma revisão bibliográfica inicial, onde se pretende enquadrar o leitor com os temas envolvidos nesta dissertação, passando em revista as soluções técnicas já existentes, mesmo que para processos afins, e o desenvolvimento do trabalho prático propriamente dito, com a referência a todas as etapas percorridas com vista à prossecução dos objectivos traçados. Finalmente, foram traçadas as conclusões, sendo feita uma análise crítica dos resultados alcançados.

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Injecção de plásticos

A moldação por injeção é um dos processos mais importantes de transformação de termoplásticos, sendo um método de produção em massa. Devido à necessidade de um elevado investimento em máquinas, moldes e equipamentos auxiliares, os aspectos de produtividade são de extrema importância.

A moldação por injeção pode ser definida como o processo a partir do qual um material plástico, originalmente no estado sólido (e usualmente sob a forma de grãos), é carregado numa máquina onde, sequencialmente, é aquecido a fim de amolecer (ou plastificar) e forçado sob pressão a entrar para o interior de um molde. No molde, o material fundido preenche a impressão respectiva e arrefece recuperando a sua rigidez. O processo conclui-se com a ejeção da moldação. No caso da moldação de termoendurecíveis ou de borrachas vulcanizadas, o molde está a uma temperatura mais elevada que a do pistão de injeção, para garantir a reticulação do material após a injeção. É um processo de grande versatilidade geométrica e dimensional, facilmente automatizável, com a possibilidade de obtenção de excelentes acabamentos superficiais e com garantia de tolerâncias dimensionais apertadas. No sucesso da moldação por injeção, são determinantes as elevadas cadências de produção e a fiabilidade do processo.

Um molde de injeção pode ser entendido como um conjunto de sistemas funcionais que permitem, no espaço em que a peça vai ser materializada, que este seja preenchido com plástico fundido em condições controladas. No fabrico de peças por injeção de plástico na indústria automóvel, o molde tem uma elevada importância pois ele deve produzir peças de alta qualidade, num tempo de ciclo o mais curto possível, possuir o mínimo de manutenção durante o tempo de serviço, assegurando a reprodutibilidade dimensional ao longo do seu tempo de vida. A constituição dos moldes é, assim, determinada pela necessidade de realizar adequadamente as funções associadas à execução do ciclo de moldação (Marcel Dekker, 2004).

Os moldes podem variar em tamanho, tipo (moldes de canais frios ou quentes) ou grau de complexidade (extração simples ou com movimentos). Na sua forma mais simplificada, são constituídos por duas metades que se ajustam, definindo uma ou várias “cavidades” com a configuração da(s) peça(s) que se pretende(m) obter.

A sua finalidade principal é dar a forma desejada ao material a moldar. Contudo, existem outras tarefas acometidas a este componente, nomeadamente:

- ◆ Permitir a alimentação desde o bico de injeção até à impressão, permitindo o seu enchimento e a ventilação da impressão;
- ◆ Manter a impressão fechada durante o tempo necessário;
- ◆ Garantir a reprodutibilidade dimensional de ciclo para ciclo, o arrefecimento da moldação e a sua extração.

A qualidade superficial do molde é determinante no acabamento superficial da peça moldada. Como podemos ver na Figura 1, a máquina de injeção com o respectivo molde devidamente posicionado, sendo estes os dois constituintes principais num processo de injeção.

Nos moldes teremos de ter em atenção, aquando do projecto, qual dos lados será o estacionário (fixo) e o móvel, uma vez que a posição em que o molde é realizado terá de ser respeitada minuciosamente. Como tal, o molde só terá uma posição de funcionamento na máquina de injeção, o que origina por vezes a necessidade de rotação do molde aquando do seu posicionamento e fixação na mesma.

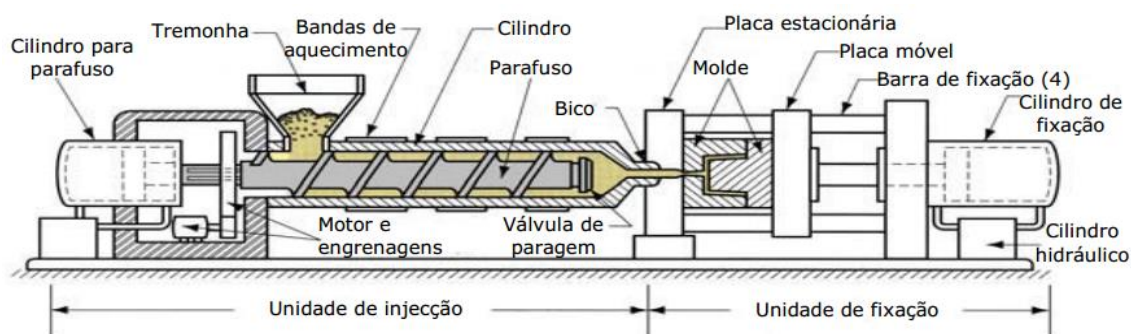


Figura 1 – Máquina de injeção e molde.

2.1.1. Constituição de um molde para a injeção de plásticos

A estrutura de um molde é constituída pelo conjunto de placas e calços. A estrutura de um molde de duas placas é constituída por uma parte fixa ou lado da injeção e por uma parte móvel ou lado da extracção. A parte fixa é constituída pela placa de aperto da injeção e placa das cavidades, enquanto a parte móvel é constituída pela placa do macho, calços, placa de aperto da extracção e a placa de reforço de macho, ver Figura 2. Do lado em que for aplicado o sistema de injeção, normalmente é inserida uma placa de isolamento realizada em fibra de vidro.

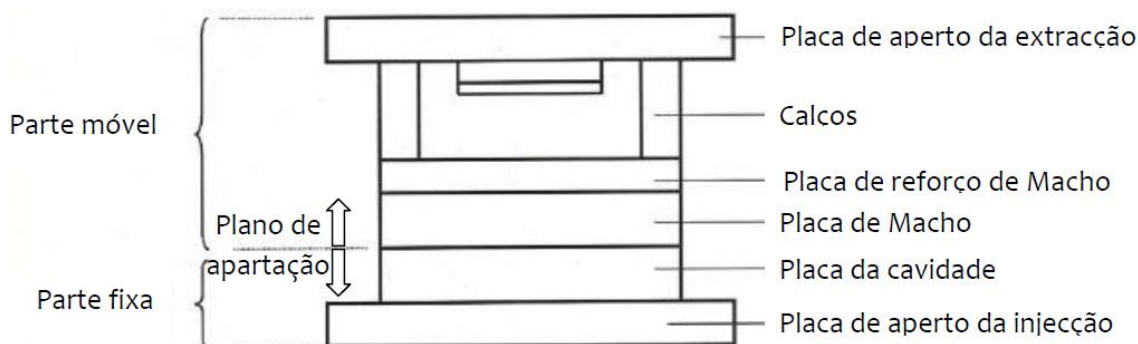


Figura 2 – Estrutura de um molde simples, vista lateral [Reinert, 2004].

Os calços permitem definir o espaço necessário aos movimentos do sistema de extracção e podem contribuir para a altura mínima do molde, exigível pela máquina onde o mesmo vai ser inserido. Para dar rigidez ao conjunto, são normalmente usados elementos de fixação, tais como parafusos e cavilhas, entre as placas e componentes que tenham que estar fixos entre eles, de forma a garantir o seu posicionamento, bem como criar tantas partes quantas as necessárias ao tipo de molde em questão. Os elementos de fixação destinam-se a unir peças e criar um conjunto rígido e estático. Para haver movimento, esses elementos terão que ser conjugados com elementos de transmissão. Os parafusos e as cavilhas têm uma grande vantagem em relação a outro tipo de elementos, daí serem mais usados para permitir uma mais fácil montagem e desmontagem.

Os parafusos não deixam que as placas se separem mas, devido às folgas existentes nas roscas e furos de passagem, não impedem que possa haver um pequeno movimento relativo entre elas. As cavilhas, que entram justas nos furos, impedem que ocorra um pequeno movimento relativo entre elas, mas não impedem a separação das placas. Assim, estes dois elementos devem ser aplicados de forma conjugada. Em muitos casos, as cavilhas podem ser substituídas por outros elementos que desempenham as mesmas funções, como por exemplo guias ou

casquilhos, que tenham um respigado na parte de trás, podendo assim fazer a função das cavilhas.

Na Figura 3 estão representadas a placa da cavidade (onde é maquinada a parte visível da peça, ou seja, que define a forma exterior da peça) e a placa do macho (onde é maquinada a forma interior da mesma).

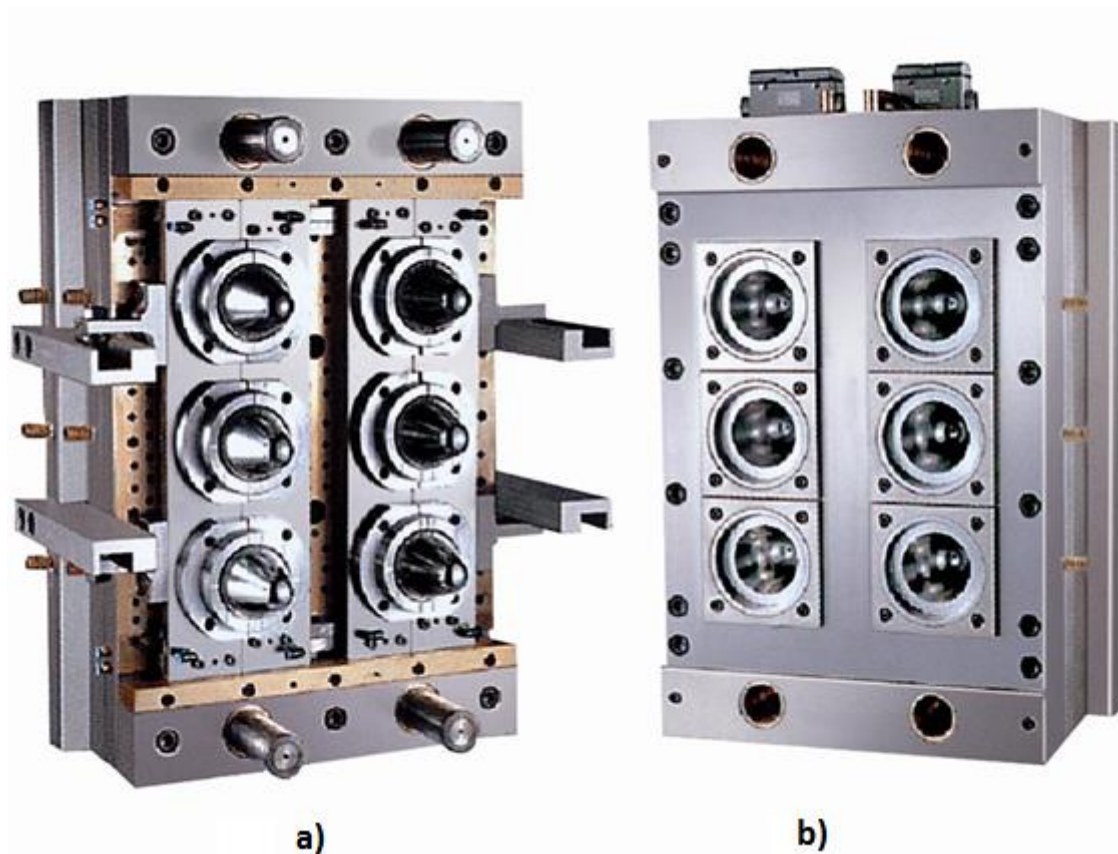


Figura 3 - Imagem com as duas partes de um molde: a) Exemplo de um macho; b) Exemplo de uma cavidade.

Na Figura 4 são caracterizados pormenorizadamente os vários constituintes de um molde de duas placas. Com o molde aberto, é possível observar com maior rigor todos os seus constituintes.

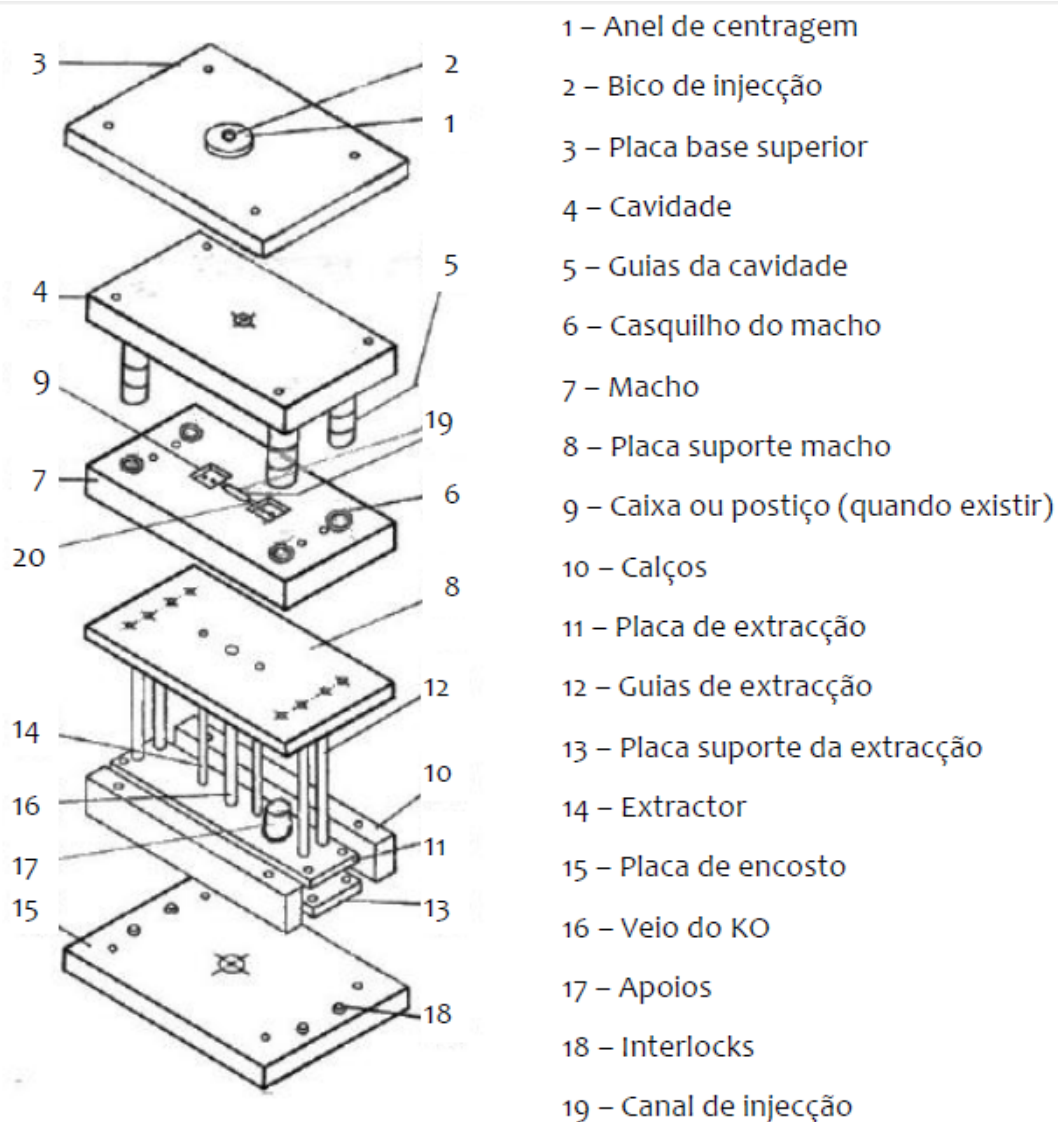


Figura 4 – Desenho esquemático de um molde de duas placas, vista explodida [Reinert, 2004].

Resumindo, os moldes de injeção são constituídos por vários sistemas funcionais [Pontes, 2003], a saber:

- ◆ A estrutura que assegura a solidez do molde;
- ◆ O guiamento que mantém o perfeito alinhamento da cavidade com o macho;
- ◆ A alimentação (gito, canais de alimentação e ataques), que permite o percurso do plástico fundido, desde o bico da máquina de injeção até à impressão;
- ◆ O controlo de temperatura que assegura que nas superfícies moldantes a temperatura seja tão uniforme quanto possível e que o arrefecimento se faça de forma rápida;
- ◆ A extracção que faz com que as peças sejam retiradas do molde.

Na Figura 5, é mostrado um exemplo onde é possível notar a robustez de um molde relativamente pequeno, numa vista em corte. Entre a cavidade e o macho existe uma zona definida, denominada zona de impressão, que corresponde à zona onde a peça é materializada.

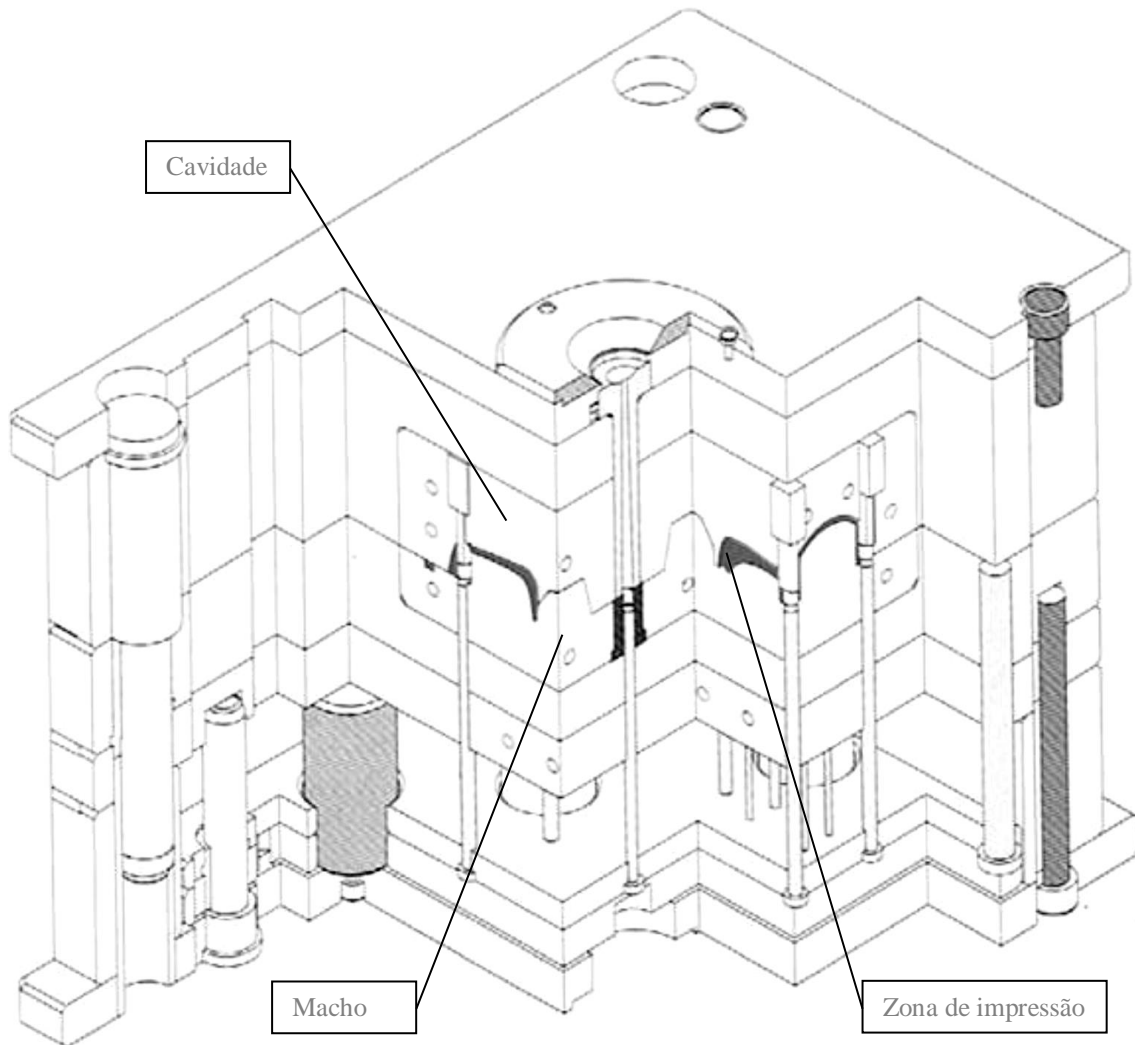


Figura 5 - Vista em corte de um molde simples [Pontes e Brito, 2003].

2.1.2. Projecto de moldes para a injeção de plásticos

Actualmente, as empresas de moldes nacionais utilizam diversas tecnologias, tais como sistemas de CAD/CAE/CAM (*Computer Aided Design/Computer Aided Engineering/Computer Aided Manufacturing*) e outras tecnologias informáticas de apoio ao projecto e produção de moldes, equiparando-as a outras empresas concorrentes a nível internacional, ao mesmo tempo que potenciam as relações entre as empresas nacionais de moldes e os seus clientes e fornecedores [Beira e Menezes, 2004]. Conceitos como “Engenharia Simultânea ou Concorrente” e “Qualidade Total” começam a generalizar-se em algumas empresas do sector [Gomes, 1998]. No grupo SIMOLDES os *softwares* de CAD utilizados são o *Unigraphics*® e *Catia*®, no entanto existem muitas outras ferramentas do género que também têm um módulo dedicado aos moldes, como o *Solidworks*®, *ProEngineer*® e *AutoDesk*®, entre outros.

As indústrias de moldes têm todo o interesse em realizar simulações numéricas, através de programas de computador baseados na análise por Elementos Finitos, a fim de evitar possíveis problemas que possam surgir na produção de peças plásticas, o que tornaria muito mais onerosa a sua produção, caso esses problemas não fossem previstos ainda na fase de projecto. No entanto, as aplicações informáticas baseadas no Método de Elementos Finitos parecem ganhar força aquando da fase de um qualquer projecto, permitindo a análise das tensões e deformações em cada ponto do molde, possibilitando a correcção de zonas mais débeis na fase do projecto e evitando anomalias de funcionamento numa fase posterior. No grupo SIMOLDES é utilizada uma versão comercial do *software Moldflow*®, a qual possibilita as análises do enchimento, pressão, velocidade, estudos térmicos do molde e processo de solidificação da peça moldada.

As fases de desenvolvimento do projecto de um molde são várias, começando por efectuar o estudo do orçamento, que consiste em analisar previamente a peça e estudar os movimentos necessários, ou seja, definir o molde visualmente (análise 2D). Para tal, é necessária uma peça.

Para além do que é a função de cada um dos departamentos, no seio do departamento técnico existe ainda a necessidade de conjugar e envolver os vários intervenientes/responsáveis, desde os responsáveis da produção, gestores de projecto e os próprios clientes. Concluir-se-á que o conceito final do produto é a chave do sucesso, mas passará muito por ter as visões de quem idealiza, aprova e produz.

O estudo do preliminar é também uma fase importante do processo de concepção do molde, requerendo um estudo o mais pormenorizado possível com base em toda a informação relevante (análise tridimensional - 3D). Um preliminar é um esboço onde podem ser sugeridas

melhorias ou alterações para o bom funcionamento do molde, propondo sempre alternativas para a resolução de possíveis problemas. A informação base é o registo do estudo de orçamento e os dados técnicos fornecidos pelo cliente. Nesta fase é realizada uma análise a toda a informação disponível e possivelmente chamadas de atenção, para problemas ou possíveis problemas, bem como sugestão de alterações a efectuar ou resolução desses mesmos problemas. Interessa realçar e reter que se deve sempre respeitar os dados fornecidos pelo cliente e, no caso de existirem limitações, as mesmas terão que ser comunicadas.

Na fase seguinte, e depois de aprovado o preliminar pelo cliente, aquele será actualizado de uma forma mais precisa, definindo todos os elementos moldantes como macho, cavidade, movimentos, posições, entre outros (ver Figura 6). Será efectuada uma simulação dos movimentos para análise de eventuais interferências, para posteriormente se realizar uma revisão do modelo 3D, concretizando o modelo. Posteriormente, efectua-se a encomenda dos aços, principalmente os blocos grandes (cavidade, macho, posição-macho, entre outros), pois estes componentes, para além de ser necessário muitas horas de trabalho na produção, demoram algum tempo a ser entregues pelo fornecedor.

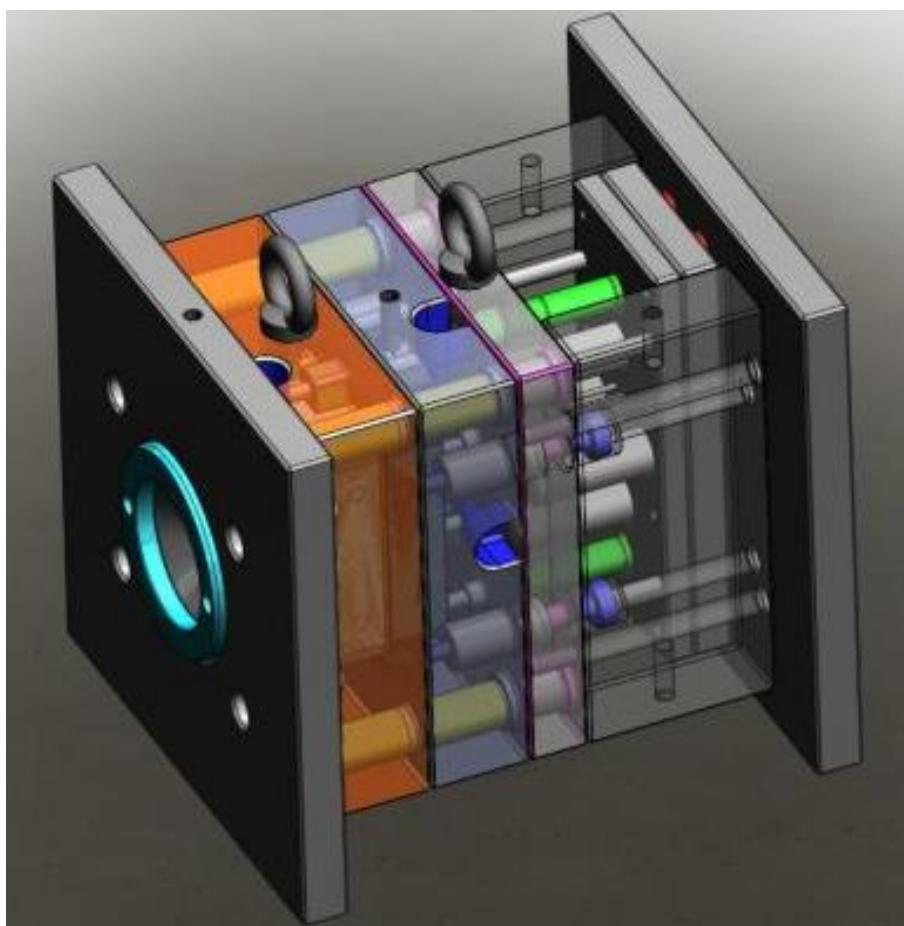


Figura 6 – Modelação de um molde para injeção de uma peça plástica.

Numa fase seguinte será efectuado o desenvolvimento dos movimentos, definição de fixação, refrigeração, colocação de todos os acessórios e definição de extractores, para finalizar toda a montagem do molde, com todos os mecanismos funcionais e devidamente protegidos. Serão ainda efectuados todos os desenhos 2D do molde, esquemas de refrigeração, extracção, entre outros. Será criada a lista de materiais e efectuada uma revisão geral do projecto funcional. Na Figura 7 está apresentado um resumo do diagrama de fluxo das etapas no departamento técnico.



Figura 7 - Resumo do diagrama de fluxo no departamento técnico.

As regras mais importantes para a obtenção de um bom projecto de moldes são as seguintes:

- ◆ O ponto de injeção estar convenientemente localizado, para permitir a obtenção de peças resistentes e com boa apresentação;
- ◆ A extracção fazer-se livremente, para que as peças plásticas possam ficar sem marcas nem empenos;
- ◆ O tipo de refrigeração ou aquecimento ser o mais indicado e a sua localização ser a mais aceitável para se conseguir a rápida solidificação do plástico e não originar pontos de fragilização no molde por fadiga térmica no aço;
- ◆ As suas zonas moldantes utilizarem apenas metade da tolerância indicada no desenho do artigo. A outra metade será para o moldador afinar as dimensões finais do produto durante o ciclo de moldação;
- ◆ Permitir o ciclo de moldação mais curto;
- ◆ Indicar qual a máquina de injeção mais adequada, garantindo que o molde cabe entre as suas colunas;
- ◆ Todos os seus componentes devem ser de fácil maquinação, adaptando-se facilmente ao equipamento instalado na fábrica onde é produzido o molde;

- ◆ Devem ser indicados os locais mais aconselháveis para fugas de ar;
- ◆ Utilizar castelos de aço altos e finos sob a forma de postigos independentes, para que, em caso de fractura, possam ser rapidamente substituídos e com menores custos;
- ◆ A cavidade deve ser suficientemente resistente para suportar as pressões de injeção;
- ◆ Garantir que as peças a moldar tem saídas suficientes no molde para uma boa desmoldagem;
- ◆ As zonas de vedação em paredes verticais têm ângulos superiores a 3°, e sempre que possível com postigos temperados;
- ◆ Em moldações altas e/ou quando as suas paredes exteriores/interiores são moldadas do lado da cavidade e extracção, têm travamentos à linha de junta;
- ◆ Todos os componentes do molde podem ser desmontados facilmente em caso de avaria;
- ◆ Quando o molde abre, as peças mantêm-se no lado da extracção;
- ◆ O curso de extracção é suficiente para libertar as peças plásticas;
- ◆ Em caso de haver movimentos mecânicos, hidráulicos ou pneumáticos, eles têm curso suficiente para libertar as peças plásticas injectadas;
- ◆ Em caso de injeção descentrada, não ser permitido que a zona moldante fique fora dos pratos da máquina de injeção;
- ◆ As saídas e entradas da refrigeração/aquecimento estejam livres relativamente às colunas da máquina;
- ◆ Quando os extractores interferirem com os elementos móveis, existirem “*microswitches*” para garantir a recolha dos extractores antes dos referidos elementos móveis fecharem.

2.1.3. Produção de moldes para a injeção de plásticos

Actualmente, e perante uma contínua mudança em termos técnicos e/ou tecnológicos, o sector de moldes tem procurado uma crescente interligação e cooperação, com o objectivo de dinamizar sinergias, que promovam ganhos de produtividade, através da agilização da inovação, a qual permita a adaptação, em tempo real, às exigências dos mercados e a antecipação dos ciclos e tendências mundiais [Gomes, 1998; Pereira e Gomes, 2003].

A produção dos moldes começa bem antes da sua produção propriamente dita, pois terão de ser encomendados todos os materiais necessários. Dada a dimensão e os prazos, terá de haver planeamento e coordenação de todo o trabalho a ser efectuado, conjugando todas as operações pelas quais os componentes terão de passar (ver Figura 8).

A Produção Assistida por Computador (CAM) veio trazer uma evolução significativa, permitindo criar modelos virtuais em formato 3D e elaborar os seus respectivos programas para maquinação, os quais serão posteriormente executados nos equipamentos de CNC (Comando Numérico Computorizado) para fabrico dos moldes. Estas tecnologias têm como grande vantagem permitir prever anomalias na engenharia e concepção do produto (fase inicial do processo), que anteriormente só eram detectadas mais tarde, significando elevados custos e a dilatação dos prazos de entrega devido à necessidade de realização de alterações.

Os grandes objectivos da produção de moldes passam por planear a execução dos mesmos, de modo a garantir o cumprimento dos prazos estabelecidos com os clientes, pelo fabrico de componentes de acordo com as especificações da concessão e desenvolvimento, cumprindo os requisitos do cliente. Torna-se necessário garantir um bom ajustamento, montagem e acabamento do molde, bem como assegurar que perante as não conformidades detectadas no produto, se garante a correcção das mesmas, respondendo aos requisitos pré-definidos.

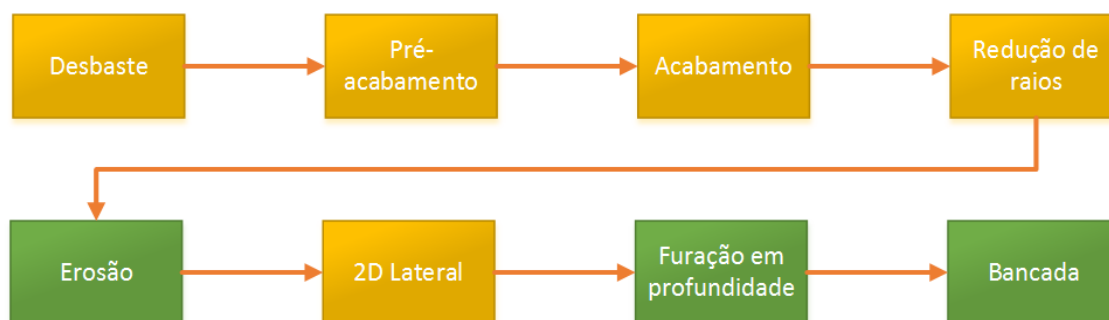


Figura 8 - Trajecto teórico do macho e cavidade de um molde no processo de fabrico (amarelo ou cor clara estão identificadas as operações nas máquinas CNC, as restantes com o respectivo sector).

As empresas dedicadas à fabricação de moldes possuem várias técnicas de produção, as quais executam todas as tarefas necessárias à execução de um molde, bem como controlo do mesmo. Resumidamente, os sectores envolvidos na produção são vários, desde a maquinação CNC (3D, 2D e electroerosão), máquinas convencionais, furação em profundidade, e rectificadoras. A bancada de serralharia fina será o último sector a intervir no molde, antes do ensaio de injeção.

A preparação do trabalho para os equipamentos CNC tem grandes responsabilidades no processo de fabricação, através da criação dos programas a utilizar nas máquinas, bem como controlo das tarefas programadas. Este sector é fundamental no funcionamento deste processo, pois é quem define as estratégias de maquinação, tais como fixação da peça na máquina, quantos posicionamentos necessitará ter ao longo do processo de maquinação, se existe alguma impossibilidade de realização de alguma superfície ou raio de curvatura, etc. No fundo, tem como principal função analisar, numa perspectiva virtual, o que irá ser realizado na máquina. Compete-lhe ainda analisar zonas que possivelmente não possam ser executadas nos equipamentos CNC e tenham que ser realizadas pelo processo de electroerosão.

O processo de **maquinação CNC** constitui o processo principal para qualquer componente do molde e encontra-se subdividido em várias categorias:

- ◆ **Maquinação 3D** – esta etapa antecede as outras abaixo mencionadas e é constituída por quatro operações de fresagem, pela seguinte ordem: desbaste, re-desbaste, pré-acabamento e acabamento;
- ◆ **Maquinação 2D** – engloba operações de furação, mandrilagem e maquinação dos componentes não-moldantes, componentes que não influenciarão directamente a forma final da peça plástica;
- ◆ **Electroerosão** – maquinação de geometrias impossíveis de realizar pelas operações de fresagem mais convencionais, ou superfícies que necessitam de melhor acabamento.

A maquinação de moldes é realizada com vários tipos de fresas e brocas. Dependendo do tipo de operação (desbaste, re-desbaste, pré-acabamento ou acabamento), as ferramentas utilizadas vão ser diferentes. Para saber qual a fresa ideal a utilizar numa dada operação de maquinação é necessário definir o tipo de operação, saber qual o material que se vai maquinar e conhecer adequadamente o desenho do molde (raios e inclinações).

Na maquinação CNC, o grande objectivo passa pela obtenção de componentes de acordo com as especificações do projecto do molde. A maquinação consiste na operação de remoção de

material para obter a forma exterior e interior da peça a ser produzida pelo molde. A maquinação pode ser feita por arranque de aparta, por uma ferramenta animada com movimentos de rotação e translação.

Quando os modelos tridimensionais principais estão completos ou, no mínimo, quase definidos através da modelação (cavidade, macho, postigo-macho e levantadores/movimentos de elevadas dimensões), começa a primeira etapa, o desbaste, normalmente do macho e cavidade por terem muito tempo de maquinação e trabalhos associados.

Existem grupos de elementos a maquinar em que os princípios e estratégias tendem a ser os mesmos (movimentos mecânicos, movimentos de extracção, levantadores, machos, postigo-macho, macho mais postigo-macho em operação conjunta, cavidade, paletes de postigos, entre outros), ou seja, são criados grupos em que os preparadores já estão a efectuar as mesmas operações no mesmo grupo de máquinas.

Máquinas Convencionais

- ◆ Fresadora ferramenteira - máquinas de fresagem não assistidas por comando numérico, usualmente associadas a trabalhos pequenos, de apoio às bancadas;
- ◆ Tornos – máquinas de toronar todo o tipo de acessórios e peças cilíndricas ou cónicas para o molde.

Furação em profundidade

As máquinas de furação em profundidade são utilizadas para efectuar o circuito de refrigeração do molde, bem como para a materialização dos circuitos de óleo, para que este seja conduzido desde as entradas do circuito até aos vários actuadores hidráulicos requeridos pela cinemática do molde.

Existem equipamentos já dedicados a este tipo específico de operações em moldes, nos quais a máquina é praticamente autónoma, uma vez que faz automaticamente o centramento, com o auxílio de dois pontos de coordenadas do bloco. O manuseamento do molde para efectuar os vários apertos não é fácil e leva a que se verifiquem tempos improdutivo elevados, necessitando colocar as várias peças (macho, cavidade,...) em várias posições e, por vezes, até retirar a peça da máquina e rodá-la fora do equipamento.

Compete à preparação de trabalho prever se a geometria dos diferentes furos se coaduna com as características típicas desses equipamentos (máquinas IMSA), ou se haverá alguma situação em que terão de ser executado de outra forma, usando uma mandriladora, por exemplo. As

máquinas convencionais eram as únicas máquinas usadas anteriormente neste processo, realizando estas tarefas de forma bastante manual. Na Figura 9 é apresentado o diagrama com o ciclo dos componentes no sector da furação em profundidade.

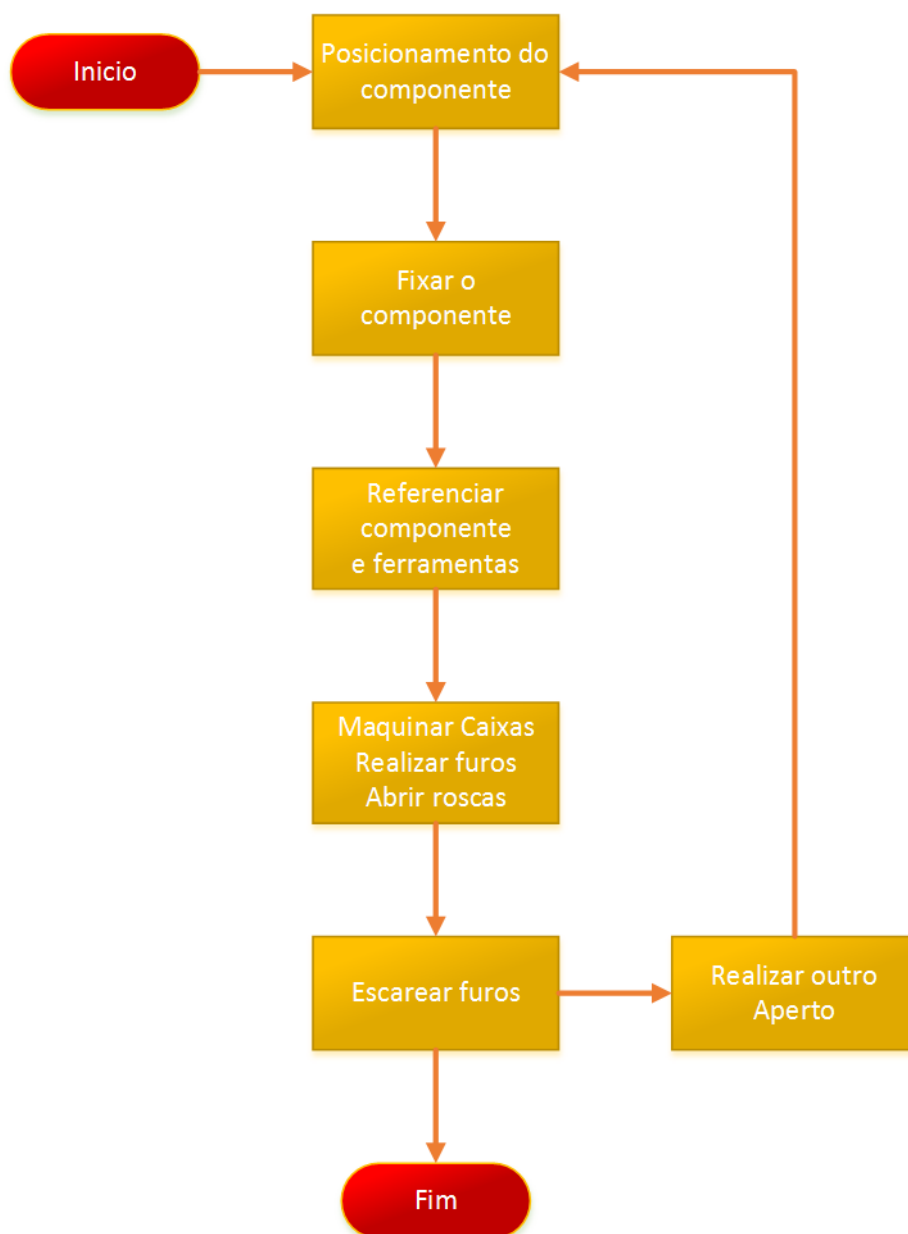


Figura 9 - Diagrama com o ciclo dos componentes no sector da furação em profundidade.

Como é óbvio, existe o objectivo de executar bem e o mais rapidamente possível, com vista a minimizar os custos. Para tal, deverá procurar-se proceder à diminuição dos tempos de furação, à minimização do desgaste das ferramentas e, conseqüentemente, à redução do custo da operação. Para isso deve-se ter em atenção alguns aspectos, tais como:

- ◆ Diminuir o mais possível o número de fixações, pois estas implicam a necessidade de reposicionar (ou rodar) o molde;

- ◆ Deverão ser executados primeiramente os furos com o maior número de intercepções;
- ◆ Para minimizar o trajecto orbital da broca deve-se iniciar a furação pelos furos com maior profundidade;
 - ◆ A sequência de furação tem de minimizar o comprimento de intercepção, uma vez que o avanço é muito reduzido, na passagem por uma intercepção;
- ◆ Os furos de menor diâmetro, que interceptam furos de diâmetro superior, devem ser realizados em primeiro lugar com o intuito de reduzir o comprimento de intercepção.

Terá que existir um compromisso efectivo entre os colaboradores ligados ao projecto, os preparadores de trabalho e os operadores dos equipamentos.

Rectificação

Consiste no esmerilamento de peças, de modo a eliminar irregularidades ou para conseguir obter peças de grande precisão dimensional e elevada qualidade de acabamento. É utilizada particularmente em peças sujeitas a movimento, onde a minimização da rugosidade contribui de forma drástica para a minimização dos problemas de desgaste.

Bancada

O sector da bancada é onde “tudo acontece”, como é dito usualmente na produção, pois é neste sector que recai a grande responsabilidade de efectuar todo o ajustamento e montagem do molde. Temos por isso intrinsecamente ligado o responsável do molde na parte produtiva, que é o chefe da respectiva bancada. A bancada tem como principais funções: polimento, ajuste/afinação e montagem do molde.

O polimento consiste na remoção de marcas vindas da maquinaria e melhoramento do aspecto visual final das peças, através da raspagem manual e progressiva no aço, usando para o efeito pedras de polir e lixas.

O ajuste consiste na remoção manual de aço em excesso entre componentes, para que estes possam encaixar, montar ou deslizar entre si, da forma mais simples e perfeita possível, usando para o efeito pequenas fresas, pequenas mós e limas. No ajuste dos componentes é utilizada tinta de água “zarcão”, que tem como funcionalidade a marcação das zonas em contacto entre os componentes, para que se possa saber onde se deve retirar o material em excesso.

Quando todas as zonas em contacto entre os componentes estiverem pintadas, não se retira mais aço, pois já estão ajustados. Poderá ser uma operação demorada, já que a remoção do

aço tem que ser progressiva e repetitiva, sendo a operação mais rigorosa e delicada deste sector, pois o bom funcionamento do molde e a obtenção de peças com boa qualidade na injeção depende obrigatoriamente do trabalho realizado nesta secção.

A montagem consiste na reunião de todos os elementos e acessórios do molde, efectuando-se com a orientação do projecto, através de aparafusamento e encavilhamento. Na montagem dos moldes são normalmente usados como elementos de ligação parafusos e cavilhas.

O processo produtivo na indústria de moldes possui uma grande variabilidade, uma vez que cada molde é um projecto distinto e único, e não é possível delegar um fluxo concreto dos produtos pelas várias secções, ou seja, para cada projecto é necessária uma análise profunda e detalhada para definir o tempo de execução de cada molde em cada etapa do processo produtivo.

Os sectores com mais responsabilidade no molde durante o seu caminho crítico serão a maquinação CNC, erosão, furação em profundidade e bancada. Isto porque existem muitas operações que dependem de outros sectores, o que vai dificultar a realização das várias operações, uma vez que terá de haver uma gestão muito meticulosa para que os componentes estejam o mínimo de tempo parados e, simultaneamente, as máquinas estejam com ocupação máxima.

Para que um molde seja bem-sucedido, terá de passar por muitas etapas, operações e sectores. Acima de tudo, terá que haver muita comunicação e colaboração entre os vários intervenientes, ver Figura 10.

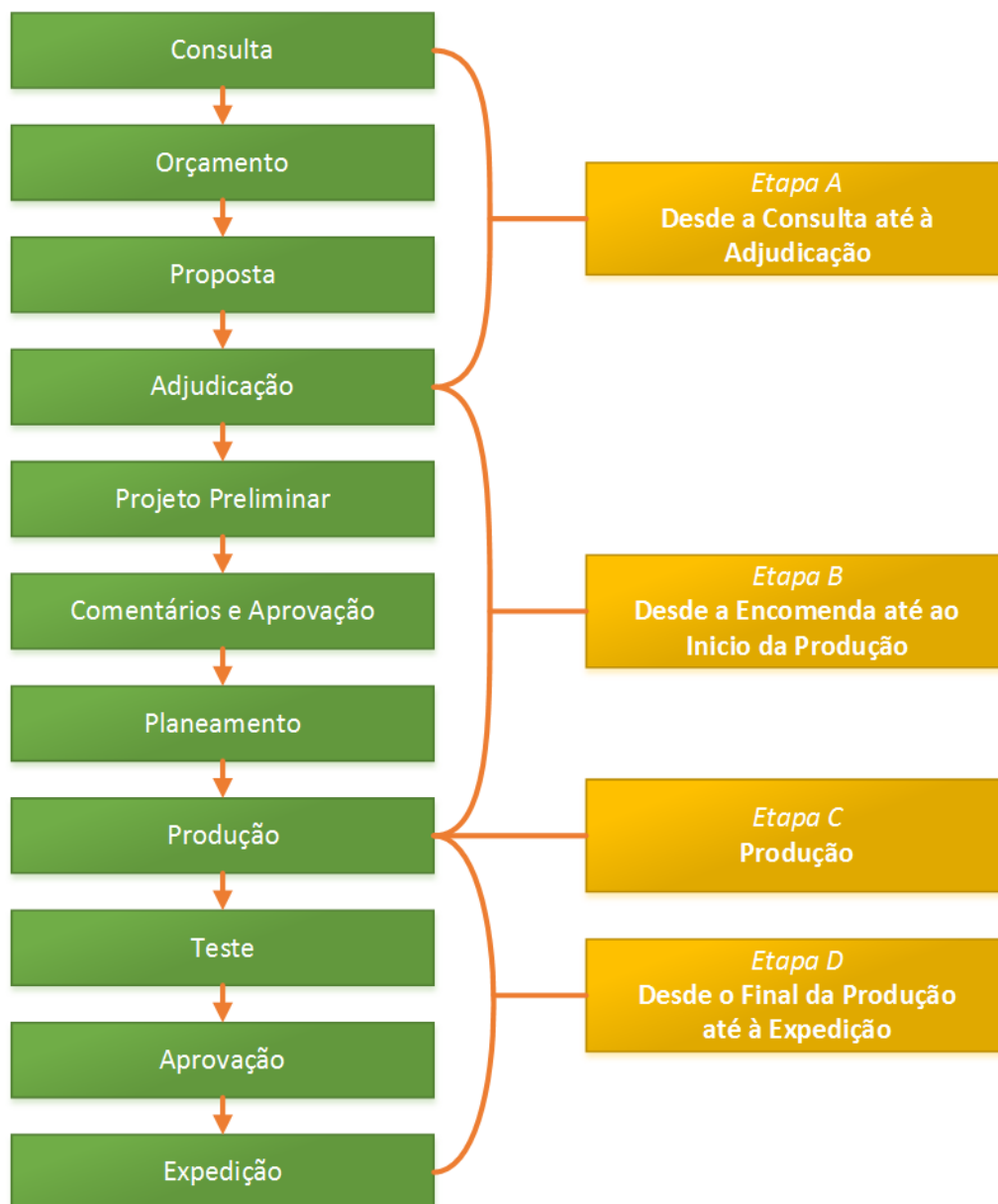


Figura 10 - Ciclo normal de um molde típico.

2.1.4. Necessidade de rotação dos moldes

A optimização dos recursos produtivos, por redução dos tempos improdutos, através da melhor utilização dos equipamentos e das ferramentas, com recurso aos sistemas integrados baseados nas tecnologias de informação, ou outro tipo de aplicação, são factores que conduzem ao aumento de produtividade.

Existe uma necessidade grande do uso de estruturas que facilitem e ajudem no transporte e viragem dos vários componentes trabalhados nesta indústria, para a minimização de possíveis tempos improdutos. O único sistema existente não é satisfatório e em algumas situações coloca em perigo a própria segurança, uma vez que estamos a falar normalmente de componentes que pesam toneladas.

Nas várias empresas do grupo, o sistema existente para rodar os componentes ou molde, é através de uma ponte rolante dotada de um carro-guincho, situada em cada nave, em que no caso da nave das bancadas, essa ponte contém um segundo carro-guincho, mais pequeno, para ajudar na rotação das peças de maior porte, ver Figura 11.



Figura 11 – Ponte rolante com dois carros guincho.

No entanto, a solução dos dois carros-guincho também não é a ideal, porque quando usada para rodar o molde, leva a que ocorram algumas colisões entre as cintas (ou cadeados) usados na ponte, e as placas do molde ou acessórios fixos ao molde, podendo assim danificar os mesmos, para além de ser uma situação que encerra algum perigo. Em termos de tempo, esta operação poderá levar mais de 20 minutos, dependendo do número de rotações, uma vez que é preciso engatar e desengatar algumas vezes os vários cadeados, existem situações em que o acesso não é fácil, dado o tamanho de alguns moldes.

Nas outras naves onde se situam o sector das máquinas CNC e furação em profundidade, em que existe a necessidade de efectuar vários apertos, como explicado anteriormente, existe unicamente uma ponte rolante com um carro guincho. Esta situação torna-se mais preocupante, uma vez que o componente é colocado em cima de blocos de madeira, ou sobre umas sapatas normalmente em material polimérico, e a rotação funciona por “tombamento”, o que se torna bastante perigoso para os operários e poderá trazer danos ao molde. O tempo despendido nesta operação poderá ser superior a 30 minutos.

Outra situação em que existe a necessidade de rotação dos moldes é nas empresas de produção de plásticos, e essas empresas normalmente só têm a alternativa da ponte rolante com um carro-guincho, efectuando a rotação como explicado anteriormente.

As situações mais complicadas neste tipo de empresas são a de colocar o molde na posição de injecção, uma vez que o molde normalmente é transportado numa posição, que não é a posição de colocação do molde na máquina de injecção (o molde só poderá ser colocado numa posição de injecção que é definida na altura do projecto de molde). Outra situação em que é necessário movimentar e rodar os moldes ocorre quando existe a necessidade de manutenção dos mesmos.



Figura 12 - Molde a ser rodado por tombamento, da esquerda para a direita.

A vantagem de um equipamento de rotação de moldes será grande:

- ◆ Menos tempos improdutivos (operação feita em 3 minutos com o novo equipamento);
- ◆ Segurança na operação para os trabalhadores;
- ◆ Eliminação de risco da criação de danos nos acessórios do molde;
- ◆ Limpeza das instalações.

2.2. Estruturas metálicas: Breve introdução

Estruturas metálicas são estruturas formadas por associação de peças metálicas ligadas entre si por meio de conectores (parafusos, rebites) ou soldadas. Estruturas metálicas em aço consideram-se aquelas que são executadas com peças perfiladas a partir de ligas de ferro e carbono forjável sem necessidade de tratamento, com teor máximo de carbono de 1,7%, conforme as normas e especificações vigentes.

Os materiais e semiprodutos mais comuns são: aços (várias classes) e ferro fundidos, dentro do grupo dos materiais ferrosos, e as ligas de alumínio, cobre e titânio no caso do grupo dos materiais não-ferrosos. Vejamos seguidamente, de forma resumida, a utilidade de cada um desses grupos de materiais.

Aços para trabalho a frio: são utilizados em ferramentas que vão trabalhar a temperatura baixa ou à temperatura ambiente.

Aplicações: Moldes para plástico, lâminas de guilhotinas, etc.

Aços para trabalho a quente: são utilizados em ferramentas que vão trabalhar os metais a temperaturas elevadas.

Aplicações: Moldes para estampagem a quente, moldes para fundição injectada, rolos de laminadores, etc.

Aços rápidos: São utilizados em ferramentas para trabalhar a grandes velocidades de corte e onde são atingidas elevadas temperaturas.

Aplicações: Fresas, brocas, buris, mandris, etc.

As estruturas metálicas apresentam como principais vantagens relativamente a outros tipos de estrutura [Padrão, 2004]:

- ◆ Elevada ductilidade: capacidade de se deformar sem perder as propriedades mecânicas;
- ◆ Elevada durabilidade: períodos de vida elevados, se possuírem adequada manutenção;
- ◆ Elevada resistência: sobretudo a esforços de tração;
- ◆ Elevada tenacidade: capacidade de absorver grande quantidade de energia;
- ◆ Rapidez de execução: visto a estrutura metálica ser constituída por peças pré-fabricadas, a montagem pode ser executada com grande rapidez;
- ◆ Possibilidade de reaproveitamento: principalmente quando as ligações forem aparafusadas e não existirem lajes de betão, as estruturas podem ser desmontadas e reaproveitadas;
- ◆ Versatilidade: possibilidade de execução de peças com diversas formas e tamanhos;
- ◆ Facilidade de reforço e ampliação.

As principais desvantagens são [Padrão, 2004]:

- ◆ Encurvadura: grande possibilidade dos elementos poder sofrer encurvadura se forem esbeltos e possuírem grandes comprimentos;
- ◆ Resistência ao fogo: a resistência do aço quando exposto a elevadas temperaturas diminui significativamente;
- ◆ Custos de manutenção: visto ser um material susceptível à corrosão, as estruturas metálicas obrigam a cuidados de manutenção, principalmente em zonas húmidas.

2.2.1. Tipos de estruturas metálicas

Em Portugal tem-se assistido a um aumento progressivo do uso de construções metálicas, o que reflecte um pouco a versatilidade de soluções permitida por este tipo de construção. No entanto, quando se fala em estruturas metálicas, estaremos principalmente a falar na área da construção civil e obras públicas, como pontes, edifícios industriais, edifícios de escritórios, parques de estacionamento, coberturas de recintos desportivos e equipamentos industriais, tais como máquinas de auxílio na produção das várias indústrias (como pontes rolantes, gruas, etc.) [Simões, 2007].

Os tipos de estrutura mais comuns analisados por elementos finitos e atendendo ao número de graus de liberdade de cada tipo de elemento finito são:

- ◆ Estrutura articulada: 2 deslocamentos;
- ◆ Estrutura reticulada (pórtico): 1 deslocamento e uma rotação;
- ◆ Estruturas contínuas planas: 2 deslocamentos;
- ◆ Estruturas tridimensionais sólidas: 3 deslocamentos;
- ◆ Estruturas contínuas orientadas (placas e cascas): deslocamentos e rotações que dependem do elemento.

2.2.2. Processos de ligação passíveis de ser usados em estruturas metálicas

No cálculo de estruturas metálicas, as ligações são sempre um dos pontos fulcrais. Nas últimas décadas estas têm sido sempre estudadas com solicitações simples e determinados. Recentemente, e com a introdução do EuroCódigo 3, parte 1-8, a reacção real das ligações quando sujeitas a acções começam a ser considerada na análise do comportamento estrutural. Deste modo, o engenheiro de estruturas pode usufruir dos benefícios das ligações semi-rígidas. O maior problema é criar ferramentas intuitivas para o dimensionamento deste tipo de ligação, de modo a torná-las mais apelativas.

As ligações de uma estrutura metálica desempenham um papel fundamental no comportamento da estrutura às acções exteriores. Apesar disso, as ligações apresentam-se como um dos componentes estruturais mais complexos do ponto de vista do seu dimensionamento. Em muitos casos da prática corrente, é dedicada pouca atenção à concepção das ligações metálicas e o seu cálculo é muitas vezes tratado de forma simplificada e pouco rigorosa. Isto acontece devido às incertezas na fabricação, imperfeições, tensões residuais, fricção e complexidade geométrica.

Os principais processos de ligação são a soldadura e a ligação mecânica (parafusos, cavilhas, rebites). Os métodos de produção de juntas soldadas têm sido objecto de grande investigação nos últimos anos dada a necessidade de produzir ligações estruturais cada vez mais seguras por um lado, e menos dispendiosas por outro. Da indústria automóvel à indústria militar, da construção civil à aeronáutica, passando pela indústria metalúrgica, os custos das ligações têm um papel determinante no que diz respeito à tomada de decisões.

Algumas considerações a levar em conta quando é usado o processo de soldadura:

- ◆ Os perfis e chapas a utilizar devem respeitar as normas definidas em termos nacionais pelo Regulamento de Estruturas de Aço para Edifícios (REAPE);
- ◆ O metal de adição em soldadura deve apresentar propriedades iguais ou superiores às do metal base e possuir características metalúrgicas compatíveis;
- ◆ Não devem ser utilizados elementos estruturais de espessura inferior a 4 mm;
- ◆ Os elementos principais devem ter uma disposição simétrica em relação ao plano médio;
- ◆ Os elementos das estruturas trianguladas devem possuir os seus eixos concorrentes nos nós;
- ◆ Devem evitar-se variações bruscas de secção nos elementos das estruturas ou suas ligações;
- ◆ Deve evitar-se a combinação de ligações para a transmissão de esforços (parafuso + soldadura);
- ◆ Devem evitar-se as disposições construtivas que dificultem o acesso à pintura ou favoreçam a retenção de água;
- ◆ A disposição e ordem da execução das soldaduras devem ser estabelecidas de modo a reduzir tanto quanto possível a introdução de tensões residuais;
- ◆ Não se devem soldar elementos com espessura superior a 30 mm (salvo com uma escolha criteriosa da qualidade do aço e do material a depositar, e da utilização de processos especiais de execução e controlo);
- ◆ Deve evitar-se a concentração de tensões pela criação da variação brusca de secção ou de entalhes e/ou furos de dimensão relevante;
- ◆ Na execução das ligações soldadas devem empregar-se processos de soldadura de eficácia comprovada (a soldadura por arco eléctrico e oxiacetilénica devem respeitar as normas portuguesas).

Principais vantagens com ligações soldadas:

- ◆ Possibilidade de realização de ligações pouco deformáveis;
- ◆ Diminuição do tempo de preparação das peças (por comparação com as ligações aparafusadas);

- ◆ Simplificação das ligações;
- ◆ Melhoria do aspecto da construção;
- ◆ Realização de juntas estanques.

Principais desvantagens com ligações soldadas:

- ◆ Recurso a pessoal especializado;
- ◆ Protecção das soldaduras contra as intempéries;
- ◆ Conveniência de condução do processo de controlo da qualidade, muitas vezes realizado por entidades externas;
- ◆ Deformações e tensões residuais (sobretudo relacionadas com deformações impedidas, resultantes do ciclo térmico aplicado na zona de ligação. Estes efeitos devem ser tidos em conta no dimensionamento).

As ligações aparafusadas podem ser correntes ou pré-esforçadas. As ligações pré-esforçadas funcionam pela existência de pré-tensão e atrito, que se opõem ao deslizamento dos elementos ligados. Nas ligações correntes são normalmente utilizados parafusos de aço macio. Os parafusos trabalham ao corte e a transmissão de esforço é feita por esmagamento do parafuso entre os parafusos e a chapa a ligar. O contacto deve ocorrer na parte lisa do parafuso. Nas ligações pré-esforçadas, a transmissão é feita por atrito entre as chapas. Nas ligações aparafusadas com pré-esforço, devem ser usados parafusos da classe de qualidade/resistência igual ou superior a 8.8. Na Figura 13 é apresentado exemplos de ligações com parafusos.

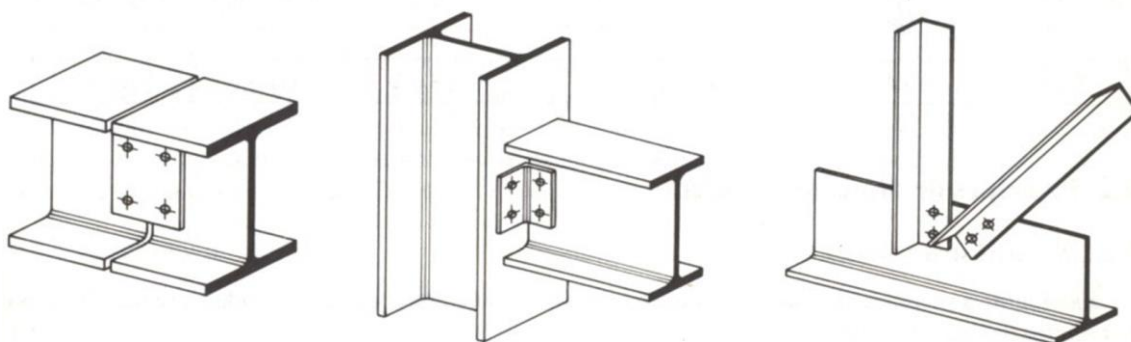


Figura 13 - Exemplo ligação com parafusos.

As principais vantagens apresentadas pelas ligações com parafusos são:

- ◆ Facilidade de montagem e desmontagem;
- ◆ Baixo custo;
- ◆ Facilidade de montagem no local das várias partes de uma obra.

As principais desvantagens das ligações com parafusos são:

- ◆ Possível desgaste com algum tipo de solicitações;
- ◆ Deve ser tida em conta a redução da resistência devida à existência de furos (concentração de tensões).

2.2.3. Cuidados a observar no dimensionamento de estruturas metálicas

As estruturas metálicas devem ser dimensionadas e executadas de modo a que, numa forma fiável e económica, possam manter-se aptas para o uso que lhes é destinado, bem como suportar as solicitações e influências do meio que durante a sua execução e tempo de vida as possam afectar, nomeadamente acções acidentais (explosões, impactos ou consequências de erros humanos no pós-fabrico). Para que os potenciais danos causados por tais acções não sejam desproporcionados em relação às causas que os originaram, na sua concepção estrutural, dever-se-á adoptar uma ou várias das seguintes medidas:

- ◆ Elaboração de uma solução estrutural suficientemente resistente para que de uma forma objectiva seja pouco sensível aos riscos e acções considerados;
- ◆ Evitar esquemas estruturais com possibilidade de colapso sem aviso prévio (fragilidade);
- ◆ Adopção de uma solução estrutural e de um método de cálculo que garantam a adequada sustentação da estrutura, na eventualidade de remoção acidental de algum elemento isolado (anti-económico e de difícil aplicação prática, sendo um conceito que pode ser absorvido pela capacidade plástica e redundante da estrutura), bem como suficiente robustez e tenacidade, evitando roturas frágeis.

A directiva a seguir neste projecto é a Directiva Máquinas 2006/42/CE de 17 de Maio de 2006, transposta no DL 103/2008 do DR 120 Série I, 2008/06/24 que altera a Directiva 96/16/EC. Esta directiva tem como função promover e normalizar as questões de segurança nas máquinas,

principalmente na fase de projecto, estabelecendo um conjunto de normas a seguir, sendo portanto destinada a fabricantes e comerciantes de máquinas industriais.

Este projecto deve respeitar o EC3 que é referente ao Projecto de Estruturas de Aço, e dentro deste terá de respeitar a norma EN 1993-1-8 - Projecto de Ligações (a versão portuguesa NP EN 1993-1-8). Ainda referente ao EuroCódigo, existe o EC6 (EN 1993-6) que diz respeito a Estruturas de aparelhos de elevação.

Outra norma que terá de ser respeitada é a EN 280:2001+A2:2009 (1ª Edição) "*Mobile elevating work platforms: Design calculations and stability criteria*", norma que se aplica a plataformas móveis elevatórias, adoptada do Comité Europeu de Normalização.

Uma outra norma a ter em conta é a norma EN 1050 "*Safety of machinery – Principles for risk assessment*". Nesta norma são tratados os aspectos que dizem respeito à segurança de máquinas, prevenção de acidentes e avaliação de possíveis riscos e diferentes tipos de lesões durante o manuseamento de máquinas.

2.2.4. Método dos Elementos Finitos

2.2.4.1. Introdução ao Método dos Elementos Finitos (MEF)

O MEF permite uma estimativa numérica das equações constitutivas integrais ou diferenciais que se estabelecem para a estrutura ou para os elementos da estrutura individualmente. A formulação do MEF resulta num sistema de equações a serem resolvidas em detrimento das equações integrais ou diferenciais originais. O MEF permite a obtenção de varias soluções numéricas de problemas de engenharia como análise de tensões, escoamento de fluidos, temperatura, entre outros [Campilho,2012]. O MEF baseia-se na subdivisão de sistemas físicos discretos ou contínuos. O domínio físico é dividido em subdomínios a que se dá o nome de elementos finitos. Cada elemento finito é definido por um número determinado de nós que são ligados entre si para que o elemento seja fechado, isto é, que defina uma fronteira [Azevedo, 2003].

Este método simplificou em muito a análise estrutural já que antes da sua criação a meio do século XX, a maioria das análises eram efectuadas por resolução analítica dos sistemas de equações de derivadas parciais que regiam os fenómenos, adequadas às condições de

fronteira do problema em questão. A evolução das estruturas construídas pelo homem veio acompanhada de uma crescente complexidade na sua análise e projecto. Esta complexidade resultaria numa demora associada à resolução de enormes sistemas de equações [Huebner, 1995]. A utilização do método de elementos finitos em casos de engenharia tem vindo a crescer ao longo do tempo. Tal facto está totalmente relacionado com o aumento da capacidade de cálculo computacional.

A abordagem seguida pelo MEF, tal como o próprio nome indica, tem como princípio dividir um corpo em vários elementos (corpos) de dimensão finita. A resolução, assim como a veracidade, dos resultados obtidos depende fortemente do número de elementos utilizados: quanto maior for o número de elementos, mais precisos serão os resultados, mas também são exigidos maiores esforços computacionais e verifica-se a necessidade de mais tempo para a realização da simulação. Na Figura 14 mostra uma discretização de um modelo.

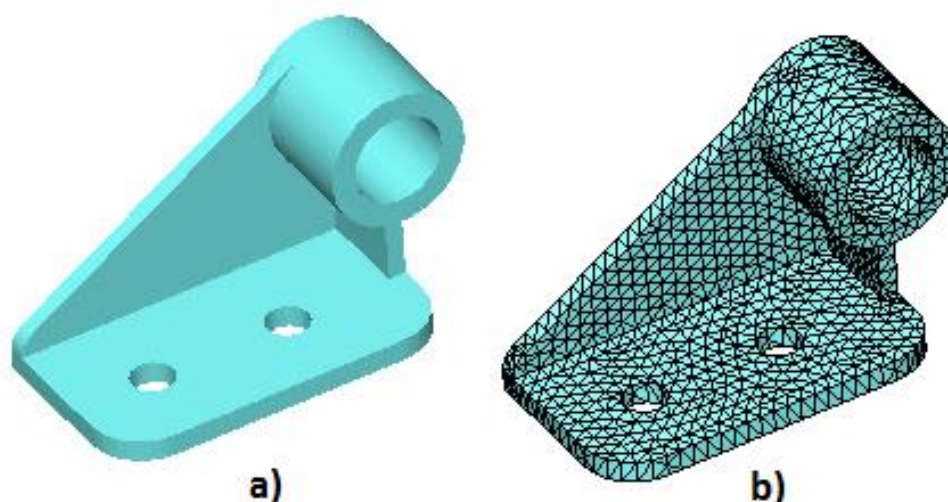


Figura 14 – Discretização de um modelo: (a) Modelo CAD de uma peça de suporte; (b) Modelo dividido em elementos.

Este método pode ser aplicado a estudos bidimensionais e tridimensionais, sendo estes últimos mais exigentes devido ao maior número de graus de liberdade e a um maior número de incógnitas a serem calculadas. Os tipos de elementos variam de forma geométrica, sendo os mais utilizados no caso tridimensional o elemento tetraédrico e o cúbico.

2.2.4.2. O Método dos Elementos Finitos aplicado a estruturas metálicas

São muitas as aplicações do MEF a estruturas metálicas. Para além disto, estão constantemente a emergir novas formulações de elementos construídas para resolver problemas específicos. São de realçar [Fish e Belytschko, 2007]:

- ◆ Análises de térmicas e tensões em componentes mecânicos;
- ◆ Análise sísmica de barragens, cidades e arranha-céus;
- ◆ Análise de “*crash-tests*” em veículos automóveis, comboios ou aviões;
- ◆ Análise de dispersão de poluição e contaminantes, escoamento de ar em condutas;
- ◆ Análise electromagnética de ondas em antenas, transístores e transmissores de aviões.

As acções sobre as estruturas são em geral dinâmicas, devendo ser consideradas as forças de inércia associadas às acelerações a que cada um dos seus componentes fica sujeito. Por este motivo, seria de esperar que a análise de uma estrutura teria obrigatoriamente de ter em consideração os efeitos dinâmicos. Contudo, em muitas situações, é razoável considerar que as acções são aplicadas de um modo suficientemente lento, tornando desprezáveis as forças de inércia. Nestes casos, a análise designa-se estática.

Os estudos estáticos calculam deslocamentos resultantes, forças de reacção, deformações, tensões e distribuição do c.s.. Os materiais falham nos locais em que as tensões ultrapassam certos níveis. Normalmente é usado o critério de von Mises devido a traduzir de forma mais fiel o comportamento dos materiais sob solicitações complexas (mais do que uma componente do estado de tensão). Os estudos estáticos podem ser úteis para evitar falhas decorrentes de tensões elevadas. Um c.s. menor do que a unidade indica rotura do material. Grandes factores de segurança em regiões contíguas indicam tensões baixas e possibilidade de aligeiramento da secção do material na citada região.

Alguns cuidados a observar nas ligações terão que estar de acordo com os esforços que estarão aplicados em cada caso. O elemento de barra é utilizado para a modelação de estruturas articulas, caracterizadas pela ligação com rótulas sem fricção dos seus elementos. Como tal, cada elemento encontra-se em tracção ou compressão pura, devido ao facto das ligações em causa não permitirem a transmissão de momentos flectores. Numa estrutura articulada, é necessário que todas as cargas e reacções nos apoios sejam aplicadas nas extremidades das barras [Chandrupatla e Belegundu, 1997, Campilho,2012].

Estruturas articuladas também podem ser modeladas utilizando elementos de barra de 2 nós, desde que as ligações entre os vários elementos sejam tais que apenas sejam transmitidos esforços axiais (rótulas) [Rao, 2004].

Um elemento de estrutura caracteriza-se por poder suportar esforços axiais e de torção, bem como flexão segundo dois planos ortogonais. Estes elementos são utilizados para análise de estruturas 3D com ligações rígidas entre os seus elementos, edifícios de vários andares, carroçarias de automóveis e quadros de bicicleta, entre outras aplicações [Chandrupatla e Belegundu, 1997, Campilho,2012].

Os elementos sólidos 3D mais usuais têm 4 (tetraedro) ou 6 faces (Hexaedro) e podem ser utilizados para qualquer tipo de geometria. Num caso mais simples estes elementos apenas têm nós nos seus vértices e apresentam arestas rectilíneas. Elementos 3D de ordem superior podem ter nós nas arestas, nas faces exteriores ou no interior dos elementos, para além de faces curvas [Campilho,2012].

Para além destes tipos de elementos existem muitos outros, particularmente desenvolvidos para situações específicas, como sejam os elementos 2D, os elementos axisimétricos, os elementos de placa ou elementos de casca.

O ciclo tradicional de desenvolvimento de uma estrutura segue a sequência seguinte:

- ◆ Utiliza-se o *software* de MEF para criar um modelo;
- ◆ Produz-se um protótipo;
- ◆ Realizam-se testes do protótipo em várias condições de carga. Em alguns casos é necessária a aplicação de sistemas de leitura de resultados de teste;
- ◆ Com base nos resultados, efectua-se alterações no modelo, constrói-se um novo protótipo, e vai-se verificando de forma iterativa, até que este satisfaça os requisitos.

2.3. Accionamentos mecânicos

2.3.1. Introdução aos accionamentos electromecânicos

Actualmente, o desenvolvimento é uma realidade, e cada vez mais se investe na rapidez, eficiência e qualidade em tudo quanto nos rodeia. Assim, cada vez mais se investe na mecanização para conseguir obter uma boa qualidade no trabalho, mas também para o realizar no menor tempo possível.

Os accionamentos electromecânicos são sistemas capazes de converter energia eléctrica em energia mecânica (movimento), mantendo sob controlo todo o processo de conversão. Os accionamentos electromecânicos de velocidade ajustável são realizados pela associação de máquinas eléctricas e de conversores de energia eléctrica, os quais são concebidos com elementos de electrónica de potência.

A síntese correspondente à evolução dos sistemas de accionamento electromecânico poderá ser descrita da seguinte forma:

1. Ward-Leonard rotativo, que consistia em duas combinações (ver Figura 15):
 - ◆ Fonte de alimentação = motor assíncrono + gerador de corrente contínua;
 - ◆ Motor de accionamento da carga mecânica = motor de corrente contínua.

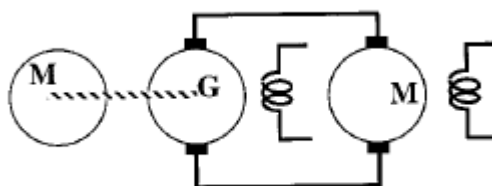


Figura 15 – Esquema eléctrico do sistema rotativo - Ward-Leonard.

Historicamente, o motor CC (corrente continua) foi utilizado de modo universal no controlo de velocidade até ao aparecimento em força dos inversores de tensão, baseados em semicondutores de potência (tiristores, inicialmente, e GTOs e IGBTs mais recentemente) associados aos motores CA.

O sistema conhecido como Ward-Leonard foi utilizado durante largo tempo em accionamentos de elevado desempenho. Ainda hoje, uma parte importante dos accionamentos controlados é uma versão electrónica do sistema Ward-Leonard.

2. Ward-Leonard - 2ª geração (ver Figura 16):

- ◆ Fonte de alimentação = conversor estático com regulação de fase.

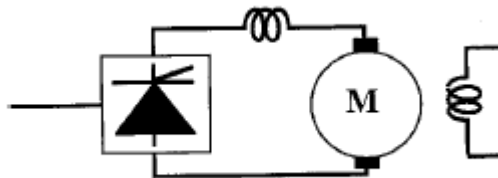


Figura 16 – Esquema eléctrico do sistema da 2ª geração Ward Leonard.

3. Ward-Leonard - 3ª geração (ver Figura 17):

- ◆ Fonte de alimentação = conversor estático com regulação de fase + colector electrónico.
- ◆ Motor de accionamento da carga mecânica = máquina de corrente alternada (síncrona ou assíncrona).

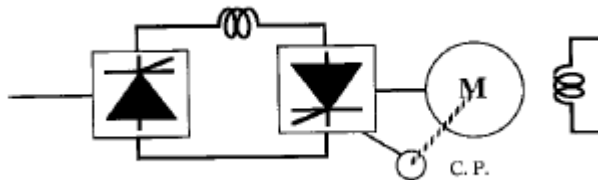


Figura 17 - Esquema eléctrico do sistema da 3ª geração Ward-Leonard.

A constituição de um accionamento electromecânico terá três factores importantes que são a carga mecânica, o conversor electromecânico e o conversor electrónico. A fonte de alimentação de energia será responsável pelo sistema de comando e regulação.

Para a implementação de um accionamento electromecânico é necessário conhecer:

- ◆ As características da carga a accionar;
- ◆ O tipo de alimentação energética disponível;
- ◆ A potência em jogo.

Os diferentes tipos de accionamento existentes na actualidade mais utilizados são: os accionamentos electromecânicos, hidráulicos e pneumáticos.

2.3.2. Accionamentos electromecânicos

Nos accionamentos electromecânicos existe a necessidade de ocorrer a compatibilidade entre o motor e o conversor.

As principais categorias dos accionamentos electromecânicos existentes são:

- ◆ Velocidade variável;
- ◆ Regulação de posição e aceleração;
- ◆ Optimização de tempos mínimos;
- ◆ Interligação a outros sistemas.

2.3.2.1. Accionamentos hidráulicos

Os sistemas hidráulicos ganharam uso em larga escala e aplicabilidade no processo de fabricação industrial no final do século XVIII. Embora a tecnologia hidráulica seja antiga, continua a ser um sistema dominante no processo de fabricação industrial moderno. O sistema hidráulico pode ser adaptado para o uso tanto em pequenas indústrias quanto nos processos de fabricação mais complexos. Parte da sua popularidade deve-se ao facto de que nenhum outro sistema foi considerado tão eficiente e eficaz na transferência de energia através de pequenos tubos ou mangueiras, mesmo em áreas de difícil acesso.

As principais características dos sistemas hidráulicos de accionamento são:

- ◆ Fácil instalação dos diversos elementos, oferecendo grande flexibilidade, inclusive em espaços reduzidos. O equivalente em sistemas mecânicos já não apresenta flexibilidade;
- ◆ Devido à baixa inércia, os sistemas hidráulicos permitem uma rápida e suave inversão de movimento, não sendo possível obter esse resultado nos sistemas mecânicos e eléctricos;

- ◆ Permitem ajustes de variação micrométrica na velocidade. Já os mecânicos e eléctricos só permitem ajustes escalonados e de forma mais onerosa e difícil;
- ◆ São sistemas autolubrificados, não ocorrendo o mesmo com os mecânicos e eléctricos;
- ◆ Relação 'peso x tamanho x potência consumida' muito menor que os demais sistemas;
- ◆ São sistemas de fácil protecção;
- ◆ Devido à óptima condutividade térmica do óleo, geralmente o próprio reservatório acaba por eliminar a necessidade de um permutador de calor;
- ◆ Gamas de pressão em hidráulica. Cada domínio de aplicação da hidráulica possui uma gama de pressões característica, o nível de pressão é relativamente baixo encontrado nas máquinas-ferramentas por arranque de apara explica-se pela necessidade de evitar, tanto quanto possível, os efeitos da compressão do óleo, de modo a assegurar maior uniformidade na velocidade de avanço. Noutras aplicações, procuram-se níveis de pressão mais elevados de modo a aumentar a razão potência/volume utilizada. O limite superior de pressão é determinado pela resistência à pressão dos vários componentes, principalmente do gerador (bomba). Este limite, do ponto de vista económico, situa-se actualmente nos 315 bar. Pressões superiores, como para prensas ou ferramentas de aperto, são normalmente obtidas a partir de multiplicadores de pressão.

Pode-se dizer que os sistemas hidráulicos são amplamente utilizados em diversas indústrias com vista à fabricação de muitos produtos. Os métodos de fabricação de itens que exigem energia e força significativas, como a fabricação de ferramentas, muitas vezes apostam na tecnologia hidráulica. Grandes linhas de produção na montagem de automóveis, em grande parte, utilizam sistemas hidráulicos, bem como outras máquinas pesadas de produção, como as prensas de impressão, ver exemplo na Figura 18.

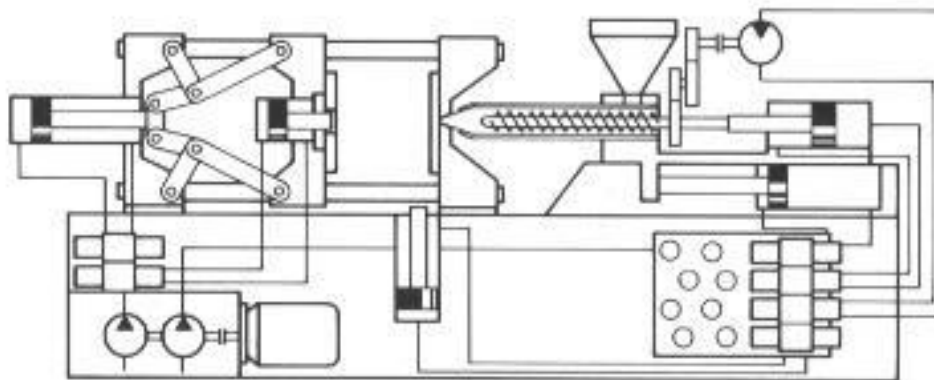


Figura 18 – Esquema hidráulico aplicado em várias situações numa máquina de injeção.

2.3.2.2. Accionamentos por moto-reductor

O moto-reductor é um equipamento electromecânico constituído por um motor eléctrico e um reductor de velocidade. São equipamentos que convertem a energia eléctrica da rede em energia mecânica. Os motores eléctricos normalmente possuem velocidades de rotação muito acima das necessidades industriais. Ao invés disso, não possuem binário suficiente para realizar diversas funções. A combinação da utilização do motor eléctrico com o reductor de velocidade permite a velocidade desejada e o binário necessário.

Os redutores e os moto-redutores são utilizados em várias aplicações e em diversos sectores industriais, tais como a indústria petroquímica, a produção alimentar e de bebidas, a indústria química, a indústria automóvel, a indústria farmacêutica e outras.

Os equipamentos constituintes dos sistemas de produção utilizados nas diversas indústrias são, geralmente, accionados por diferentes tipos de componentes motrizes (por exemplo, motores eléctricos, ver Figura 19).



Figura 19 – Sistema de movimentação de plataforma flutuante implementado pela SEW-Eurodrive numa empresa do Grupo Mota-Engil [www.sew-eurodrive.pt, 2012].

As principais características são dos moto-redutores são:

- ✦ Elevada variedade e capacidade de potência;
- ✦ Vida útil relativamente longa;
- ✦ Quanto maior for o binário, maior será o custo (normalmente são máquinas dispendiosas);
- ✦ Precisão de movimentos com vários tipos de aplicações e posições;
- ✦ Manutenção mais complexa e trabalhosa em relação à hidráulica;
- ✦ Na mesma razão que uma caixa redutora reduz a velocidade aumenta o binário, tornando o redutor o sistema ideal para adaptar a velocidade do motor ao ponto de trabalho da máquina, em termos de velocidade e binário;
- ✦ Potencial de economia de energia nos redutores;
- ✦ A eficiência dos redutores é influenciada pela ligação entre o motor e o redutor, e também pelas perdas no interior do redutor (o engrenamento ideal seria uma ligação aço/aço). Por outro lado, quanto maior a velocidade de entrada, maiores as perdas nos redutores de velocidade.
- ✦ O potencial de economia de energia nos redutores depende dos rolamentos e das perdas por chapinagem do óleo. A quantidade correcta e o estado de óleo garantem a redução das perdas e longa operação, livre de desgaste;
- ✦ Os motores eléctricos são o tipo de máquina mais usado na indústria em virtude da sua grande versatilidade, gama de potências, robustez, duração, reduzida manutenção, baixa poluição, facilidade de produção e custos de aquisição relativamente baixos, quando se refere a potências baixas.

2.3.2.3. Outros tipos de accionamento

Na categoria de outros tipos de accionamento poderá ser considerado o accionamento pneumático, que trabalha por ar comprimido como transmissão de potência, através de actuadores lineares (cilindros pneumáticos, com ou sem haste) e/ou actuadores rotativos (cilindros e motores pneumáticos).

As principais características dos accionamentos por ar comprimido são:

- ◆ Grande facilidade na automatização de sistemas;
- ◆ Sistemas não poluentes e limpos, visto trabalhar com ar;
- ◆ Facilmente se associam a outros sistemas de transmissão de energia;
- ◆ O ar existe em volume ilimitado, quando comprimido pode ser facilmente armazenado para posterior utilização;
- ◆ O ar é compressível, o que dificulta um posicionamento preciso;
- ◆ O ar expande-se facilmente, o que pode originar acidentes explosivos;
- ◆ Estão sujeitos a vibrações espontâneas;
- ◆ Não permitem a aplicação de forças elevadas, já que não é possível utilizar pressões elevadas.

A utilização do ar comprimido tornou-se indispensável, e nos mais diferentes ramos industriais instalam-se equipamentos pneumáticos. A introdução de forma mais generalizada da pneumática na indústria começou com a necessidade, cada vez maior, da automatização e racionalização dos processos de trabalho. A utilização prática e correcta dos comandos pneumáticos pressupõe o conhecimento dos elementos individuais e seu funcionamento, assim como as possibilidades de conjugação. Como em tudo na técnica, cada elemento e cada comando pneumático tem um limite de aplicação, limite que na pneumática nem sempre se poderá definir correctamente, por depender em geral, de muitos factores.

A quantidade e diversidade de aplicações tendo o ar comprimido como forma de energia são surpreendentes. Assim, operações como furar, roscar, prensar, cortar, abrir, fechar, empurrar, levantar, decapar, pintar, limpar, insuflar, agitar, podem enquadrar-se na mecanização ou automatização efectuada através de accionamentos pneumáticos, ver exemplo na Figura 20.

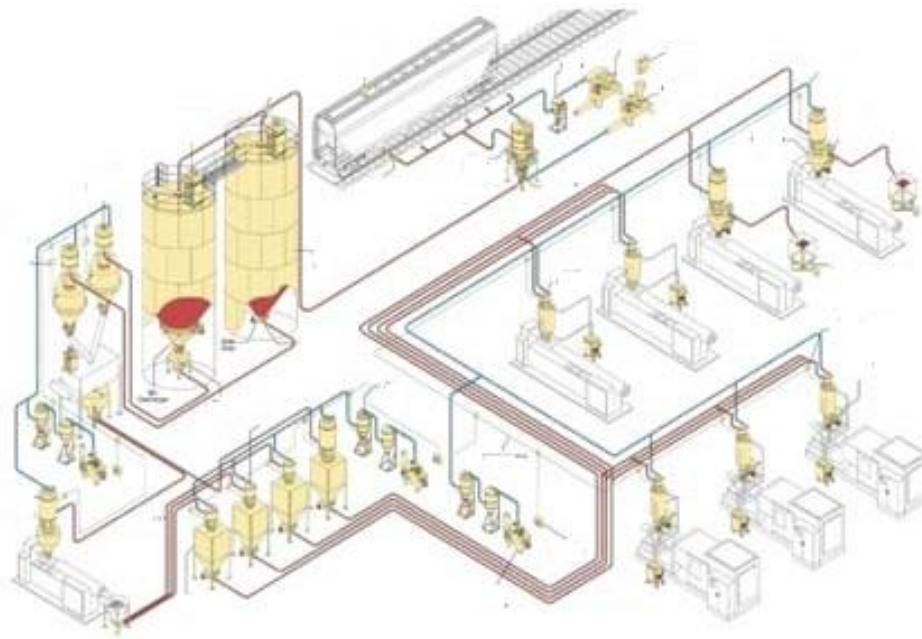


Figura 20 - Abastecimento de matéria-prima através de um circuito pneumático.

3. Desenvolvimento

3.1. Caracterização da empresa que acolheu o projecto

A empresa que acolheu o projecto designa-se IGM – Indústria Global de Moldes, S.A., foi fundada em 2001 em Oliveira de Azeméis e pertence ao Grupo SIMOLDES. É uma empresa com capital social de 1 M€, sendo uma sociedade anónima, como a maioria das empresas do grupo, a qual conta nos seus quadros com 88 colaboradores, realizando uma facturação anual que ronda os 8 M€.

A IGM pertence ao reconhecido e internacional Grupo SIMOLDES, que está dividido em duas áreas distintas: a divisão de moldes (*Tool Division*) e a de plásticos (*Plastic Division*), conforme expresso na Figura 21. A IGM enquadra-se na divisão de moldes, ou seja, é dedicada ao projecto e construção de moldes para a injeção de termoplásticos. No conjunto destas empresas da divisão de moldes, para além das 6 empresas situadas em Oliveira de Azeméis, fazem parte algumas unidades internacionais. No entanto, nem todas possuem a vertente produtiva, uma vez que foram criadas com o intuito de estar mais próximo do cliente final, dando suporte técnico e comercial como *Advanced Customer Service* (ACS). A divisão de plásticos é constituída por 10 empresas, das quais 4 estão localizadas em Portugal.



Figura 21 – Empresas do Grupo SIMOLDES.

As empresas do Grupo SIMOLDES são, na sua maioria, certificadas pelas normas NP EN ISO 9001:2008, NP EN ISO 14001:2004 e NP 4397:2008. Estas empresas usam diferentes tecnologias de vanguarda na construção de moldes, bem como na injeção de plástico (injeção assistida por gás, híbrida e injeção de baixa pressão em tecidos, entre outras). A missão das empresas do Grupo SIMOLDES, divisão de moldes, passa por “Produzir moldes para o sector automóvel à escala mundial, com garantia de qualidade e serviço de excelência”, tendo com visão “Ser o melhor fabricante de moldes do mundo, especializado no sector automóvel”.

Actualmente, o Grupo SIMOLDES *Tool Division* é um dos mais prestigiados grupos internacionais de fabrico de moldes, e ao longo de mais de meio século tem contribuído para o actual posicionamento do sector, fortalecendo e dignificando a imagem da indústria portuguesa a nível mundial. O Grupo distribui os vários moldes dos seus projectos pelas várias empresas com algum critério, ou seja, por tipos de peças, e tamanhos, pois cada empresa tem limitações de carga e dimensões (como pára-choques, painéis de porta, entre outras), em função da experiência que cada uma dessas empresas vai demonstrando. Conta habitualmente na sua carteira de encomendas com projectos destinados a alguns dos países mais industrializados a nível europeu, tais como: Alemanha, Espanha, França, Itália, Reino Unido e Suécia, aos quais se juntaram recentemente países de leste como a República Checa e Rússia, e da América Latina tais como o Brasil, México e Argentina.

Os principais clientes são normalmente grandes grupos económicos europeus, dos quais se destacam a *Decoma*, *Faurecia*, *Magna*, *Plastic Omnium*, *Rehau* e *Visteon*, grupos estes que acompanham grandes projectos que se destinam a marcas reconhecidas da indústria automóvel, como a *Audi*, *Porsche*, *Jaguar*, *BMW*, *Citroën*, *Ford*, *Mercedes*, *Nissan*, *Peugeot*, *Volvo*, *Renault* e *Seat*, entre outras.

Na Figura 22 poderá identificar-se quais os tipos de peças concebidos com mais frequência, desde peças pequenas, como faróis ou canais de ar, até peças com uma elevada dimensão, como pára-choques, painéis de porta, tablier, entre outras.

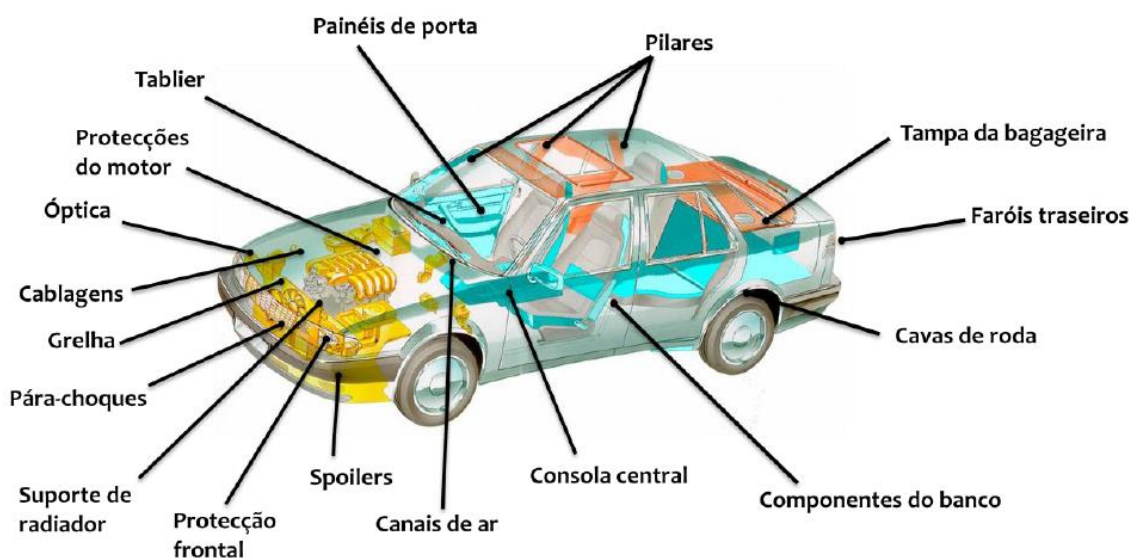


Figura 22 - Tipos de produtos desenvolvidos e produzidos no Grupo SIMOLDES.

Estrategicamente, o grupo pretende reforçar o papel de líder europeu e maior fabricante mundial na produção de moldes. Para isso, continua a investir em mercados emergentes, estando os países de leste e asiáticos na linha dos próximos investimentos mais importantes.

3.2. Definição dos objectivos e principais requisitos do projecto

O mecanismo proposto consiste num equipamento para rotação de moldes de grande porte. Atendendo à necessidade permanente de rodar a 90° moldes de grande porte, que podem apresentar pesos na ordem das 30 toneladas, e não existindo no mercado qualquer solução adaptável a esta necessidade, a empresa entendeu por bem levar a efeito o projecto desse equipamento, tendo em conta o compromisso custo-benefício que torne viável a realização prática do mesmo.

Considerando que a empresa pretende que estas operações sejam realizadas com toda a segurança, visando a completa salvaguarda da saúde e bem-estar dos operários, e que a operação de rotação dos moldes é bastante frequente durante o processo de fabricação dos mesmos, foi entendido como prioritário o projecto de um equipamento que permitisse a realização desta operação de forma eficaz e segura, poupando tempo ao ciclo de fabricação e assegurando completa segurança durante o processo de rotação.

Em suma, este trabalho teve como objectivo principal proceder ao projecto de um equipamento de rotação de moldes de grande porte, que agilize este processo e assegure todas as condições de segurança.

Os principais requisitos estabelecidos com a empresa foram:

- ◆ O equipamento deverá permitir a rotação de moldes até 30 toneladas de peso bruto;
- ◆ As dimensões máximas da mesa do equipamento de rotação são: 3000 x 3000 mm²;
- ◆ O ângulo de rotação desejado é de 90°;
- ◆ A estrutura deverá ter por base a construção soldada;
- ◆ Deverá ser tão leve quanto possível, assegurando toda a segurança anteriormente referida.
- ◆ Ocupar o mínimo espaço possível;
- ◆ Não existem restrições quanto ao tipo de accionamento da estrutura;
- ◆ A estrutura deverá ser otimizada e verificada através do MEF;
- ◆ O custo deverá ser otimizado.

Na Figura 23 está representado um esboço com alguns dos requisitos em causa, como dimensões e carga aplicar, ainda sem qualquer definição da estrutura que irá ser desenvolvida.

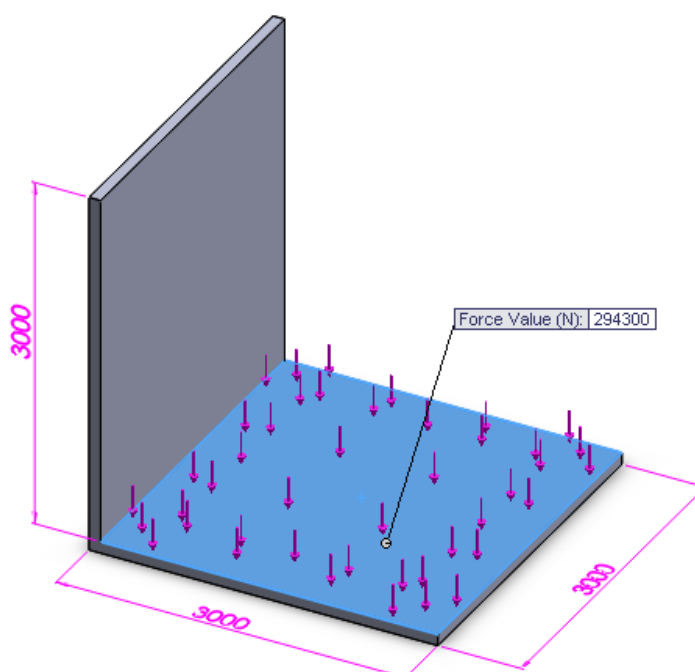


Figura 23 – Esboço com alguns dos requisitos do cliente

3.3. Anteprojecto do equipamento

Neste subcapítulo será demonstrado um resumo daquilo que foi o início do projecto, desde a criação dos esboços iniciais até à apresentação das diferentes soluções possíveis de implementar. Foram ainda dissecadas as razões fundamentais que estiveram na base de algumas decisões, elencando as vantagens e desvantagens de cada uma, justificando o porquê das decisões tomadas, tanto em relação à estrutura propriamente dita, como ao tipo de accionamento seleccionado, respeitando os requisitos estabelecidos anteriormente.

Será também abordado como se procedeu à modelação da estrutura, fazendo uma primeira optimização através do MEF, realizando algumas simulações para verificar os pontos mais solicitados na estrutura, e implementando sucessivas melhorias, até chegar aos valores pretendidos, para depois desenvolver a estrutura final no subcapítulo do projecto.

3.3.1. Primeiros esboços

Este trabalho surgiu com base numa necessidade perfeitamente identificada de criar uma estrutura capaz de efectuar a rotação de 90°, em moldes de grande porte. Inicialmente foram criados alguns esboços, conforme poderá ser observado na Figura 24, com vista a delinear um princípio de actuação e criando, simultaneamente, uma noção das dimensões que essa mesma estrutura poderia atingir, nível de robustez e eventuais pontos críticos da mesma, para facilitar a distribuição de reforços a utilizar.

Numa das primeiras reuniões entre os intervenientes neste trabalho (orientadores da empresa, orientadores do ISEP e mestrando), foram debatidos alguns dos requisitos e interesses da empresa, em relação ao desenvolvimento e concepção da estrutura. Numa primeira fase, e tendo por base a geometria destes primeiros esboços, a ideia seria fazer algo através do processo de fundição, o que foi colocado logo de parte, uma vez que é um processo dispendioso, dadas as possíveis dimensões dos componentes em causa. Outro factor que contribuiu de forma decisiva para essa decisão foi o peso que os componentes teriam, uma vez que seriam peças muito robustas, dadas as dimensões da estrutura. Para além disso, possivelmente não haveria em Portugal nenhuma empresa que estivesse em condições de as produzir, o que tornaria a implementação ainda mais dispendiosa.

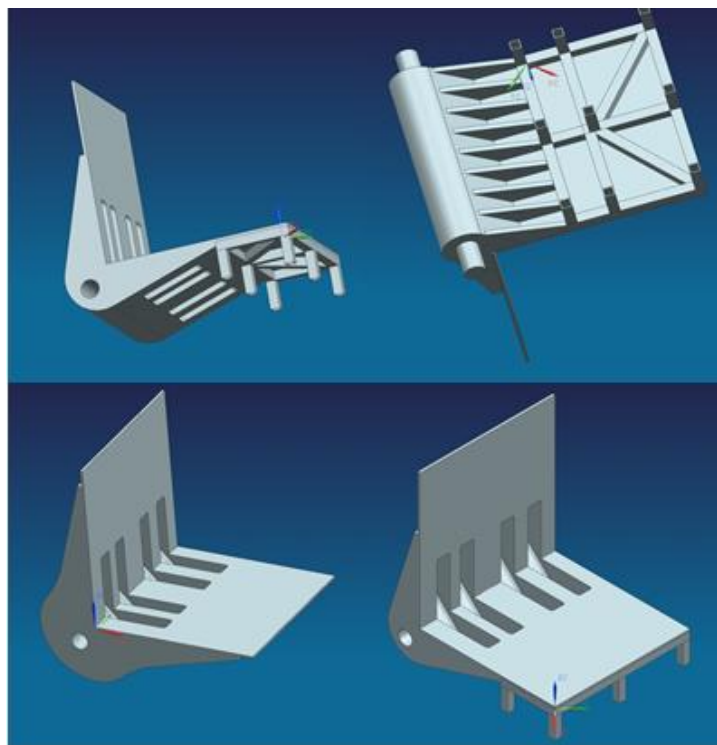


Figura 24 - Primeiros esboços para estrutura.

Visto o preço ter sido sempre um factor primordial para a possível concretização deste projecto, não só pela conjuntura actual, mas também por ser um forte requisito imposto desde o início pela empresa, a ideia de fazer algo através do processo de fundição foi colocada de parte, passando a ser desenvolvida uma estrutura em que a sua construção seria maioritariamente realizada com base em construção soldada, através de perfis normalizados e, posteriormente, reforçada convenientemente, efectuando-se essa optimização através do MEF.

3.3.2. Possíveis sistemas de accionamento a utilizar

No período de lançamento dos requisitos-base deste projecto, outro dos objectivos estabelecidos foi estudar quais os tipos de accionamento que seriam possíveis implementar numa estrutura com esta funcionalidade e, posteriormente, analisar ponderadamente qual a melhor solução, quer no aspecto económico, quer na cabal execução das funções a que uma estrutura desta envergadura irá estar submetida quando em funcionamento.

Os tipos de accionamento considerados inicialmente foram o eléctrico e o hidráulico. Para se proceder aos pedidos de orçamentação, foram efectuados alguns cálculos prévios, com vista a perceber quais os esforços que o sistema de accionamento teria que vencer. Para tal, foi

estudada a potência necessária e os esforços que o veio principal teria que suportar, dependendo se o accionamento fosse realizado apenas a partir de uma extremidade, das duas extremidades, ou de pontos mais centrais, relativamente aos apoios do veio principal. Para isso foram contactadas várias empresas, com vista a estudar qual a solução mais económica, mas que simultaneamente garantisse o bom funcionamento da estrutura, assim como a segurança necessária a um equipamento desta envergadura.

Dentro de cada um dos tipos de accionamento atrás referidos, foram ainda consideradas duas alternativas, conforme o exposto no diagrama da Figura 25, perfazendo um total de quatro possíveis modos de accionamento.

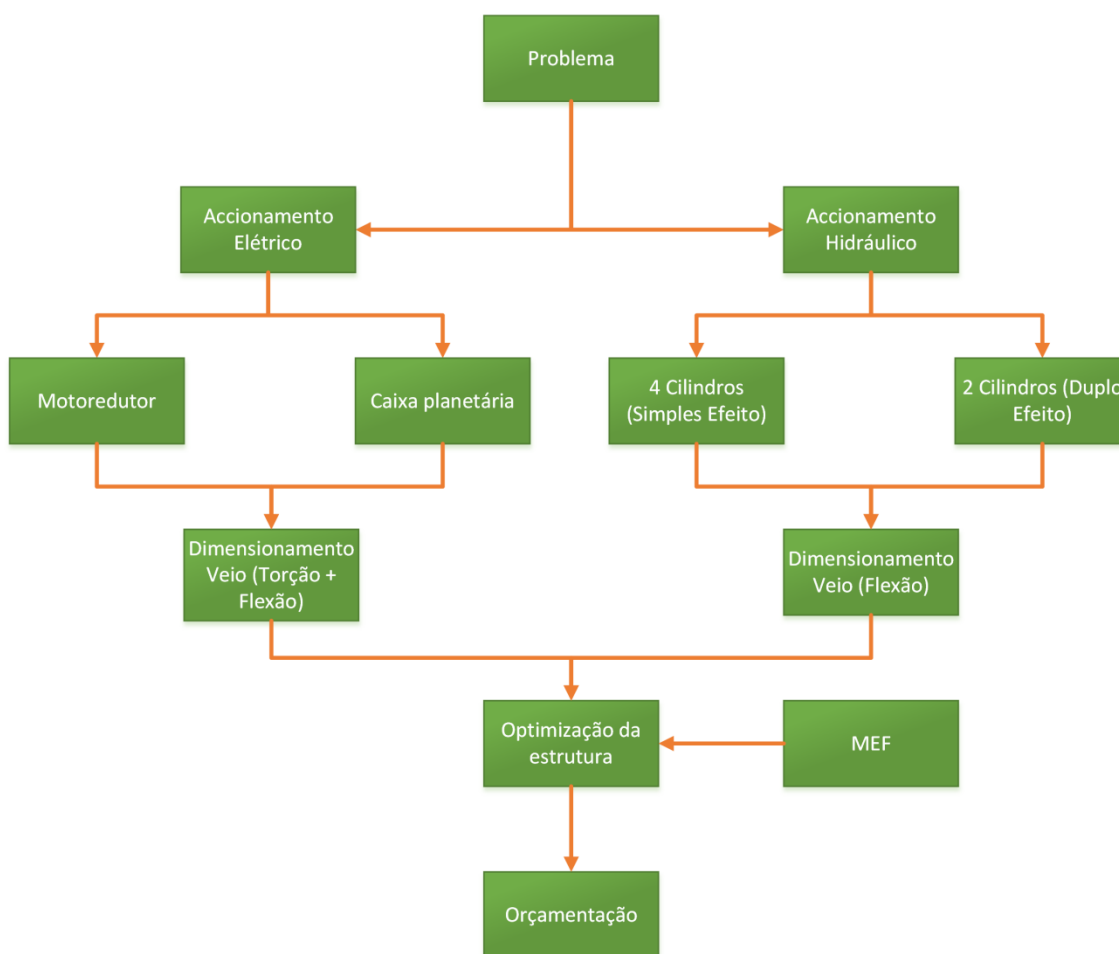


Figura 25 - Diagrama dos tipos de accionamentos ponderados para o projecto.

Das várias empresas contactadas com vista a encontrar uma solução pela via do accionamento eléctrico, distinguiu-se a solução da *SEW EURODRIVE*, que apresentou uma solução com dois moto-redutores, que seriam aplicados um de cada lado do veio central, que por sua vez transmitiria o movimento à plataforma em 'L' (estrutura de perfis onde se coloca o molde), ver Figura 26. A outra solução eléctrica foi apresentada pela *RFPortugal* que representa a *SIEMENS* em Portugal, e a proposta passava por aplicar uma caixa planetária, que no fundo também funcionava como uma solução motor + redutor, pois essa caixa serviria para implementar reduções. Os orçamentos seriam não-vinculativos, pois quando este tipo de produtos é comercializado entre empresas, existe uma negociação mais formal, o que implica alguns descontos associados. Os orçamentos das soluções eléctricas são apresentados no anexo I.

Inicialmente tudo indicava que a solução eléctrica poderia ser a melhor solução, aplicando o moto-redutor directamente ao veio. No entanto, esta solução, dadas as elevadas cargas envolvidas, causaria um enorme momento torsor no veio, que levaria a uma potência necessária muito elevada, dando a entender que a solução não passaria por este tipo de accionamento.

Atendendo a que:

- ◆ se pretende movimentar um molde com 294 kN (30 ton);
- ◆ a mesa de suporte tem um comprimento de 3 metros;
- ◆ se pretende aplicar apenas um moto-redutor;
- ◆ devido ao volume ocupado, este teria que ficar fora da área ocupada pelas mesas de suporte (fazendo 90° entre as mesmas);

o veio ficaria sujeito a um momento calculado pela equação (1), como se segue:

$$M = F * b \quad (1)$$

Para o cálculo do diâmetro mínimo do veio, usou-se a condição de resistência expressa na equação (2), relacionando a tensão corte máxima (τ_{max}) e a tensão corte admissível (τ_{adm}). Desenvolvendo esta expressão, é possível a obtenção do raio mínimo do veio (equação 3).

$$\tau_{max} \leq \tau_{adm} \quad (2)$$

$$\frac{M_t * r}{\frac{\pi * r^4}{2}} \leq \frac{\sigma_c}{C.S} \quad (3)$$

Os valores obtidos para o diâmetro do veio, por terem implicações directas na estrutura e nos apoios necessários, levaram a pensar na hipótese de se utilizarem dois moto-redutores a trabalhar de forma sincronizada, o que reduziria fortemente o momento aplicado, assim como o diâmetro mínimo necessário para o veio principal.

Tendo em consideração a solução eléctrica, poderemos considerar que existem algumas vantagens, tais como:

- ◆ Maior precisão;
- ◆ Maior velocidade;
- ◆ Vida útil relativamente longa, sem grande sobrecarga de custos de manutenção;
- ◆ Menor ruído de funcionamento;
- ◆ A estrutura poderá ficar mais próxima ao solo (em relação à solução hidráulica), ou seja, com o centro de gravidade mais baixo e uma melhor acessibilidade à plataforma.

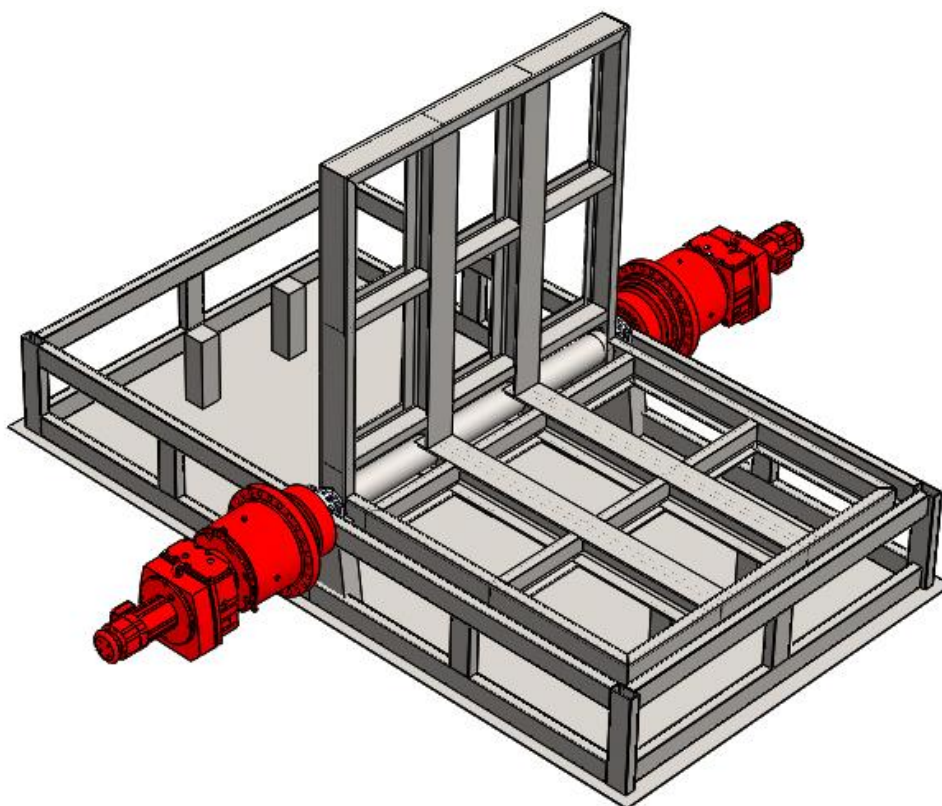


Figura 26 – Aspecto da solução eléctrica aplicando dois moto-redutores sincronizados.

No entanto, a solução de accionamento eléctrico também apresenta algumas desvantagens, nomeadamente:

- ◆ Investimento inicial, uma vez que é uma solução muito dispendiosa;
- ◆ Atravancamento, uma vez que seria necessário aumentar a largura da estrutura em mais do dobro, ver Figura 27, para além de ter que se criar uma estrutura de protecção;
- ◆ Peso dos componentes, o que obrigava a criar uma estrutura de suporte ao motor-reductor, uma vez que são componentes muito pesados, situação que em termos de esforços também seria mais preocupante;
- ◆ Manutenção mais complexa.

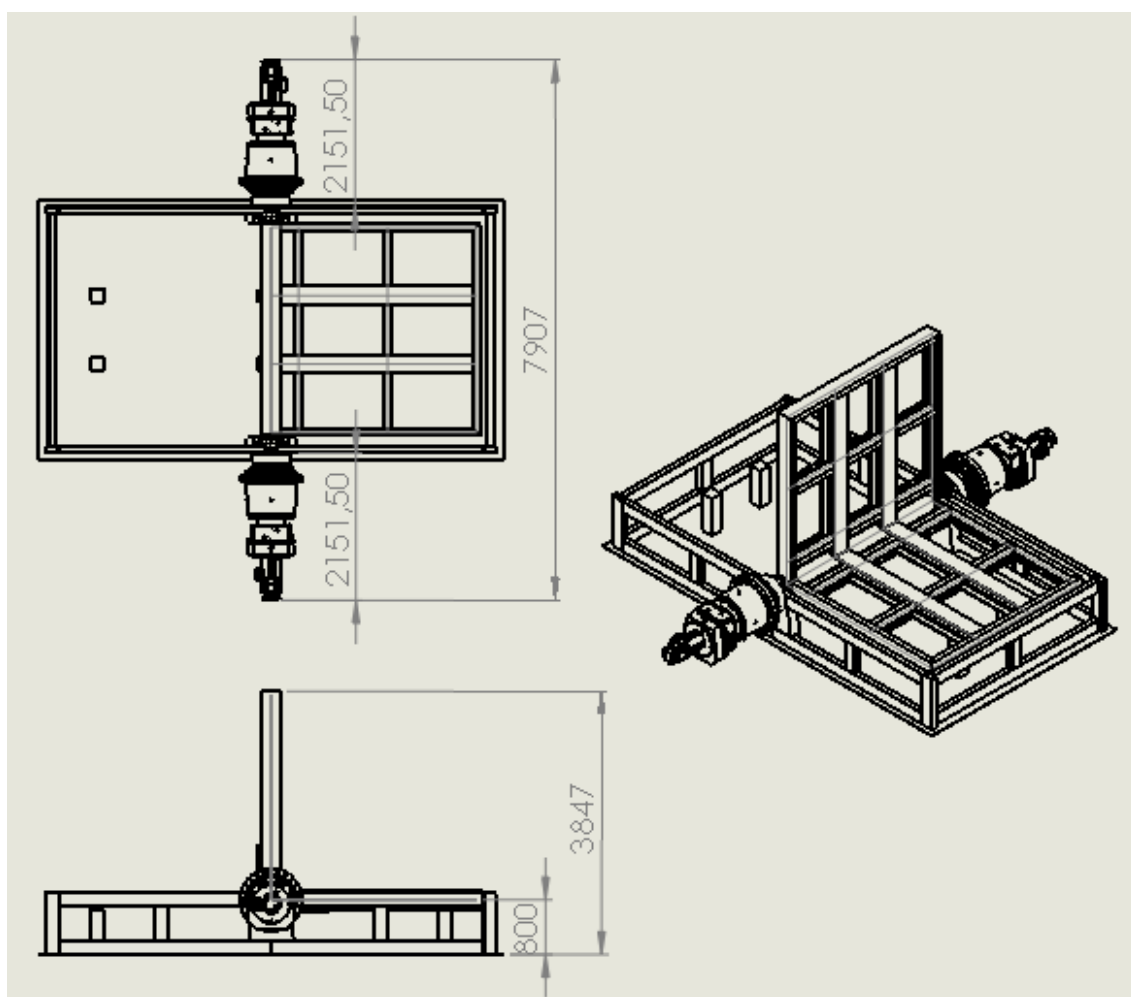


Figura 27 – Esquema 2D com detalhe da solução eléctrica.

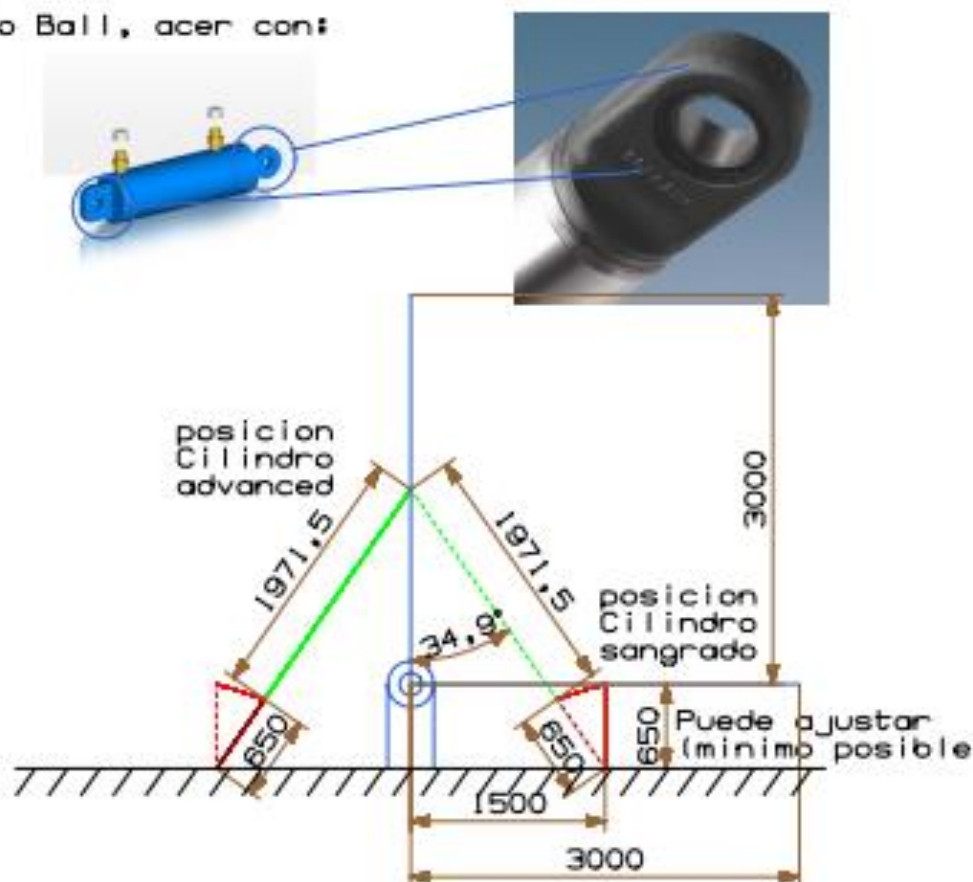
As soluções em termos de accionamento hidráulico foram preteridas, numa primeira fase, dada a falta de informação disponível no mercado português, tanto em termos de cilindros telescópicos como em termos de segurança. No que se refere à solução hidráulica, dado o curso necessário para rodar em 90° uma plataforma com 3 metros de comprimento, a hipótese de utilização de cilindros simples foi rejeitada desde o primeiro momento, já que isso implicaria também alterações significativas à estrutura, ou em comprimento ou em altura. Assim, o trabalho teve como ponto de partida a procura de fornecedores capazes de providenciar cilindros telescópicos com as características desejadas.

As primeiras empresas contactadas não forneceram os dados necessários, dificultando a aproximação a esta via. Assim, a solução passou por contactar empresas internacionais, contactando inicialmente empresas espanholas e italianas. Dado a distância e o contacto ser estritamente telefónico e por correio electrónico, foi feito um croqui, ver figura 28, com os requisitos necessários para dimensionar toda a solução hidráulica. A estratégia passou por adoptar cilindros já existentes no mercado, com vista a evitar os custos inerentes ao fabrico de soluções “feitas à medida”.

As soluções possíveis de implementar para o accionamento hidráulico seriam duas: uma das soluções passaria pela utilização de 4 cilindros telescópicos de simples efeito, dois de cada lado da estrutura, conforme mostrado na Figura 29, e a outra solução seria constituída por 2 cilindros telescópicos de duplo efeito, aplicados só em um dos lados. Esta última solução seria viável se a estrutura só trabalhasse em carga para um dos lados, visto que a sua força de recuo é muito inferior à de avanço. Portanto, este tipo de estrutura só poderia funcionar se houvesse interesse em rodar moldes na estrutura apenas para um dos lados, e cujo retorno fosse efectuado com a estrutura sem carga (molde).

Requisitos:
35 Ton. = 343350 N

No Ball, acer cont:



Puede tomar hasta 4 cilindros telescopicos de simple efecto (tiene que tomar varias expansiones para hacer +/- 2.000mm carrera en +/- 650mm del cuerpo cilindro)
2 en cada lado
2 tienen que hacer (35ton)

Legenda:

Negro - solo

Azul - Estructura

R rojo - Cilindro telescópico

Verde - Stroke (Minimo 2 metros)

Figura 28 – Croqui enviado com requisitos para accionamento hidráulico.

As vantagens apresentadas pelo sistema de accionamento hidráulico são as seguintes:

- ◆ Investimento mais baixo (cerca de 1/5 ou 1/6 da solução eléctrica);
- ◆ Maior capacidade de carga;
- ◆ Velocidade variável, através de válvula reguladora de fluxo;
- ◆ Reversibilidade e paragem instantânea, através de válvula direccional;

Com a solução do accionamento através dos cilindros telescópicos, teríamos uma solução cerca de 5 a 6 vezes mais económica, como podemos comprovar pelos orçamentos apresentados nos anexo II. De realçar que os valores apresentados poderão ainda ser revistos em baixa, quando for exercida uma verdadeira pressão de compra sobre os possíveis fornecedores.

Concluindo, foi seleccionado o accionamento hidráulico, através de 4 cilindros telescópicos de simples efeito. Esta solução é a que vai ser implementada no projecto desenvolvido e apresentada no subcapítulo 3.4.

3.3.3. Estudo prévio das solicitações a que o equipamento estará sujeito

O equipamento em causa estará sujeito a cargas elevadas (rotação de moldes de 294 kN (30 ton), acrescido do peso próprio da estrutura que fará a rotação, o que totalizará aproximadamente 343 kN (35 ton)), o que, por si só, justifica um cuidado acrescido no seu dimensionamento, atendendo aos problemas de segurança que poderá gerar durante a sua utilização.

Atendendo a que a abordagem deste problema passou sempre pelo facto da movimentação ser transmitida ao veio principal, o qual actuará como charneira, este passa a ser o componente mais solicitado, e as suas ligações às plataformas passam a revestir-se de enorme importância. No caso de um único moto-reductor directamente acoplado ao veio, o momento torsor aplicado ao veio era muito elevado, elevando significativamente o seu diâmetro.

As características mecânicas de perfis e chapas capazes de poderem ser utilizados na construção desta estrutura devem satisfazer as condições previstas na NP 1729 (1981), sendo aços do tipo Fe 360, Fe 430 ou Fe 510 (Art.8.1). De acordo com o DL nº 211/86 REAPE, Art. 41.1 e Art. 41.2 os valores a considerar, em MPa, para as três classes de aço são os apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de cálculo das tensões admissíveis.

Tipo de aço	σ_c	σ_{adm}
Fe360	235 MPa	157 MPa
Fe430	275 MPa	183 MPa
Fe510	355 MPa	237 MPa

A norma NP-1729 estabelece diferentes qualidades para os tipos de aços referidos no artigo, tendo em atenção a aptidão para soldadura e a sensibilidade à rotura frágil, sendo, conseqüentemente, possível escolher a qualidade de aço que melhor se adequa à utilização prevista. Os valores característicos da tensão de cedência fixados no n.º 8.2, a adoptar nas verificações de segurança, foram identificados com os correspondentes valores garantidos indicados naquela norma para elementos com espessura igual ou inferior a 16 mm.

No caso mais frequente, um veio em rotação está sujeito à acção de forças estacionárias que, num dado ponto da superfície, provocam tensões normais de flexão que são cíclicas e tensões de corte devidas à torção que são constantes. Partindo dos requisitos do projecto, e considerando o peso máximo a movimentar acrescido do peso próprio da estrutura, foi calculada a força e o momento causado no veio, equação (1), atribuindo um c.s. 2. Na Tabela 2 está apresentado o valor do momento integral, e também dividido por 2, o qual corresponde à aplicação alternativa de dois moto-redutores, um em cada extremidade do veio. Neste caso, o momento torsor obtido a partir da equação (1) deve ser dividido por 2, devido à correspondente redução no momento torsor máximo aplicado ao veio. Na Figura 30 está demonstrado o diagrama de corpo livre correspondente à solicitação por accionamento eléctrico.

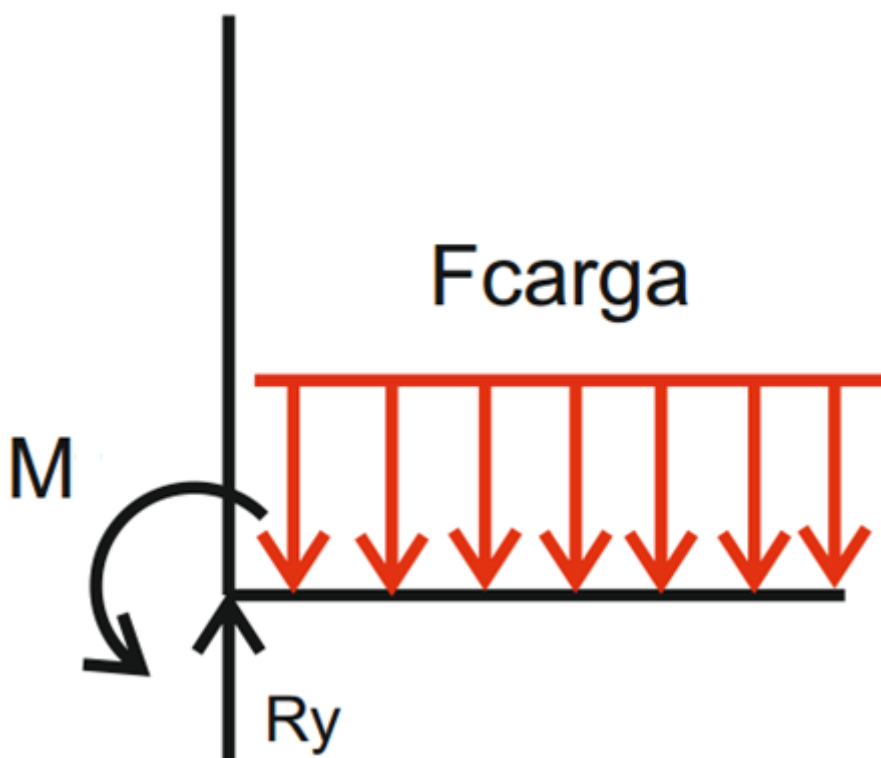


Figura 30 - Diagrama corpo livre da solução eléctrica.

Tabela 2 – Valores considerados e calculados.

Peso Carga	30 ton.
	30000 kg
Peso Total	35 ton.
	35000 kg
Força carga	294300 N
Força total	343350 N
Momento	515025 N.m
Momento/2	257513 N.m
C.S.	2
b	1,5 m

O passo seguinte foi efectuar o dimensionamento do veio (cálculo à resistência), tendo por base a solução que implicaria maiores esforços na estrutura. Para o cálculo do diâmetro mínimo do veio, foi usada a equação (2), como explicado anteriormente.

Na Tabela 3 são apresentados os valores para os possíveis diâmetros mínimos, calculando para os 3 materiais seleccionados, e apresentando valores tanto para a aplicação de um só motor (usando o valor do momento), como para a situação de ter dois motores (momento a dividir por 2).

Tabela 3 – Valores obtidos para o diâmetro do veio relativos aos três tipos de aço considerados.

Veio					
Fe360		Fe430		Fe510	
$r_{(C/1\ motor)}$	0,1279 m	$r_{(C/1\ motor)}$	0,1214 m	$r_{(C/1\ motor)}$	0,1115 m
$d_{(C/1\ motor)}$	0,2558 m	$d_{(C/1\ motor)}$	0,2428 m	$d_{(C/1\ motor)}$	0,2230 m
$r_{(C/2\ motor)}$	0,1015 m	$r_{(C/2\ motor)}$	0,0963 m	$r_{(C/2\ motor)}$	0,0885 m
$d_{(C/2\ motor)}$	0,2030 m	$d_{(C/2\ motor)}$	0,1927 m	$d_{(C/2\ motor)}$	0,1770 m

3.3.4. Primeiros estudos através do MEF

Após os esboços iniciais e uma discussão interactiva e iterativa, foram analisadas as diferentes soluções, ainda sem uma definição concreta do tipo de accionamento a utilizar. Numa primeira fase, as simulações realizadas tiveram por base uma solução que veio a demonstrar-se não ser a mais adequada, dada a sua fragilidade relativamente às solicitações a que estaria sujeita.

Com base nos esboços iniciais, foi desenhada a primeira estrutura com a configuração apresentada na Figura 31. A estrutura foi optimizada e verificada através do MEF, tendo sido elaborada uma primeira optimização aos tipos de perfis a usar. Nos estudos apresentados neste subcapítulo, a modelação pelo MEF foi realizada com elementos de estrutura unidimensionais de secção constante, ao invés da utilização de elementos sólidos. Esta opção, embora com limitações decorrentes das simplificações inerentes a este método, constitui uma aproximação bastante razoável ao comportamento da estrutura. O primeiro passo foi modelar os vários perfis normalizados existentes no mercado para, através de um 'sketch 3D', efectuar simulações com elementos de estrutura no Solidworks®, optimizando a estrutura através dos resultados obtidos, tentando obter um desenho para a estrutura que fosse viável e, simultaneamente, o mais económico possível.

3.3.4.1. Simulações com elementos de estrutura

O objectivo das três primeiras simulações (simulações da 1_1 a 1_3) foi analisar o comportamento da estrutura e, simultaneamente, perceber como funcionava a aplicação informática que gera esse mesmo tipo de simulações. Nestas primeiras simulações será explicado o funcionamento da aplicação, bem como apresentados os vários resultados.

Nos primeiros estudos foram usados unicamente perfis normalizados do tipo HEB 280 e 100 (tanto na posição central, como nas ligações transversais) e varão com Ø230 mm, usando o material Fe430, com vista a efectuar uma optimização da estrutura. As geometrias usadas nas três primeiras simulações são apresentadas nas Figura 31, 32 e 33.

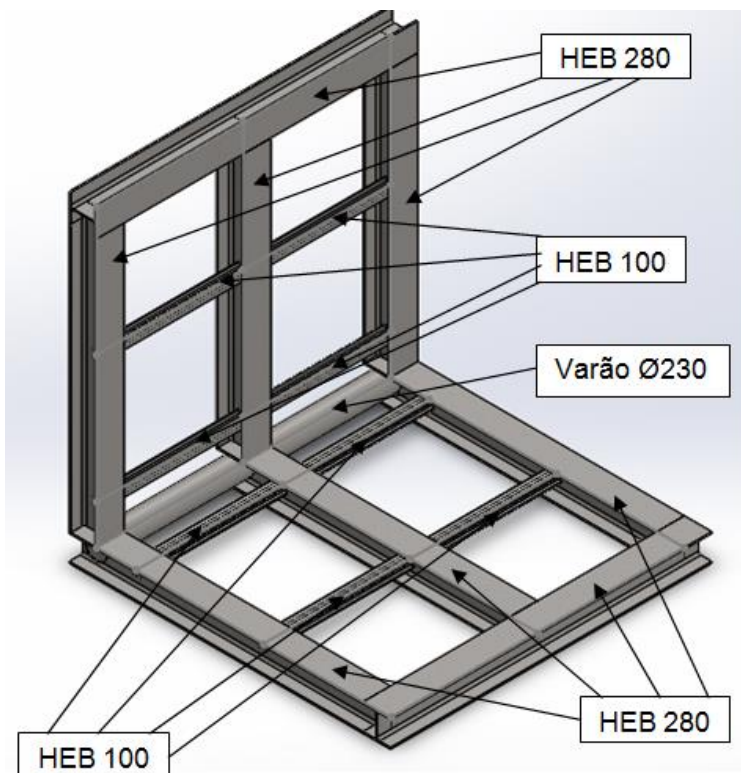


Figura 31 – Configuração dos elementos para a simulação 1_1.

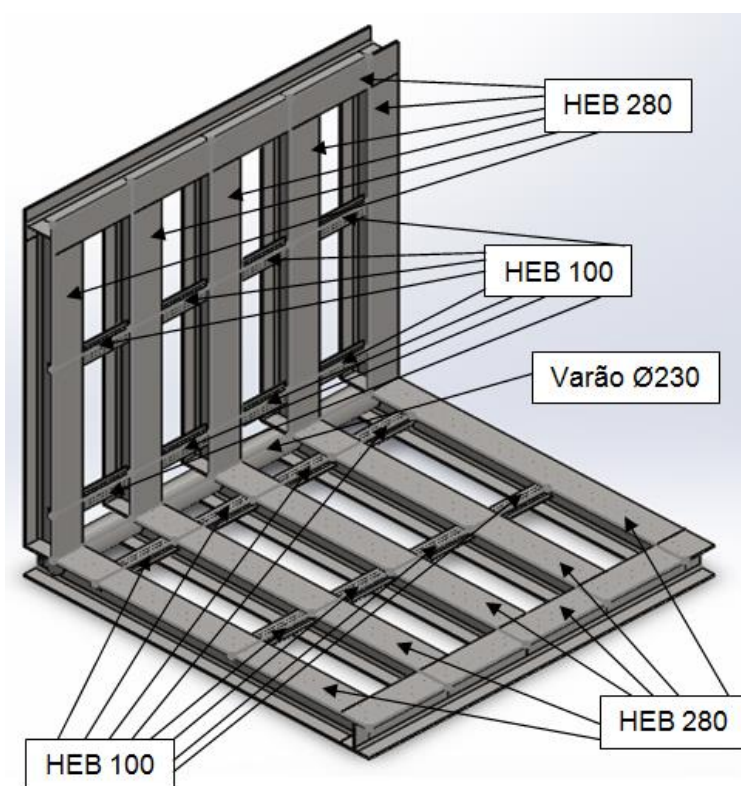


Figura 32 – Configuração dos elementos para a simulação 1_2.

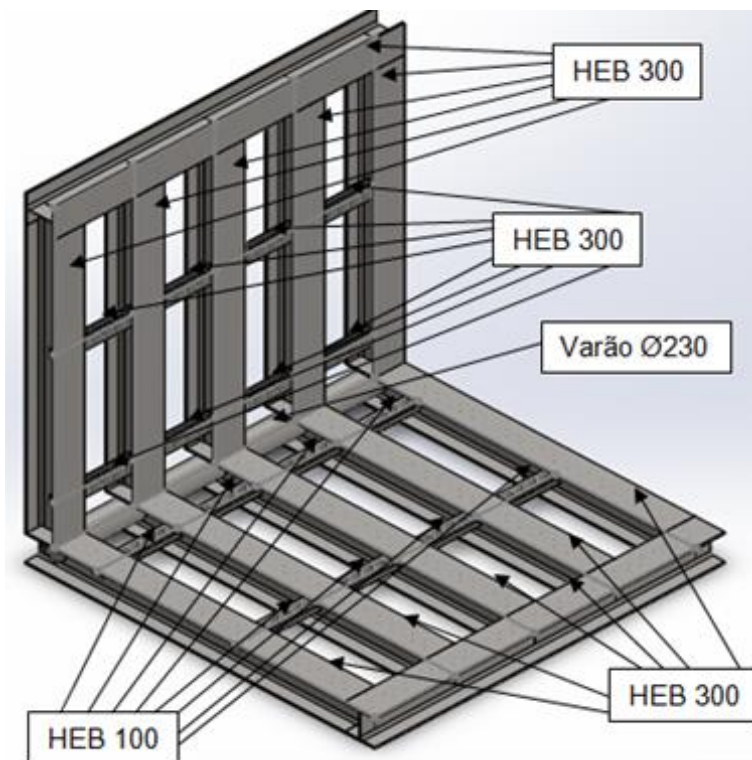


Figura 33 - Configuração dos elementos para a simulação 1_3.

Nas simulações iniciais, entendeu-se por bem restringir a análise apenas à estrutura móvel (estrutura onde se vai colocar o molde). Neste tipo de simulações e por ser uma aproximação, existem algumas simplificações, como na fixação da estrutura (nos nós), ver Figura 34, e nas solicitações impostas, neste caso aplicadas de forma discreta aos nós referentes à zona onde se vai colocar o molde, ver Figura 35.

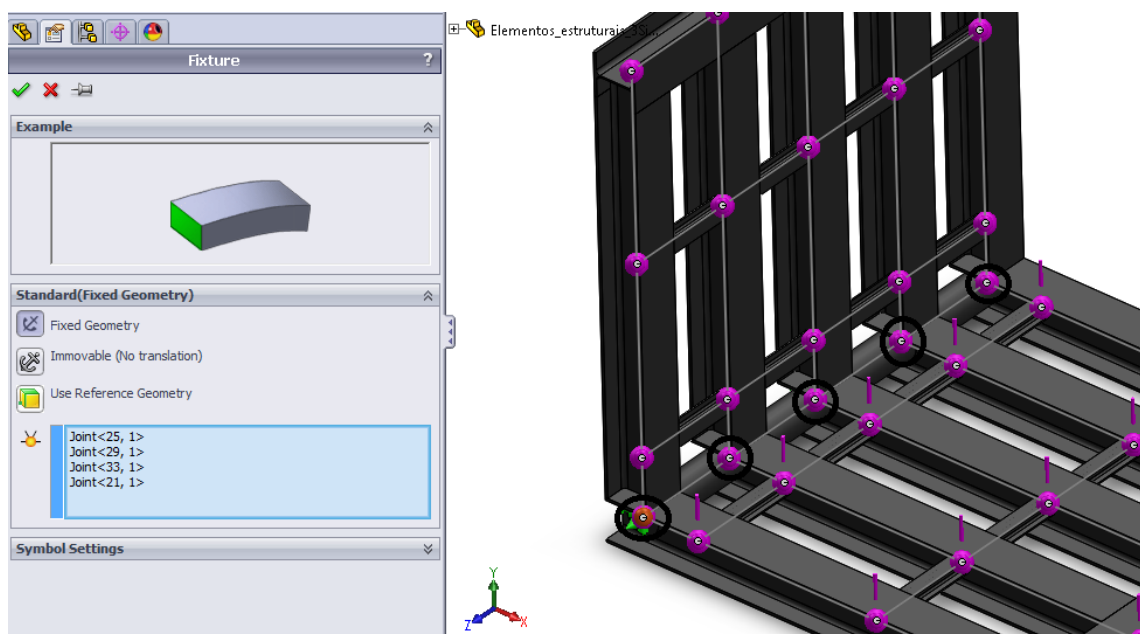


Figura 34 - Fixação efectuada nos pontos assinalados.

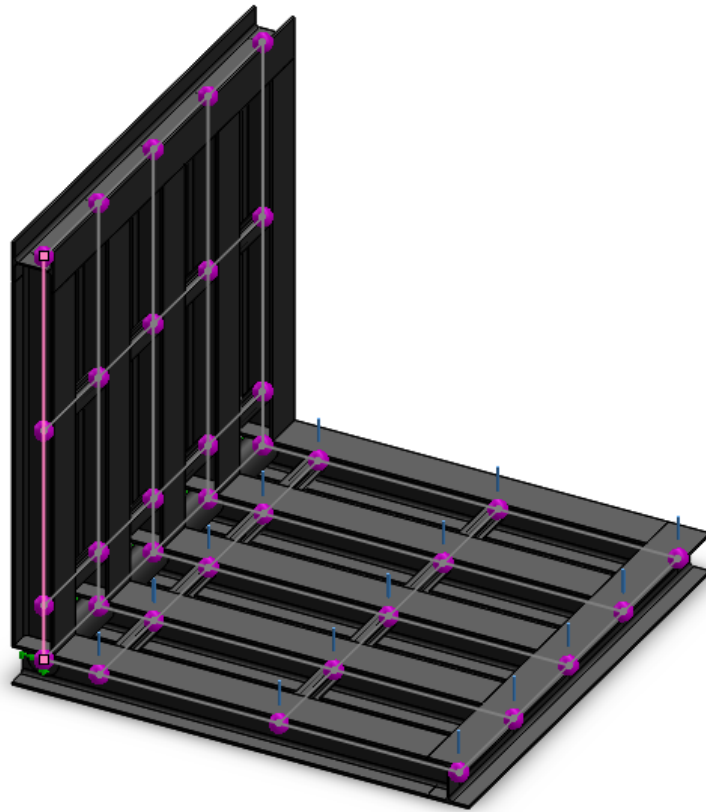


Figura 35 - Força total aplicada nos 15 nós.

Na Figura 36 é mostrada a malha gerada para a respectiva simulação 1_3.

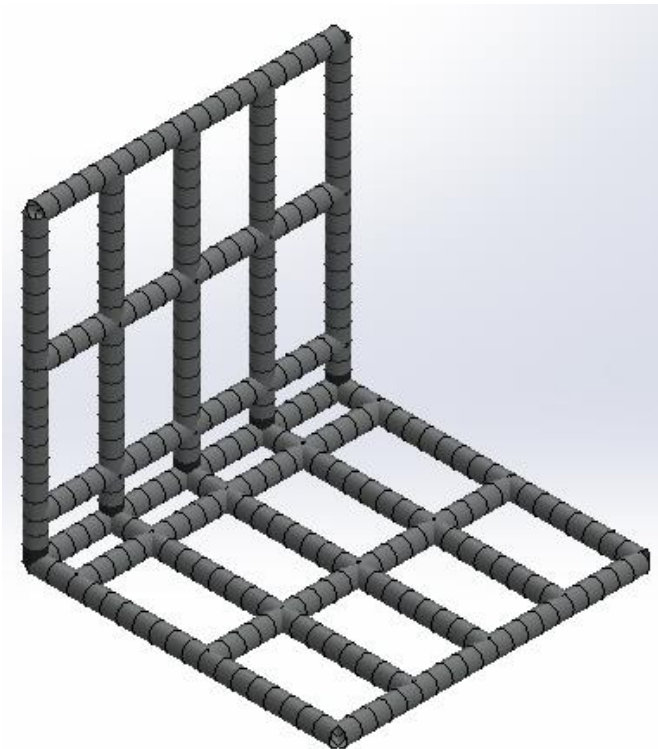


Figura 36 - Malha gerada para a simulação da estrutura 1_3.

No passo seguinte serão apresentados os resultados gráficos obtidos para a simulação 1_3, ver Figura 37, 38 e 39, relativos à tensão equivalente de von Mises, deslocamento resultante e c.s..

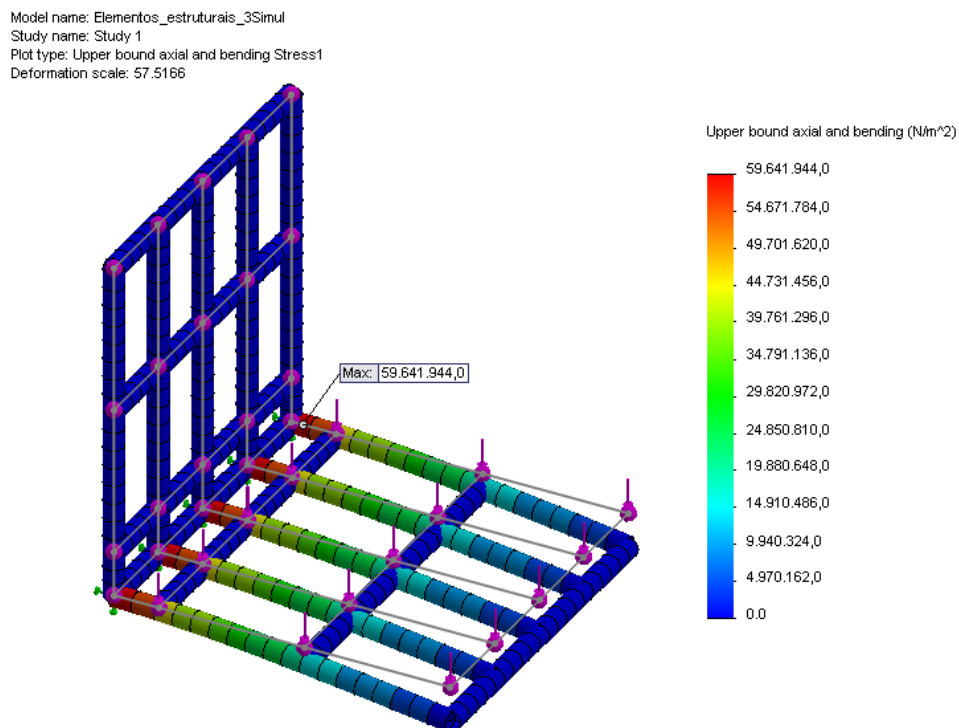


Figura 37 - Tensão equivalente de von Mises para a simulação 1_3.

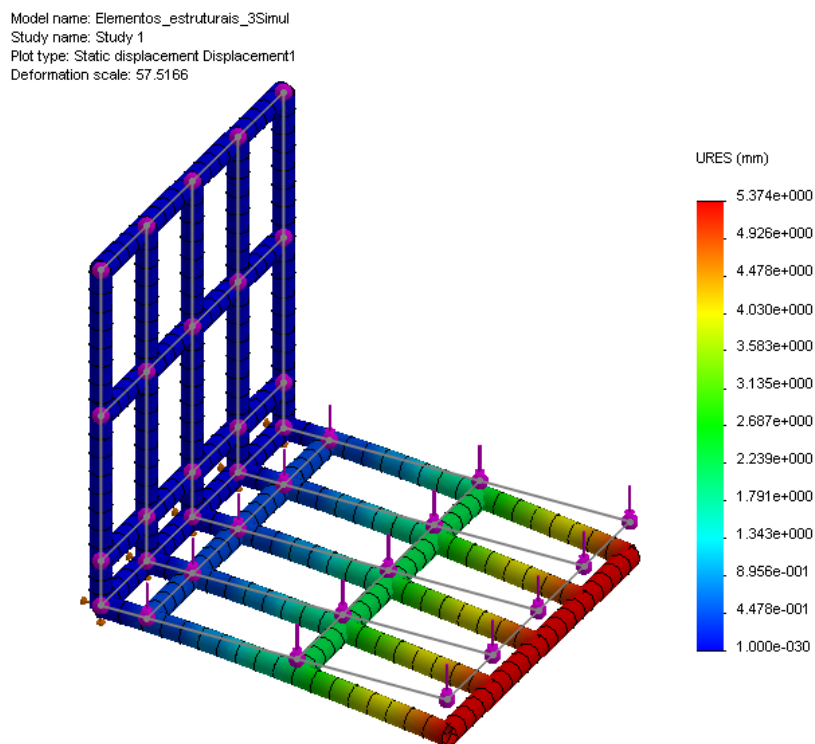


Figura 38 - Deslocamento resultante para a simulação 1_3.

Model name: Elementos_estruturais_3Simul
 Study name: Study 1
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion : Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 4.2

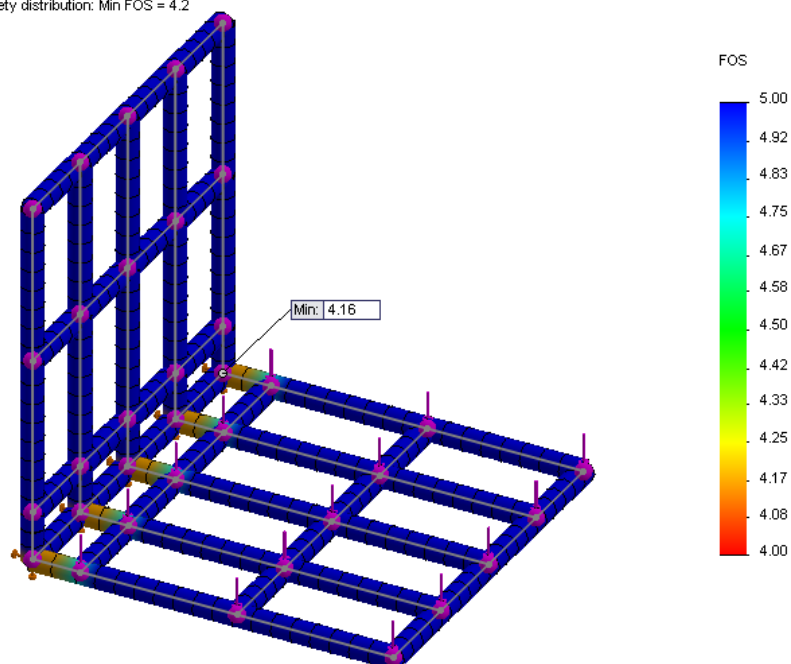


Figura 39 - C.s. para a simulação 1_3.

Tabela 4 - Dados e resultados do primeiro grupo de simulações.

Nº Sim.	Perfis				Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
	Central	Qtd.	Transversal	Varão			
1_1	HEB 280	3	HEB 100	Ø 230 mm	122,71 MPa	12,10 mm	2,00
1_2	HEB 280	5	HEB 100	Ø 230 mm	72,70 MPa	6,95 mm	3,40
1_3	HEB 300	5	HEB 100	Ø 230 mm	59,64 MPa	5,37 mm	4,20

A Tabela 4 resume os resultados obtidos através da simulação, tendo em conta as diferentes geometrias e elementos considerados nas análises. Os resultados obtidos nas 3 primeiras simulações de elementos de estrutura foram positivos, e ao fim de 3 simulações foi obtido um valor de 4,2. Os valores do deslocamento resultante também se situam dentro dos valores admissíveis, uma vez que estamos a tratar de uma estrutura com comprimento e largura de 3 m para cada plataforma. Estas simulações permitiram compreender como a estrutura reagiria aos esforços impostos, no entanto, é ainda possível proceder à sua optimização, visto que esta estrutura está baseada unicamente em perfis HEB e perfil circular maciço (varão). Analisando ainda os resultados obtidos, verifica-se que a estrutura é melhorável essencialmente na zona de ligação ao veio principal, onde necessitará ser convenientemente reforçada.

3.3.4.2. Simulações com elementos de estrutura (optimizar com perfil UPN)

Depois do primeiro grupo de simulações, o objectivo passaria agora por otimizar a estrutura nas zonas que estavam sobredimensionadas, conforme conclusão das simulações anteriores, criando também uma área de contacto com o molde maior, através da colocação dos perfis que estão dispostos transversalmente na mesma altura dos longitudinais, bem como proceder ao reforço da estrutura nas zonas mais solicitadas. Nesta fase foi proceder a uma nova selecção do melhor perfil a utilizar, e uma vez que na transversal e no aro exterior o esforço não será significativo, foi decidido utilizar desta feita perfil UPN. Estas simulações continuaram a utilizar unicamente perfis normalizados, efectuando algumas simulações com elementos de estrutura.

De seguida apresentamos a configuração dos elementos usados nas próximas simulações (simulações gravadas com o número 2_(número de simulação)), ver Figura 40.

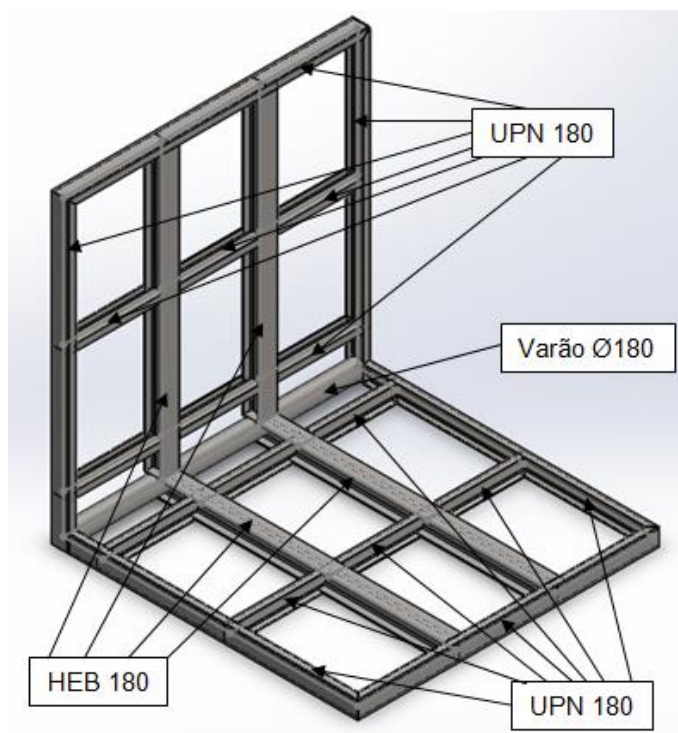


Figura 40 – Configuração dos elementos para a simulação 2_1.

As simulações rotuladas com a referência 2_2 até 2_6 também terão a configuração mostrada na Figura 40. Embora utilizando perfis de maiores dimensões, o tipo de perfil é o mesmo. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5, tendo sido levados a efeito nas mesmas condições e considerando os mesmos requisitos utilizados nas simulações anteriormente apresentadas (tensão equivalente de von Mises, deslocamento resultante e c.s.).

No segundo grupo de simulações, foi definido então o objectivo de otimizar a estrutura com perfis UPN, uma vez que estavam a ser aplicados perfis iguais em zonas que estão expostas a esforços menores, tanto no aro exterior como nos perfis utilizados nas transversais. Nestas simulações, e por se ter começado com um perfil de dimensões mais reduzidas, os resultados obtidos estavam claramente aquém do desejado.

Na primeira simulação foi obtido um c.s. de 0,4, o que é manifestamente insuficiente, mas permitiu perceber onde poderíamos actuar no sentido de melhorar fortemente o comportamento da estrutura. Através de iterações sucessivas, o c.s. da estrutura foi sendo sucessivamente melhorado, como se pode constatar na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados e resultados do segundo grupo de simulações (optimização com perfis UPN).

Nº Sim.	Perfis				Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
	Central	Qtd.	Transversal	Varão			
2_1	HEB 180	2	UPN 180	Ø 180 mm	609,20 MPa	81,52 mm	0,40
2_2	HEB 200	2	UPN 200	Ø 200 mm	475,95 MPa	54,29 mm	0,52
2_3	HEB 220	2	UPN 220	Ø 220 mm	371,77 MPa	38,49 mm	0,67
2_4	HEB 240	2	UPN 240	Ø 240 mm	247,51 MPa	22,47 mm	1,00
2_5	HEB 260	2	UPN 260	Ø 240 mm	198,92 MPa	16,79 mm	1,20
2_6	HEB 280	2	UPN 280	Ø 240 mm	165,69 MPa	13,00 mm	1,50

Na última simulação efectuada para este conjunto de condições, foram obtidos resultados próximos do desejável, uma vez que se obteve um c.s. 1,5.

De salientar que este tipo de simulações (elementos de estrutura), se adequa a este tipo de estruturas, uma vez que serve para ter uma noção das tensões, deslocamentos, coeficientes de segurança em jogo, e otimizar alguns tipos de perfis, pois permite testar e analisar o seu comportamento, como ficou aqui comprovado. A estrutura base será a demonstrada na Figura 40, sendo posteriormente efectuada todo um trabalho de optimização desta estrutura, realizando posteriormente simulações 3D, que serão apresentadas no subcapítulo 3.4.2. De referir que esta modificação no tipo de análise é indispensável para que a simulação seja capaz de incorporar os detalhes geométricos da estrutura, algo que não acontece pela análise por elementos de estrutura.

3.4. Projecto do equipamento seleccionado

O projecto desenvolvido surgiu a partir da necessidade que as empresas de produção de moldes e injeção têm de efectuar várias vezes a tarefa de rotação dos moldes ou componentes de grandes dimensões durante a sua produção (como macho ou cavidade, ver Figura 3).

A estrutura projectada é maioritariamente constituída por perfis normalizados, usando o processo de soldadura na maioria das ligações. Quanto ao accionamento este será a hidráulica, usando 2 cilindros telescópicos de simples efeito em cada um dos sentidos, para exercer a força de avanço. As principais razões que estiveram na origem da selecção do equipamento foram o factor económico e o espaço ocupado pelo equipamento. Outro factor importante tem a ver com a capacidade de ser um accionamento que suporta grandes cargas, logo, maiores esforços. Nesta estrutura, este tipo de accionamento tem uma grande vantagem porque os cilindros usados não vão alterar a área necessária no chão de fábrica, relativamente às dimensões do equipamento.

Neste subcapítulo será apresentado todo o desenvolvimento prático, até chegar ao produto final, mostrando uma imagem da estrutura final e justificando as opções tomadas em relação às soluções construtivas apresentadas. Num segundo passo será demonstrado todo o processo de optimização da estrutura (através do MEF), desde as dimensões dos perfis de aço até ao reforço da estrutura, uma vez que o ponto de partida será a estrutura final obtida no anteprojecto. Será também apresentada uma lista de componentes, desenhos de pormenor, selecção dos processos de fabrico envolvidos, gama de operações, diagrama do processo, sequência de montagem, bem como uma análise crítica do projecto efectuado e sugestão de possíveis melhorias.

3.4.1. Projecto-base

De acordo com as especificações da empresa e respeitando as normas europeias, apresenta-se de seguida o equipamento final em duas vistas em perspectiva, conforme Figura 41 e 42.

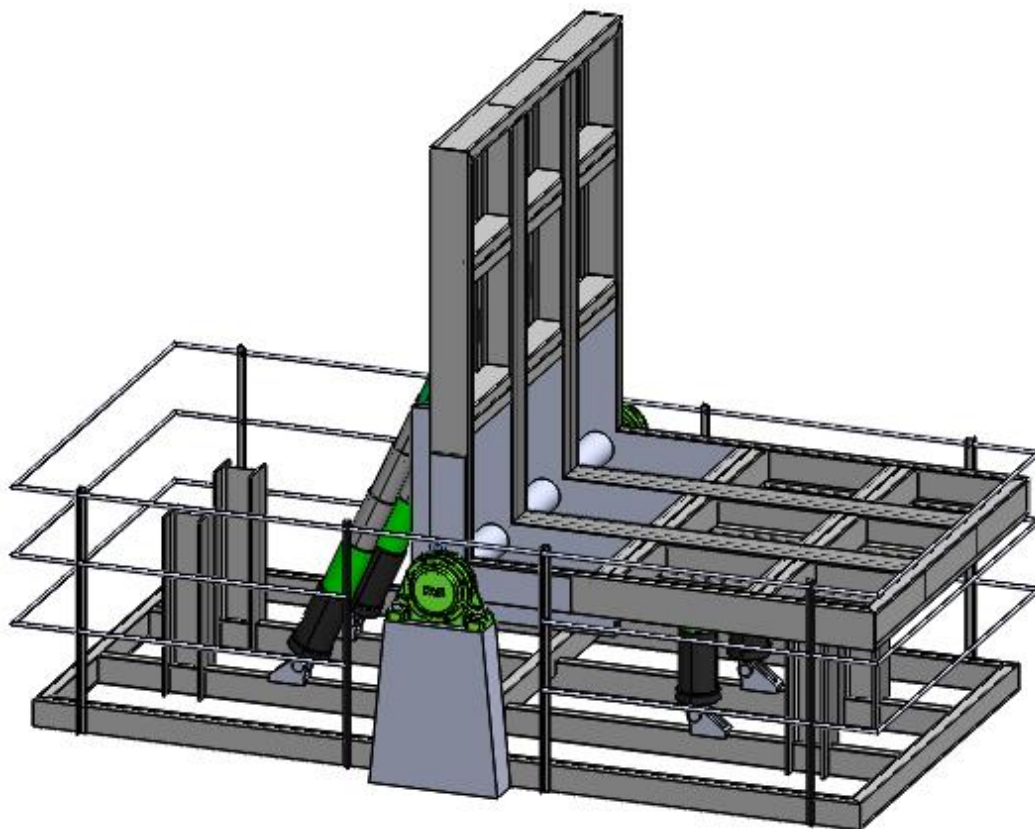


Figura 41 – Vista 3D do equipamento final.

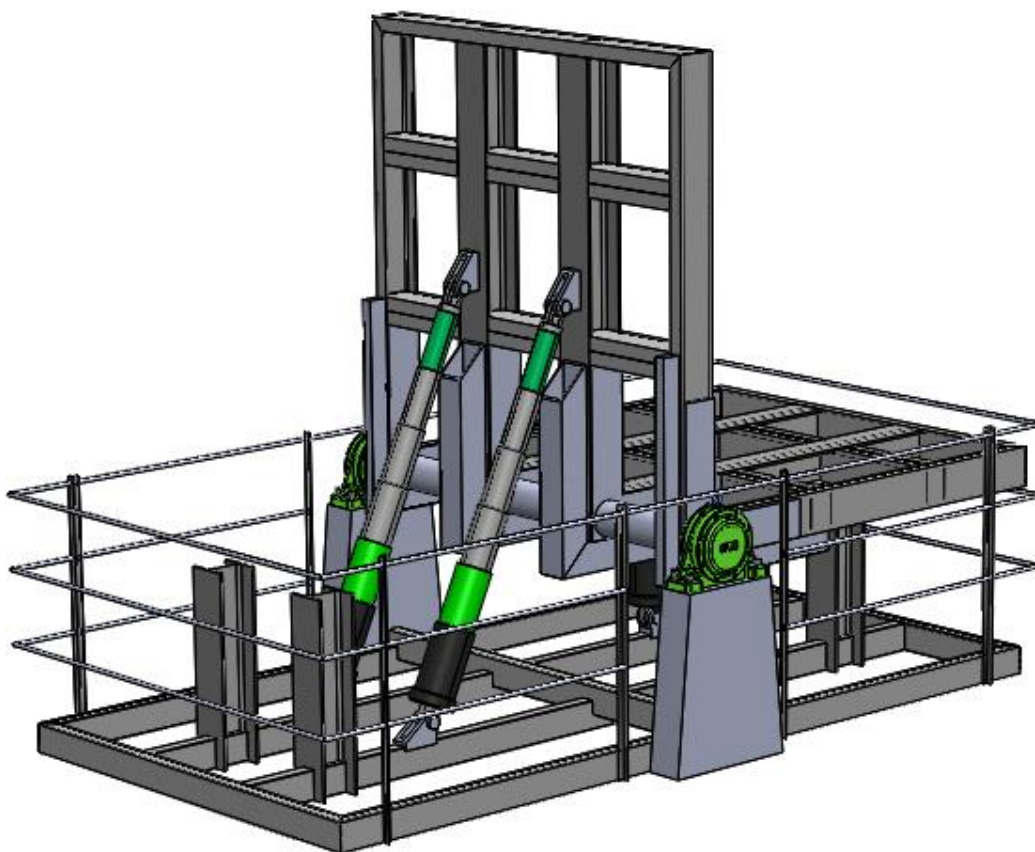


Figura 42 – Vista 3D do equipamento final (lado contrário à Figura 41).

O espaço ocupado pela estrutura é um factor importante, devido às já elevadas dimensões do molde em si. Na indústria da injeção, o equipamento terá um espaço ainda mais limitado, uma vez que as máquinas de injeção são normalmente equipamentos que ocupam uma área considerável e, as peças produzidas também requerem muito espaço para manuseamento e embalagem. Na Figura 43 são apresentadas as dimensões máximas do equipamento final.

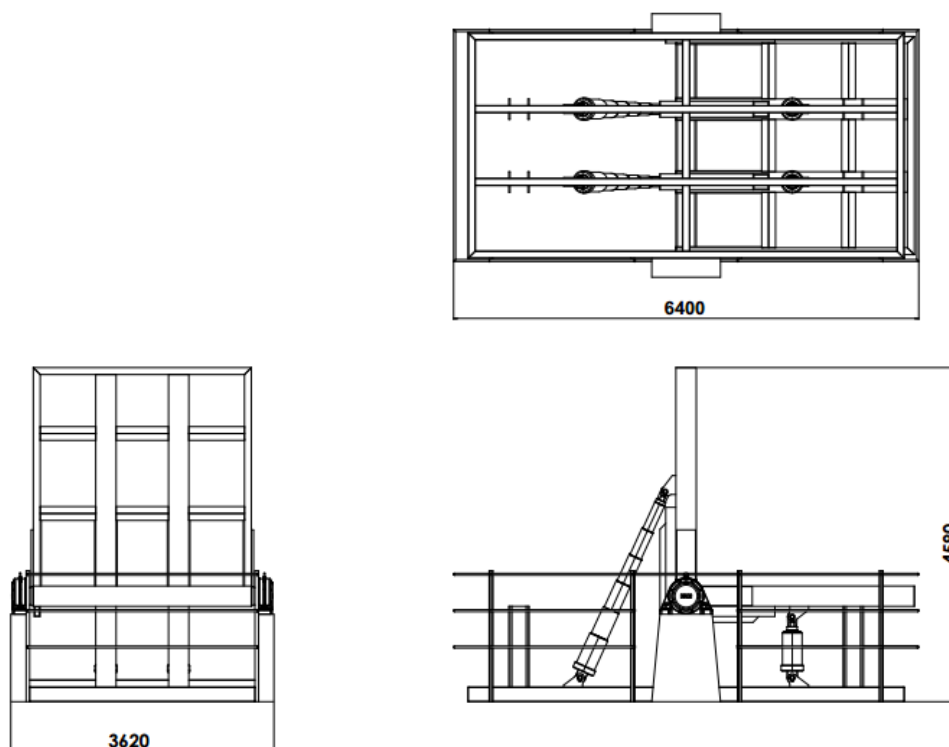


Figura 43 - Vistas 2D do equipamento final com dimensões máximas.

Visto que um dos requisitos seria a minimização do custo do equipamento, as escolhas iniciais passaram por tentar sempre escolher componentes já existentes no mercado, como perfis normalizados, componentes de fixação, entre outros.

Durante a realização deste projecto foram tomadas algumas opções, umas atendendo aos requisitos impostos e outras por experiência. Relativamente às opções em termos de geometria, estas foram tomadas consoante o evoluir dos estudos pelo MEF, através dos estudos inicialmente levados a cabo e expressos no subcapítulo 3.3.4.. Outras opções serão indicadas no subcapítulo seguinte, 3.4.2. Houve inicialmente o cuidado de desenvolver a estrutura onde iria assentar o molde, ou seja, a plataforma rotativa. Esta plataforma foi desenvolvida em torno de um veio central, e depois criando as duas faces a 90° entre elas para que aquando da rotação o peso passe de uma para a outra. A estrutura foi pensada de forma a criar uma zona central que suportasse os esforços que estarão em causa também na transição,

sendo conveniente reforçar essa mesma zona central, conforme demonstrado através do MEF no subcapítulo seguinte. Os apoios da plataforma na posição de repouso surgem da optimização de perfis, aproveitando o material que seria desperdício após aquisição de perfis com 6 m de comprimento (perfil HEB280).

Atendendo ao que foi referido, a estrutura implementada foi desenvolvida com perfis normalizados, sendo o material a empregar na estrutura o aço S275 (Fe430), conforme ficha e dados do material no anexo III. Os restantes componentes, como colunas, pinos e fixação dos hidráulicos serão também em aço S275 ou equivalente, uma vez que as propriedades interessam quer para a estrutura bem como para os processos de ligação usado, como soldadura.

Ilustram-se, na Tabela 6, os valores de referência genéricos das grandezas físicas para aços estruturais, sendo os mesmos aproximadamente idênticos para todos os tipos de aço estrutural. Na verdade, a propriedade mais diferenciadora dos diversos aços estruturais é a resistência mecânica, seguindo-se a ductilidade e a tenacidade, muito associadas ao teor de carbono. Em geral quanto mais carbono tem o aço menos próprio para estruturas, dado ser mais frágil.

Tabela 6 - Valores nominais da tensão de cedência f_y e da tensão de rotura f_u , para aços correntes de acordo com a EN 10025-2.

Designação	Qualidade	Tensão de cedência f_y e tensão de rotura f_u em N/mm ²				Alongamento mínimo em % (2) ($L_0 = 5.65/S0$)			Energia absorvida mínima no ensaio de choque (J) (3)	
		Espessura nominal em mm				Espessura nominal em mm			Temperatura °C	10<t≤15
		t≤40		40<t≤80		3<t≤40	40<t≤63	63<t≤100		
f_y	f_u	f_y	f_u							
S235	JR	235	360	215	360	26	25	24	20	27
	JO								0	27
	J2								-20	27
S275	JR	275	430	255	410	22	21	20	20	27
	JO								0	27
	J2								-20	27
S355	JR	355	510	335	470	22	21	20	20	27
	JO								0	27
	J2								-20	27
	K2								-20	40
S450		440	550	410	550					

(1) Os valores apresentados neste quadro são valores de referência. Para detalhes consultar a norma EN10025.

(2) Os valores apresentados neste quadro são aplicáveis a provetes longitudinais para o ensaio de tracção. Para chapas, chapas largas e produtos longos de largura maior ou igual a 600 mm utilizam-se provetes transversais e o alongamento mínimo deve ser inferior a 2%.

(3) Para espessuras inferiores a 10 mm a energia mínima absorvida no ensaio de choque deve deduzir-se da figura 1 da norma EN10025.

O aço perfilado e laminado utilizado nas estruturas metálicas são normalmente S275, cujas características técnicas estão definidas na norma portuguesa NP EN 10025-2:2004, devendo também ser respeitadas todas as prescrições contidas no R.E.A.E. As propriedades do aço S275 para construção metálica garantem a possibilidade de aplicação em múltiplas situações, com a garantia de um valor mínimo de tensão de cedência e carga de ruptura. São aços que soldam facilmente pelos processos convencionais, além de possuírem boas características mecânicas, o que garante que o material tem uma boa aptidão para os processos de fabrico que se pretendem utilizar. Têm também boa tenacidade. Note-se que a ficha técnica deste material se encontra no anexo III.

Os perfisados a utilizar são da classe 1 – Secções transversais com capacidade de atingir a sua resistência plástica sem risco de deformação local necessária para a formação de uma rótula plástica, devendo ser fornecidos com o certificado de qualidade. No entanto a qualidade do aço deve satisfazer as condições estabelecidas na respectiva norma e aprovadas na recepção dos materiais.

O aço utilizado para os parafusos e soldaduras deve corresponder ao especificado no projecto, satisfazendo as condições prescritas nas normas em vigor. As classes de resistência especificadas para os parafusos deverão respeitar a norma DIN 267.

A Figura 44 mostra uma representação esquemática das secções transversais dos perfis utilizados neste projecto.

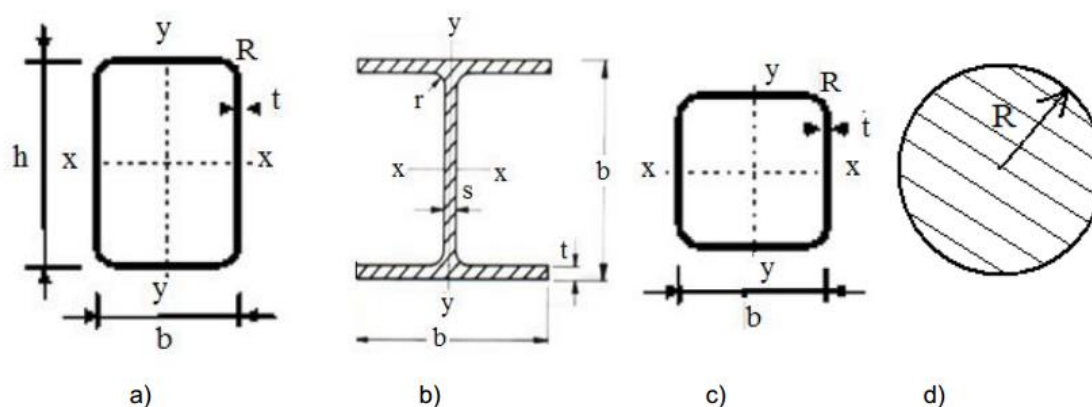


Figura 44 – Secção transversal de perfis:

a) Secção rectangular; b) Secção HEB; c) Secção Quadrado; d) Secção circular.

Os perfis rectangulares foram usados na base, para criar uma zona de suporte aos cilindros telescópicos mas também para equilibrar toda a estrutura, não deixando que ocorra tombamento. O varão de secção circular é usado no eixo de rotação da plataforma rotativa, o

que facilita o acoplamento nas extremidades às chumaceiras e permite actuar como eixo na charneira constituída pelas duas plataformas de apoio do molde. O uso de perfis quadrados e rectangulares no reforço final da estrutura está relacionado com resistência específica elevada à flexão (relativamente ao seu peso).

Para a mesma altura de perfil, o HEB é aquele que garante maior rigidez à flexão, sendo seguido neste capítulo pelo perfil do tipo HEA, e depois pelo IPE. A resistência de uma viga à flexão é proporcional ao seu momento de inércia relativamente ao seu eixo horizontal; quanto maior o momento de inércia, melhor. É no entanto um facto que para a mesma altura de perfil, o IPE é mais leve. A escolha passou pelo uso de perfil do tipo HEB, uma vez que este apresenta maior resistência à flexão (momento de inercia) quer em termos absolutos assim como em termos específicos. As propriedades dos perfis encontram-se no anexo IV.

Conforme referido no subcapítulo 3.3, o accionamento será hidráulico. A rotação da estrutura será efectuada através do accionamento de 4 cilindros telescópicos de simples efeito, aplicados dois de cada um dos lados, ou seja, o funcionamento de dois aquando do avanço até aos 45°, enquanto os dois restantes recuam sem resistência. A partir deste ponto os cilindros até aí em carga são desactivados e os dois restantes são controlados pelo sistema hidráulico para permitir o restante movimento, até à posição de repouso. No movimento inverso da plataforma rotativa, os papeis dos cilindros invertem-se. A implementação desta solução caberá à empresa Binotto, estando o esquema hidráulico e toda a informação referente ao accionamento patente no anexo V.

Quanto ao apoio da plataforma rotativa, este será efectuado por intermédio de chumaceiras nas duas extremidades fixas a um bloco de aço. Os requisitos para a selecção da chumaceira foram elaborados partindo dos valores da carga (força sobre o apoio, F) e o diâmetro do veio; neste caso a chumaceira seleccionada suporta uma carga dinâmica 2 vezes superior ao solicitado.

Os apoios serão efectuados por duas chumaceiras de rolamentos da INA-FAG, com a referência BND 3052-H-W-T-AF-S, com rolamentos do tipo 23052-K-MB. Estes componentes são fornecidos pela RFPortugal, empresa que forneceu os desenhos 3D respectivos e ainda o orçamento apresentado no anexo VI.

3.4.2. Optimização da estrutura com base no MEF

Com base nos resultados obtidos no anteprojecto realizado anteriormente (subcapítulo 3.3), e partindo da estrutura das simulações 2_5 e 2_6, foi desenvolvida a estrutura final demonstrada na Figura 40, através de optimizações sucessivas pelo MEF. As simulações à estrutura a partir deste ponto foram feitas através de modelos com elementos sólidos 3D, para realizar uma simulação mais realista no que concerne à consideração de todos os detalhes geométricos da estrutura, considerando igualmente o contacto com as chumaceiras nas extremidades dos veios e reforçando a parte central. Com a análise de elementos finitos 3D, pode-se mais facilmente proceder à optimização da estrutura, acrescentando reforços, alterando as espessuras, modificando as formas geométricas da estrutura e verificar a sua interacção.

A optimização da estrutura teve por base três posições do suporte L (plataforma rotativa), consideradas como as mais críticas para efeitos do dimensionamento:

- ♦ 0° - posição inicial, diagrama na Figura 45;

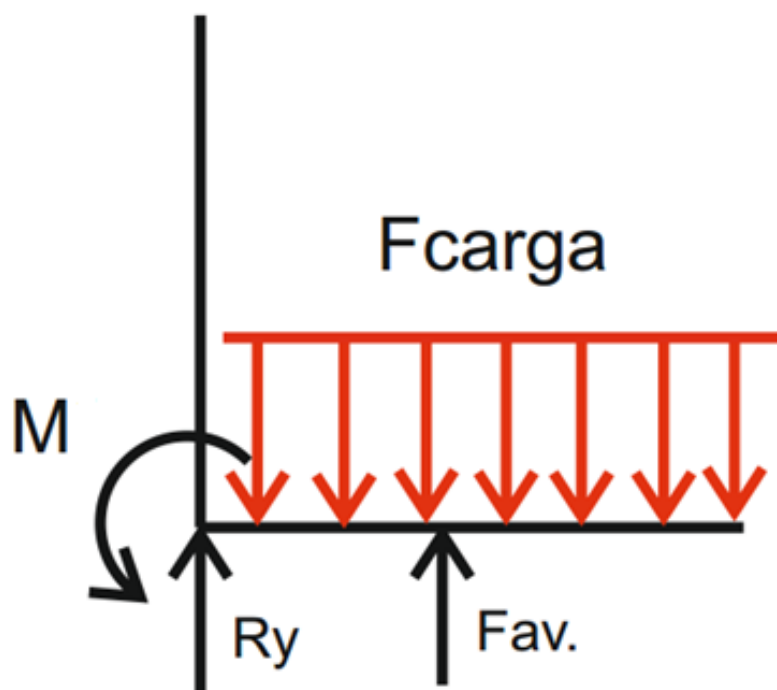


Figura 45 - Diagrama de corpo livre da solução hidráulica a 0°.

3.4.2.1. Simulações com elementos sólidos (partindo das estruturas finais do anteprojecto)

Realizaram-se inicialmente duas simulações, com a estrutura utilizada na simulação 2_5 e simulação 2_6 consideradas no anteprojecto, ou seja, a configuração dos elementos usados nestas simulações é apresentada na Figura 40. Estas simulações são denominadas de 3_1 e 3_2, correspondendo respectivamente à utilização dos mesmos perfis das simulações 2_5 e 2_6. Fazendo as respectivas analogias a este tipo de simulação, definindo a zona a fixar da estrutura no veio, ver Figura 48, foi aplicada uma carga distribuída constante na face superior do suporte L, conforme o apresentado na Figura 49. Refere-se que a estrutura 3D usada neste subcapítulo foi convertida das estruturas consideradas anteriormente e constituídas por elementos de viga, o que resultou em defeitos geométricos como patente nas ligações do veio com o aro exterior. Esta situação será devidamente reposta nas simulações subsequentes, nas quais se desenha a estrutura de raiz em 3D.

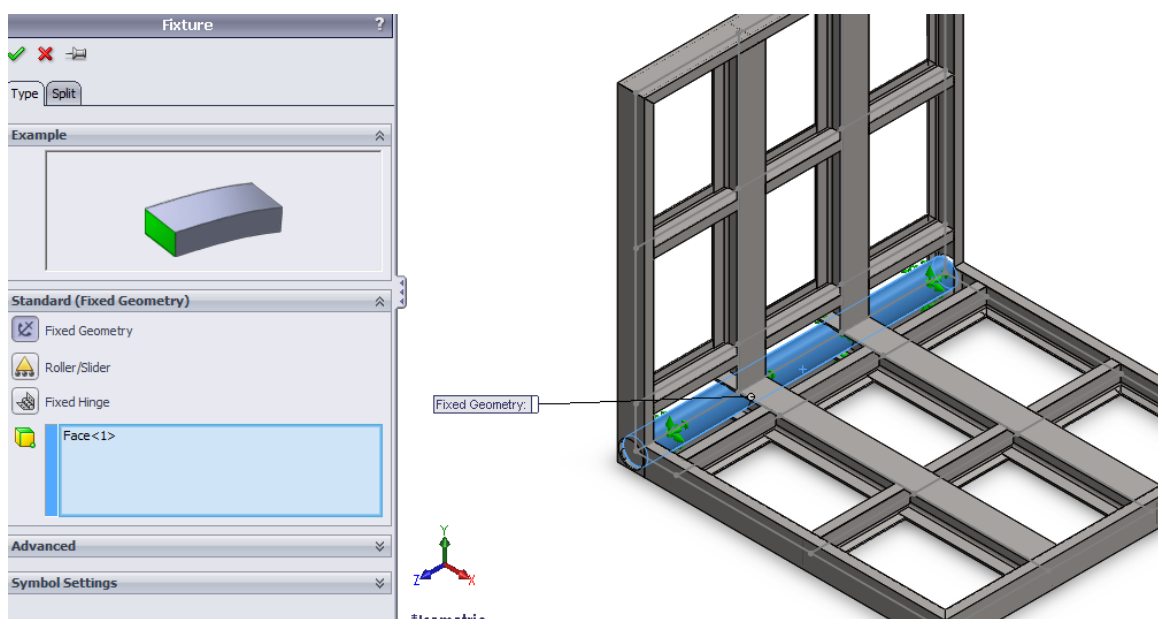


Figura 48 – Estrutura fixa pela face do veio para as simulações 3_1 e 3_2.

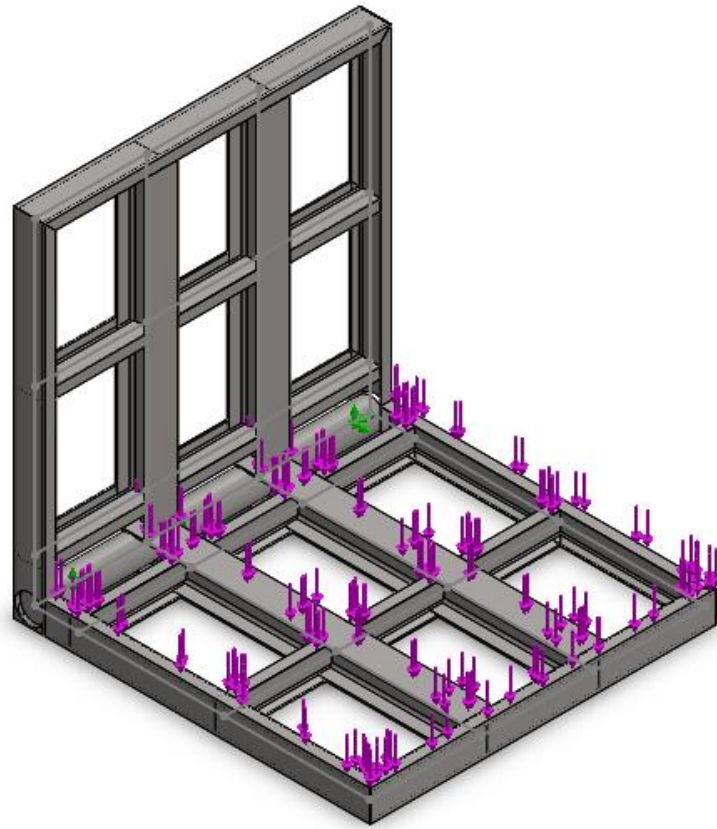


Figura 49 – Carga distribuída na face superior do suporte L para as simulações 3_1 e 3_2.

Na Figura 50 está demonstrada a malha gerada para a respectiva simulação.

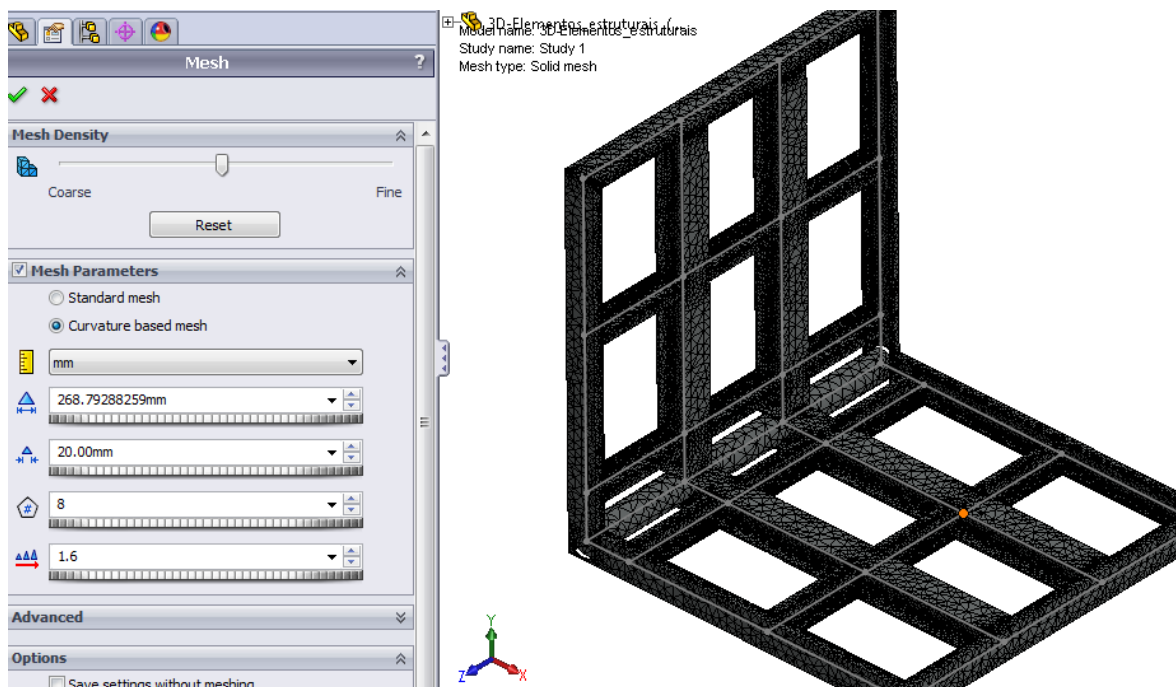


Figura 50 - Malha gerada para a simulação 3_1.

Os resultados gráficos obtidos na simulação 3_1 poderão ser analisados nas Figura 51, 52, 53 e 54, que correspondem respectivamente à tensão equivalente de von Mises, ao deslocamento resultante, à deformação resultante e ao c.s.. O resumo dos resultados destas simulações está apresentado na Tabela 7, assim como os respectivos comentários aos resultados obtidos.

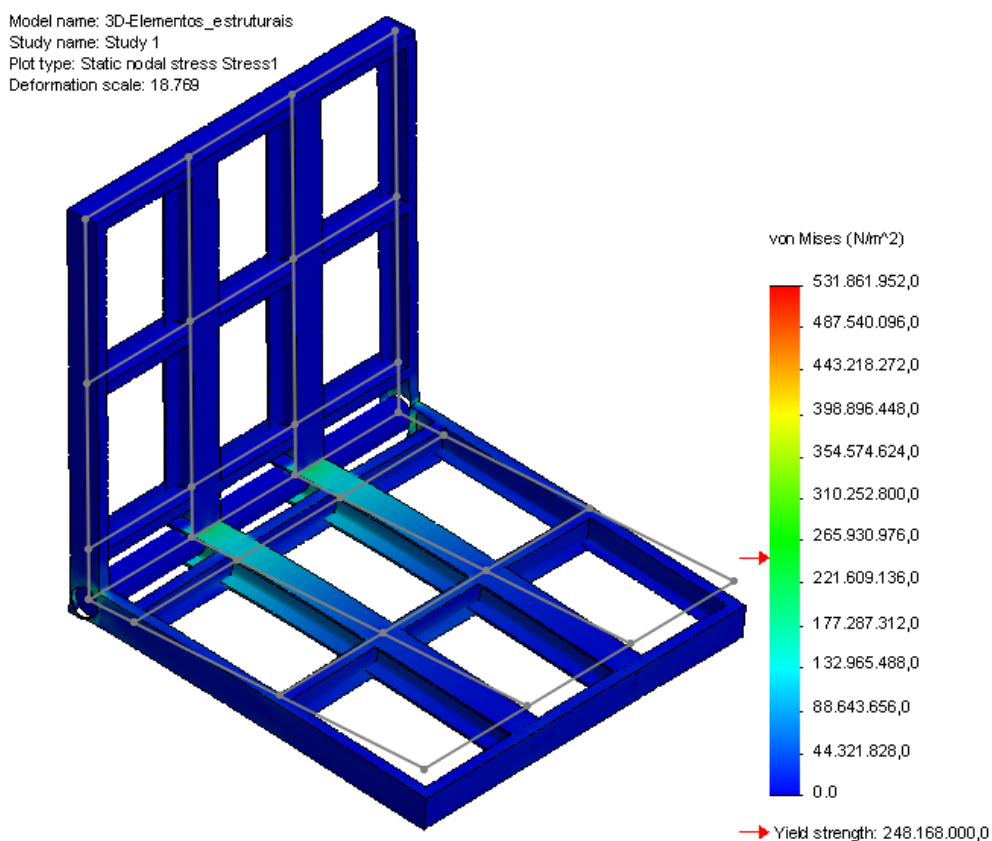


Figura 51 – Tensão equivalente de von Mises para a simulação 3_1.

Model name: 3D-Elementos_estruturais
Study name: Study 1
Plot type: Static displacement Displacement1
Deformation scale: 18.769

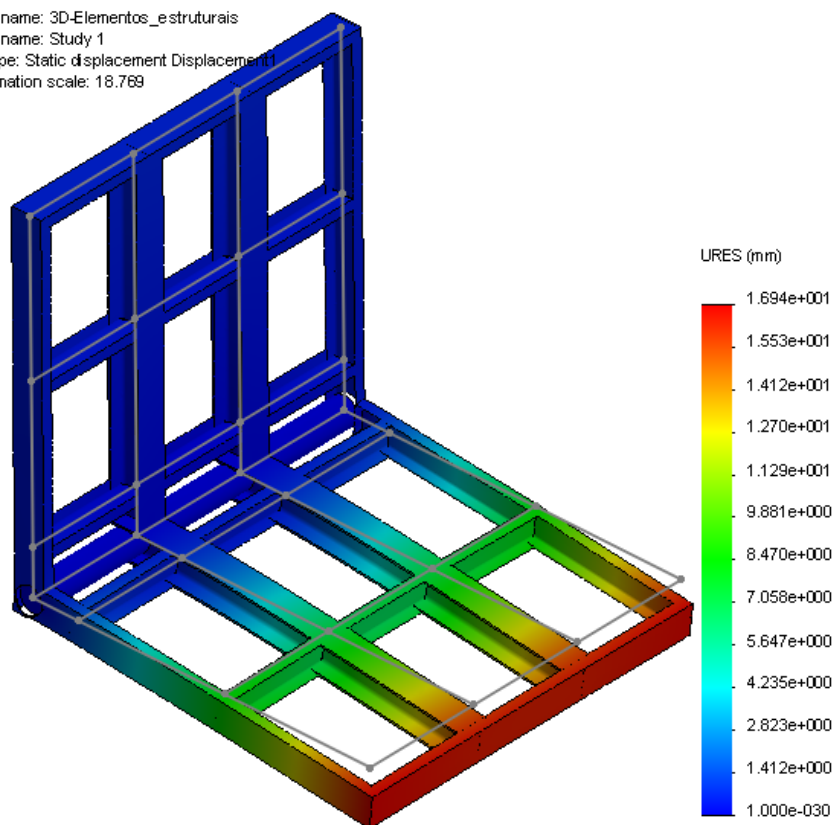


Figura 52 – Deslocamento resultante para a simulação 3_1.

Model name: 3D-Elementos_estruturais
Study name: Study 1
Plot type: Static strain Strain1
Deformation scale: 18.769

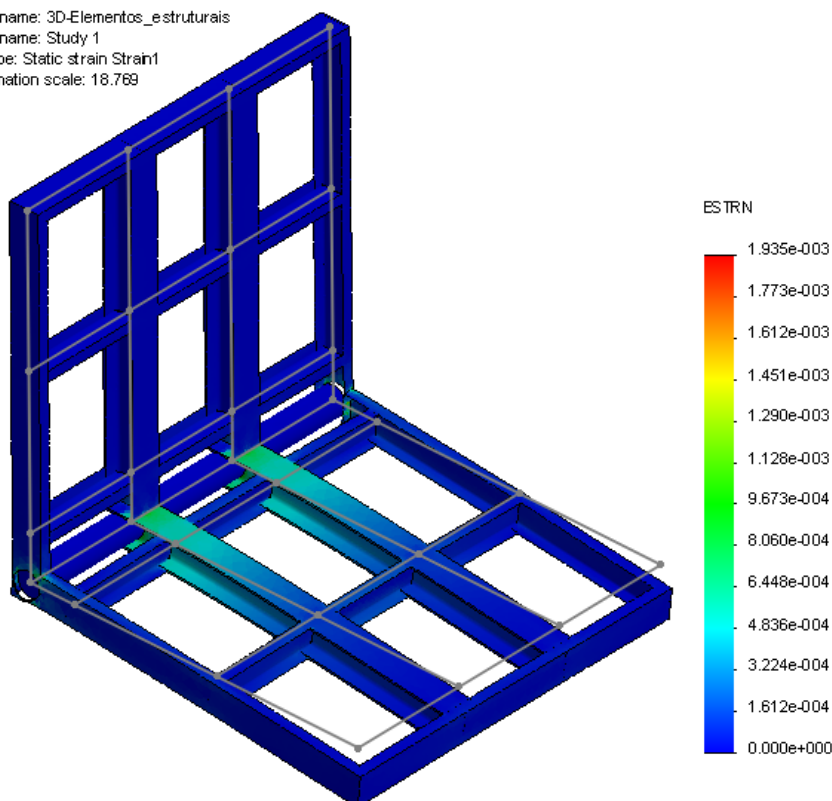


Figura 53 – Deformação resultante para a simulação 3_1.

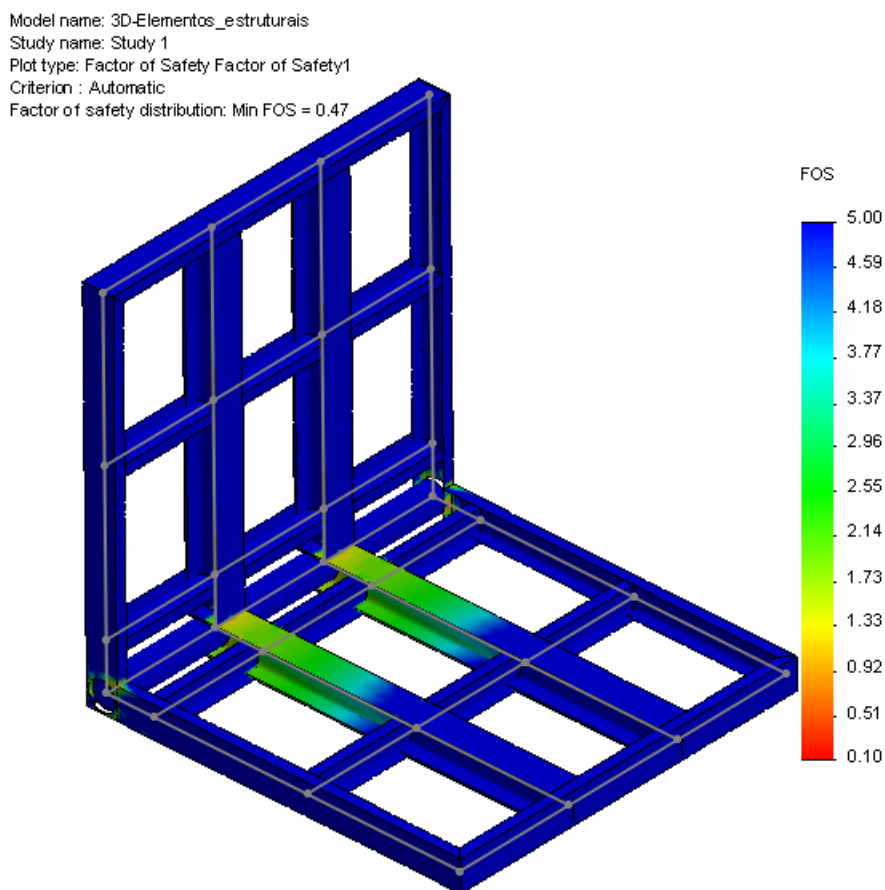


Figura 54 – C.s. para a simulação 3_1.

As simulações 3_1 e 3_2 apresentaram uma deformação anormal numa zona que a geometria está mal definida, demonstrando tensões mais elevadas do que o expectável nessa zona, ver Figura 55. Esta deformação ocorreu porque a estrutura 3D utilizada na análise foi convertida de um modelo simplificado com elementos de estrutura (simulações anteriores). Dada esta situação, e com vista a obter valores mais próximos do verdadeiro ponto crítico da estrutura, foi efectuada uma medição de pontos para as várias variáveis pretendidas, conforme exemplo mostrado na Figura 56 para a tensão equivalente de von Mises. Retirados os pontos para cada variável, foi calculada a média entre eles, estando os resultados descritos na Tabela 7, para posteriormente podermos comparar os mesmos nas zonas de interesse, uma vez que os valores máximos obtidos ocorreram numa zona que não era o pretendido. Este procedimento foi efectuada para as duas simulações (3_1 e 3_2). Para ultrapassar esta limitação, nas simulações seguintes foi efectuada uma estrutura 3D de raiz.

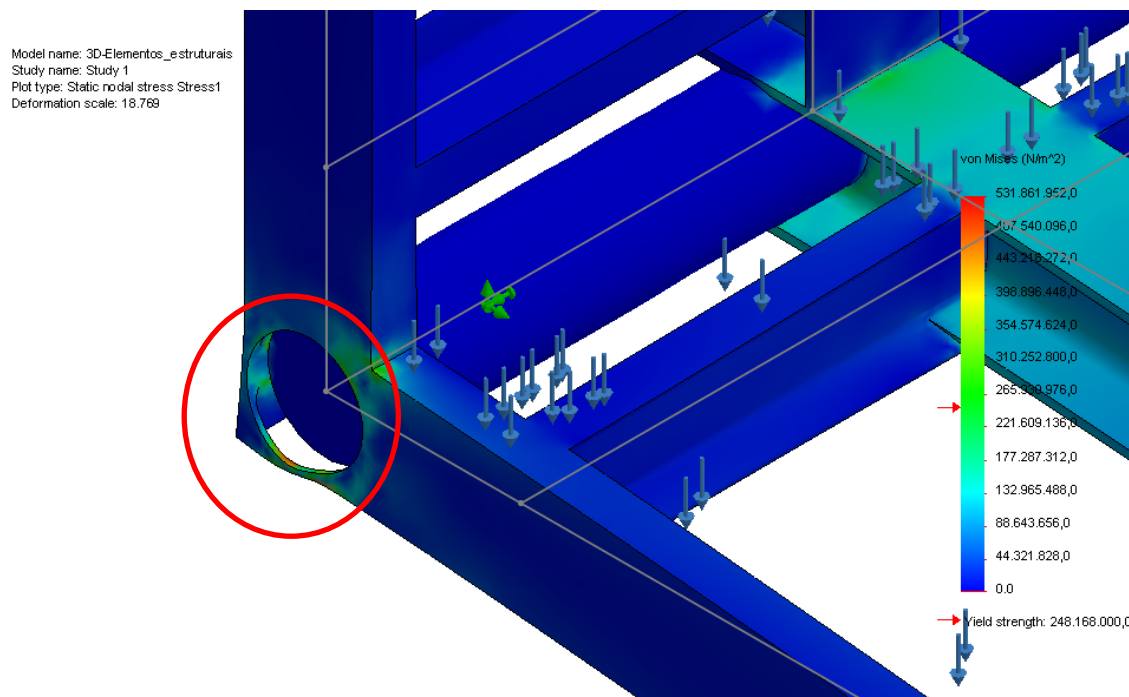


Figura 55 – Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulações 3_1 e 3_2.

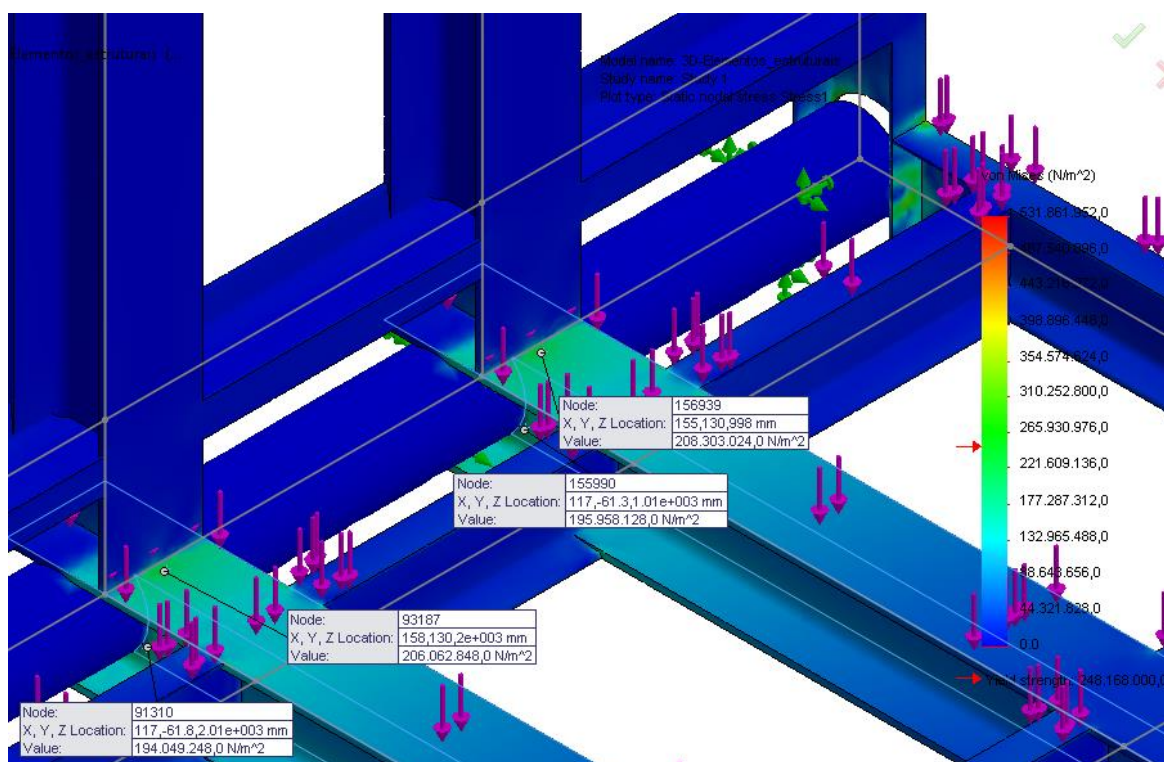


Figura 56 – Pontos retirados para o valor da tensão equivalente de von Mises para a simulação 3_1.

Tabela 7 - Dados e resultados relativos às simulações 3_1 e 3_2.

Nº Sim.	Perfis				Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocam. Resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c. s. (mínimo)
	Central	Qtd.	Transversal	Varão				
3_1	HEB 260	2	UPN 260	Ø 240 mm	200,5 MPa	16,94 mm	$1,935 \cdot 10^{-3}$	1,23
3_2	HEB 280	2	UPN 280	Ø 240 mm	161,0 MPa	13,15 mm	$1,550 \cdot 10^{-3}$	1,45

Nestas primeiras simulações 3D, comparando com os resultados obtidos nas simulações 3_1 e 3_2, ocorreu uma evolução, tendo-se verificado nestas duas simulações a subida do C.S. para 1,45.

Na próxima iteração (3.4.2.2) a estrutura será construída em 3D de raiz, ou seja, sem adaptação da estrutura simplificada. Isto permitirá anular os problemas anteriormente registados de falta de rigor na geometria. Por outro lado, serão adicionadas as chumaceiras e estabelecidos contactos do tipo deslizante com o veio, para simulação do deslizamento sem atrito.

3.4.2.2. Simulações com elementos sólidos (com contacto entre chumaceira e veio)

Foi efectuada mais uma simulação à plataforma do suporte L (simulação 4_1), adicionando o contacto entre as chumaceiras e o veio, dois apoios que suportam a plataforma rotativa na posição de repouso, bem como uns pequenos reforços na zona de ligação entre os perfis HEB, ver Figura 57. De notar que nesta simulação, e nas subsequentes, se considerou uma representação simplificada das chumaceiras, uma vez que estas são dimensionadas em função da carga de projecto e, como tal, apenas se pretende simular fielmente as condições de apoio, ou seja, deslizamento sem atrito.

Realizou-se mais uma simulação 3D, com a estrutura optimizada com perfis de 280 mm, utilizada na simulação 2_6 (ou 3_2); a configuração dos elementos usados nesta simulação é a apresentada na Figura 40, com os valores apresentados na Tabela 8.

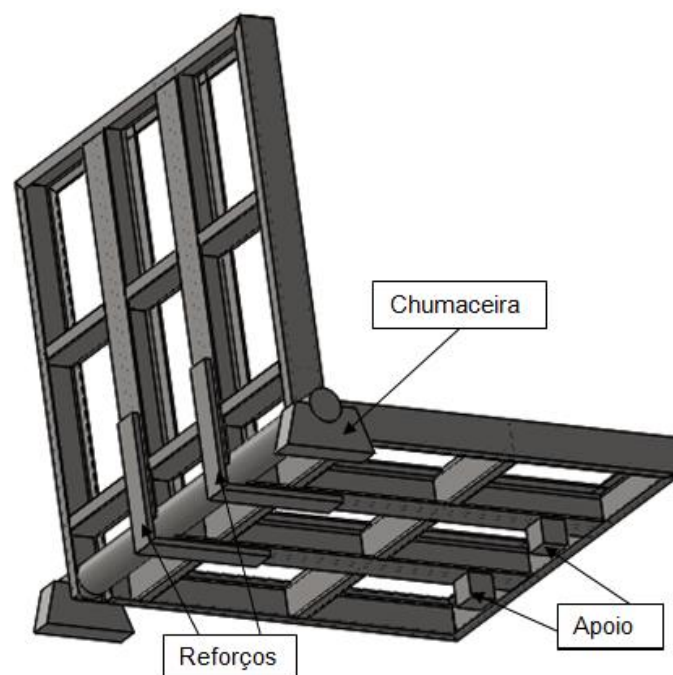


Figura 57 – Alterações efectuadas na simulação 4_1 relativamente às anteriores.

No passo seguinte foram definidas as zonas a fixar da estrutura, ver Figura 58. No que concerne à interacção entre componentes da estrutura, considerou-se ligação solidária entre todos os componentes, à excepção da interacção entre veio central e chumaceiras, cujo contacto foi definido como deslizante sem atrito.

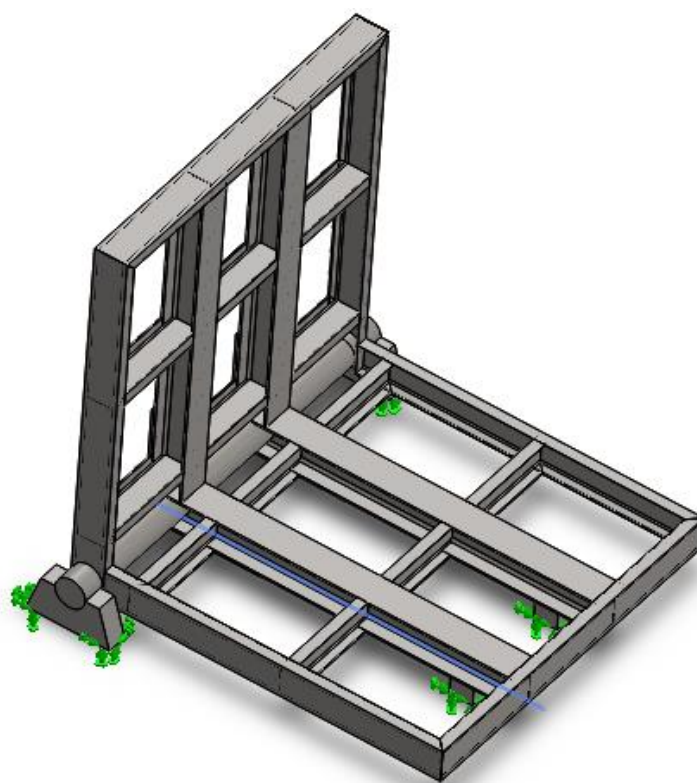


Figura 58 – Tipo de fixação da estrutura utilizada para a simulação 4_1.

A solicitação correspondente ao peso do molde foi aplicada de forma análoga às simulações anteriores, ou seja, na forma de carga distribuída na face de apoio do molde, ver Figura 49. Na Figura 59 é demonstrada a malha gerada para a respectiva simulação. Foi construída uma malha baseada na curvatura, que se caracteriza pela utilização de elementos de dimensões inferiores nas zonas de mudança abrupta de geometria, como sejam arestas vivas ou entalhes, para melhor caracterização do comportamento da estrutura nessas zonas. Foi considerado um tamanho mínimo da aresta dos elementos de 12 mm e uma taxa de crescimento da malha entre elementos adjacentes de 1,6. Estes princípios são válidos para todas as malhas tridimensionais geradas a partir deste ponto.

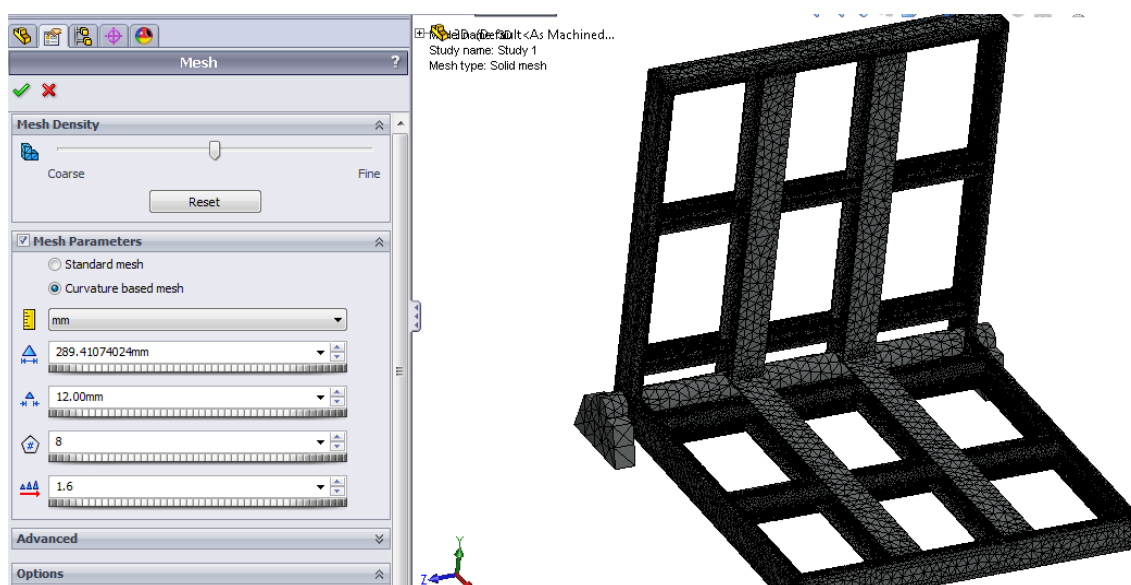


Figura 59 – Malha gerada para a simulação 4_1.

Serão apresentados os resultados gráficos obtidos para a simulação 4_1, ver Figura 60, 61, 62, 63 e 64, os quais correspondem respectivamente à tensão equivalente de von Mises, à localização da zona crítica da tensão equivalente de von Mises, ao deslocamento resultante, à deformação resultante e ao c. s. Serão finalmente apresentados na Tabela 8 os resultados obtidos para a simulação 4_1, com os comentários relativos aos resultados obtidos.

Model name: 3D
 Study name: Study 1
 Plot type: Static nodal stress Stress1
 Deformation scale: 1

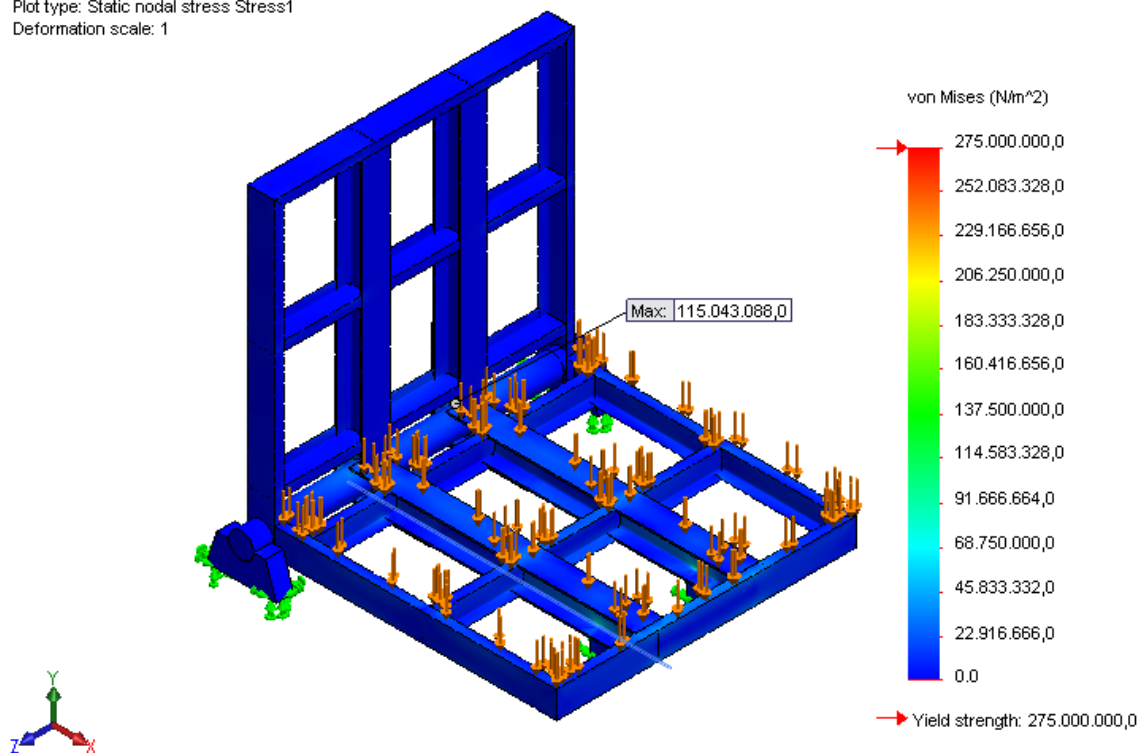


Figura 60 - Tensão equivalente de von Mises para a simulação 4_1.

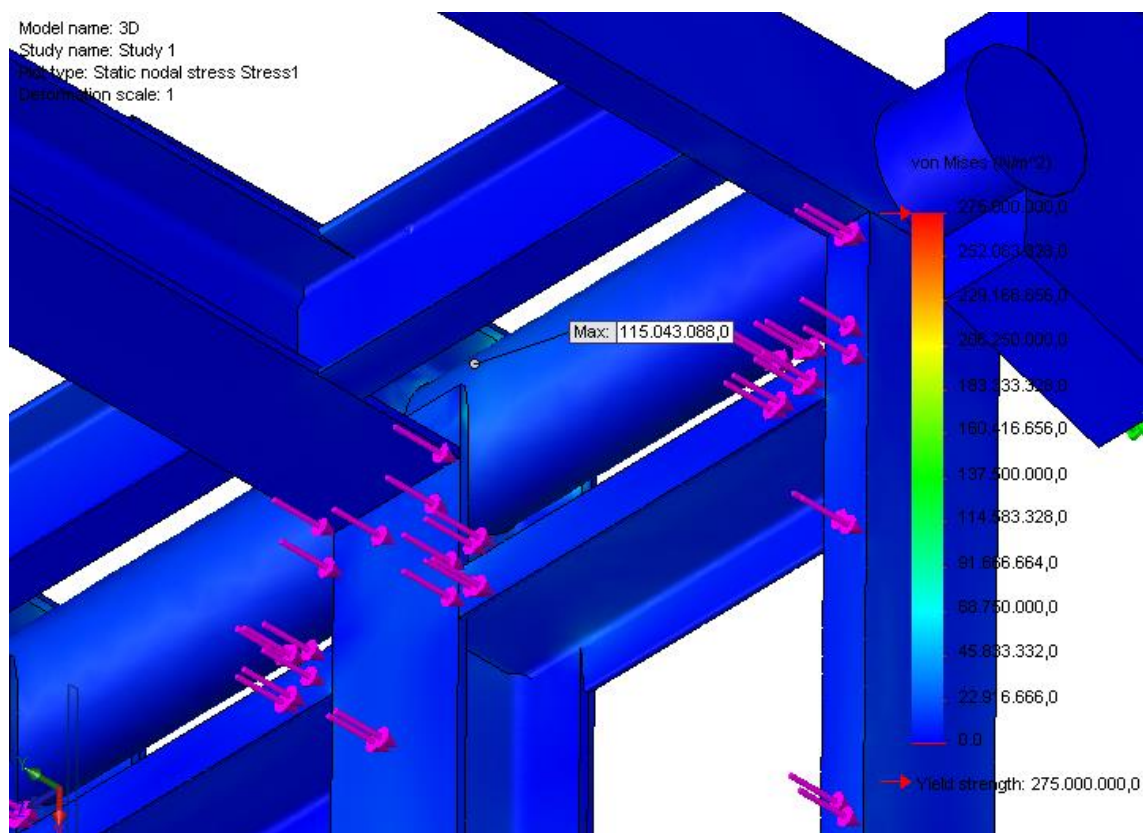


Figura 61 - Localização da região crítica da tensão equivalente de von Mises para a simulação

4_1.

Model name: 3D
 Study name: Study 1
 Plot type: Static displacement Displacement1
 Deformation scale: 1

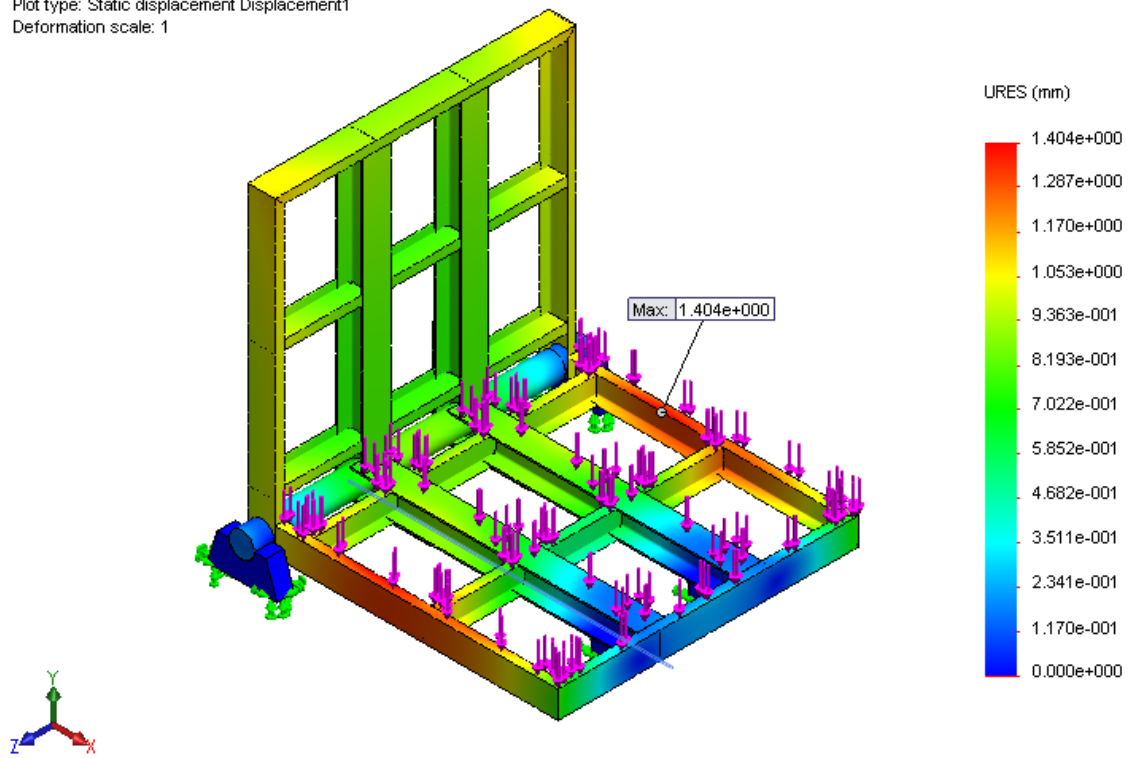


Figura 62 - Deslocamento resultante para a simulação 4_1.

Model name: 3D
 Study name: Study 1
 Plot type: Static strain Strain1
 Deformation scale: 1

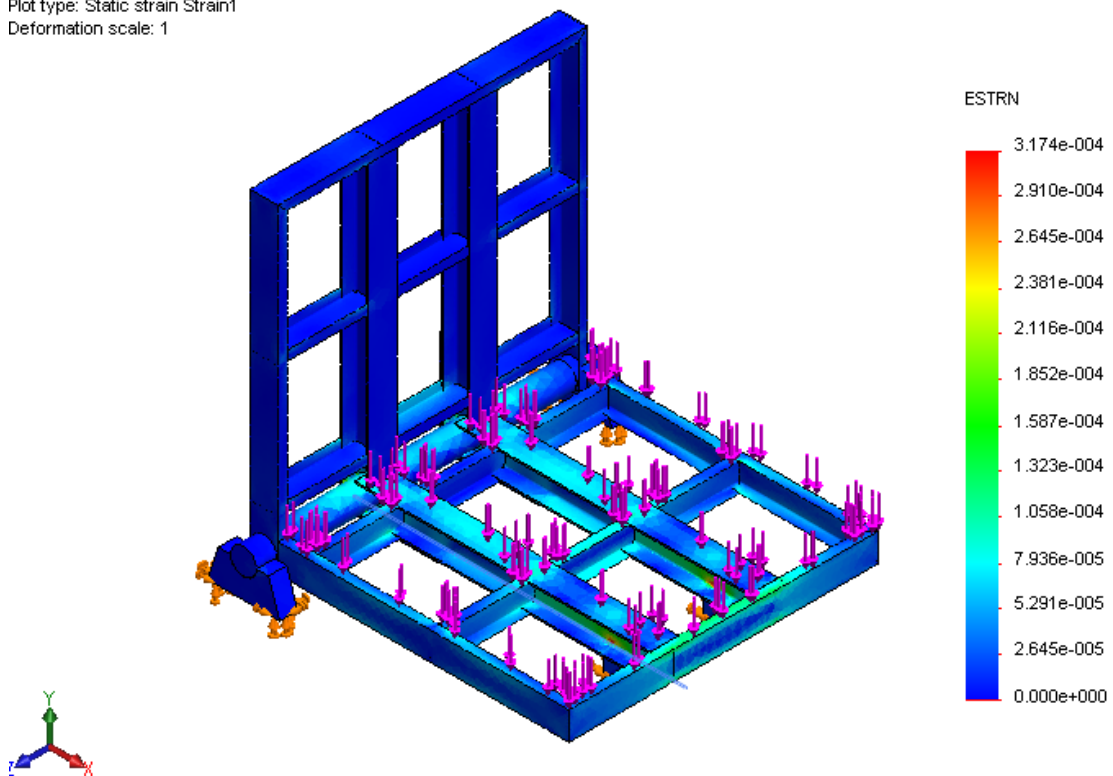


Figura 63 - Deformação resultante para a simulação 4_1.

Model name: 3D
 Study name: Study 1
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion : Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 2.4

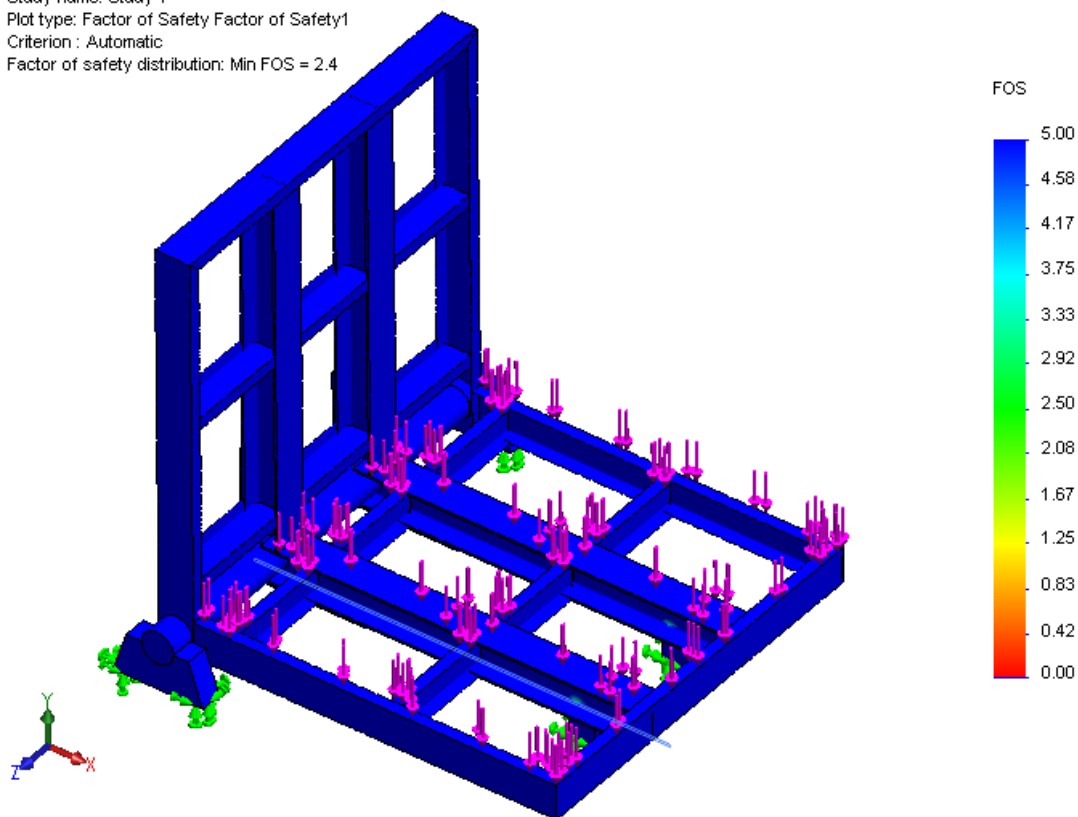


Figura 64 - C.s. para a simulação 4_1.

Tabela 8 - Dados e resultados para a simulação com contacto entre chumaceiras e veio.

Nº Sim.	Perfis				Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
	Central	Qtd.	Transversal Caixilho	Varão				
4_1	HEB 280	2	UPN 280	Ø 240 mm	110,90 MPa	1,48 mm	$3,408 \cdot 10^{-3}$	2,4

Na simulação 4_1, o resultado é bastante satisfatório: com as modificações realizadas, conseguiu-se obter um aumento do c.s. mínimo para 2,4 e reduzir o deslocamento resultante máximo para 1,48 mm, o que já é um resultado aceitável dada a dimensão da estrutura.

As próximas simulações foram levadas a cabo com todos os componentes da estrutura, implementando o accionamento hidráulico.

3.4.2.3. Simulações com elementos sólidos (com implementação da solução de accionamento hidráulico)

Todas as simulações a partir deste ponto vão manter a estrutura estudada até aqui na plataforma de rotação (suporte L), usando sempre os perfis utilizados na simulação 3_2. Neste primeiro grupo será realizada a implementação da solução hidráulica, estudando o comportamento da estrutura nas 3 posições consideradas como as mais críticas, conforme referido no ponto 3.4.2. As simulações foram realizadas considerando só dois cilindros telescópicos de um dos lados, já que a carga é efectuada apenas em dois cilindros de cada vez e os restantes cilindros não influenciam o comportamento da estrutura.

As 3 simulações com a implementação do accionamento através de cilindros hidráulicos telescópicos designam-se por 5_1, 5_2 e 5_3, correspondendo por esta ordem às posições de 0°, 45° e 90°. De referir que a simulação a 90° pressupõe o final do movimento, ou seja ainda com os cilindros em carga. Foram adicionados os cilindros hidráulicos telescópicos, embora considerando representações simplificadas para efeitos de simulação, uma vez que os cilindros já são os indicados para os esforços em questão, através dos dados fornecidos pelo fabricante e, como tal, a verificação da sua segurança foi considerada desnecessária. Adicionalmente, considerou-se a estrutura da base para suporte da plataforma rotativa, conforme Figura 65.

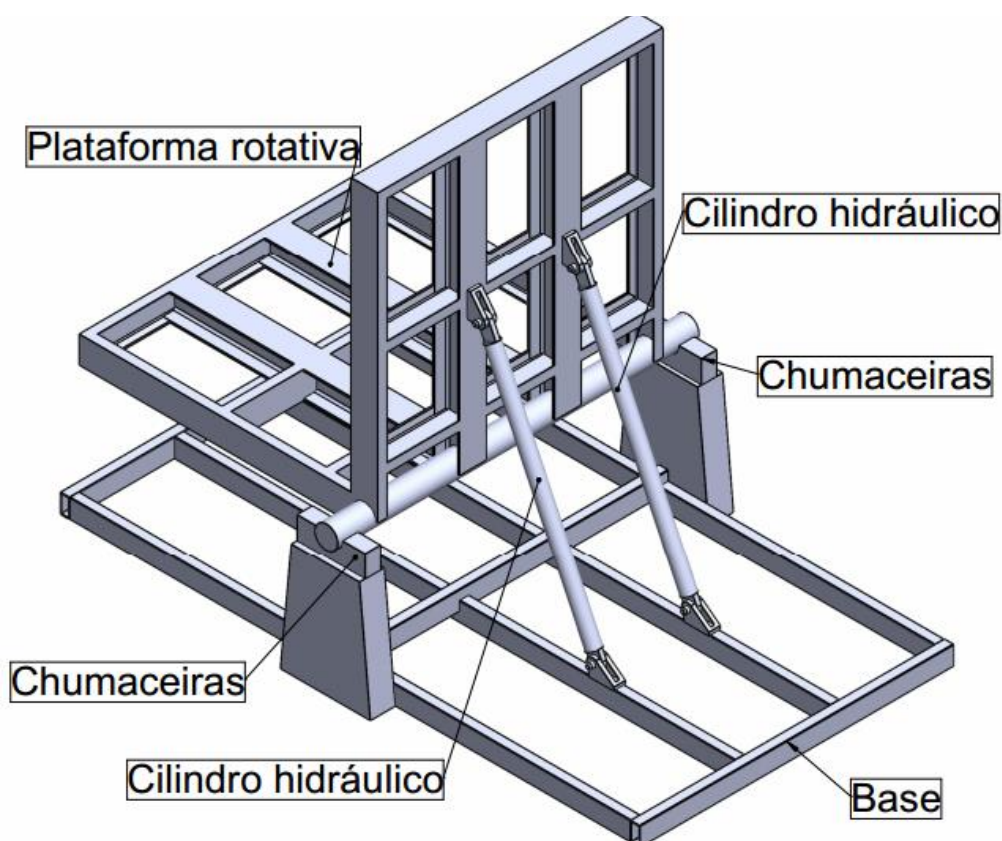


Figura 65 - Elementos para as simulações 5_1, 5_2 e 5_3.

Na Figura 66 é demonstrada a malha gerada para a simulação 5_3.

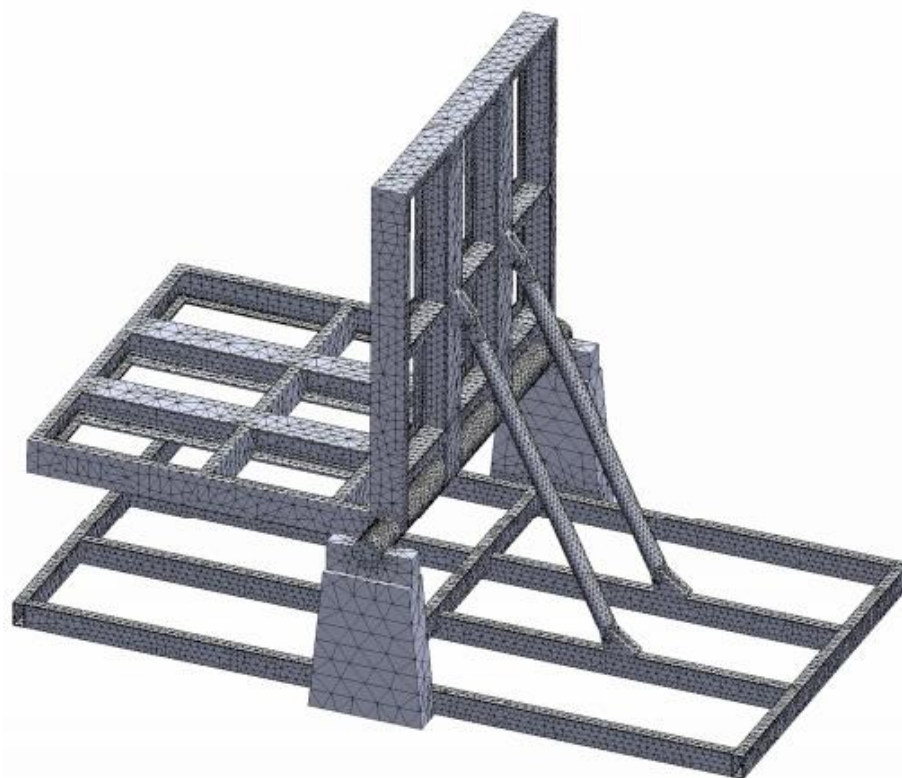


Figura 66 - Malha gerada para a simulação 5_3.

Apresentam-se de seguida os resultados gráficos relativos à simulação 5_3, uma vez que se observou ser a posição crítica em termos de esforços na estrutura, embora no final se comparem as três posições na Tabela 9. As Figura 67, 68, 69, 70, e 71 representam, respectivamente, a tensão equivalente de von Mises, um detalhe da zona crítica de tensão de von Mises, o deslocamento resultante, a deformação resultante e o c.s..

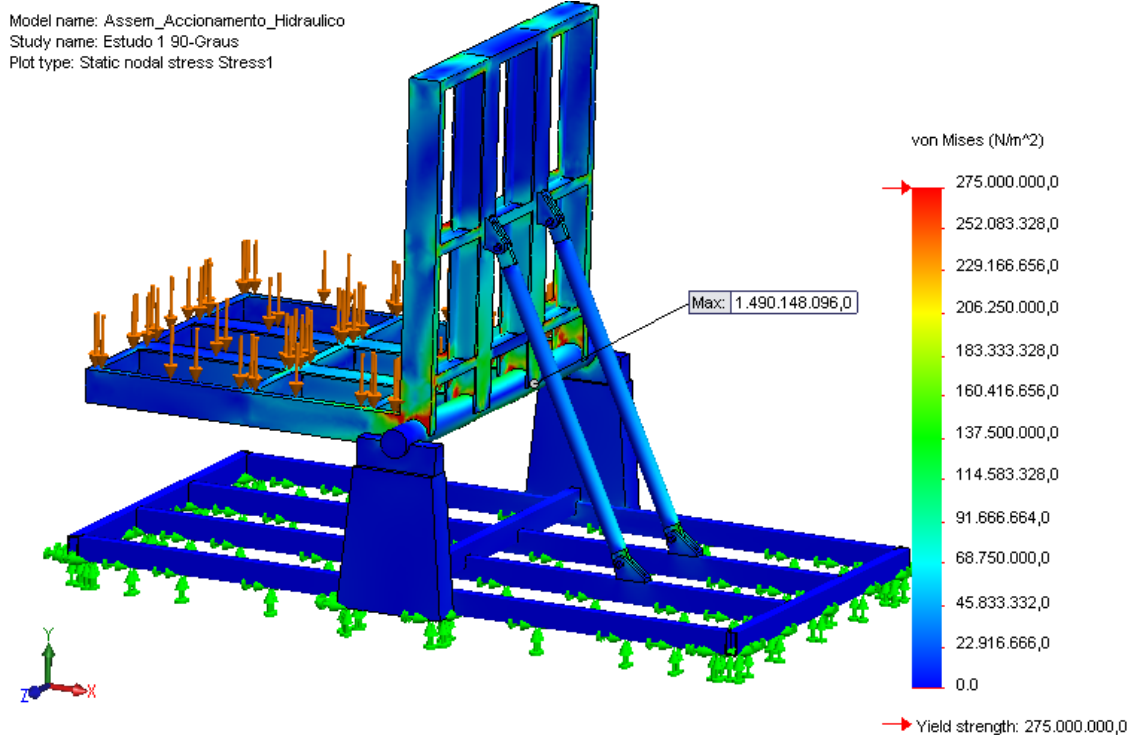


Figura 67 - Tensão equivalente de von Mises para a simulação 5_3.

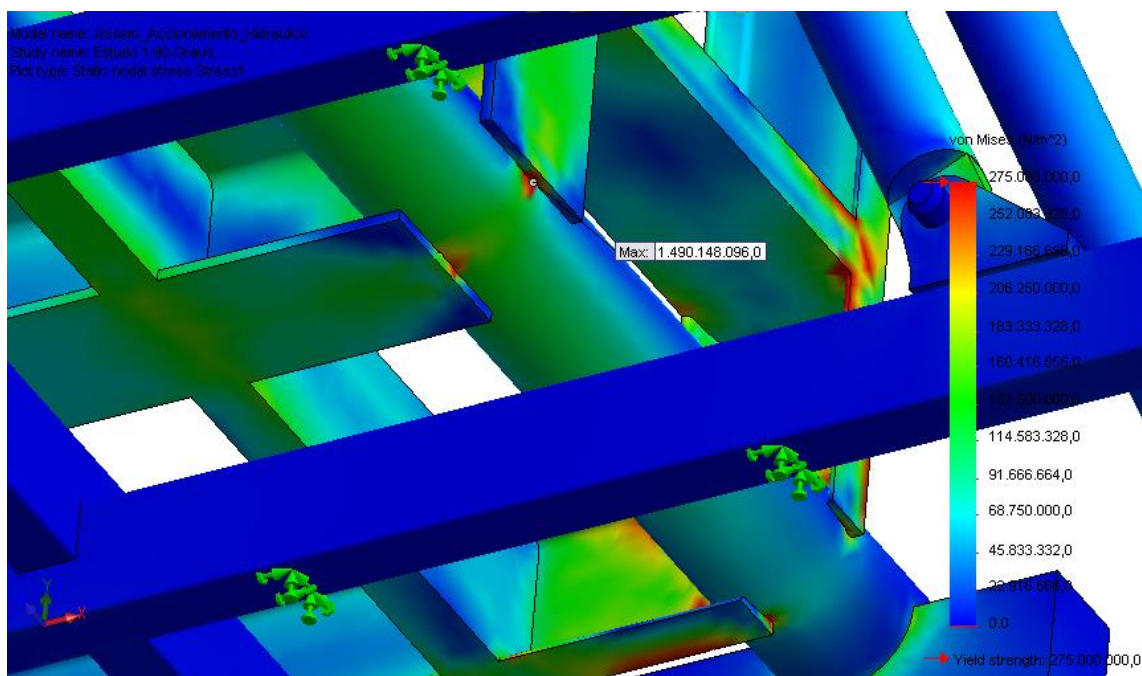


Figura 68 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação 5_3.

Model name: Assem_Accionamento_Hidraulico
 Study name: Estudo 1 90-Graus
 Plot type: Static displacement Displacement1
 Deformation scale: 1

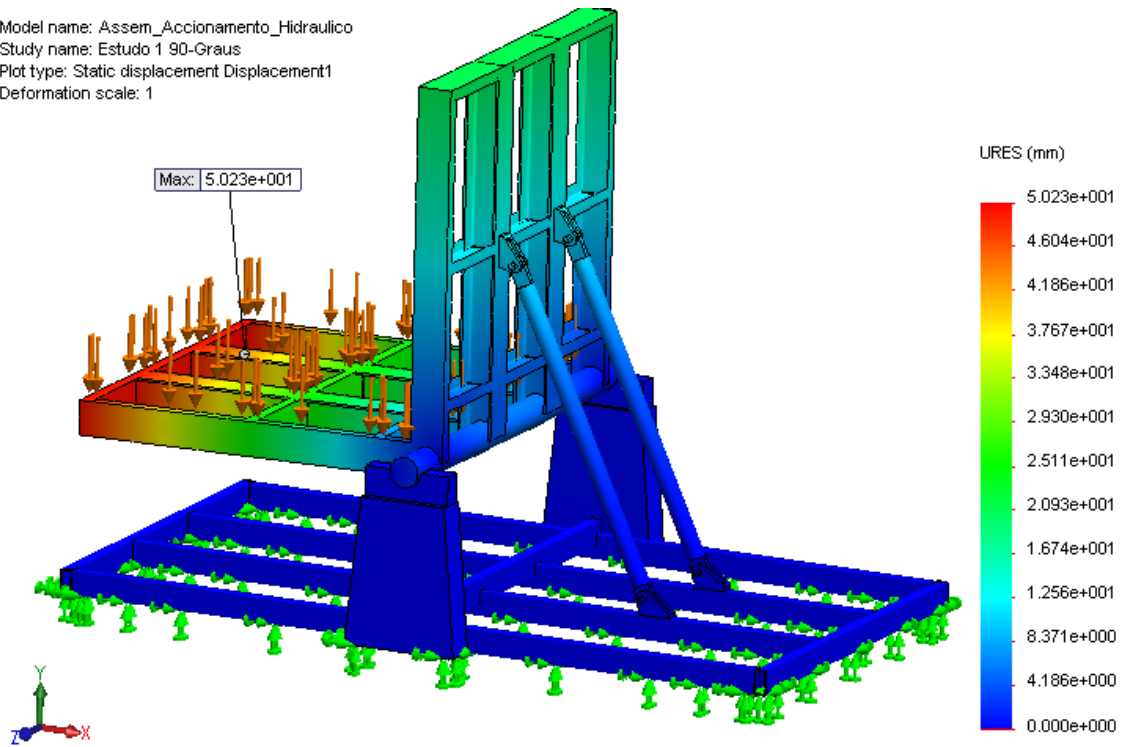


Figura 69 - Deslocamento resultante para a simulação 5_3.

Model name: Assem_Accionamento_Hidraulico
 Study name: Estudo 1 90-Graus
 Plot type: Static strain Strain1
 Deformation scale: 1

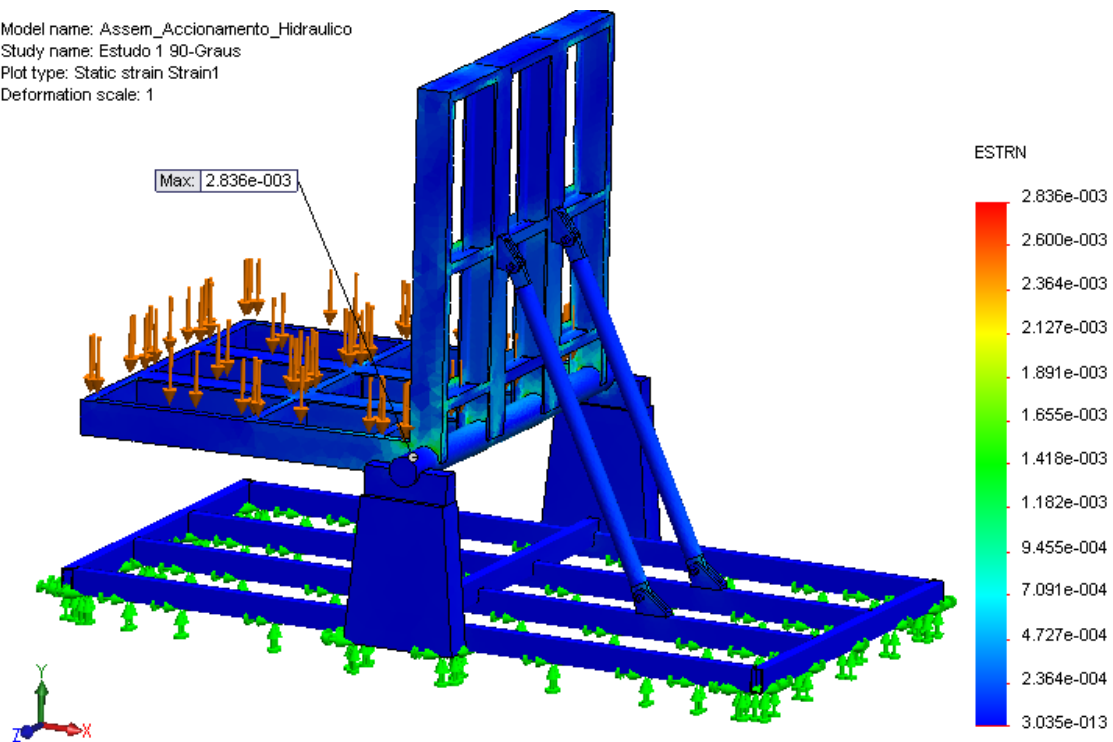


Figura 70 - Deformação resultante para a simulação 5_3.

Model name: Assem_Accionamento_Hidraulico
 Study name: Estudo 1 90-Graus
 Plot type: Factor of Safety Factor of Safety1
 Criterion: Automatic
 Factor of safety distribution: Min FOS = 0.18

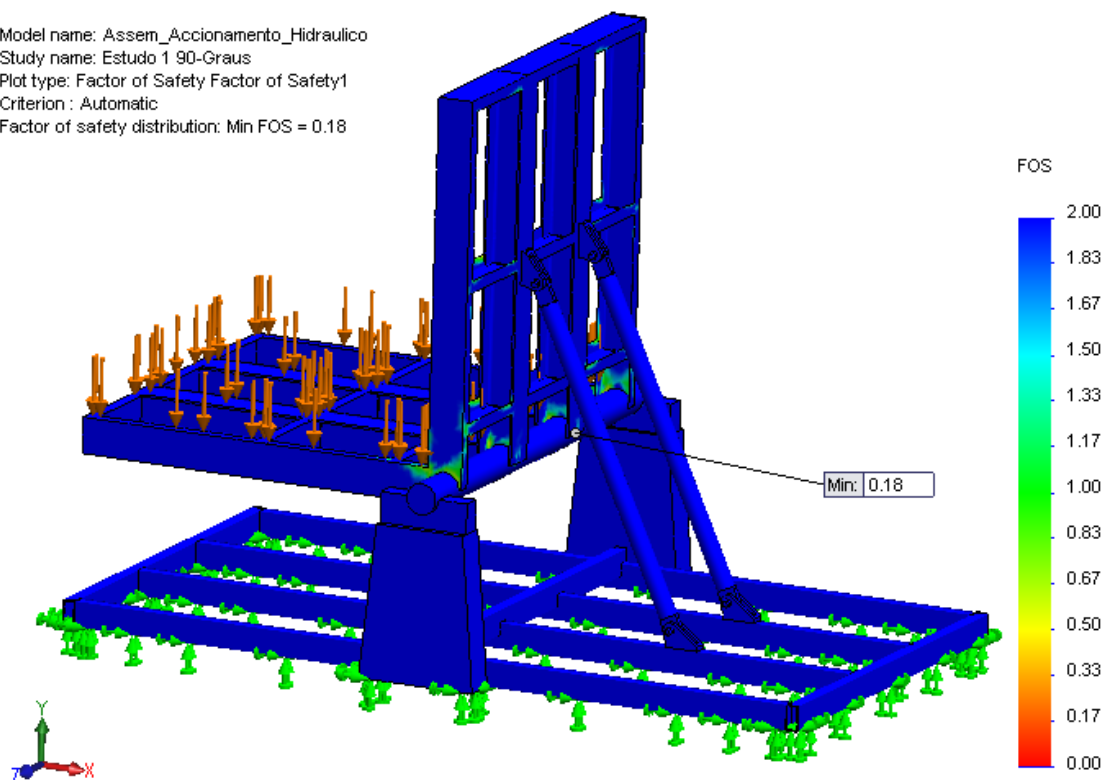


Figura 71 - C.s. para a simulação 5_3.

Tabela 9 - Dados e resultados para a simulação com implementação da solução de accionamento hidráulico.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
5_1	155,80 MPa	4,61 mm	$0,49 \cdot 10^{-3}$	1,77
5_2	458,07 MPa	12,09 mm	$1,09 \cdot 10^{-3}$	0,60
5_3	1490,15 MPa	50,23 mm	$2,84 \cdot 10^{-3}$	0,18

Na simulação 5_1, os resultados foram idênticos aos obtidos na simulação anterior (4_1), uma vez que a posição é idêntica (estrutura a 0°), embora o presente caso considere o início do movimento de rotação da plataforma, ao invés de se considerar a mesma em repouso. Na simulação 5_2 (na posição 45°) os resultados estão longe do satisfatório. Pior ainda está na simulação 5_3 (posição dos 90°), obtendo-se um c.s. 0,18, um deslocamento resultante de 50,23 mm e uma deformação de $2,84 \cdot 10^{-3}$. Atendendo ao ponto mais crítico, ver Figura 68, a estratégia passa por ajustar os perfis da plataforma de rotação (Suporte L) ao veio. Como o pior resultado foi obtido na posição a 90°, será essa que terá que ser otimizada, para depois se chegar a valores satisfatórios nas outras posições consideradas. Assim, a partir deste ponto, apenas se considera esta posição.

3.4.2.4. Simulações com elementos sólidos (ajustar os perfis da plataforma de rotação (suporte L) ao veio e reforçar zona com chapa encastrada no perfil HEB)

Como passo seguinte (simulação 6_1), considerou-se a alteração da ligação entre os perfis longitudinais da plataforma (suporte L) ao veio, adicionando chapas de reforço entre os perfis HEB e o veio, uma vez que a estrutura nessa zona crítica tem paredes muito finas e é uma zona que necessita ser convenientemente reforçada. A Figura 72 mostra em detalhe as alterações efectuadas.

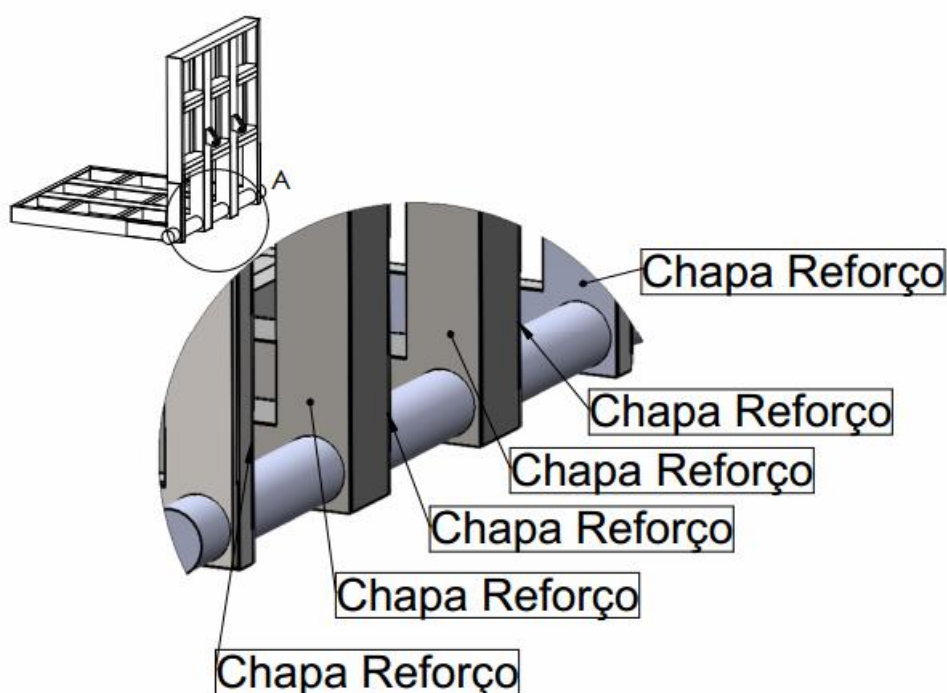


Figura 72 - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 6_1.

Os resultados gráficos da simulação 6_1 até à simulação 12_1 não são apresentados. São apenas apresentados os resultados obtidos numa tabela e mostrada uma imagem da zona crítica, dado que as simulações são similares variando apenas nos valores obtidos. Na Figura 73 é apresentado o ponto de tensão equivalente de von Mises máxima, zona crítica na simulação 6_1. São apresentados na Tabela 10 os resultados e em seguida tecidas as respectivas considerações aos resultados obtidos.

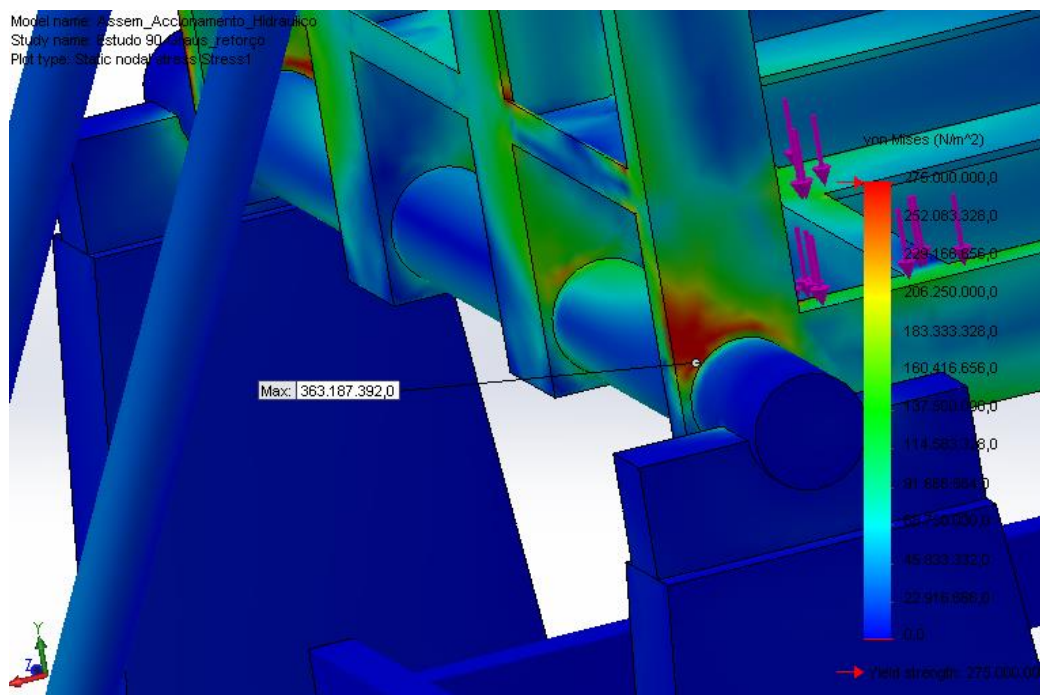


Figura 73 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação 6_1.

Tabela 10 - Dados e resultados obtidos para a simulação 6_1.

Nº Simulação	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
6_1	363,19 MPa	36,94 mm	$1,39 \cdot 10^{-3}$	0,76

Os resultados da simulação 6_1 ainda estão longe do satisfatório, obtendo-se um c.s. de 0,76, um deslocamento resultante de 36,94 mm e uma deformação resultante de $1,39 \cdot 10^{-3}$. Na próxima simulação a estrutura foi reforçada na zona demonstrada na Figura 73, ou seja, na zona crítica.

3.4.2.5. Simulações com elementos sólidos (reforçar zona de passagem do veio nas faces dos perfis UPN com perfis rectangulares)

Em função dos resultados obtidos anteriormente, a presente simulação (7_1) considera adicionalmente o reforço da zona crítica da simulação anterior (Simulação 6_1). Neste caso a solução foi reforçar a zona de passagem do veio nas faces dos perfis UPN do aro exterior com perfis rectangulares, conforme poderá ser apreciado na Figura 74. Na Figura 75 é apresentado o ponto de tensão equivalente de von Mises máxima, zona critica para a simulação 7_1.

São apresentados na Tabela 11 os resultados e em seguida tecidos os comentários aos resultados obtidos.

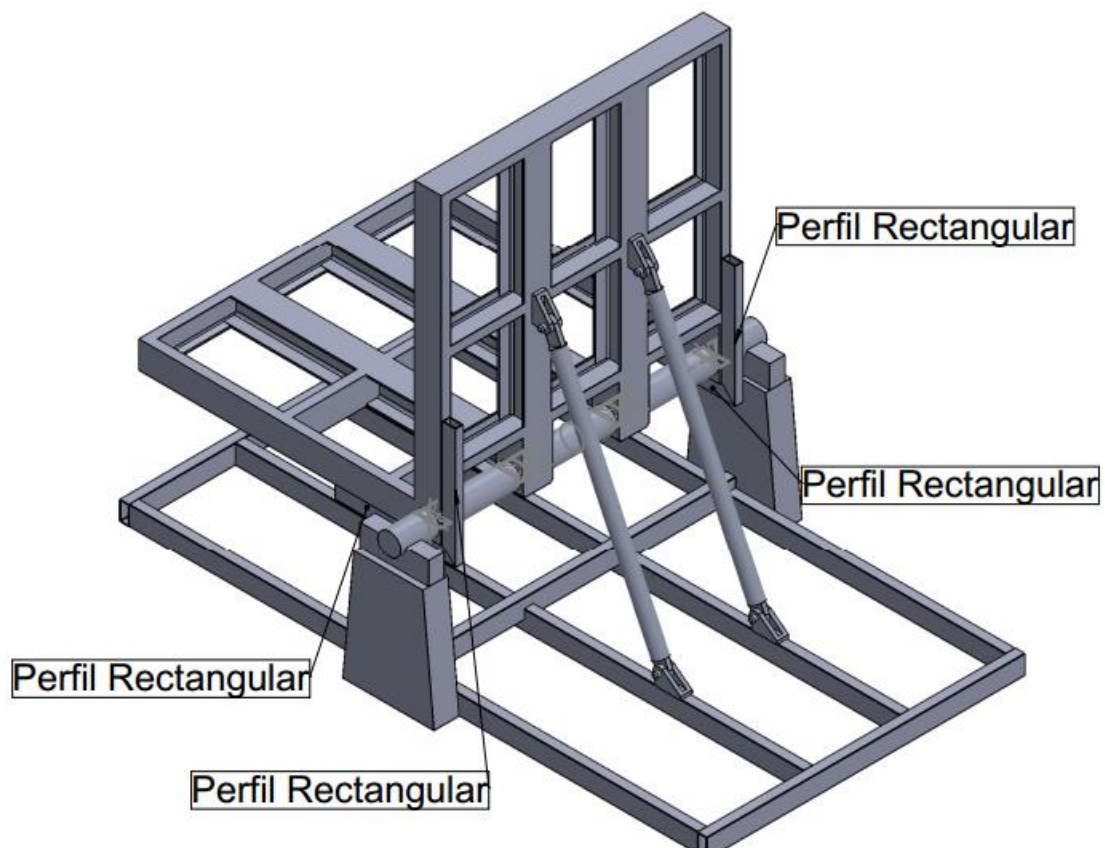


Figura 74 - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 7_1.

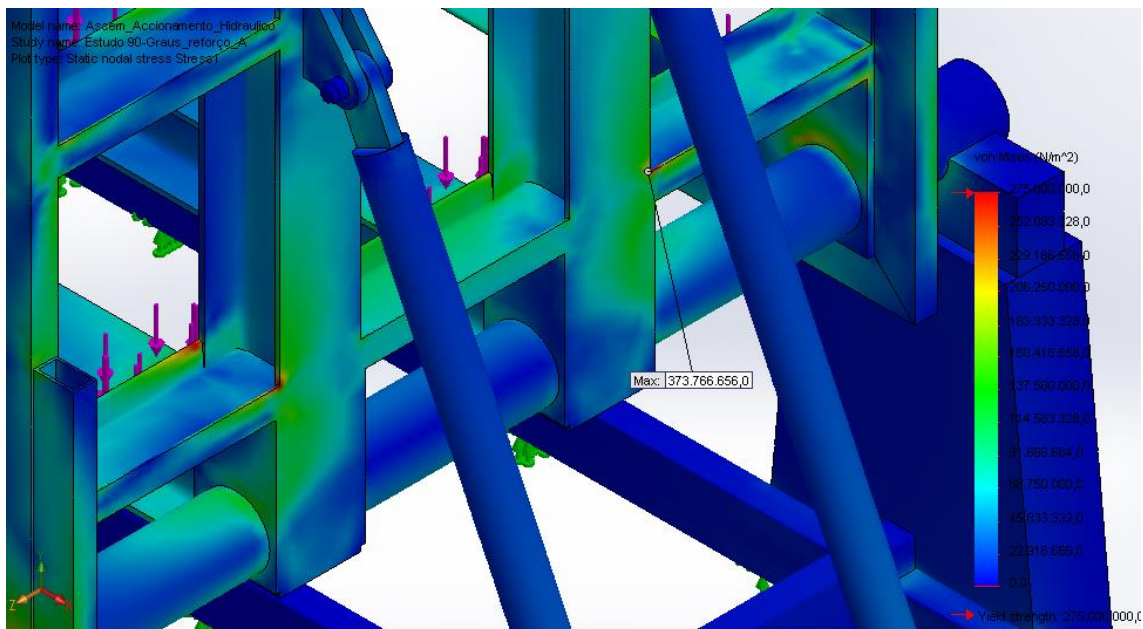


Figura 75 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação

7_1.

Tabela 11 - Dados e resultados para a simulação 7_1.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
7_1	373,77 MPa	30,78 mm	$1,32 \cdot 10^{-3}$	0,74

Os resultados da simulação 7_1 pioraram relativamente à simulação anterior, uma vez que a colocação destes perfis leva a que os perfis UPN que estão na transversal sejam sobrecarregados, uma vez que estão próximos da zona reforçada anteriormente, e a zona em causa do perfil tem espessura muito fina. Em função destes resultados, a simulação seguinte teve em consideração o reforço da zona demonstrada na Figura 75, considerada como zona crítica.

3.4.2.6. Simulações com elementos sólidos (reforçar zona de passagem do veio nas faces dos perfis HEB com perfis quadrados 220)

Na simulação 8_1 o objectivo passou por reforçar a zona crítica da simulação anterior (Simulação 7_1). Neste caso a solução adoptada consistiu em reforçar a zona de passagem do veio nas faces dos perfis HEB com perfis quadrados, conforme mostrado na Figura 76. Na Figura 77 é apresentado o ponto de tensão equivalente de von Mises máxima, zona crítica para a simulação 8_1. São apresentados na Tabela 12 os resultados e em seguida retiradas conclusões em relação aos resultados obtidos.

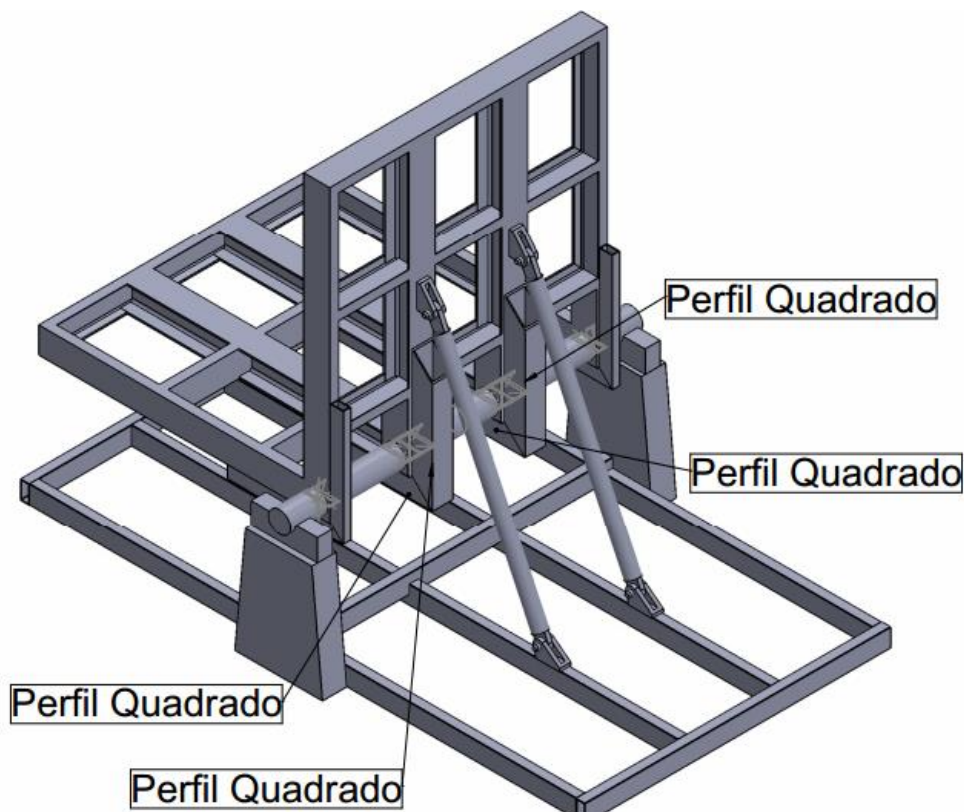


Figura 76 - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 8_1.

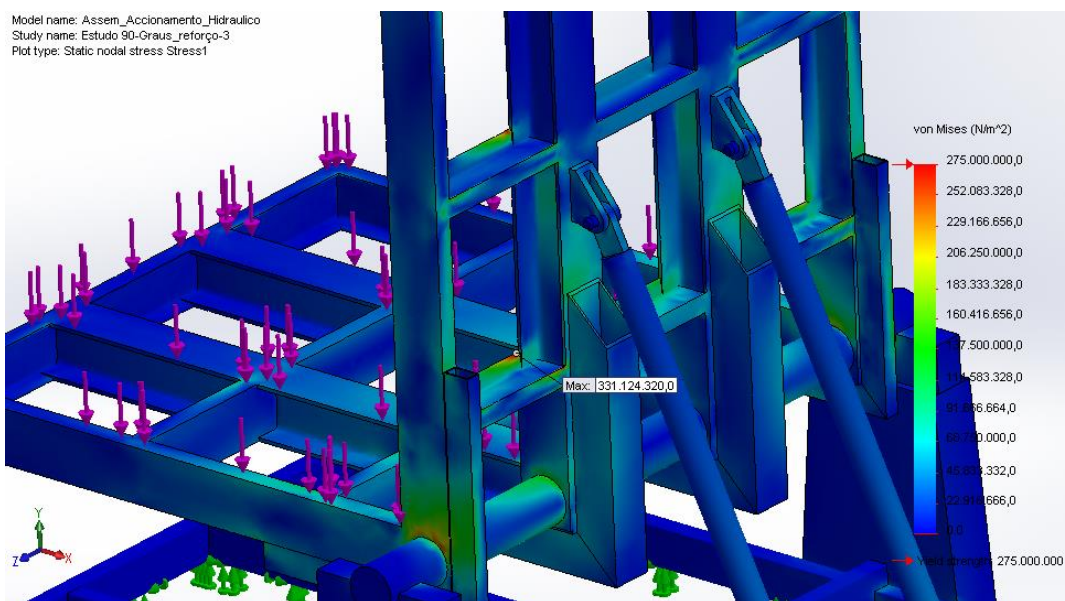


Figura 77 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação 8_1.

Tabela 12 - Dados e resultados para a simulação 8_1.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.S. (mínimo)
8_1	331,12 MPa	25,69 mm	$1,22 \cdot 10^{-3}$	0,83

Os resultados da simulação 8_1 ainda estão longe do satisfatório, obtendo-se um c.s. de 0,83, que é baixo, um deslocamento resultante de 25,69 mm e uma deformação resultante de $1,22 \cdot 10^{-3}$. A simulação seguinte contará com uma estrutura reforçada na zona indicada na Figura 77, zona crítica para que as tensões baixem e o c.s. seja incrementado.

3.4.2.7. Simulações com elementos sólidos (reforçar perfis UPN na transversal)

A simulação 9_1 teve como objectivo reforçar a zona crítica da simulação anterior (simulação 8_1). Neste caso, a solução foi reforçar a fila de perfis UPN transversais mais próximos do veio com chapas de reforço, conforme Figura 78. Na Figura 79 é apresentado o ponto de tensão equivalente de von Mises máxima, zona crítica para a simulação 9_1. A Tabela 13 apresenta os resultados obtidos e em seguida são traçadas as respectivas considerações sobre os resultados obtidos.

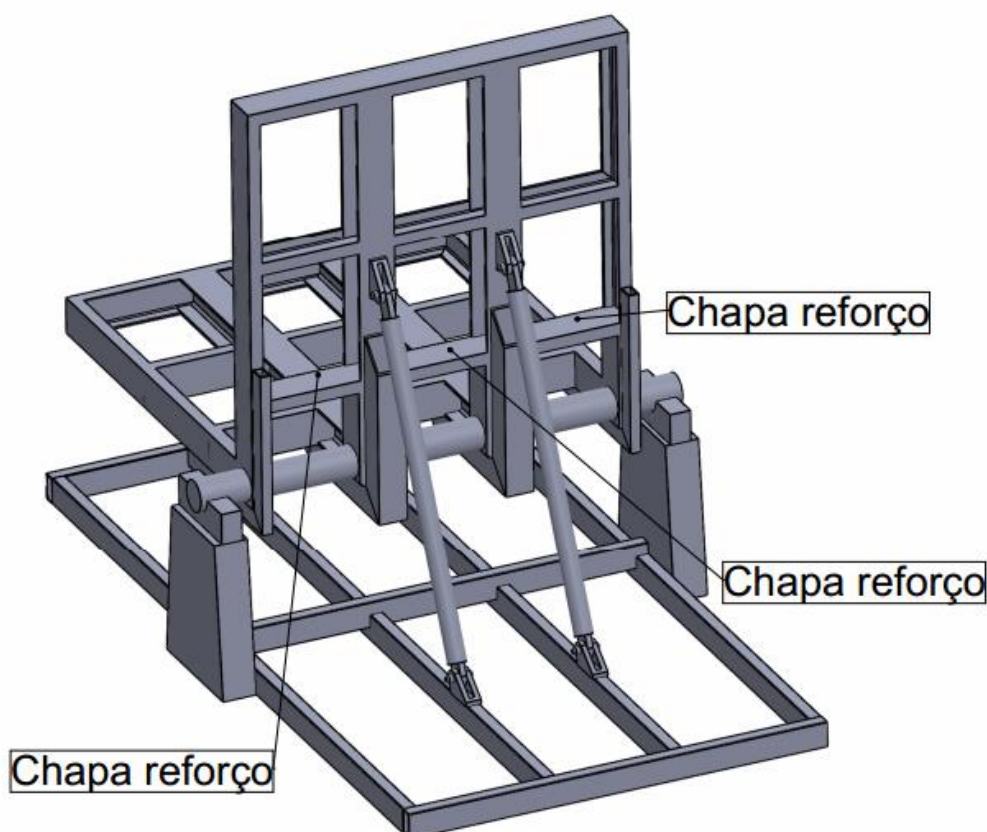


Figura 78 - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 9_1.

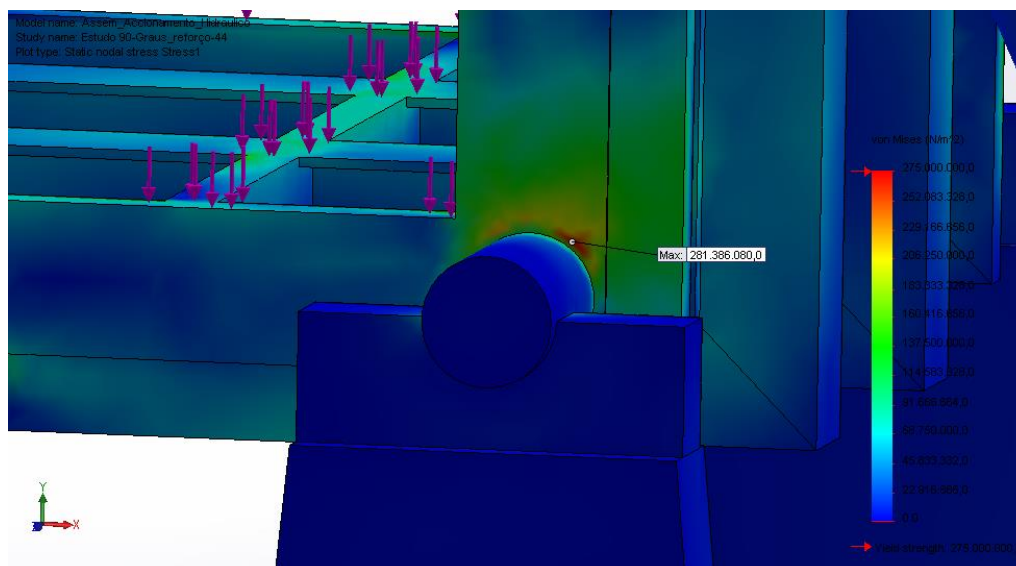


Figura 79 - Localização da região crítica da tensão equivalente de von Mises para a simulação 9_1.

Tabela 13 - Dados e resultados para a simulação 9_1.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
9_1	281,39 MPa	24,37 mm	$1,10 \cdot 10^{-3}$	0,98

Os resultados da simulação 9_1 ainda estão longe do satisfatório, obtendo-se um c.s. de 0,98, o que continua a ser escasso, embora próximo do factor 1. Na próxima simulação, a estrutura terá que ser reforçada na zona demonstrada na Figura 79, que representa a zona crítica da tensão equivalente de von Mises e, como tal, a zona a reforçar para conseguir a alteração do c.s. mínimo da estrutura.

3.4.2.8. Simulações com elementos sólidos (reforçar com chapas perfis UPN exterior junto a chumaceira)

Na simulação 10_1, o objectivo passou por reforçar a zona crítica da simulação anterior (simulação 9_1). Neste caso a solução foi reforçar os perfis UPN do aro exterior na zona do veio com chapas soldadas conforme o mostrado na Figura 80. Na Figura 81 é apresentado o ponto de tensão equivalente de von Mises máxima, zona crítica para a simulação 10_1. Na Tabela 14 são apresentados os resultados da simulação 10_1 e em seguida analisados os resultados obtidos.

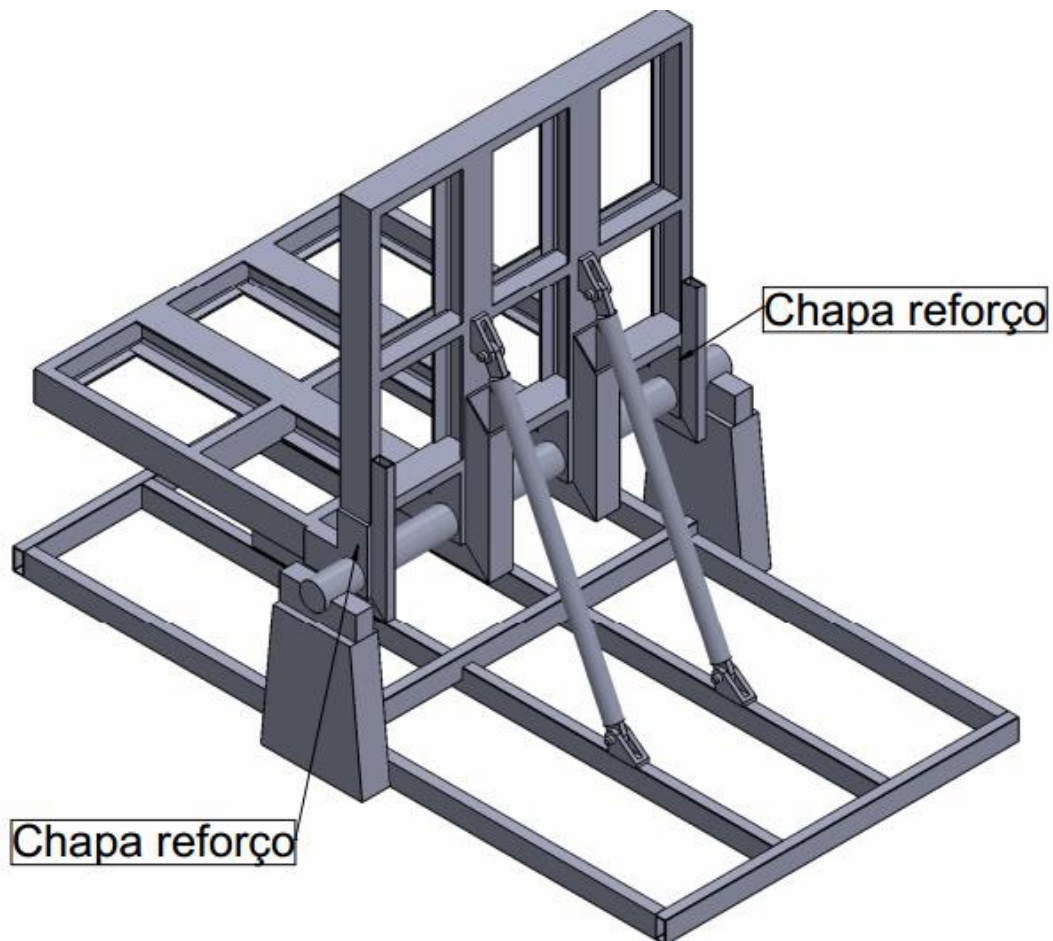


Figura 80 - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 10_1.

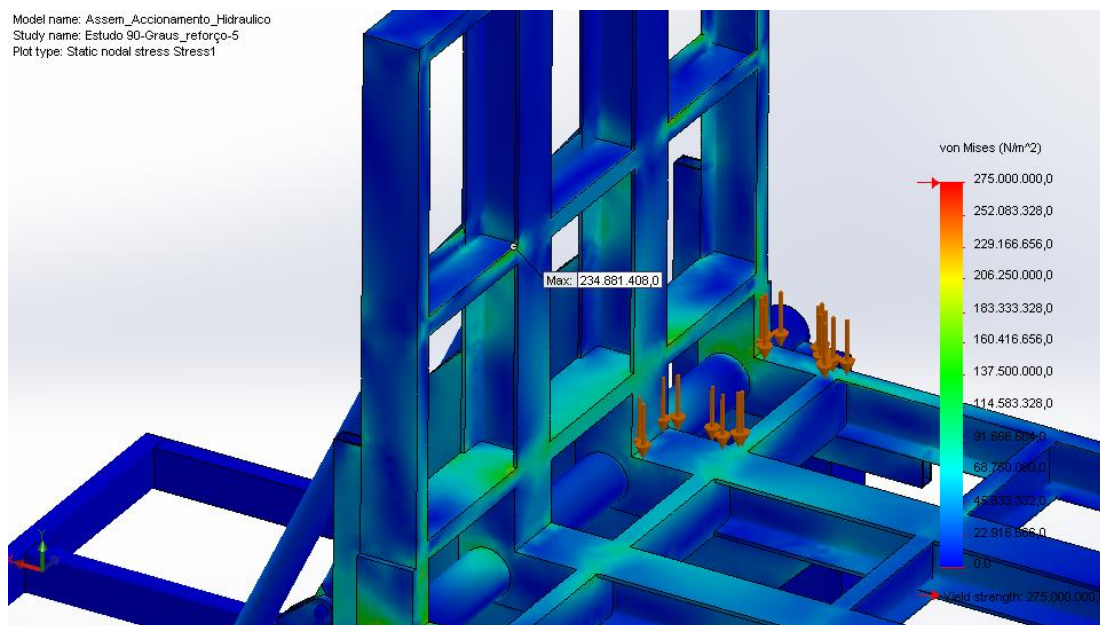


Figura 81 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação 10_1.

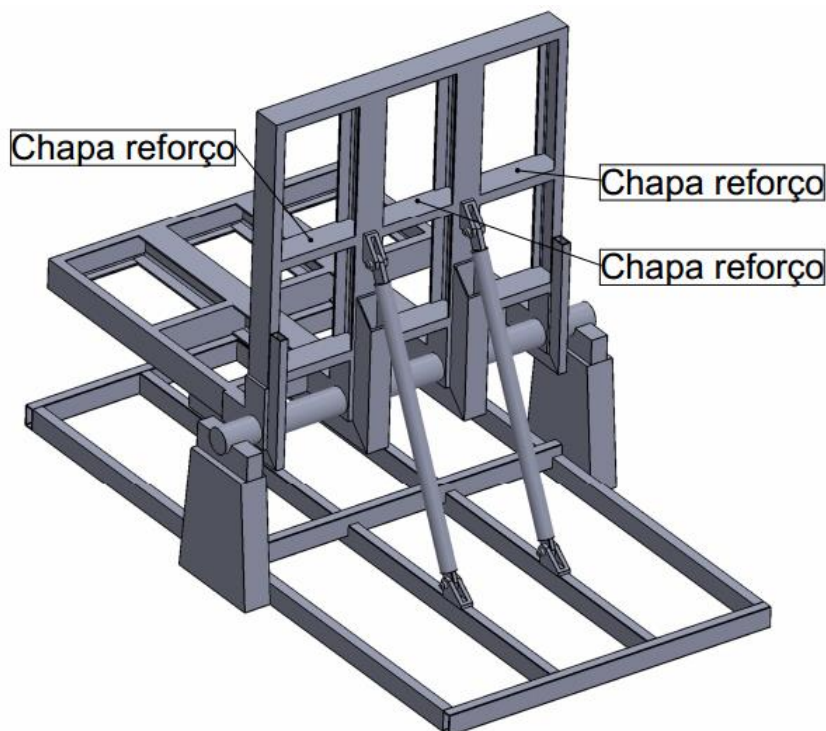
Tabela 14 - Dados e resultados para a simulação 10_1.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
10_1	234,88 MPa	21,30 mm	$0,88 \cdot 10^{-3}$	1,17

Os resultados da simulação 10_1 apresentam resultados mais satisfatórios, obtendo-se um c.s. de 1,17, que no entanto ainda se encontra aquém do estipulado nos requisitos do projecto. A próxima simulação terá de ser reforçada na zona demonstrada na Figura 81, zona crítica a melhoria do desempenho da estrutura.

3.4.2.9. Simulações com elementos sólidos (reforçar perfis UPN na transversal mais afastados do veio)

Na simulação 11_1, o objectivo passou por reforçar a zona crítica da simulação anterior (Simulação 10_1). Neste caso a solução foi reforçar a zona dos perfis UPN transversais mais afastados do veio central, ver Figura 82. Na Figura 83 é apresentado o ponto de tensão máxima, zona crítica para a simulação 11_1. Na Tabela 15 são apresentados os resultados obtidos e em seguida apresentadas conclusões em relação aos mesmos.

**Figura 82** - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 11_1.

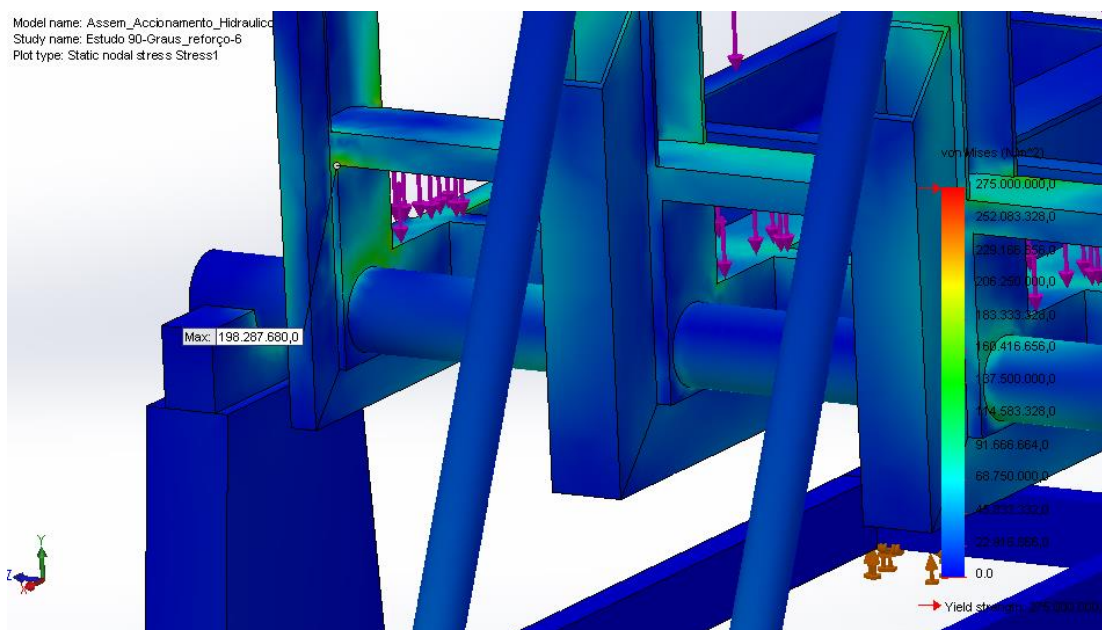


Figura 83 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação 11_1.

Tabela 15 - Dados e resultados para a simulação 11_1.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
11_1	198,29 MPa	20,80 mm	0,76*10 ⁻³	1,39

Os resultados da simulação 11_1 ainda não são satisfatórios, obtendo-se um c.s. de 1,39, o que continua a ser escasso, no entanto aproxima-se do valor pretendido. A próxima simulação visa reforçar a estrutura na zona crítica desta simulação 11_1, para que o c.s. atinja os valores mínimos estipulados de 2.

3.4.2.10. Simulações com elementos sólidos (reforçar com 2 perfis UPN na transversal)

A simulação 12_1 teve como objectivo reforçar a zona crítica da simulação anterior (Simulação 11_1). Neste caso a solução foi reforçar todos os perfis UPN transversais, pela duplicação dos mesmos e soldadura em rectângulo fechado, retirando as chapas de reforço adicionadas anteriormente nas simulações 9_1 e 11_1, conforme o ilustrado na Figura 84. Na Figura 85 é apresentado o ponto de tensão equivalente de von Mises máxima, zona crítica para a

simulação 12_1. A Tabela 16 apresenta os resultados obtidos para a simulação 12_1 e em seguida as conclusões sobre a mesma.

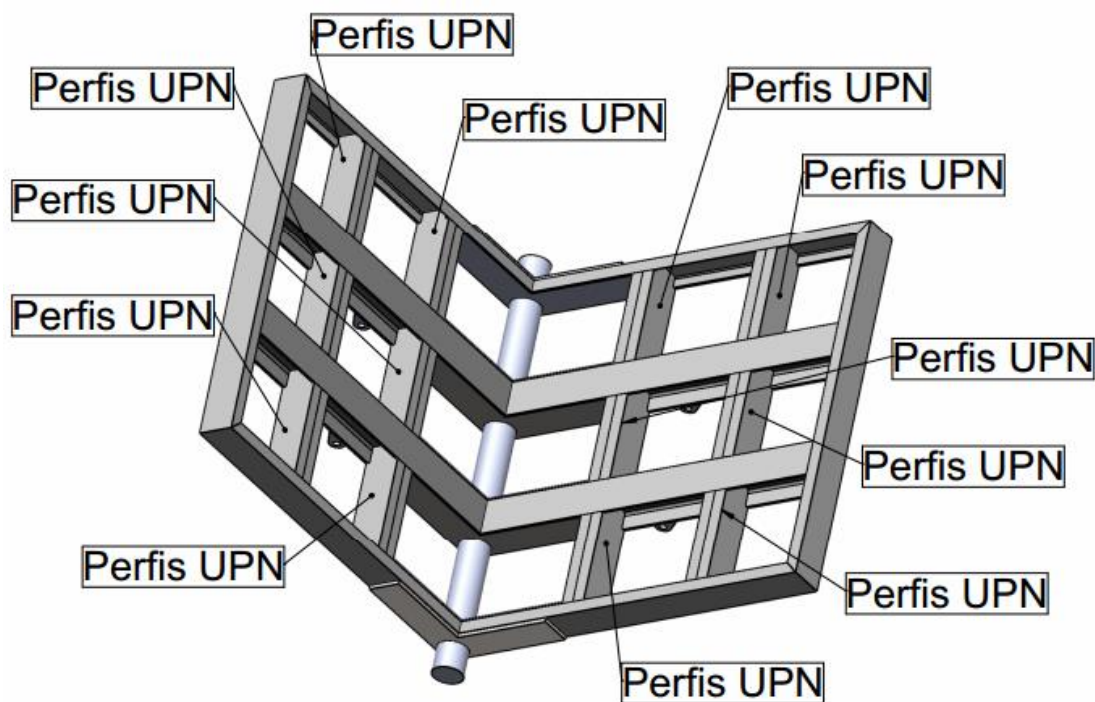


Figura 84 - Configuração dos elementos acrescentados para a simulação 12_1.

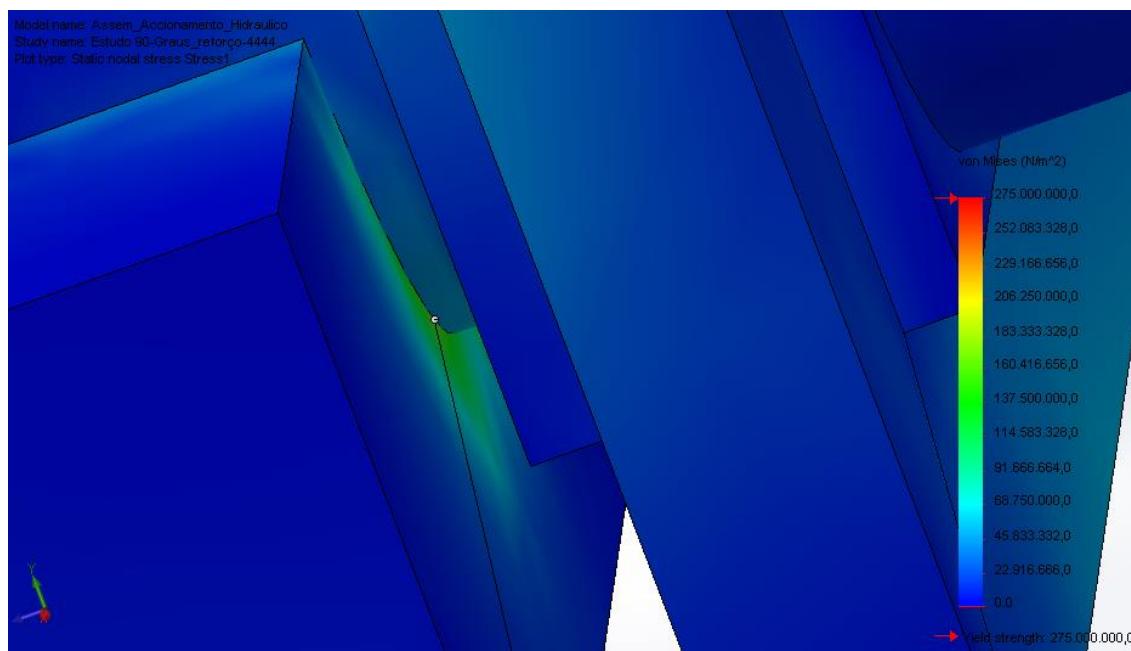


Figura 85 - Localização da região crítica de tensão equivalente de von Mises para a simulação 12_1.

Tabela 16 - Dados e resultados para a simulação 12_1.

Nº Sim.	Tensão eq. von Mises (máximo)	Deslocamento resultante (máximo)	Deformação resultante (máximo)	c.s. (mínimo)
12_1	164,52 MPa	14,49 mm	$0,53 \cdot 10^{-3}$	1,67

O c.s. mínimo obtido para a simulação 12_1 ainda não atinge o valor de projecto, sendo igual a 1,67. Considera-se no entanto a estrutura como sendo a final, uma vez que a zona crítica é localizada na chumaceira, que está dimensionada pelo fabricante em função da carga que deve suportar, pelo que se considera estar correctamente dimensionada. Logo, este será o ponto mais sensível do equipamento, assegurando que a segurança na estrutura será superior à espelhada pelo c.s. obtido. Considera-se desta forma a presente estrutura como sendo a estrutura final do projecto.

Uma outra possibilidade para incrementar o c.s. seria a alteração do material da estrutura, de S275 para S355, obtendo um c.s. superior a 2.

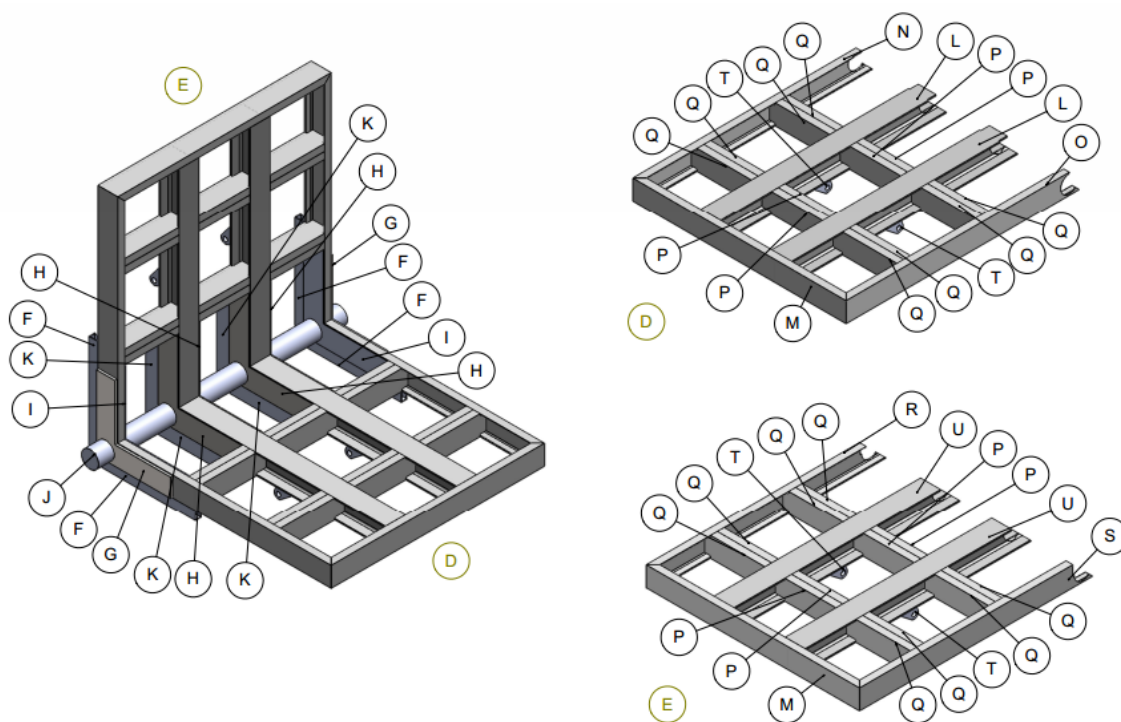


Figura 87 - Identificação dos componentes correspondentes ao suporte em “L” (subconjunto identificado com a letra B), D – suporte horizontal e E – suporte vertical.

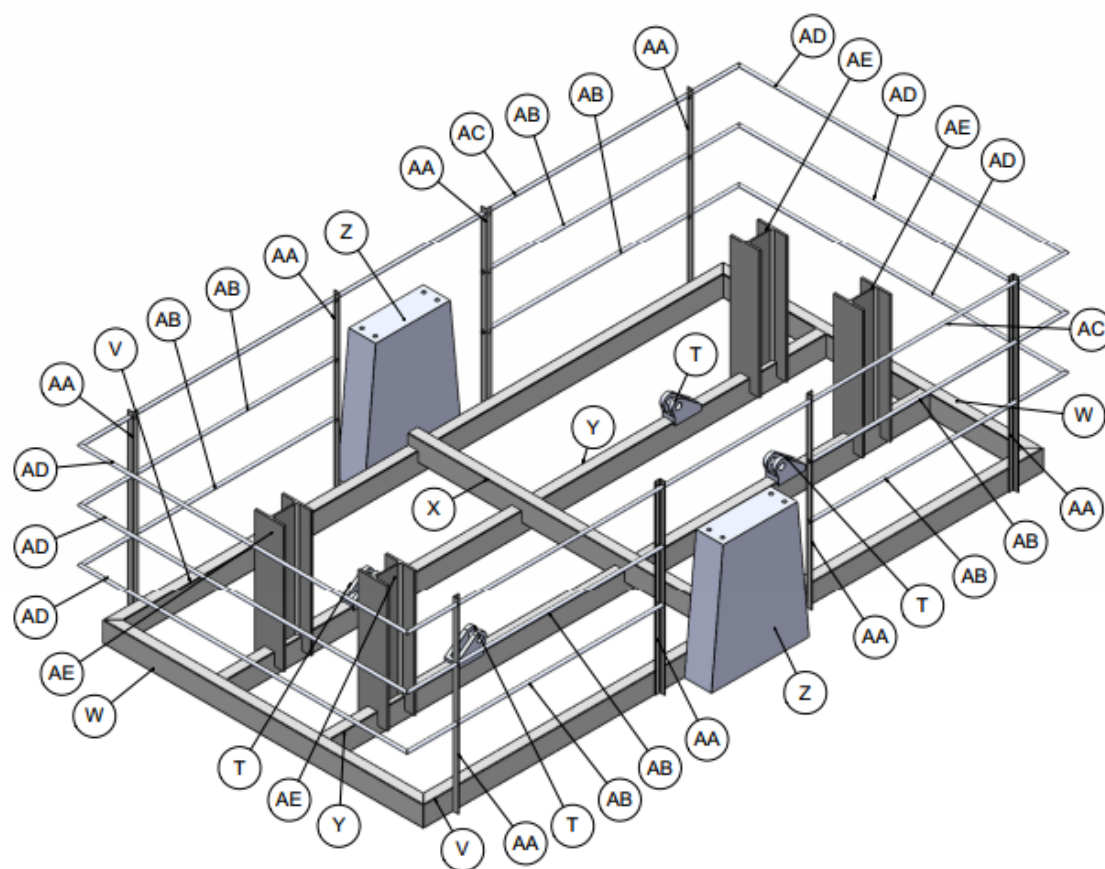


Figura 88 - Identificação dos componentes da base (subconjunto identificado com a letra C).

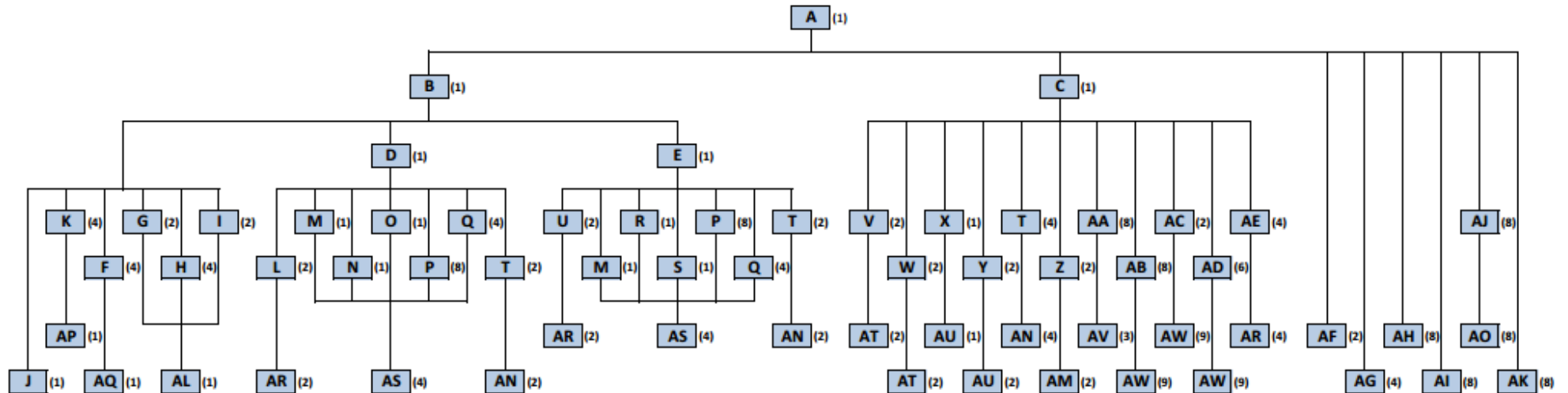


Figura 89 - Árvore do produto.

Nív	Cód	Designação	Nív	Cód	Designação	Nív	Cód	Designação	Nív	Cód	Designação
0	A	Equipamento de Rotação	3	N	Perfil UPN 280x95x10x3280_2	3	AA	Cantoneira 50x50x5x1800	4	AN	Bloco 285x207.5x120
1	B	Suporte L	3	O	Perfil UPN 280x95x10x3280_3	3	AB	Tubo_Ø26,9x2,3x2500	4	AO	Varão Ø90x175
1	C	Base	3	P	Perfil UPN 280x95x10x984,5_4	3	AC	Tubo_Ø26,9x2,3x6400	4	AP	Perfil Quadrado 220x6000
2	D	Suporte Horizontal	3	Q	Perfil UPN 280x95x10x989_5	3	AD	Tubo_Ø26,9x2,3x3186,9	4	AQ	Perfil 140x80x8x6000
2	E	Suporte Vertical	3	R	Perfil UPN 280x95x10x3280_6	3	AE	Coluna Suporte Estrutura	4	AR	Perfil HEB 280x6000
3	F	Perfil 140x80x8x1500	3	S	Perfil UPN 280x95x10x3280_7	4	AF	Chumaceira	4	AS	Perfil UPN 280x6000
3	G	Chapa_R1_1040x1040x30	3	T	Fixação Hidráulico	4	AG	Cilind. Hidráulico Telescópico	4	AT	Perfil 200x100x10x6000
3	H	Chapa_R2_1180x1180x30	3	U	Perfil HEB280x3270_2	4	AH	Parafuso M36x140	4	AU	Perfil 200x100x6000
3	I	Chapa_R3_1180x1180x30	3	V	Perfil_200x100x10x6000	4	AI	Anilha Plana M36	4	AV	Perfil Cantoneira 50x50x5x6000
4	J	Varão Ø240x3500	3	W	Perfil_200x100x10x3100	3	AJ	Pino rotação	4	AW	Tubo_Ø26,9x2,3x6000
3	K	Perfil Quadrado_220x1400	3	X	Perfil_200x100x3100	4	AK	Freio DIN471-58			
3	L	Perfil HEB280x3270_1	3	Y	Perfil_200x100x5800	4	AL	Chapa 4000x2000x30			
3	M	Perf_UPN280x95x10x3000_1	3	Z	Suporte Chumaceira	4	AM	Bloco 1200x945x260			

Tabela 17 - Códigos e designações de componentes e respectivos subconjuntos para a montagem final (dimensões em mm).

3.4.4. Desenhos de pormenor

Neste subcapítulo são apresentados alguns dos pormenores mais significativos do projecto, nomeadamente as ligações entre sistema de accionamento e estrutura, estrutura e chumaceiras e ligações entre componentes. Os desenhos 2D de todos os componentes para fabrico estão apresentados no anexo VII.

Um dos pormenores importantes desenvolvidos na estrutura foi a implementação de cilindros hidráulicos telescópicos. Depois de conhecidas as suas características geométricas, estes foram aplicados mediante o espaço ocupado na posição de recuo, conjugando-a com a posição em avanço máximo, ver Figura 90. A ficha técnica dos cilindros telescópicos está no anexo V.

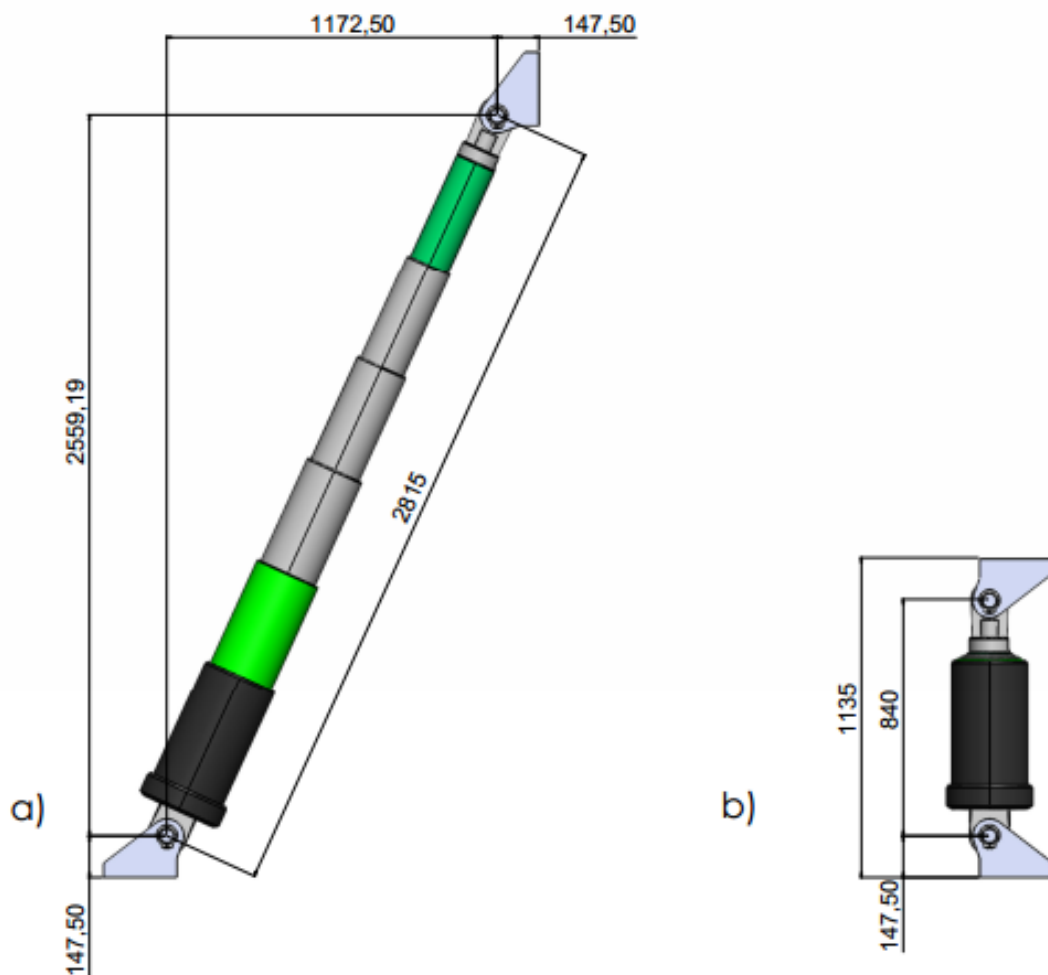


Figura 90 - Cilindros hidráulicos telescópicos de simples efeito: (a) posição avançada e (b) posição recuada.

É também de realçar a ligação dos cilindros hidráulicos à estrutura, numa das extremidades, por meio de um componente de apoio fixo à base, e na outra por apoio fixo ao suporte em “L”. Em ambos os casos, a ligação é feita por um pino de rotação e freio, ver Figura 91. Esta ligação foi concebida partindo do princípio que teria de permitir a rotação em torno do eixo correspondente ao alojamento das fixações do hidráulico nos cilindros hidráulicos, o que permite respeitar as dimensões para as quais os cilindros telescópicos foram dimensionados.

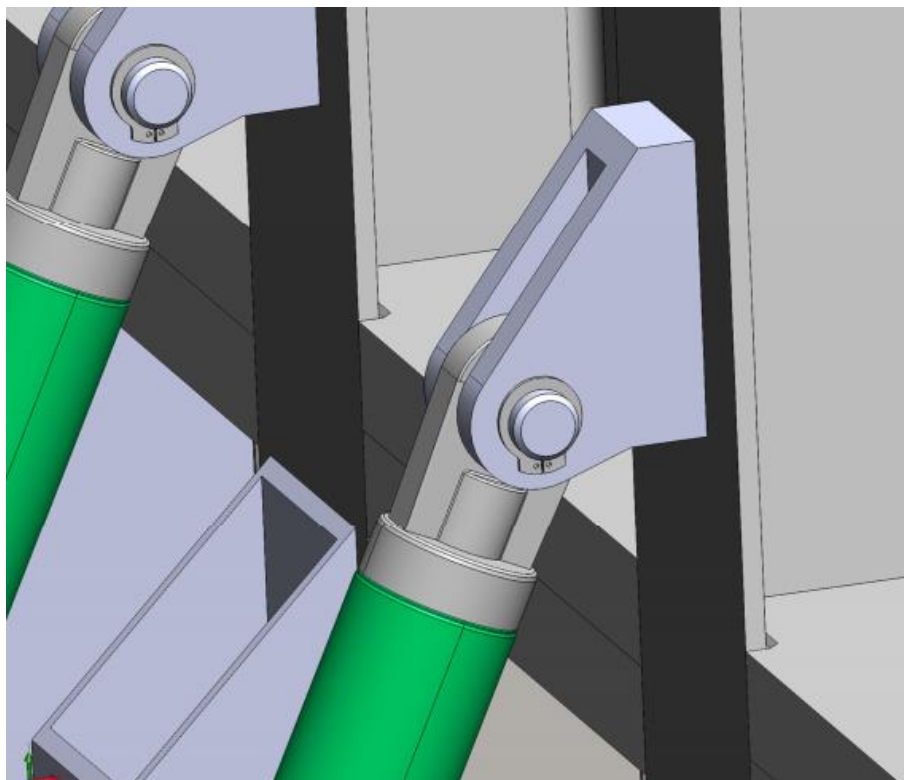


Figura 91 – Ligação dos Cilindros hidráulicos à estrutura.

Um pormenor importante a considerar na construção da estrutura foi a ligação entre o veio do suporte em “L” e as chumaceiras, mais especificamente a chumaceira de rolos, que foi seleccionada por ter uma área de contacto maior, ver Figura 92.

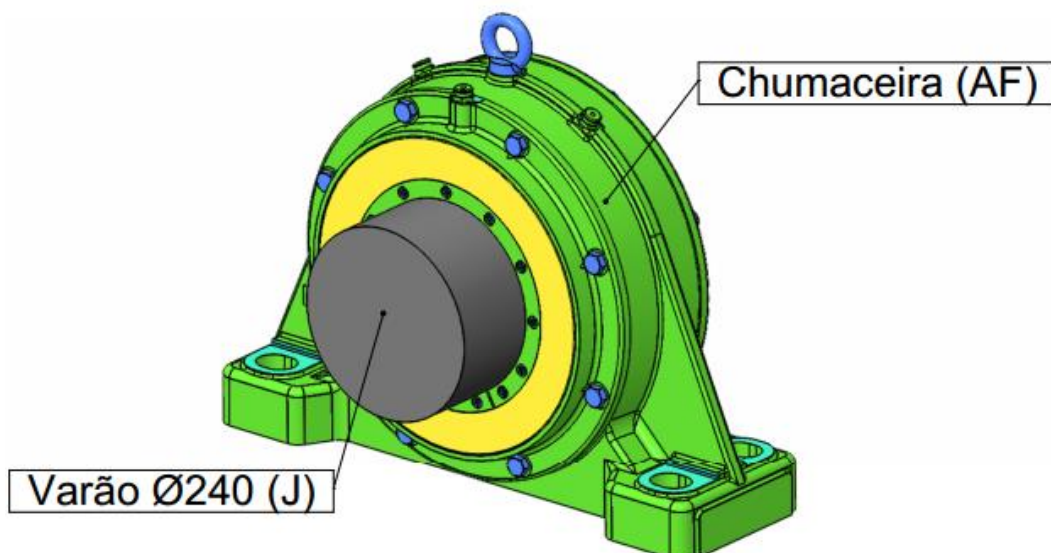


Figura 92 - Ligação entre a chumaceira de rolos e veio.

Existem dois subconjuntos que serão maioritariamente constituídos por perfis normalizados, que serão ligados através do processo de soldadura. Esta opção ficou a dever-se essencialmente ao factor económico. Os subconjuntos são o suporte em “L” e a base, ver Figura 93 e Figura 94 respectivamente, cuja sequência de soldadura será explicada no subcapítulo seguinte.

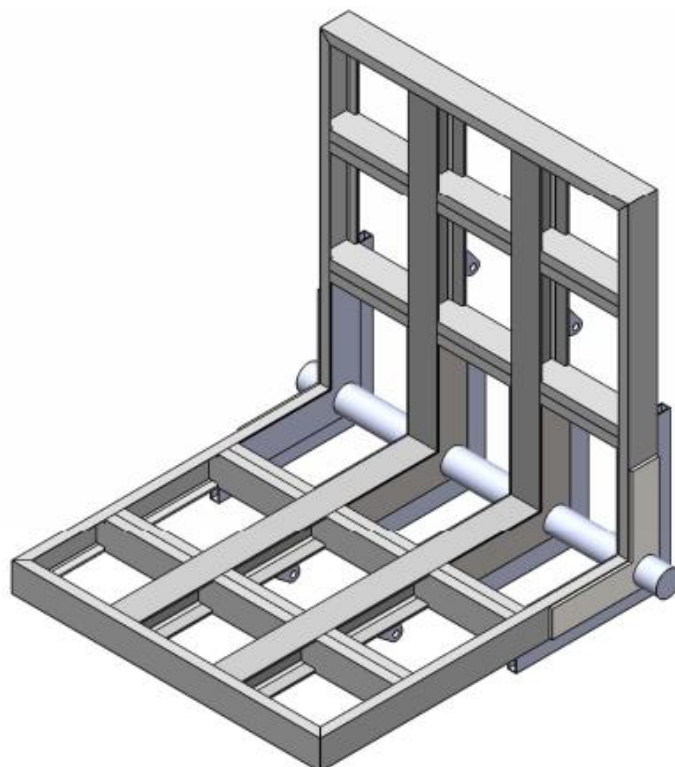


Figura 93 – Subconjunto Suporte em “L”: ligação de todos os componentes através do processo de soldadura.

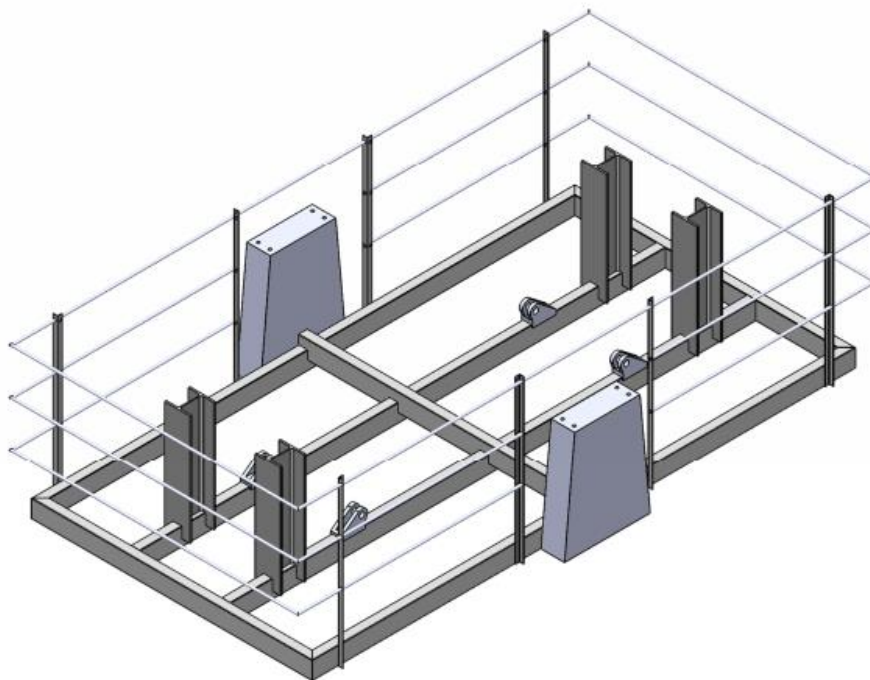


Figura 94 – Subconjunto base: ligação de todos os componentes através do processo de soldadura.

3.4.5. Seleção dos processos de fabrico e parâmetros para o fabrico

Os processos de fabrico envolvidos na construção do equipamento são o serrote de fita, a soldadura, o corte por plasma e a maquinação CNC. Os equipamentos necessários para a produção do produto são: um serrote, uma máquina plasma CNC, uma máquina CNC de 3 eixos, máquinas de soldadura MIG-MAG e um torno convencional. De seguida será apresentado como exemplo um equipamento para cada um dos processos referidos anteriormente.

O serrote apresentado na Figura 95, da marca IMET, é o modelo Basic 230/60 GH – AUTOCUT. O serrote servirá para cortar os tubos utilizados para a protecção do equipamento, e que serão posteriormente soldados às cantoneiras (componente AA), pertencentes à base (C).



Figura 95 – Serrote de fita.

Alguns dos parâmetros de fabrico para o serrote seleccionado são apresentados na Figura 96.

	0°	220	200	240x120	3~	1 0 2	0.55/0.75	30/60	mm. 240
	45°	130	120	150x80	1~	1	1.1	60	
	60°	70	60	50x100					

Figura 96 – Características técnicas do serrote de fita.

Dada a elevada espessura dos elementos da plataforma (chapas até 30 mm de espessura), o corte dos componentes pode ser efectuado por plasma.

Na Figura 97, está representada a máquina de corte por plasma CNC, da marca IEHK, modelo IEP 3015, equipamento que será utilizado para cortar todas as chapas de reforço.



Figura 97 – Exemplo de equipamento de corte por plasma CNC.

Na Figura 98 é apresentada uma fresadora CNC, da marca Mikron modelo WF21C. Este equipamento deverá ser utilizado para maquinar todas as peças que necessitem de superfícies de contacto mais exigentes, ou possuam geometria mais complexa.



Figura 98 - Imagem da fresadora CNC.

Na Figura 99 é apresentado um torno convencional, da marca Pinhacho modelo 500x1000. O torno será apenas utilizado para produzir o pino de rotação (peça de revolução).



Figura 99 - Imagem de um torno convencional.

Para a estrutura em questão optou-se pela soldadura MAG, visto ser uma soldadura que se adequa ao tipo de material de todos os componentes e que permite um custo mais baixo.

Na Figura 100 é apresentada uma máquina de soldadura MIG-MAG, da marca FRONIUS modelo VarioSynergic 3400 CO₂. O equipamento é utilizado para soldar todos os componentes cuja ligação é soldada. Na Tabela 18 são apresentados os parâmetros de funcionamento dessa máquina, os quais podem ser ajustados consoante as condições necessárias a cada uma das operações a efectuar.

Tabela 18 – Parâmetros para a soldadura MAG fornecidos pelo fabricante.

Tensão de Trabalho MIG/MAG: 14,5 - 31,0	V
Intensidade de corrente c/ Factor de Marcha (10 min/40 ° C) @ 35%: 340	A
Intensidade de corrente c/ Factor de Marcha (10 min/40 ° C) @ 35%: 200	A
Intensidade de corrente c/ Factor de Marcha (10 min/25 ° C) @ 35%: 340	A
Intensidade de corrente c/ Factor de Marcha (10 min/25 ° C) @ 35%: 210	A
Potência Continua Primária: 6,2	kVa



Figura 100 – Máquina de soldar pelo processo MIG-MAG.

Para facilitar a apresentação de todas as operações efectuadas para a produção do equipamento, foi atribuído um código a cada posto de trabalho, identificando o respectivo equipamento, conforme expresso na Tabela 19.

Tabela 19 - Códigos atribuídos a cada posto de trabalho.

Posto trabalho	Equipamento
PT1	Serrote
PT2	Plasma CNC
PT3	Torno Convencional
PT4	Máquina Soldar MIG/MAG
PT5	Máquina Soldar MIG/MAG
PT6	Máquina Soldar MIG/MAG
PT7	Máquina Soldar MIG/MAG
PT8	Máquina CNC 3 eixos
PM1	Posto de Montagem 1
PM2	Posto de Montagem 2
PM3	Posto de Montagem 3
PM4	Posto de Montagem 4
PM5	Posto de Montagem 5

As gamas operatórias para cada peça estão anexadas nos respectivos desenhos. No entanto, nas Tabela 20 e 21 é mostrada essa gama operatória.

Tabela 20 - Gama operatória.

Nº	Nível	Código Peça	Qtd. Peças	Código Posto	Operação	Código origem
1	0	A	1	PM5	Montar	B+C+2AF+4AG +8AH+8AI+8AJ+8AK
2	1	B	1	PM4	Montar	J+4K+4F+2G+4H+2I
3				PT7	Soldar MAG	
4	1	C	1	PM3	Montar	2V+2W+X+2Y+2Z+4T+8AA+8AB+2AC +6AD+4AE
5				PT6	Soldar MAG	
6	4	D	1	PM2	Montar	2L+M+N+O+8P+4Q+2T
7				PT5	Soldar MAG	
8	4	E	1	PM1	Montar	2U+M+R+S+8P+4Q+2T
9				PT4	Soldar MAG	
10	2	F	4	PT2	Cortar Plasma	AQ
11	2	G	2	PT2	Cortar Plasma	AL
12				PT8	Maquinar CNC	G'
13	2	H	4	PT2	Cortar Plasma	AL
14				PT8	Maquinar CNC	H'

Tabela 21 - Continuação da gama operatória.

<i>Nº</i>	<i>Nível</i>	<i>Código Peça</i>	<i>Qt. Peças</i>	<i>Código Posto</i>	<i>Operação</i>	<i>Código Origem</i>
15	2	I	2	PT2	Cortar Plasma	AL
16				PT8	Maquinar CNC	I'
17	2	K	4	PT2	Cortar Plasma	AP
18	5	L	2	PT2	Cortar Plasma	AR
19	5	M	2	PT2	Cortar Plasma	AS
20	5	N	1	PT2	Cortar Plasma	AS
21	5	O	1	PT2	Cortar Plasma	AS
22	5	P	16	PT2	Cortar Plasma	AS
23	5	Q	8	PT2	Cortar Plasma	AS
24	5	R	1	PT2	Cortar Plasma	AS
25	5	S	1	PT2	Cortar Plasma	AS
26	5	T	8	PT8	Torneamento Convencional	AN
27	5	U	1	PT2	Cortar Plasma	AR
28	5	V	2	PT2	Cortar Plasma	AT
29	5	W	2	PT2	Cortar Plasma	AT
30	5	X	1	PT2	Cortar Plasma	AU
31	5	Y	2	PT2	Cortar Plasma	AU
32	5	Z	2	PT8	Maquinar CNC	AM
33	5	AA	8	PT2	Cortar Plasma	AV
34	5	AB	8	PT1	Cortar serrote	AW
35	5	AC	2	PT1	Cortar serrote	AW
36	5	AD	6	PT1	Cortar serrote	AW
37	5	AE	4	PT2	Cortar Plasma	AR
38	4	AJ	8	PT2	Cortar Plasma	AO
39				PT3	Maquinar CNC	AJ'

Na Figura 101 pode ser observada uma previsão do diagrama de processo. O diagrama de processo segue graficamente o exposto na gama operatória, desde a matéria-prima até ao produto final.

Tabela 22 - Estimativa de tempos.

Nº	Nível	Código Peça	Qt. Peças	Código Posto	Tempo Preparação	Tempo Realização	Tempo Unitário
1	0	A	1	PM5	240,0 min	300,0 min	540,0 min
2	1	B	1	PM4	240,0 min	240,0 min	480,0 min
3				PT7	30,0 min	600,0 min	630,0 min
4	1	C	1	PM3	360,0 min	480,0 min	840,0 min
5				PT6	30,0 min	1080,0 min	1110,0 min
6	4	D	1	PM2		180,0 min	180,0 min
7				PT5	30,0 min	600,0 min	630,0 min
8	4	E	1	PM1		180,0 min	180,0 min
9				PT4	30,0 min	600,0 min	630,0 min
10	2	F	4	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
11	2	G	2	PT2	30,0 min	7,5 min	37,5 min
12				PT8	5,0 min	10,0 min	15,0 min
13	2	H	4	PT2	30,0 min	7,5 min	37,5 min
14				PT8	5,0 min	10,0 min	15,0 min
15	2	I	2	PT2	30,0 min	7,5 min	37,5 min
16				PT8	5,0 min	10,0 min	15,0 min
17	2	K	4	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
18	5	L	2	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
19	5	M	2	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
20	5	N	1	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
21	5	O	1	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
22	5	P	16	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
23	5	Q	8	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
24	5	R	1	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
25	5	S	1	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
26	5	T	8	PT8	15,0 min	16,0 min	31,0 min
27	5	U	1	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
28	5	V	2	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
29	5	W	2	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
30	5	X	1	PT2	6,0 min	2,0 min	8,0 min
31	5	Y	2	PT2	6,0 min	2,0 min	8,0 min
32	5	Z	2	PT8	35,0 min	22,0 min	57,0 min
33	5	AA	8	PT2	6,0 min	2,0 min	8,0 min
34	5	AB	8	PT1	6,0 min	1,5 min	7,5 min
35	5	AC	2	PT1	6,0 min	1,5 min	7,5 min
36	5	AD	6	PT1	6,0 min	1,5 min	7,5 min
37	5	AE	4	PT2	5,0 min	7,0 min	12,0 min
38	4	AJ	8	PT2	2,0 min	1,0 min	3,0 min
39				PT3	6,0 min	2,5 min	8,5 min
						Total	5691,5 min

Na Tabela 23 é apresentado o resumo da estimativa de tempos por PT, para que haja uma noção das implicações do fabrico da estrutura em cada um deles, estudo que é igualmente importante para o subcapítulo 3.4.7. onde é efectuado o cálculo da estimativa de custos.

Tabela 23 -Resumo da estimativa de tempos por PT.

	Tempo total PT (minutos)	Tempo total PT	Tempo total PT somatório
PT1	22,5 min	0,4 Horas	0,4 Horas
PT2	307,5 min	5,1 Horas	5,1 Horas
PT3	96,5 min	1,6 Horas	1,6 Horas
PT4	630,0 min	10,5 Horas	50,0 Horas
PT5	630,0 min	10,5 Horas	
PT6	1110,0 min	18,5 Horas	
PT7	630,0 min	10,5 Horas	
PT8	45,0 min	0,8 Horas	0,8 Horas
PM1	180,0 min	3,0 Horas	37,0 Horas
PM2	180,0 min	3,0 Horas	
PM3	840,0 min	14,0 Horas	
PM4	480,0 min	8,0 Horas	
PM5	540,0 min	9,0 Horas	
		Total	94,9 Horas

De seguida, e de forma resumida, é explicada a forma como a matéria-prima foi otimizada para a produção dos respectivos componentes, tendo em conta as medidas normalizadas existentes no mercado (o comprimento de fornecimento das matérias primas será 6 m ou 12):

1. Corte dos tubos em serrote mecânico, para soldar as cantoneiras no subconjunto da base. Nos tubos será efectuado o melhor aproveitamento possível, causando o menor desperdício possível, ver Figura 102.

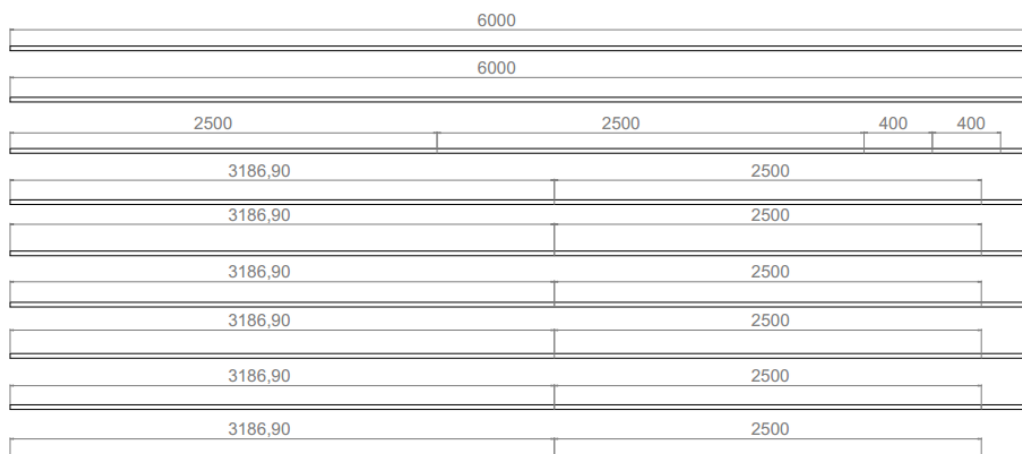


Figura 102 – Otimização para corte de tubos.

2. Corte por plasma de todos os componentes constituídos por perfis normalizados (perfis HEB, UPN, quadrados, vários tipos de rectangulares e cantoneiras). Quando se efectua uma encomenda de perfis normalizados, tendo em atenção as medidas normalizadas (6 ou 12 m de comprimento), foi realizada uma optimização para todos os tipos de perfis, efectuando o melhor aproveitamento possível, ou seja, tendo o menor desperdício possível, conforme exposto nas Figura 103, 104, 105, 106, 107, 108 e 109.

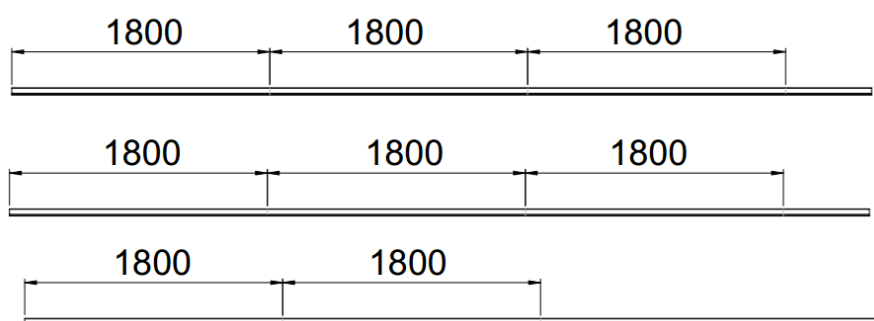


Figura 103 - Optimização das cantoneiras 50x50x5.

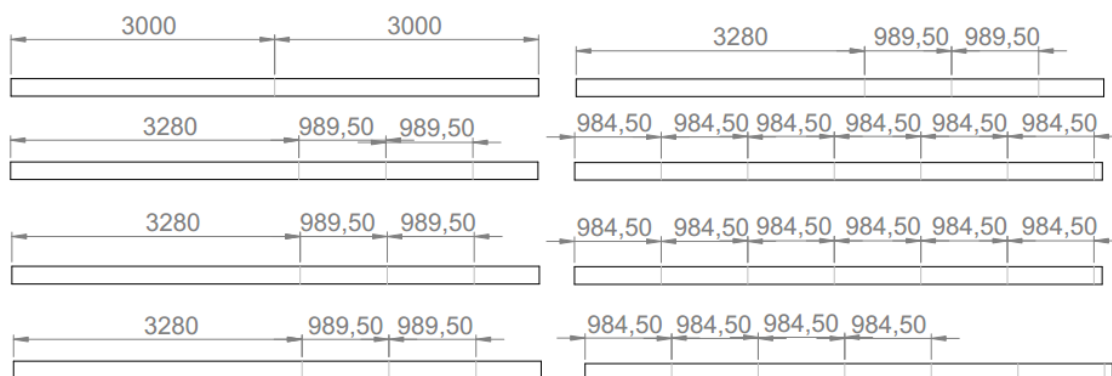


Figura 104 - Optimização do perfil UPN280.

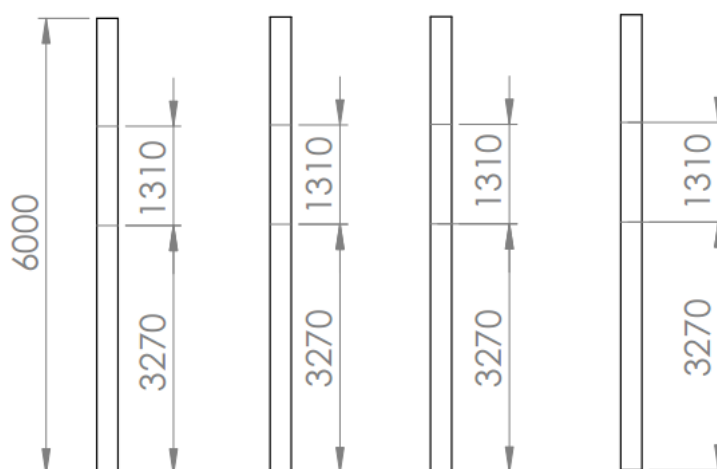


Figura 105 – Optimização do perfil HEB280.

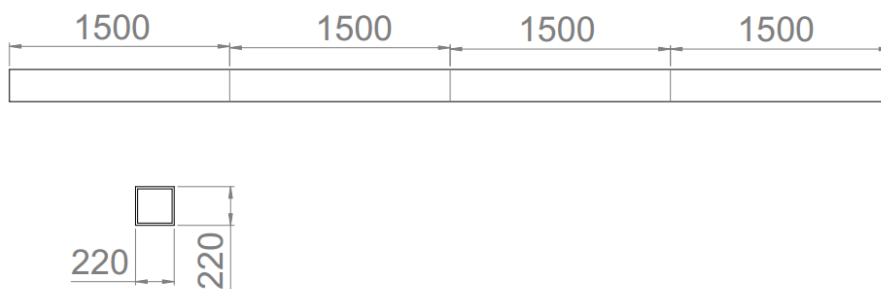


Figura 106 – Optimização do perfil quadrado 220.



Figura 107 – Optimização do perfil rectangular 140x80x8.

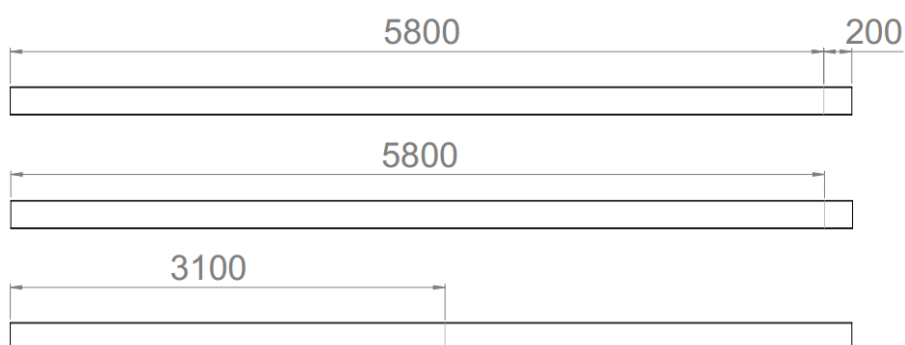


Figura 108 - Optimização do perfil rectangular 200x100.

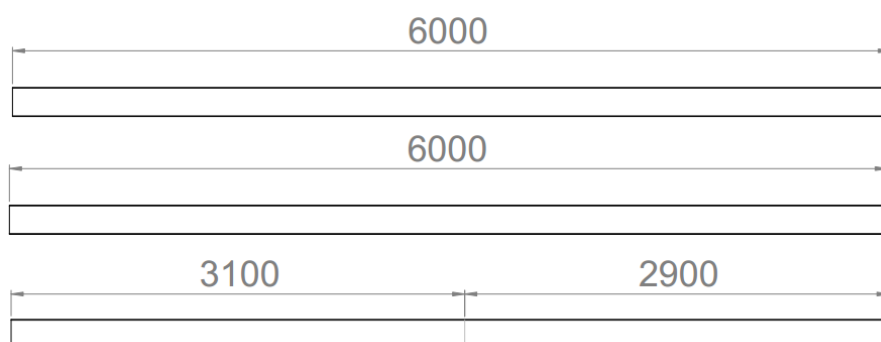


Figura 109 - Optimização do perfil rectangular 200x100x10.

No caso do perfil rectangular 200x100x10, ver Figura 109, fica em falta um comprimento de 200 mm uma vez que são necessários dois perfis com 3100 mm para a base. Nesta situação, e uma vez que a zona onde está aplicado este perfil não tem grandes implicações na resistência do conjunto, vão ser utilizados 200 mm do tipo de perfil maciço com as mesmas medidas, ver Figura 108, evitando assim a compra de um perfil oco adicional de 6000 mm e fazendo uma efectiva optimização da matéria-prima.

3. Será também efectuado o corte por plasma das chapas de reforço. Estes componentes de reforço foram optimizados numa única chapa (4000 mm x 2000 mm) para economizar material, ver layout na Figura 110.

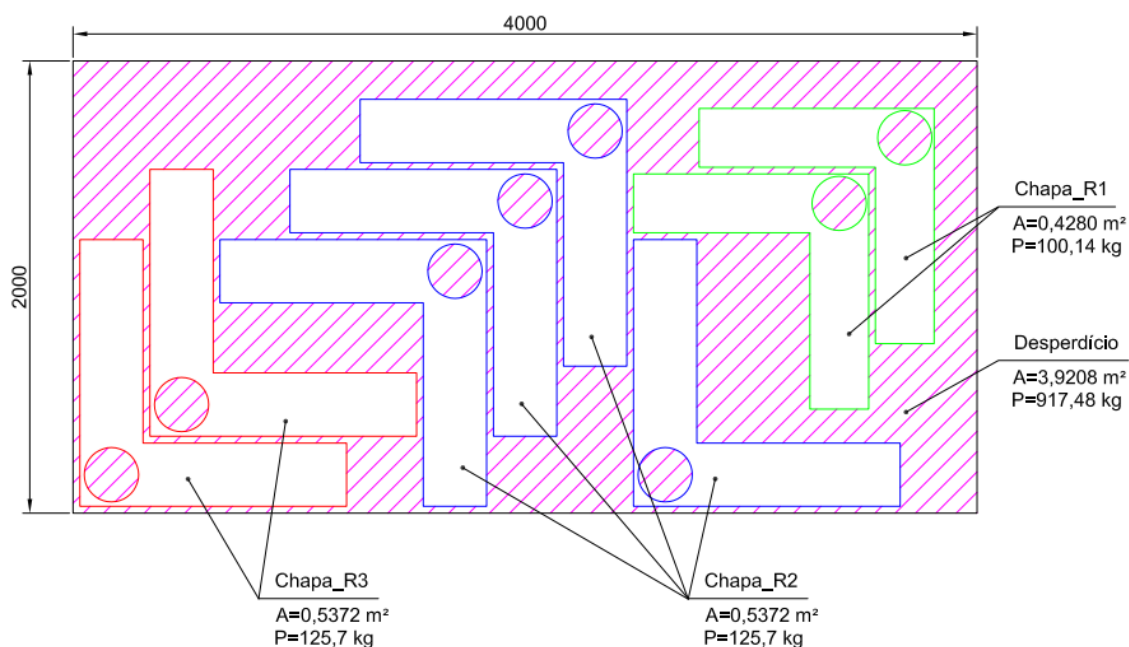


Figura 110 - Layout para corte de chapas de reforço por plasma.

4. Na fresadora CNC será realizada a maquinação de alguns componentes, tais como o suporte da chumaceira e a fixação dos hidráulicos, conforme exemplo de bloco a maquinar mostrado na Figura 111. A fresadora CNC será ainda utilizada em algumas operações que não poderão ser realizadas no corte de plasma, como por exemplo a execução dos chanfros para soldadura nas chapas de reforço, ver Figura 112.

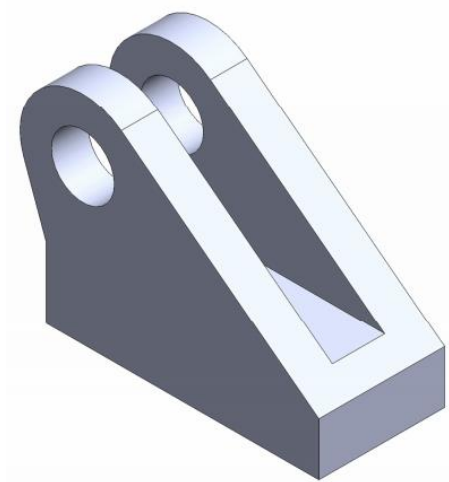


Figura 111 – Exemplo de componente a maquinar na fresadora CNC.

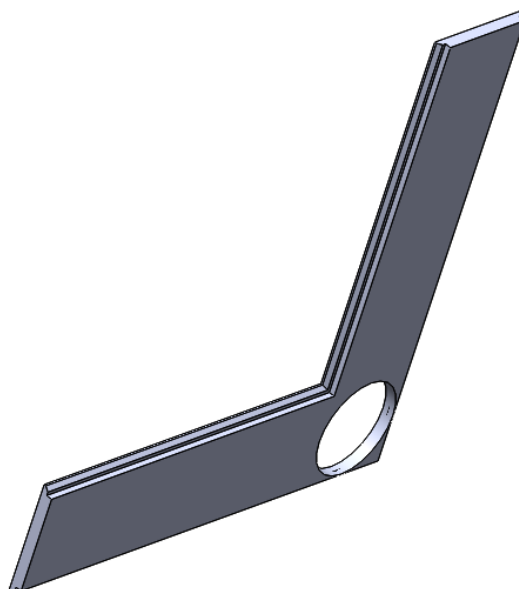


Figura 112 – Chapa de reforço com chanfro para soldadura.

5. O equipamento utilizado para realizar o componente pino de rotação (AJ), ver Figura 113, será um torno convencional.

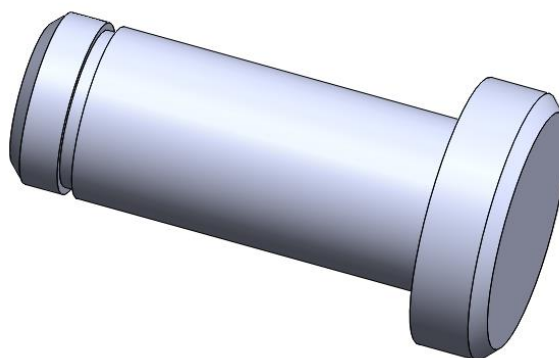


Figura 113 – Vista 3D do pino de rotação, obtido pelo torno.

6. A soldadura é o processo de ligação mais usado no fabrico deste equipamento. É utilizado em todos os componentes que fazem parte da base, ver Figura 88, e do suporte em “L”, ver Figura 87. Seguidamente são mostrados detalhes das diferentes soldaduras que serão efectuadas no subconjunto da base, ver Figura 114. De realçar que as soldaduras a considerar são de penetração total, uma vez que o cálculo por MEF considerou uma ligação rígida entre todos os componentes à excepção da ligação entre o veio central e as chumaceiras, o que significa que tal apenas é traduzido no fabrico em soldaduras com penetração total. Por outro lado, nas soldaduras realizadas com filete, a ligação fica sobredimensionada, uma vez que este detalhe não foi considerado nas simulações. Nota ainda para a necessidade de criar gabaritos de soldadura, para os vários postos de trabalho, para garantir a correcta posição dos componentes durante as operações de soldadura.

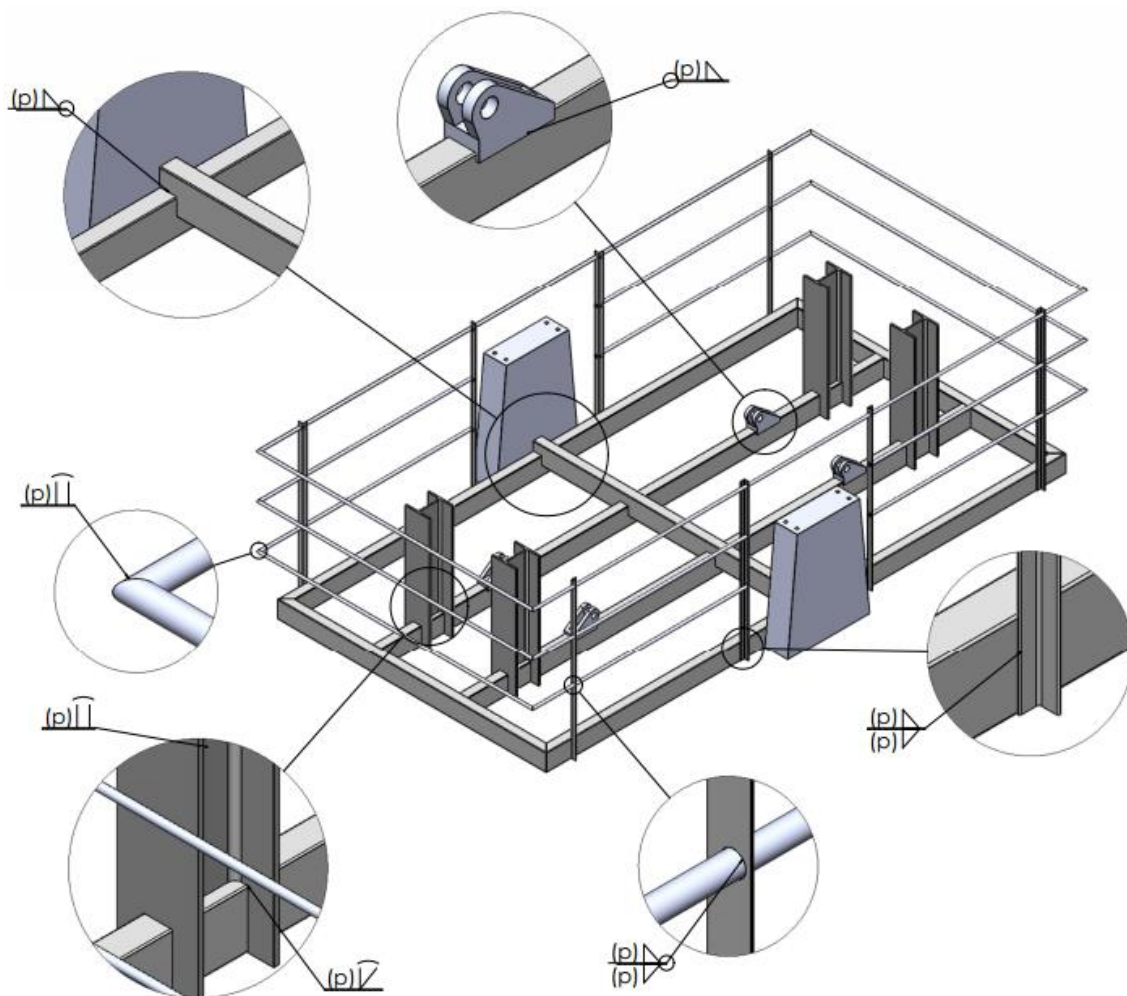


Figura 114 - Simbologia para soldadura dos componentes da base.

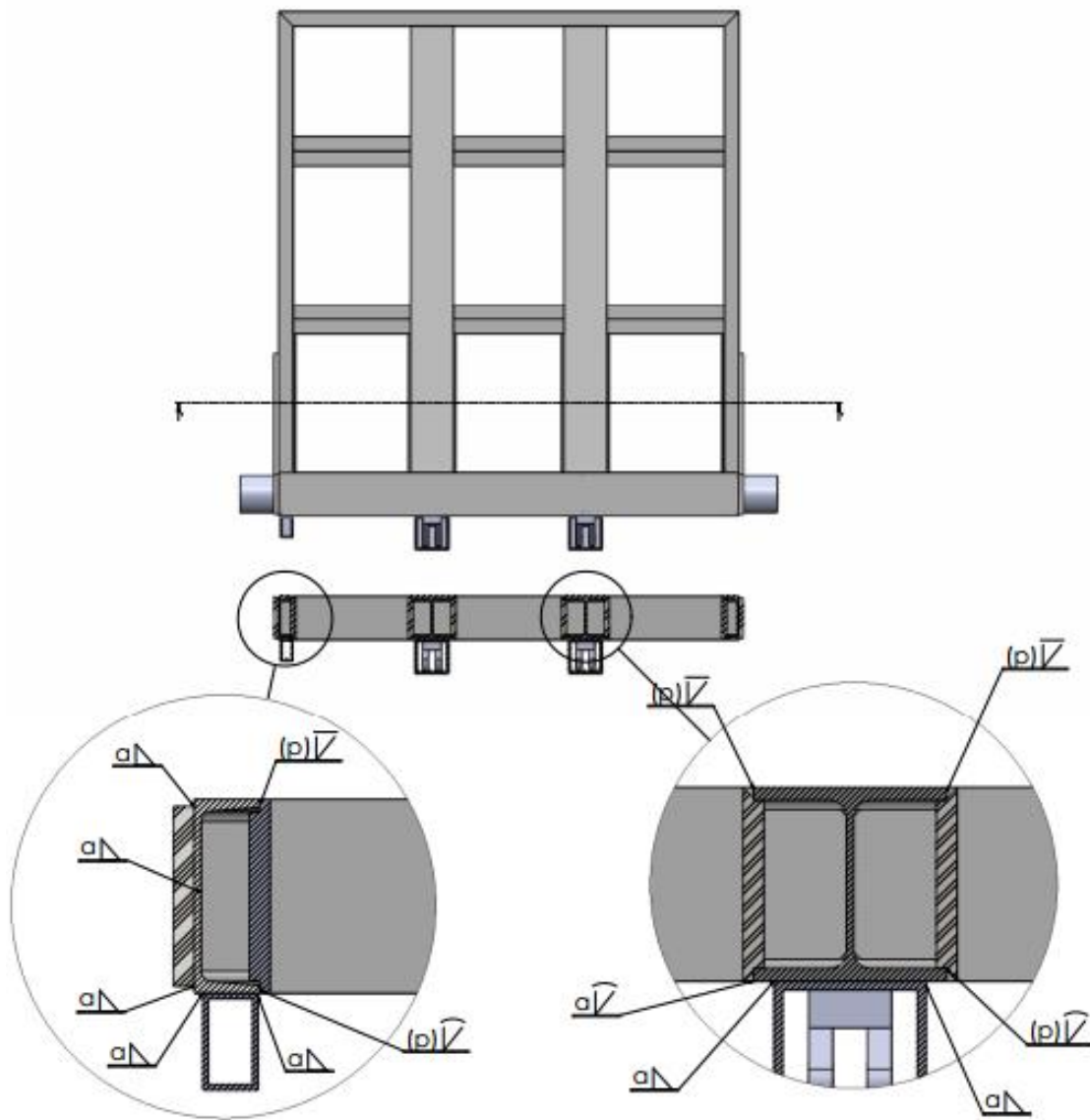


Figura 116 - Simbologia para soldadura dos componentes de reforço do suporte em "L".

3.4.6. Pormenores de montagem

A sequência de montagem é a demonstrada na árvore do produto, Figura 89, uma vez que partimos da matéria-prima (nível 4) até ao produto final (equipamento de rotação, nível 0). É importante realçar nesta altura que o processo de soldadura está bastante ligado à montagem dos componentes. De referir que este sector é responsável pela rebarbagem de todas as peças. Apresenta-se de seguida o procedimento para toda a montagem do equipamento, separando a obtenção da estrutura em 3 partes:

1. O primeiro passo será a montagem e soldadura de todos os componentes que fazem parte do suporte em “L”, ver Figura 87.
 - a. Inicialmente montar componentes da estrutura horizontal (D) no PM1, e soldar no PT4, conforme explicado no ponto 5 do subcapítulo anterior, ver Figura 87 do lado direito superior;
 - b. Em paralelo podem ser montados no PM2 componentes da estrutura vertical (E), e soldar no PT5, ver Figura 87 lado direito inferior;
 - c. Depois juntar estrutura horizontal e vertical no PM3 e montar varão (J) e chapas de reforço (componentes 2G, 4H e 2I), soldando inicialmente o veio à estrutura horizontal e vertical, e só depois pingar as chapas de reforço. Aquando da soldadura do veio, afasta-se as chapas de reforço para o meio, para que se tenha espaço para soldar no interior do perfil ao veio. No entanto, a montagem das chapas terá que ocorrer antes de soldar o varão, ver Figura 117;
 - d. Depois e ainda no PM3, soldar as chapas de reforço;
 - e. Para finalizar o suporte em “L”, posicionar e soldar os componentes de reforço, perfis quadrado e rectangular (4K e 4F, respectivamente), conforme mostrado na Figura 118.

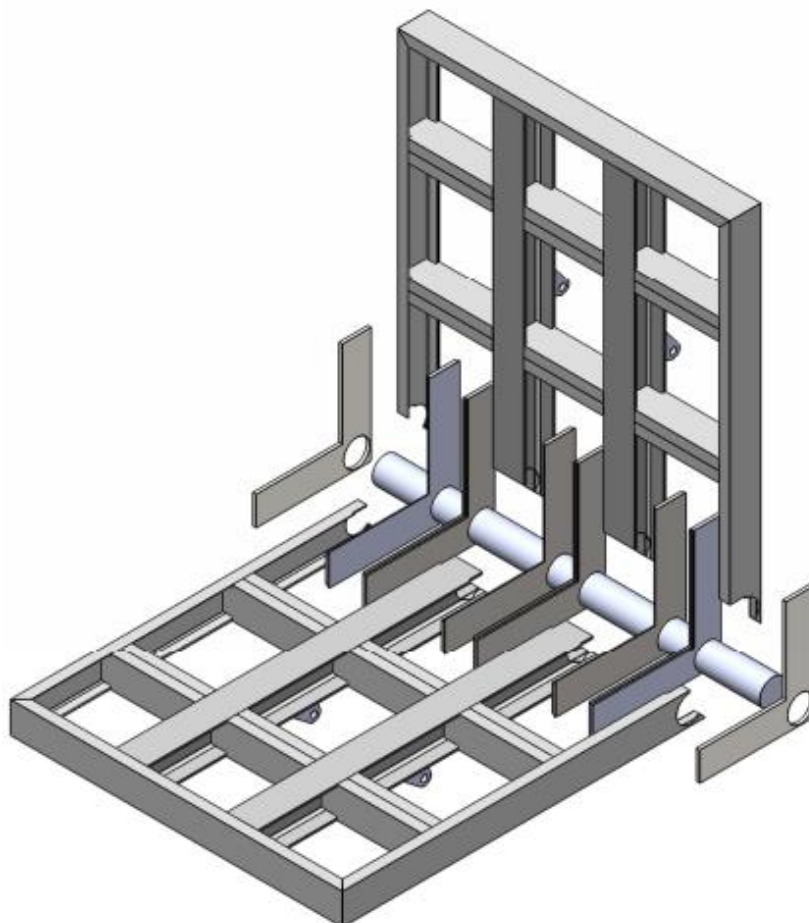


Figura 117 – Soldadura parcial do subconjunto Suporte em “L”.

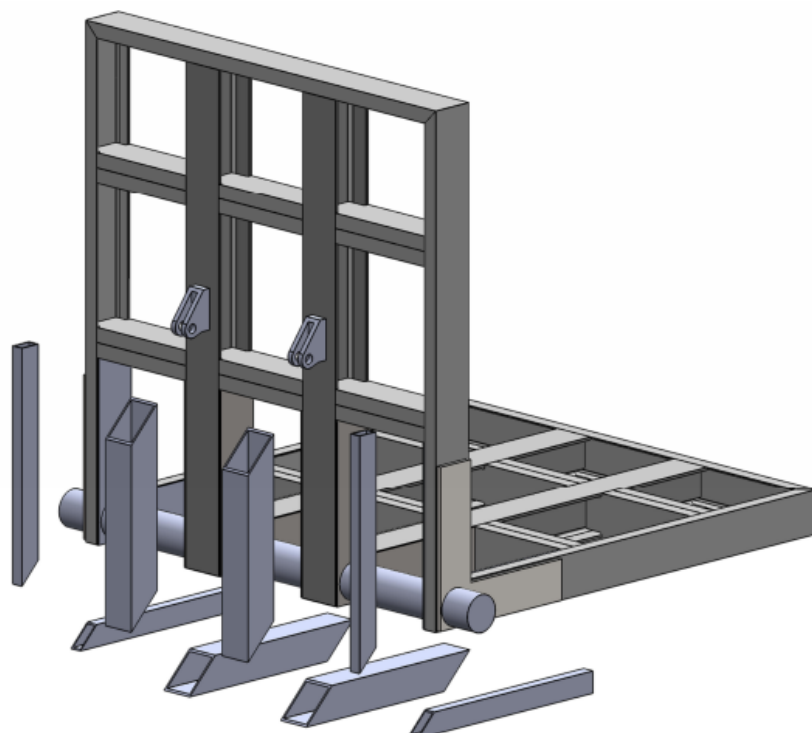


Figura 118 - Soldadura final do subconjunto Suporte em “L”.

2. O segundo passo, ou em paralelo com o primeiro, será a montagem e soldadura de todos os componentes que fazem parte da base, ver Figura 88.
 - a. Montar os componentes da base no PM4 e soldar no PT6:
 - i. Inicialmente montar e soldar os perfis do fundo (componentes 2V, W, 2X e 2Y);
 - ii. Posicionar e soldar o suporte das chumaceiras (2Z);
 - iii. No passo seguinte, posicionar e soldar as fixações dos hidráulicos (4T) e depois as colunas do suporte da estrutura (4AE);
 - iv. Para finalizar posicionar e soldar as cantoneiras e os tubos (8AA, 8AB, 2AC e 6AD).

3. Montagem dos componentes finais no PM5, ver Figura 86.
 - a. Inicialmente posiciona-se a base (C) no chão;
 - b. No passo seguinte, fixa-se as chumaceiras (AF) ao veio do suporte L (B);
 - c. Posiciona-se o suporte em “L” com as chumaceiras na base, apertando os parafusos (8AH) com anilhas (8AI) de fixação das chumaceiras à base;
 - d. Montar os cilindros hidráulicos telescópicos (4AG), os quais devem ser montados na posição de recuo, ver Figura 90. A ligação será feita por um pino de rotação (AJ) travado por um freio (AK), ver Figura 91.

3.4.7. Estudo económico do projecto

Custo da estrutura metálica

De acordo com as dimensões e número de elementos necessários, a quantidade e custo dos componentes necessários para a constituição do equipamento são os apresentados na Tabela 24. Os custos apresentados têm em consideração orçamentos alternativos e escolha do mais económico, conforme orçamentos mostrados no anexo VI.

As várias empresas contactadas foram: *F. Ramada, Chagas, IMS e Ferpinta*. Os elementos normalizados de secção constante são adquiridos em comprimentos de 6 ou 12 m. Estes componentes, como têm medidas de comprimento pré-estabelecidas, darão origem a alguns desperdícios (excessos de material), os quais foram otimizados, como demonstrado anteriormente.

Tabela 24 - Elementos e custos de material metálico em S275.

Código	Designação	Qtd.	Custo Unitário	Subtotal
D	Varão Ø240x3500	1	0,98 €/kg	1.209,71 €
AL	Chapa 4000x2000x30	1	0,95 €/kg	1.778,40 €
AM	Bloco 1200x945x260	2	1,00 €/kg	4.599,50 €
AN	Bloco 285x207.5x120	8	1,00 €/kg	442,82 €
AO	Varão Ø90x175	1	0,98 €/kg	8,51 €
AP	Perfil Quadrado 220x6000	1	27,00 €/m	162,00 €
AQ	Perfil 140x80x8x6000	1	14,70 €/m	88,20 €
AR	Perfil HEB 280x6000	4	0,67 €/kg	1.648,07 €
AS	Perfil UPN 280x6000	8	0,66 €/kg	1.307,09 €
AT	Perfil 200x100x10x6000	3	32,40 €/m	583,20 €
AU	Perfil 200x100x6000	3	1,00 €/kg	2.808,00 €
AV	Perfil Cantoneira 50x50x5x6000	3	0,61 €/kg	63,68 €
AW	Tubo_Ø26,9x2,3x6000	9	1,15 €/m	62,10 €
Total				14.761,28 €

Custo de componentes diversos

Outros componentes importantes e com um peso considerável no orçamento da estrutura são as chumaceiras, cujo fornecedor seleccionado foi a *RFPortugal*. Existem outros componentes da estrutura com um peso menos significativo no orçamento, mas também importantes para alguns dos sistemas de fixação, como parafusos e freios, cujo orçamento foi pedido à *Fabory*. Na Tabela 25 é apresentado o preço para alguns dos componentes diversos. Todos os orçamentos para estes materiais e componentes estão apresentados no anexo VI.

Tabela 25 - Custos de componentes diversos (dimensões em mm).

Código	Designação	Qtd.	Custo Unitário	Subtotal
AF	Chumaceira (BND3052-H-W-T-AF-S)	2	5.600,00 €	11.200,00 €
AH	Parafuso DIN 912-12.9 M36x140	8	34,92 €	279,36 €
AI	Anilha plana M36 aço	8	0,59 €	4,72 €
AK	Freio DIN 471-58mm	8	0,47 €	3,76 €
			Total	11.487,84 €

Custo do Accionamento

No custo do accionamento está a ser considerado o preço de todo o accionamento em função do orçamento fornecido pela empresa *Binotto*, ver anexo II. Neste mesmo anexo são apresentados outros orçamentos, alguns deles até com condições económicas mais favoráveis. No entanto, como não foram fornecidas todas as informações necessárias para a sua implementação, estas soluções não foram consideradas. Na Tabela 26 está apresentado o resumo do orçamento para o accionamento hidráulico, com todos os componentes necessários.

Tabela 26 – Custos para accionamento hidráulico.

Código	Designação	Qtd.	Custo Unitário	Subtotal
AG	Cilindro Hidráulico Telescópico	4	3.425,00 €	13.700,00 €
	Grupo de Accionamento Hidráulico	1	2.790,00 €	2.790,00 €
			Total	16.490,00 €

Custos com processos de fabrico e mão-de-obra

Outro custo associado a uma estrutura deste tipo é todo o processo de fabrico relacionado com os seus componentes, bem como a mão-de-obra necessária, ver Tabela 27. Neste cálculo foi estimado o custo/hora para cada posto de trabalho.

Tabela 27 - Custos com processos de fabrico e mão-de-obra.

Posto trabalho	Custo Hora	Tempo	Subtotal
Serrote Mecânico (PT1)	15,00 €	0,4 Horas	5,63 €
Plasma CNC (PT2)	35,00 €	5,1 Horas	179,38 €
Torno paralelo (PT3)	18,00 €	1,6 Horas	28,95 €
Fresadora CNC (PT8)	45,00 €	0,8 Horas	33,75 €
Máquina Soldar MIG (PT4, PT5, PT6 e PT7)	20,00 €	50,0 Horas	1.000,00 €
Montagem (PM1, PM2, PM3 e PM4)	20,00 €	37,0 Horas	740,00 €
Total			1.987,71 €

Para finalizar, foi efectuado o cálculo do desperdício de material, fazendo o levantamento pela optimização levada a cabo no subcapítulo 3.4.5.. O resultado é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Cálculo do desperdício de material.

Código	Custo Unitário	Desperdícios [unidades]	Subtotal
AL	0,95 €/kg	917,48 kg	871,61 €
AP	27,00 €/m	0,40 m	10,80 €
AR	0,67 €/kg	5,68 m	390,04 €
AS	0,66 €/kg	5,22 m	142,04 €
AU	1,00 €/kg	3,30 m	514,80 €
AV	0,61 €/kg	3,60 m	12,74 €
AW	1,15 €/m	2,08 m	2,39 €
Total			1.944,41 €

O custo total estimado para o equipamento será de **42.782,42 €**, retirando o valor do desperdício, uma vez que esse material poderia ser reaproveitado para outra estrutura.

3.4.8. Análise crítica do projecto

O projecto desenvolvido neste trabalho foi sempre conduzido de forma a obter uma solução robusta, eficiente e segura ao menor custo possível. No entanto, no decorrer de um trabalho desta envergadura, existem sempre soluções alternativas passíveis de serem utilizadas e caminhos alternativos de desenvolvimento do projecto. De seguida apresentam-se algumas ideias que poderiam ser exploradas.

Relativamente ao accionamento eléctrico, poderia ter sido estudada a possibilidade de colocar o motor na perpendicular ao redutor, o que iria permitir ocupar menos espaço. No entanto, dado que não era a solução ideal e já tinha sido decidido qual o melhor tipo de accionamento para este equipamento, de forma clara em função dos requisitos do projecto, não foi estudada essa alteração para a solução de accionamento eléctrico.

No que concerne à escolha das chumaceiras, o procedimento consistiu em verificar se a chumaceira com o diâmetro seleccionado e para o fabricante escolhido suportava as cargas de projecto. Observou-se que a chumaceira não só suporta, mas também excede em larga medida as cargas de projecto. Como tal, poderia ser estudada a redução de diâmetro do veio central, até porque o seu dimensionamento inicial considerou a existência de um momento torsor dividido ao accionamento eléctrico que entretanto foi preterido a favor do hidráulico. Refere-se que na estrutura apresentada foi decidido usar um diâmetro de veio acima do exigível por razões de estabilidade da estrutura em termos construtivos.

Para fazer uma avaliação da potencial utilização da máquina desenvolvida, apresenta-se em seguida uma análise SWOT. A análise SWOT é uma ferramenta para executar um diagnóstico estratégico, definindo as relações existentes entre os pontos fortes e fracos de uma organização ou projecto, assim como examinar as oportunidades e ameaças.

Pontos Fortes:

- ◆ Segurança na operação de rotação de moldes;
- ◆ Processos de ligação simples e económicos (soldadura, na sua maioria);
- ◆ Optimização da estrutura com perfis normalizados, na sua maioria;
- ◆ Rapidez de execução da operação de rotação a 90° (3 min);
- ◆ Possibilidade de modificar a estrutura para outras cargas ou tarefas.

Pontos Fracos:

- ✦ Investimento alto (atendendo a que os preços orçamentados foram negociados em termos pessoais);
- ✦ Espaço ocupado pelo equipamento (6,4 m x 3,5 m);
- ✦ Inexistência de um sistema de centramento para a operação com moldes de menores dimensões;
- ✦ Robustez da estrutura e seus componentes, que exigirá a contratação da construção a uma empresa externa ao grupo SIMOLDES.

Ameaças:

- ✦ Capacidade de outras empresas fazerem estruturas similares, com material e mão-de-obra mais económica;
- ✦ Capacidade de países com acesso a tecnologia mais avançada e outro tipo de materiais implementarem uma estrutura mais simples e com maior qualidade.

Oportunidades de Melhoria:

- ✦ Negociação dos componentes envolvidos em todo o equipamento (por intermédio do sector de aprovisionamento do Grupo SIMOLDES);
- ✦ Optimizar chumaceiras (reduzir o diâmetro do veio nas extremidades, para aplicar um rolamento na chumaceira de 200 mm);
- ✦ Implementar sistema de posicionamento do molde, para que exerça o esforço na estrutura de uma forma equilibrada;
- ✦ Averiguação da utilização de um veio central com secção quadrada, para maior robustez de ligação aos perfis longitudinais;
- ✦ Poderá ser estudada a possibilidade de rodar o molde num só sentido, o que poderia reduzir significativamente o preço do accionamento, dado que se poderá implementar a solução de dois cilindros hidráulicos telescópicos de duplo efeito;
- ✦ Implementar outro sistema de segurança (por exemplo: tramela, entre outros).

4. Conclusões

O objectivo principal do trabalho apresentado consistiu no projecto de um equipamento de rotação de moldes de grande porte, que agilize este processo e assegure todas as condições de segurança. O trabalho surgiu da necessidade da empresa IGM efectuar operações de rotação de moldes de forma rápida e segura, e como tal foram apresentados certos requisitos a cumprir, dos quais se destacam os seguintes:

- ◆ O equipamento deverá permitir a rotação de moldes até 30 toneladas de peso bruto;
- ◆ As dimensões máximas da mesa do equipamento de rotação são: 3000 x 3000 mm²;
- ◆ O custo deverá ser optimizado.

Inicialmente foram consideradas diferentes soluções construtivas e de fabrico, tendo sido decidido projectar uma estrutura por perfis normalizados soldados em detrimento de uma estrutura fundida, devido a diversas limitações associadas a esta solução (factor económico, peso e inexistência de empresas com capacidade para realizar uma estrutura com estas dimensões).

Seguiu-se a selecção do sistema de accionamento, para a qual se perfilaram 4 modos de accionamento, 2 eléctricos e 2 hidráulicos. Optou-se por uma solução constituída por 4 cilindros telescópicos de simples efeito, sendo estes activados dois de cada vez em função do sentido de rotação desejado. Foi descartada a possibilidade de utilização de apenas dois cilindros de duplo efeito, devido a limitações de força produzida durante a fase de recuo dos mesmos. Em relação às soluções eléctricas, estas foram excluídas devido a factores como investimento inicial elevado, atravancamento, necessidade de criação de uma estrutura de suporte aos moto-redutores e uma manutenção mais complexa.

Após a selecção do sistema de accionamento, procedeu-se ao dimensionamento da estrutura metálica pelo MEF, considerando o início do movimento de rotação pela fixação do veio central e ausência de mais apoios ao suporte L (posição designada por 0°). Numa primeira fase considerou-se apenas a plataforma de rotação (suporte L), para escolha do número de perfis longitudinais a utilizar e respectivas dimensões. Estas primeiras análises foram feitas com elementos de estrutura com o objectivo de obter uma aproximação inicial. Nesta fase ficou definida a utilização de dois perfis HEB 280 em posição central, ladeados por um aro exterior

em perfil UPN 280, uma vez que os esforços nas extremidades da plataforma não se revelaram tão elevados.

De seguida a estrutura foi construída de raiz em 3D, para ultrapassar a simplificação grosseira da simetria observada nas análises anteriores. Nesta fase considerou-se o suporte L na posição de repouso, apoiado por uma representação simplificada das chumaceiras e por blocos rígidos.

O passo seguinte consistiu em analisar a estrutura completa, incluindo, para além do suporte L, a estrutura de base e respectiva ligação sem atrito ao veio central do suporte L, e uma representação simplificada dos cilindros hidráulicos em carga para cada posição estudada. De facto, foram estudadas 3 posições para o suporte L, nomeadamente (1) posição a 0°, correspondente ao início do movimento de rotação, (2) posição a 45°, relativa à transição de esforços entre as duas plataformas do suporte L e (3) posição a 90°, correspondente ao fim do movimento de rotação, embora com o suporte L ainda apoiado pelos cilindros hidráulicos. A modelação destes 3 casos de carga permitiu concluir que a posição crítica era sem margem para dúvidas a posição 3. A partir deste ponto procedeu-se à optimização gradual da estrutura na posição 3, com o objectivo de garantir a sua integridade estrutural quando sujeita às solicitações impostas. No decorrer deste processo foram reforçadas as vigas longitudinais com chapas laterais, foram adicionados reforços às mesmas vigas com o objectivo de aumentar o momento de inércia e foram reforçadas as vigas transversais. Como resultado conseguiu-se um c.s. mínimo de 1,67, o que garante a segurança da estrutura as solicitações impostas.

Como parte integrante do trabalho, apresentou-se ainda a lista de componentes e árvore do produto, efectuando a identificação dos componentes, com o objectivo de facilitar o processo de fabrico. Os desenhos de pormenor apresentados permitiram detalhar alguns aspectos importantes do equipamento e de seguida foram descritos os processos fabrico envolvidos no fabrico do equipamento. Foi apresentada a gama operatória com a sequência de operações e respectivas necessidades de material, bem como discutido o diagrama de processo do fabrico, e estimativa de tempos para cada operação. Ainda no âmbito do fabrico, foi desenvolvido um plano para minimização de desperdícios de matéria-prima, optimizando a utilização da mesma. Seguidamente, foi efectuado um estudo económico em que se considerou o custo da matéria-prima, o custo do sistema de accionamento e o custo com os processos de fabrico e a mão-de-obra. Como fase final foi realizada uma análise crítica ao projecto, na qual se apresentou um diagnóstico estratégico, realçando as oportunidades de melhoria e possíveis limitações do trabalho apresentado.

No decorrer do trabalho foram bastantes as dificuldades, pois o projecto era ambicioso, abrangendo várias áreas, entre elas a optimização da estrutura através do MEF, que seria o mais aliciante. No entanto, e como é normal, tudo o resto deu muitíssimo mais trabalho pelas muitas barreiras que existem na partilha de informação por parte das empresas contactadas no decorrer deste projecto, em haver informação detalhada dos detalhes construtivos e dimensionais dos componentes, como aconteceu no caso dos cilindros hidráulicos telescópicos, por exemplo.

Sendo o trabalho apresentado uma necessidade da IGM mas também das várias empresas do grupo, tornou-se necessário encontrar uma solução viável para implementação, o que se julga ter sido conseguido, embora eventualmente necessitando, de algumas optimizações, como foi mencionado no subcapítulo anterior. O projecto foi desenvolvido em estreita cooperação com o superior hierárquico da empresa IGM, e será posteriormente avaliado noutras instâncias do Grupo SIMOLDES para verificação da exequibilidade da sua construção.

De uma maneira geral, conseguiu-se obter uma solução optimizada em termos de custos e respeitando os requisitos iniciais do projecto. Este tipo de estruturas também pode ser optimizado para outras situações, tais como a paragem da estrutura em várias posições, o que permitiria executar algumas operações numa posição mais adequada de trabalho (por exemplo polimento, ajuste de movimentos, entre outras).

5. Bibliografia e Outras Fontes de Informação

Fuh J.Y.H., Zhang Y.F., Nee A.Y.C. *Computer-aided injection mold design and manufacture*. Marcel Dekker, New York, 2004.

Reinert A.F. *Moldes de injeção*. Apontamentos de unidade curricular, Sociedade Educacional de Santa Catarina – Centro de Educação Tecnológica do Paraná, Paraná, Abril 2004.

Pontes A.J., Brito A.M. *Manual do projectista para moldes de injeção de plástico - Tipificação de moldes*. Manual técnico, Centimfe Centro Tecnológico da Indústria de Moldes, Leiria 2003.

Beira E., Menezes J. *Inovação e indústria de moldes em Portugal: a introdução do CAD/CAM/CAE nos anos 80*, in: Heitor M., Brito J.M.B., Rollo M.F. (Editores), *Momentos de inovação e engenharia em Portugal no século XX*, Dom Quixote, Lisboa 2004.

Gomes J.S. *Indústria dos moldes em Portugal: Trajectórias empresariais de sucesso*. Relatório interno, Ministério da Economia, Lisboa 1998.

Simões R.A.D. *Manual de Dimensionamento de Estruturas Metálicas*, Lamas A. (Editor), cmm – Associação Portuguesa de Construção Metálica e Mista, 2ª Edição, Coimbra, 2007.

Directiva Máquinas 2006/42/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 Maio de 2006. *Directiva Europeia relativa às máquinas*. Jornal Oficial da União Europeia de 9 de Junho de 2006.

EN 280-:2001+A2:2009 (1ª Edição), *Mobile elevating work platforms Design calculations Stabilitycriteria*. CEN Comité Europeu de Normalização, Novembro 2009.

EN 1050, *Safety os machinery – Principles for risk assessment*. CEN Comité Europeu de Normalização, Novembro de 1996.

Azevedo A.F.M. *Método dos elementos finitos*. Faculdade de engenharia da universidade do Porto; 1.ª edição; Abril de 2003.

Campilho R.D.S.G. *Método de elementos finitos: Ferramentas para análise estrutural*. Publindústria, Porto 2012.

Outras fontes de informação:

<http://www.sew-eurodrive.pt/> (Consultado em 10-10-2012).

<http://www.weg.net/pt/Produtos-e-Servicos/Electric-Motors> (Consultado em 12-10-2012).

<http://www5.nord.com/cms/pt/home.jsp> (Consultado em 12-10-2012).

<http://cudell.pt/engenharia-e-servicos/produtos> (Consultado em 20-10-2012).

<http://www.movicontrol.pt/pt/content/5-produtos/30-oleo-hidraulica/65-cilindros-e-materiais-cilindricos/?categ=65> (Consultado em 25-10-2012).

<http://www.rfportugal.com/portuguese/>(Consultado em 04-11-2012).

<http://hidraulicentro.pt/pt/ms/ms/cilindros-2040-357-rio-maior/ms-90039482-p-2/>
(Consultado em 10-11-2012).

<http://www.binottoiberica.net/>(Consultado em 11-11-2012).

<http://www.ferpinta.pt/index.php?cat=35> (Consultado em 10-10-2012) (Consultado em 18-08-2013).

<http://www.sternhidraulica.com/productos--servicios> (Consultado em 18-11-2012).

<http://www.cicrosa.com/> (Consultado em 25-11-2012).

<http://www.contarini.net/> (Consultado em 10-02-2013).

http://www.chagas.pt/lista_categorias.aspx?clsID=88 (Consultado em 08-03-2013).

[http://www.imsportugal.com/ims/ims_acos/cmscontent.nsf/DocumentsByIDWeb/6RDGQJ/\\$File/IMSPORTUGAL_MEC.pdf](http://www.imsportugal.com/ims/ims_acos/cmscontent.nsf/DocumentsByIDWeb/6RDGQJ/$File/IMSPORTUGAL_MEC.pdf) (Consultado em 18-04-2013).

<http://guarulhos.olx.com.br/projetos-de-produtos-e-moldes-plasticos-iid-240111089>
(Consultado em 08-05-2013).

<http://www.ramada.pt/index.php?&cat=15> (Consultado em 10-10-2012) (Consultado em 10-07-2013).

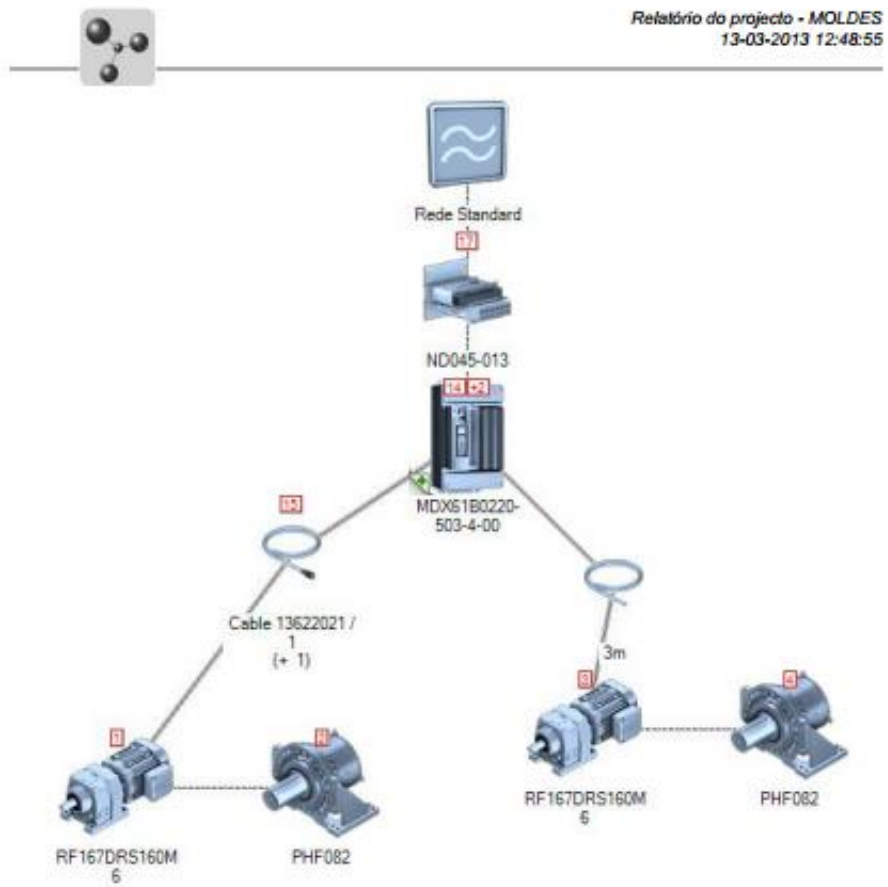
<http://www.rolisa.pt/?s=4&ss=20> (Consultado em 20-08-2013).

http://www.fabory.pt/pages/categories.html?catId=fabory_0000092195 (Consultado em 10-10-2012) (Consultado em 10-09-2013).

ANEXO I

Orçamentos soluções eléctricas

Orçamento da SEW:





Relatório do projecto - MOLDES
13-03-2013 12:48:55

Atenção:

As informações fornecidas servem como base para o nosso cálculo/nossa selecção. Para a aplicação prevista do accionamento é essencial que estas informações estejam correctas e completas. É favor verificar se as informações foram correctamente transferidas bem e se as nossas conclusões são correctas. Contacte a SEW Em caso de divergência das condições ambientais é fundamental contactar a SEW-EURODRIVE!

O conteúdo deste documento não é vinculativo e está sujeito às condições de venda e de fornecimento conhecidas, pode podem ser lidas no nosso site de Internet. As condições e preços oferecidos indicados neste documento são preços e condições exclusivamente fixadas para o respectivo cliente ao qual se referem, e não são aplicáveis a terceiros.

Lista de produtos

Pos.(Ref)	Quantidade	Designação / Referência	Net	Preço unitário	Preço total
1	1	Moto-reductor trifásico com engrenagens helicoidais RF167DRS160M6, P=7,5kW, ED=S1, nM=955rpm, i=82,91, nA=12rpm		*	*
2	1	Redutor industrial: Redutor planetário PHF082, i=37,53		*	*
3	1	Moto-reductor trifásico com engrenagens helicoidais RF167DRS160M6, P=7,5kW, ED=S1, nM=955rpm, i=82,91, nA=12rpm		*	*
4	1	Redutor industrial: Redutor planetário PHF082, i=37,53		*	*
14	1	Controlador electrónico MOVIDRIVE B MDX61B0220-503-4-00, REF=08279659		2856,00	2856,00
14.1	1	Carta de encoder Hiperface DEH11B, REF=08243107		105,00	105,00
14.2	1	Resistência de frenagem BW039-012, REF=08216894		169,05	169,05
15	1	Cabo Encoder, REF=13622021, 1m		66,15	66,15
17	1	Indutância de entrada para alimentação de 3x230V e 3x380V ... 3x500V ND045-013, REF=08260133		63,94	63,94

Relatório projecto - IGP

Options

Tipo de veio	Veio ôco	
Conexão shaft/hub	Disco de aperto	
Sentido de rotação de saída	Ambos	
Fixação da carcaça	Montagem por Flange	
Tipo de lubrific. compensação	Sem	* EUR
Sist. vedação do veio de saída	NBR	
Vedação LSS reengraxável	Não	

Preço base líquido **50601,69 EUR**

Preço líquido unid. *** EUR**

*** = Price on request**

Orçamento RfPortugal:



RODAMIENTOS FEYC S.A. – Sucursal em Portugal

Rua do Castanhal, 682-Z.I. da Maia, Sector II - 4475-122 MAIA

P R O P O S T A

Empresa: Simoldes Aços Lda Data: 14.05.13

Contacto: Eng. João Gomes

Fax: 256 685 503

Tel.: 256 661 600

Telm.:

Mail: joao_almeida_gomes@hotmail.com

De: RF Portugal, S.A.

Contacto: Luís Montelobo

Tlm.: 967251451

Tel.: 229478950

Fax: 229478960

Mail: lmontelobo@rfportugal.com

Porto

www.rfportugal.com

Nr. V/ Consulta: IGM

Nr. N/Proposta: LM/300/JG

Validade da proposta: 30 dias

Exmos. Senhor(es);

No seguimento da vossa consulta, que desde já agradecemos, somos a apresentar cotação para fornecimento de material SIEMENS FLENDER, como se segue:

Item	Descrição	Preço Unitário [EUR]	Qda	Preço Total [EUR]
100	Motor eléctrico Siemens de 30 kW	2.500 €	1	2.500 €
200	Acoplamento Flender Rupex RWN-178	460 €	1	460 €
300	Redutor Industrial B4HH12A400	29.980 €	1	29.980 €

Prazo de entrega: ca. de 8 semanas após encomenda.

Preços: Sujeitos ao IVA em vigor.

Atenciosamente,

Luís Montelobo

WEB: www.rfportugal.com

e-mail: info@rfportugal.com

Delegações: Porto, Lisboa, Barcelona, Bilbao, Sevilha, Pamplona, Valencia, Murcia, Palma de Mallorca, Madrid



ANEXO II

Orçamento soluções hidráulicas

Orçamento Binotto:



PRESUPUESTO DE VENTA

JOAO ALMEIDA GOMES

Presupuesto	Fecha	Comercial
A/1854	16/07/2013	Rafael Cenzano

Código	Descripción	Cantidad	Precio	%Dto	Importe
	CILINDROS HIDRAULICOS TELESCOPICOS DE	4	3.425,00	0	13.700,00
	SIMPLE EFECTO BINOTTO REF.	0	0,00	0	0,00
	AF/5/1945/269-I=840 CON TODAS LAS	0	0,00	0	0,00
	EXPANSIONES CROMADAS	0	0,00	0	0,00
	GRUPO OLEOHIDRAULICO PARA ACCIONAMIENTO	1	2.790,00	0	2.790,00
	CILINDROS COMPUESTO POR:	0	0,00	0	0,00
	DEPOSITO CON TAPA DE 180 LITROS	0	0,00	0	0,00
	NIVEL C/TER 127 M12	0	0,00	0	0,00
	TAPON LLENADO D.76.2 720 L/MIN.40M	0	0,00	0	0,00
	FILTRO RETORNO SEMISUMERGIDO 1" 72L/MIN	0	0,00	0	0,00
	30 MICRAS SIF.20C30C	0	0,00	0	0,00
	INDICADOR VISUAL SUCIEDAD 0-10 BAR 1/8"	0	0,00	0	0,00
	FILTRO ASPIRACION 80L 1-1/4" 100M	0	0,00	0	0,00
	BOMBA 2PE26/D-G28P1	0	0,00	0	0,00
	CAMPANA GR.2 12.5CV D.300	0	0,00	0	0,00
	ACOPAMIENTO GR.2 CON.1/8	0	0,00	0	0,00
	MOTOR 12,5CV 1500RPM B5 380/660V	0	0,00	0	0,00
	BLOQUE NG10 1 EST.SJ 1/2 MR5-1G	0	0,00	0	0,00
	GRIFO MANOMETRO 1/4	0	0,00	0	0,00
	MANOMETRO D.63 0.250 BAR VERT. 1/4 GLIC.	0	0,00	0	0,00
	VALVULA SEGURIDAD NG10	0	0,00	0	0,00
	ELECTROVALVULA NG10	0	0,00	0	0,00
	VALVULA FRENADO 1/2"	0	0,00	0	0,00
	VALVULA REGULADORA DE CAUDAL 1/2	0	0,00	0	0,00
	MECANIZADO, PINTURA Y MANO OBRA	0	0,00	0	0,00
	PLAZOS DE ENTREGA: CILINDROS 6/7	0	0,00	0	0,00
	SEMANAS A LA CONFIRMACION DEL PEDIDO SIN	0	0,00	0	0,00
	CONTAR AGOSTO	0	0,00	0	0,00
	GRUPO HIDRAULICO A 3 SEMANAS SIN CONTAR	0	0,00	0	0,00
	AGOSTO	0	0,00	0	0,00
	PORTES : DEBIDOS	0	0,00	0	0,00
	FORMA DE PAGO: 50% AL PASAR EL PEDIDO	0	0,00	0	0,00
	50% RESTANTE A LA ENTREGA DEL PEDIDO.	0	0,00	0	0,00
	NO INCLUIDA EN ESTA OFERTA:	0	0,00	0	0,00

Suma y sigue

Orçamento CILINDROS Y CROMADOS PALENTINOS:**CILINDROS Y CROMADOS PALENTINOS, S.L.**

1/1

C/ Ferrocarril,5
 Poligono Municipal de Dueñas, Parcela 4-E
 34210 DUEÑAS (Palencia) - ESPAÑA
 Tfno. 902 15 30 45 / Fax +34 979 78 10 00
 Web: www.cicrosa.com / Email: ventas@cicrosa.com



IGM- INDUSTRIA GLOBAL DE MOLDES, S.A.		Oferta N°: 13/01177	
ZONA INDUSTRIAL - P.O. Box 390 3721- 909 OLIVEIRA DE AZEMES		Fecha	20/05/2013
Persona de Contacto	CARLOS DIAS	Validez Oferta	15 Días
Su Referencia		Ciiente	PO000523
Dirección de Envío		Fax	351 256 660 930
		Teléfono	351 256 660 900
		Email	carlos.dias@igm.com.pt
		Plazo Entrega	6-8 SEMANAS

Pos	Código	Descripción	Cantidad	UM	Precio	Dto. %	Total	Plazo Entrega
1	425I	TELESCÓPICO 425-I	4,000		1.507,41	52,00	2.894,23	
Partes: Los Habituales			Embalajes:					
Condiciones de Pago: A convenir			Peso Neto Total:					

<p>Observaciones: Los precios son NETOS en EUROS (EUR) sin IVA. No se admitirán devoluciones de Fabricaciones Especiales. Los plazos de entrega indicados, aunque se respetarán siempre que sea posible, son orientativos. El plazo de entrega definitivo se confirmará cuando se reciba el pedido en firme y el plano firmado si procede.</p> <p>PRAZO DE ENTREGA: 6-8 SEMANAS</p> <p>La fuerza de un equipo a tu servicio The power of a team at your service La force d'une équipe à votre service</p>	
Oferta realizada por:	SUSANA I. - export@cicrosa.com - 979761434 -Ext.206

Estamos disponibles para ayudarte con los representantes locales de los productos ofrecidos (sobre indicación expresa) en cualquier momento en nuestro página web www.cicrosa.com

Conforme a la establecida en la Ley Orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal, le informamos que los datos personales proporcionados son confidenciales y forman parte de los ficheros titulados de CILINDROS Y CROMADOS PALENTINOS, S.L para la gestión y seguimiento comercial de sus productos y servicios. Puede ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación y oposición, dirigiéndose por escrito a: CILINDROS Y CROMADOS PALENTINOS, S.L - C/ FERROCARRIL, 5 - 34210 DUEÑAS (PALENCIA)

ANEXO III

Fiche técnica do Material



S275JR

Non-alloy structural steels

Material no.	1.0044
according to	DIN EN 10025-2
Tensile strength class	A

Usage

Suitability for coldforming such as bending, folding, bordering and flanging etc. can be ordered separately.

The user of these steel grades must make sure that his calculation, design and processing methods are appropriate for the material. The welding technique used must be suitable for the intended application and comply with the state-of-the-art.

With distinctly closer chemical composition values and mechanical properties, the steel grades of the S235–S355 series are used as material for wheels of passenger cars, lorries and other vehicles.

Chemical composition

(in percent by weight)

	min.	max.
C		0.210%
Mn		1.500%
P		0.035%
S		0.035%
N		0.012% ¹⁾
Cu		0.550% ²⁾
C _{eq} ³⁾		0.40%

1) The maximum nitrogen content shall not apply if the total aluminium content of the steel is at least 0.020% or if it contains enough other nitrogen-fixing elements.

2) Copper contents higher than 0.400% can cause exfoliation corrosion.

3) Maximum carbon equivalent value
 $C_{eq} = C + Mn/8 + (Cr + Mo + V)/5 + (Cu + Ni)/15$



Mechanical properties¹⁾

Nom. thick. e	Yield strength R _{eH}
≤ 16 mm	≥ 275 MPa
> 16 mm	≥ 265 MPa

Nom. thick. e	Tensile strength R _m
< 3 mm	430 – 580 MPa
≥ 3 mm	410 – 560 MPa

Nom. thick. e	Total elong. A ₅₀ (long./trans.)
< 3 mm	≥ 19/17 %
3 ≤ e ≤ 40 mm	≥ 23/21 %

1) The tensile test values given in the table apply to longitudinal samples (l); in case of strip and sheet steel of widths of ≥ 600 mm they apply to transverse samples (t).

2) It applies to nominal thickness e:
 e < 3 mm: A₅₀
 e ≥ 3 mm: A₅

Min. notch impact energy¹⁾

Temperature	Min. notch impact energy
20°C	≥ 27 J

1) Average values of 3 samples; one individual value may fall short of the required minimum value by not more than 30%. The sample width shall equal the product thickness if the latter is between 5 and 10 mm. The tests are performed by using samples similar to Charpy-V samples. The values specified in the table above are to be reduced proportionally to the sample width.

Available dimensions

Hot-rolled coils unpickled, mill edge

Thickness in mm	Width in mm
1.50 – 1.79	900 – 1250
1.80 – 1.99	900 – 1390
2.00 – 2.24	900 – 1540
2.25 – 2.49	900 – 1700
2.50 – 2.99	900 – 1880
3.00 – 3.99	900 – 1880
4.00 – 6.00	900 – 1880
6.01 – 12.70	900 – 1880

Hot-rolled slit strip

Thickness in mm	Width in mm
1.50 – 1.79	100 – 515
1.80 – 1.99	100 – 635
2.00 – 2.24	100 – 760
2.25 – 7.00	100 – 800
7.01 – 8.00	140 – 800
8.01 – 9.00	175 – 800
9.01 – 10.00	233 – 800

< 100 mm on request

Welding

The steel grades of the JR, JO, J2 and K2 categories are in general suitable for all welding techniques.

Condition of delivery, scope of testing and certificate

The provisions of DIN 10025-2, chapters 6.3 and 8 shall apply for delivery and inspection. Other inspections may be agreed.

Salzgitter Flachstahl GmbH · Eisenhüttenstraße 99 · 38239 Salzgitter
 Phone +49 (0) 5341 21-2890 · Fax +49 (0) 5341 21-8536
 E-Mail flachstahl@salzgitter-ag.de · <http://www.salzgitter-flachstahl.de>

ANEXO IV

Propriedades dos perfis utilizados

HEB280:

Poutrelles européennes à larges ailes

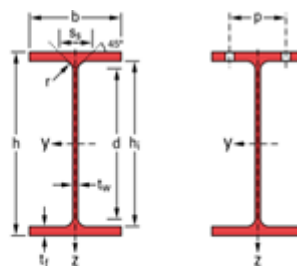
HE A, HE B et HE M 100 - 1000 conformes à l'Euronorme 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

European wide flange beams

HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100

Europäische Breitflanschträger

HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß Euronorm 53-62; HE AA 100 - 1000; HL 920 - 1100



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	A cm ²	h ₁ mm	d mm	Ø	P _{min} mm	P _{max} mm	A _t m ² /m	A _G m ² /t
HE 280 AA*	61.2	264	280	7	10	24	78.02	244	196	M27	110	178	1.593	26.01
HE 280 A	76.4	270	280	8	13	24	97.26	244	196	M27	112	178	1.603	20.99
HE 280 B	103	280	280	10.5	18	24	131.4	244	196	M27	114	178	1.618	15.69
HE 280 M	189	310	288	18.5	33	24	240.2	244	196	M27	122	186	1.694	8.984
HE 300 AA*	69.8	283	300	7.5	10.5	27	88.91	262	208	M27	116	198	1.705	24.42
HE 300 A	88.3	290	300	8.5	14	27	112.5	262	208	M27	118	198	1.717	19.43
HE 300 B	117	300	300	11	19	27	149.1	262	208	M27	120	198	1.732	14.80
HE 300 M	238	340	310	21	39	27	303.1	262	208	M27	132	208	1.832	7.699



Notations pages 104-108 / Bezeichnungen Seiten 104-108

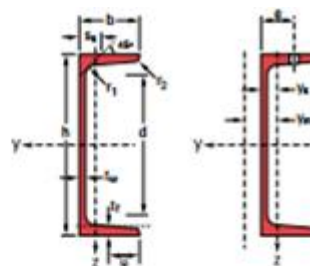
Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte													Classification ENV 1993-1-1				HISTAR	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z							pure bending y-y		pure compression			
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{el,y} cm ³	W _{pl,y} ♦ cm ³	I _y cm	A _{e2} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el,z} cm ³	W _{pl,z} ♦ cm ³	I _z cm	s _y mm	I _t cm ⁴	I _w x 10 ⁻¹¹ cm ⁶	S 235 S 355	S 460	S 235 S 355	S 460		
HE 280 AA	61.2	10560	799.8	873.1	11.63	27.52	3664	261.7	399.4	6.85	55.12	36.22	590.1	3	4	3	4	-	
HE 280 A	76.4	13670	1013	1112	11.86	31.74	4263	340.2	518.1	7.00	62.12	62.10	785.4	2	3	4	2	3	4
HE 280 B	103	19270	1376	1534	12.11	41.09	6595	471.0	717.6	7.09	74.62	143.7	1130	1	1	2	1	1	2
HE 280 M	189	39590	2551	2906	12.83	72.03	13160	914.1	1397	7.40	112.6	807.3	2520	1	1	1	1	1	1

UPN280:

Fers U normaux européens
conformes à DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202 (1983)

European standard channels
in accordance with DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202 (1983)

Europäische U-Stahl-Normalprofile
gemäß DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202 (1983)



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm	A cm ²	d mm	∅	e _{min} mm	e _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
UPN 100	10.6	100	50	6	8.5	8.5	4.5	13.5	64	-	-	-	0.372	35.1
UPN 120	13.4	120	55	7	9	9	4.5	17.0	82	-	-	-	0.434	32.52
UPN 140	16.0	140	60	7	10	10	5	20.4	98	M12	33	37	0.489	30.54
UPN 160	18.8	160	65	7.5	10.5	10.5	5.5	24.0	115	M12	34	42	0.546	28.98
UPN 180	22.0	180	70	8	11	11	5.5	28.0	133	M16	38	41	0.611	27.8
UPN 200	25.3	200	75	8.5	11.5	11.5	6	32.2	151	M16	39	46	0.661	26.15
UPN 220	29.4	220	80	9	12.5	12.5	6.5	37.4	167	M16	40	51	0.718	24.46
UPN 240	33.2	240	85	9.5	13	13	6.5	42.3	184	M20	46	50	0.775	23.34
UPN 260	37.9	260	90	10	14	14	7	48.3	200	M22	50	52	0.834	22
UPN 280	41.8	280	95	10	15	15	7.5	53.3	216	M22	52	57	0.89	21.27



Notations pages 104-108 / Bezeichnungen Seiten 104-108

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte															Classification ENV 1993-1-1		
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z									pour l'axe y-y	pour l'axe z-z	pour l'axe z-z
	G kg/m	I _y cm ⁴	W _{pl,y} cm ³	W _{pl,y} [*] cm ³	I _y cm	A ₁₀ cm ²	I _z cm ⁴	W _{pl,z} cm ³	W _{pl,z} [*] cm ³	I _z cm	t _w mm	r _z cm ³	I _w × 10 ⁻⁴ cm ⁶	I _{pl} cm	Y _{pl} cm	Y _{pl} cm	5.205	5.205
UPN 100	10.6	206	41.2	49	3.91	6.46	29.3	8.49	16.2	1.47	20.3	2.81	0.41	1.55	2.93	1	1	1
UPN 120	13.4	364	60.7	72.6	4.62	8.8	43.2	11.1	21.2	1.59	22.2	4.15	0.9	1.6	3.03	1	1	1
UPN 140	16.0	605	86.4	103	5.45	10.41	62.7	14.8	28.3	1.75	23.9	5.68	1.8	1.75	3.37	1	1	1
UPN 160	18.8	925	116	138	6.21	12.6	85.3	18.3	35.2	1.89	25.3	7.39	3.26	1.84	3.56	1	1	1
UPN 180	22.0	1350	150	179	6.95	15.09	114	22.4	42.9	2.02	26.7	9.55	5.57	1.92	3.75	1	1	1
UPN 200	25.3	1910	191	228	7.7	17.71	148	27	51.8	2.14	28.1	11.9	9.07	2.01	3.94	1	1	1
UPN 220	29.4	2690	245	292	8.48	20.62	197	33.6	64.1	2.3	30.3	16	14.6	2.14	4.2	1	1	1
UPN 240	33.2	3600	300	358	9.22	23.71	248	39.6	75.7	2.42	31.7	19.7	22.1	2.23	4.39	1	1	1
UPN 260	37.9	4810	371	442	9.98	27.12	312	47.7	91.6	2.56	33.0	25.5	33.3	2.36	4.66	1	1	1
UPN 280	41.8	6280	448	532	10.9	29.28	399	57.2	109	2.74	35.6	31	48.5	2.53	5.02	1	1	1

ANEXO V

Ficha técnica dos Cilindros hidráulicos telescópicos e accionamento

Ficha técnica Cilindros hidráulicos:

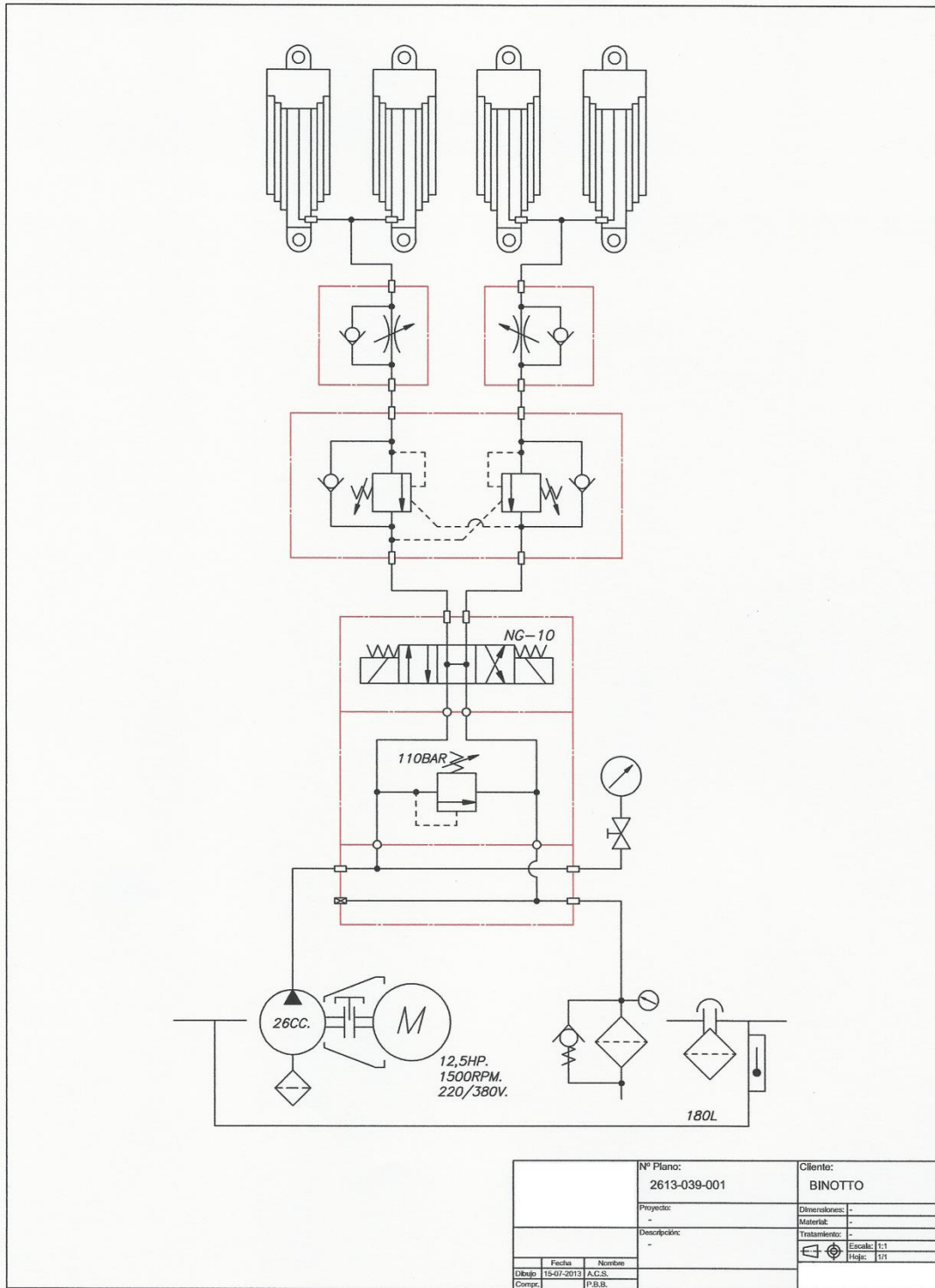
<h1>Binotto</h1>	MARTINETTI - TELESCOPICI	DATA 13-05-2013
------------------	---------------------------------	--------------------

TUTTE LE SFILATE CROMATE 25 MICRON

tipo	n° sfilate	corsa totale	Ø esterno	I	GE	S	M	N	F	G	Peso Kg.	capacità lt.
AF	5	1975	Ø269	840	Ø60	50	130	100	Ø 60	1"		59.7

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ø delle sfilate	236	210	187	165	145				
Spinta in tonn a 120 Bar.	52.4	41.5	32.8	25.6	19.8				

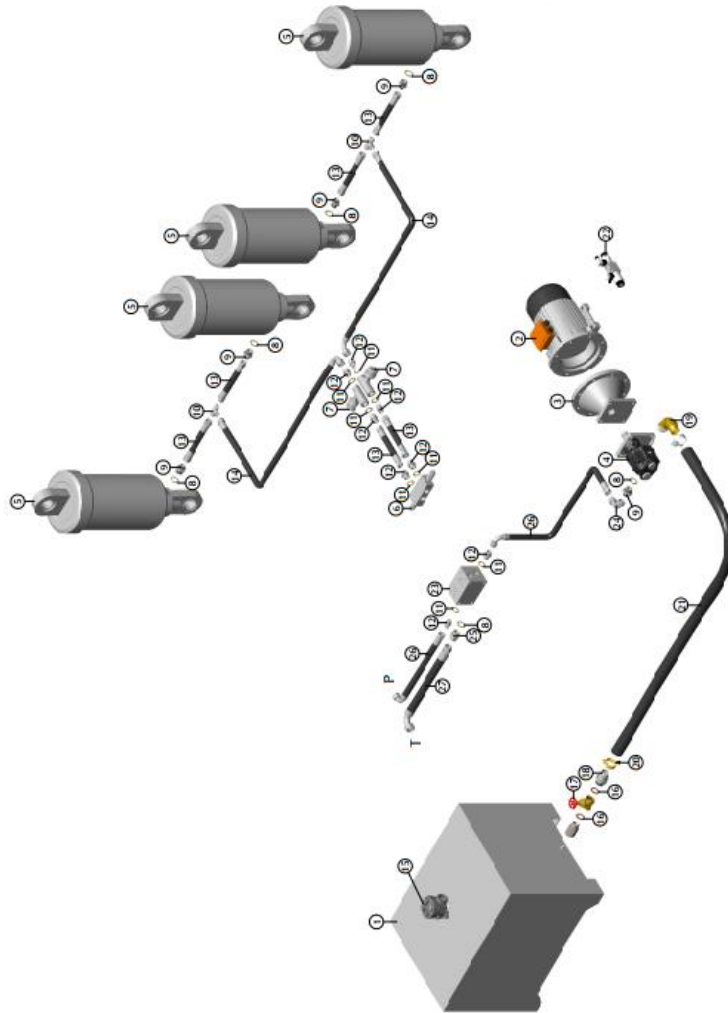
Circuito hidráulico:



Vista explodida dos componentes da solução hidráulico:



Description : ...
Part N. : ...



Item	Part number	Description	Qty
1	DEPOSITO LT180		1
2	MOTOR 132M		1
3	CAMPANA HL12		1
4	BOMBA JPE26		1
5	M5-1975-265-1840-CR		4
6	VALVULA FREMADO VIBRODE		1
7	REGULADOR CAUDAL FT.257_5		2
8	ROIF#		6
9	NIP#AD#AC	STRAIGHT ADAPTER - 1" BSPOT - 3/4" BSPOT	5
10	T#N#C	HOSE CONNECTION 3/4" BSPOT - 3/4" WAY	2
11	ROIF#	DOWNY WASHER 3/4" BSP	8
12	NIP#AC#AC	STRAIGHT ADAPTER - 3/4" BSPOT - 3/4" BSPOT	8
13	LP HOSE 3/4" BSP - L = mm. - 00' / 90'		6
14	LP HOSE 3/4" BSP - L = mm. - 00' / 90'		2
15	FILTRO RETORNO SF#OC#BC		1
16	ROFTE_G	SPECIAL WASHER 1" 1/4 BSP	2
17	SRC#BE#E	VALVULA DE REGISTRO - 1" 1/4 BSPOT - 1" 1/4 BSPOT	1
18	PT#C#D#M#E#H	ADAPTER 1" 1/4 BSPOT / 45 mm	1
19	PT#C#M#AL#C	ELBOW ADAPTER 1" 1/4 BSPOT / 0415 mm + NUT	1
20	F#S#F#C	J#C#Y BALL FOR SUCTION HOSE R4 - LD. 45 mm	1
21	SUCTION HOSE R4 - LD. 45 mm - L = mm		1
22	ELECTROVALVULA DG#V5		1
23	BLOQUE		1
24	ADT#M#AC#BC	ADAPTER 90° - 3/4" BSPOT - 1/2" 3/4" BSPOT	1
25	NIP#AD#AD	STRAIGHT ADAPTER - 1" BSPOT - 1" BSPOT	1
26	LP HOSE 3/4" BSP - L = mm. - 00' / 90'		2
27	LP HOSE 1" BSP - L = mm. - 00' / 90'		1



BINOTTO SRL
Via Divisione Julia 7/b
36031 Dueville (VICENZA) - ITALY
Tel + 39 0444 593290 - Fax + 39 0444 593357
www.binotto.com - info@binotto.com
P. IVA 1101468160241

ANEXO VI

Orçamentos Diversos

Orçamento Chumaceiras FAG:

20/10/13 Outlook - joao_almeida_gomes@hotmail.com

João

[Nova pasta](#) [Responder](#)

Pastas

Caixa de Entrada 1

Lixo

Rascunhos 7

Enviados

Excluídos

AAC

Cad_Download

Cilindros_Italia

Emprego

Formações

Inscrições_Documentos

Tese

Hidr-Cromados

HIDR-Rafael

HIDR-Stren

RP-chumac...

Viagens

[Nova pasta](#)

Visualizações r...

Documentos


Fotos

Sinalizadas

[Nova categoria](#)

RES: RES: RES: Proposta de Chumaceiras FAG

Para ver mensagens relacionadas a esta, [agrupar mensagens por conversa](#).



Luis Montelobo (lmontelobo@rfportugal.com) /
Para: 'João Gomes'

Bom dia,

Apresentamos proposta revista com o nosso melhor preço.

O prazo de entrega é ca. 5 meses após encomenda.

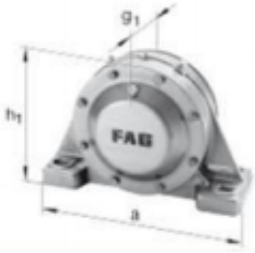
Proposta RF Portugal

Referência: BND3052-H-W-T-AF-S

Rolamentos: 23052-K-MB

Marca: **INA-FAG**

Preço: 5.600 €/unidade



O Outlook funciona no Internet mais rece

Outlook.x qualquer dispositivo Phone, iP Android.

Gira, part calendárik lembrete; Calendári Outlook.x

O Outloo o mais so suas rede

Elimine o: expirados mais rece Agendar

Out

opções de public

© 2013 Microsoft [Termos](#) [Privacidade](#) [Desenvolvedores](#)

https://dub120.mail.live.com/default.aspx?ic=64855&n=560069665&fid=4a114d4444cb496998faee8444e63725&mid=2ca6c0eb-c1ee-11e2-bc2e-00215ad9e77... 1/1

Orçamento Fabory:

Fabory Portugal, Lda
Rua Rodrigo Sarmiento de Beires, 18
Parque Industrial do Seixal
2840-068 Aldeia de Palo Pires
Tel.: ++351 212 135 900
Fax.: ++351 212 135 909
Internet: www.fabory.com
E-mail: sales.seixal@fabory.com



DOWNLOAD
FABORY APP



Ship to party:
JOÃO ALMEIDA
M

JOÃO ALMEIDA
M

Cotação

Vossa req: SR. João
PO data: 11.10.2013
Vossa ref:
Cliente nr: 1250887

Cotação nr: 302622831
Data: 11.10.2013
Válido até: 10.11.2013
Prazo entrega: Ver item.

Item	Artigo nr	Descrição	Qtd.Embal.	Qtd	Preço EUR	Por	Liq
10	07000.360.140	M 36 X 140 D912 12.9 PARAFUSO CAB. CIL. SEXT. INT.	1	10	3,491,50	100	349,15
		Prazo entrega: 10 days					
20	38100.360.001	M 36 D125-1A AÇO ANILHA	25	25	59,00	100	14,75
		Prazo entrega: 10 days					
30	36000.058.001	58 MM D471 AÇO FREIO EXTERIOR	25	25	47,48	100	11,87
		Prazo entrega: 10 days					

Condições transp:	Reembolso	Subtotal	375,77
Peso total:	18,118 KG	Total EUR	375,77

Cumprimentos, Fabory Mala

Cond. pagamento:

Pagamento contra entrega
Price excl. VAT

Conheça os novos EPI Condor, marca exclusiva Fabory!

Processado por Computador

Pag 1/ 1

A GRAINGER COMPANY



Parque Industrial do Seixal - R. Rodrigo Sarmiento de Beires, n.º 18 - 2840-068 Aldeia de Palo Pires - Tel.: 808 235 900 - Fax: 808 235 909
Soc. Comercial Unipessoal - Capital Social: € 4.584.074,47 - Mat. C.R.C. do Seixal, N.º 6467 - VA.T. N.º PT 502 684 276
NIB: BPS - 0007 0313 00000140007 07 - SANTANDER - 0018 0003 2593 3698020 83
ESPAÑA (SANTANDER) - IBAN - ES9000496801852816000943 - SWIFT - BSCHES33

Orçamento F.Ramada:

20/10/13 Outlook - joao_almeida_gomes@hotmail.com

João

[Nova pasta](#) [Responder](#)

Pastas

Caixa de Entrada 1

Lixo

Rascunhos 7

Enviados

Excluídos

AAC

Cad_Download

Cilindros_Italia

Emprego

Formações

Inscrições_Documentos

Tese

Hidr-Cromados

HIDR-Rafael

HIDR-Stren

RP-chumac...

Viagens

[Nova pasta](#)

Visualizações r...

Documentos


Fotos

Sinalizadas

[Nova categoria](#)

FW: Pedido de orçamento [Limpar](#) [Mover para](#)

Para ver mensagens relacionadas a esta, [agrupar mensagens por conversa](#).



Mário Couto (mario.couto@ramada.pt) [Adiciona](#)
Para: joao_almeida_gomes@hotmail.com

Boa tarde,

Agradeço consulta e em seguimento, venho apresentar a melhor proposta para o eventual fornecimento do seguinte material:

- Varão Ø240x 3500mm → **Of. Em St52 Ø250 a 1.57€/kg + 7.29€/corte**
- Varão Ø90 → **Of. Em ST52 (S355) a 1.47€/kg + 5€/corte**
- Chapa 4000x2000x30 → **Of em ST52 cortada a Oxycorte a 0.95€/kg + 10€/corte**
- Bloco 285x207.5x120 → **Of. Em ST52 cortada a Oxycorte a 1€/kg + 10€/corte**
- Restante material não temos em stock nem conseguimos arranjar nos nossos fornecedores.**

- Prazo entrega: 3 a 4 dias úteis, salvo venda.
- Validade de oferta: 3 dias
- Condições de Pagamento: Habituais
- Transporte: V/ instalações. Valor de 4,90 € / por encomenda superior a 200€
- Iva não incluído nos preços apresentados.

Outlook em qualquer dispositivo: Phone, iPad, Android.

Anexos g Carregue conta gra SkyDrive.

O Outlook em todas as i mail. Imp

Os remet fidedigno um escuc à mensag

Converse contactos partir da Receber c Outlook.c

Out

opções de public

© 2013 Microsoft [Termos](#) [Privacidade](#) [Desenvolvedores](#)

https://dub120.mail.live.com/default.aspx?id=64855#n=560069665&fid=1&mid=ca8fbaf2-30e0-11e3-b1f6-002264c2072c&#n=1

1/1

Orçamento IMS:


20/10/13 Outlook - joao Almeida_gomes@hotmail.com

João

Novo email Responder

RE: Pedido de orçamento Limpar Mover para

Para ver mensagens relacionadas a esta, [agrupar mensagens por conversa](#).



ROSA Anabela (arosa@ims-group.com) [Adiciona](#)
 Para: João Gomes
 Cc: JORGE Marta

Sr João Gomes

Segue a nossa proposta

Designação	Qtd.
<p>Varão Ø240x3500- ST52 (S355J0)- PREÇO: 0.98€/KG + CORTE 9.93€/CADA</p>	1
<p>MATERIAL EM ESPANHA, PRAZO +/- 4/5 DIAS ÚTEIS/OVAR</p>	
<p>Varão Ø90x175- ST52 (S355J0)- PREÇO: 0.98€/KG + CORTE 9.93€/CADA</p>	1
<p>MATERIAL EM OVAR</p>	

Pastas

Caixa de Entrada 1

- Lixo
- Rascunhos 7
- Enviados
- Excluídos
- AAC
- Cad_Download
- Cilindros_Italia
- Emprego
- Formações
- Inscrições_Documentos
- Tese
- Hidr-Cromados
- HIDR-Rafael
- HIDR-Stren
- RP-chumac...
- Viagens
- [Nova pasta](#)

Visualizações r...

- Documentos
- Fotos
- Sinalizadas
- [Nova categoria](#)

Rápido, eficiente e fácil de usar. Conheça Explorer.

Registe o "Fidedign" para aumentar o desempenho do e-mail.

Veja o se qualquer Outlook telemóvel.

Os filtros mais recentes e outros.

Gira, partilha o calendário. Lembrete: Calendário Outlook.

Out

opções de public

<https://dub120.mail.live.com/default.aspx?id=64855&n=560069665&fd=1&mid=1a0e6a26-3263-11e3-84bd-00215ad81a52&v=1>

1/1

Orçamento Chagas:

20/10/13

Outlook - joao_almeida_gomes@hotmail.com

João

[Nova pasta](#) [Responder](#)

[Excluir](#) [Pedir abaixo](#) [Lixo Eletrónico](#) [Limpar](#) [Mover para](#)

Outlook e qualquer dispositivo Phone, iP Android.

Pastas

Caixa de Entrada 1

Lixo

Rascunhos 7

Enviados

Excluídos

AAC

Cad_Download

Cilindros_Italia

Emprego

Formações

Inscrições_Documentos

Tese

Hidr-Cromados

HIDR-Rafael

HIDR-Stren

RP-chumac...

Viagens

[Nova pasta](#)

Visualizações r...

Documentos

Fotos

Sinalizadas

[Nova categoria](#)

Cumprimentos,
João Gomes

From: joao_almeida_gomes@hotmail.com
To: porto@chagas.pt
Subject: Pedido de orçamento
Date: Thu, 3 Oct 2013 22:25:50 +0100

Boa tarde,

Venho por este meio solicitar um orçamento para o seguinte material:

Designação	Qtd.		
Varão Ø240x3500	1		
Chapa 4000x2000x30	1		
Bloco 1200x945x260	2		
Bloco 285x207.5x120	8		
Varão Ø90x175	1		
Perfil Quadrado 220x6000	1		
Perfil 140x80x8x6000	1		
Perfil HEB 280x6000	3	670€	TON.
Perfil UPN 280x6000	8	655€	TON.
Perfil 200x100x10x6000	3	43.57€	METRO
Perfil 200x100x6000	3		
Perfil Cantoneira 50x50x5x6000	3	610€	TON.
Tube_Ø26,9x2,3x60009		1.15€	METRO

Anexos g Carregue conta gra SkyDrive.

O Outlook todas as i mail. Imp

Os remet fidedigno um escuc à mensaç

Converse contactos partir da Receber c Outlook.c

Out opções de public

O material pedia que me enviasse um orçamento em S275JR e outro em S355JR.

Vocês têm serviço de oxicorte, para cortar chapas e perfis através de detalhe?

Cumprimentos,
João Gomes

© 2013 Microsoft Termos Privacidade Desenvolvedores

<https://dub120.mail.live.com/default.aspx?id=64855&n=560069665&id=1&mid=55f7c167-327c-11e3-8f3d-00215ad991e&f=1>

1/1

Orçamento Ferpinta:

20/10/13

Outlook - joao_almeida_gomes@hotmail.com

João

[New](#) [Responder](#) [Excluir](#) [Arquivar](#) [Lixo Eletrônico](#) [Limpar](#) [Mover para](#) [Rápido, perfeito e conheça Explorer.](#)

Pastas

Caixa de Entrada 1

	Designação	Qtd.	
Lixo			
Rascunhos 7	Varão Ø240x3500	1 - Não	O Outlook todas as mail. Imp
Enviados			
Exduídos	Varão Ø90x175	1 - Não	
AAC		1 - Não temos - Alternativa	
Cad_Download	Perfil Quadrdo 220x6000	Tubo 200x200x6 mm c/ 6 mts - 27,00/mt	Se um refidigno escudo vi message
Cilindros_Italia			
Emprego	Perfil 140x80x8x6000	1 - Temos 140x80x6 mm - 14,70/mt	
Formações			
Inscrições_Documentos	Perfil HEB 280x6000	3 - 690 €/ton	Converse contactos partir da Receber c Outlook.c
Tese	Perfil UPN 280x6000	8 - 690 €/ton	
Hidr-Cromados			
HIDR-Rafael	Perfil 200x100x10x6000	3 - 32,40/mt	Esqueça c enormes. ficheiros j SkyDrive
HIDR-Stren			
RP-chumac...	Perfil 200x100x6000	3 - qual a espessura do tubo ?	
Viagens			
Nova pasta	Perfil Cantoneira 50x50x5x6000	3 - 680/ton	
	Tubo_Ø26,9x2,3x6000	9 - 1,30/mt (S235JR)	Out opções de public

Visualizações r...

Documentos

Fotos

Sinalizadas

Nova categoria

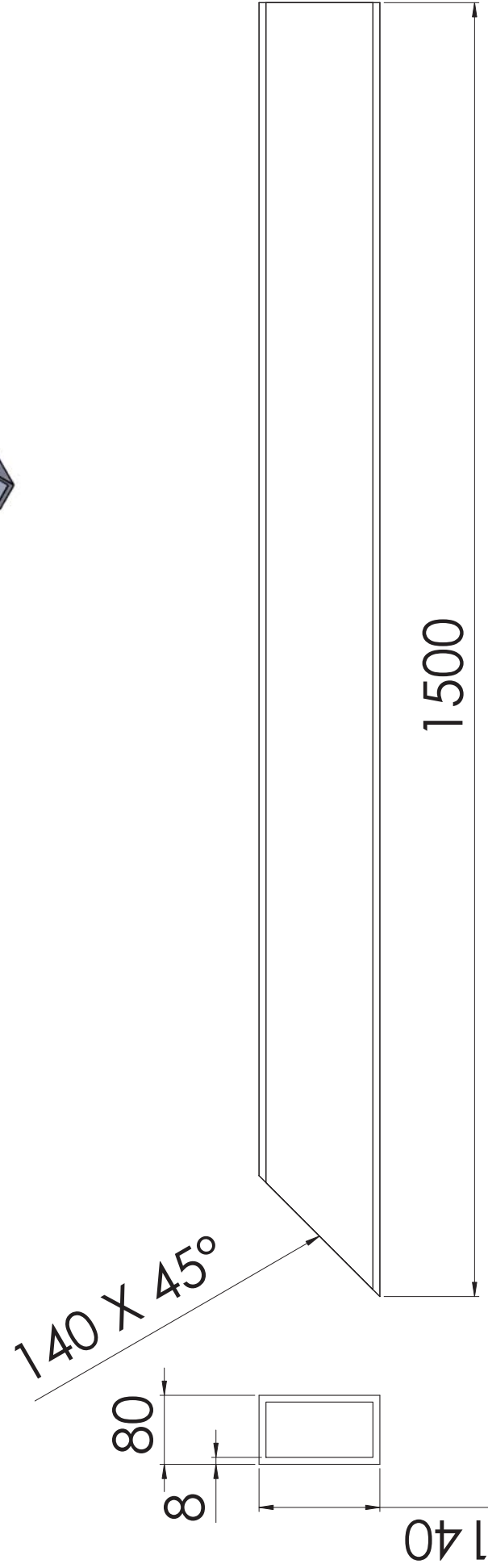
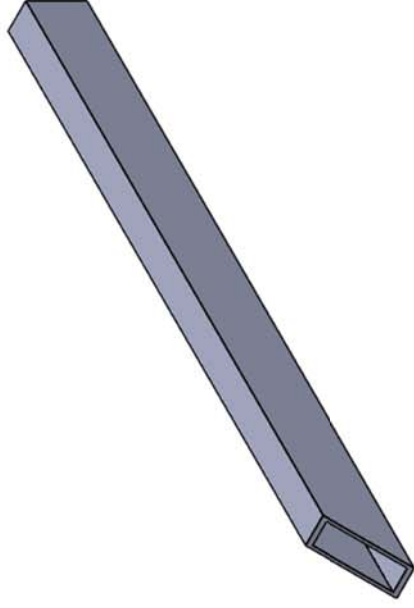
Cumprimentos,

© 2013 Microsoft [Termos](#) [Privacidade](#) [Desenvolvedores](#)
<https://dub120.mail.live.com/default.aspx?id=64855&n=560068665&fid=1&mid=b5596b7b-3755-11e3-b5dd-002370e3f19c&N=1>

1/1

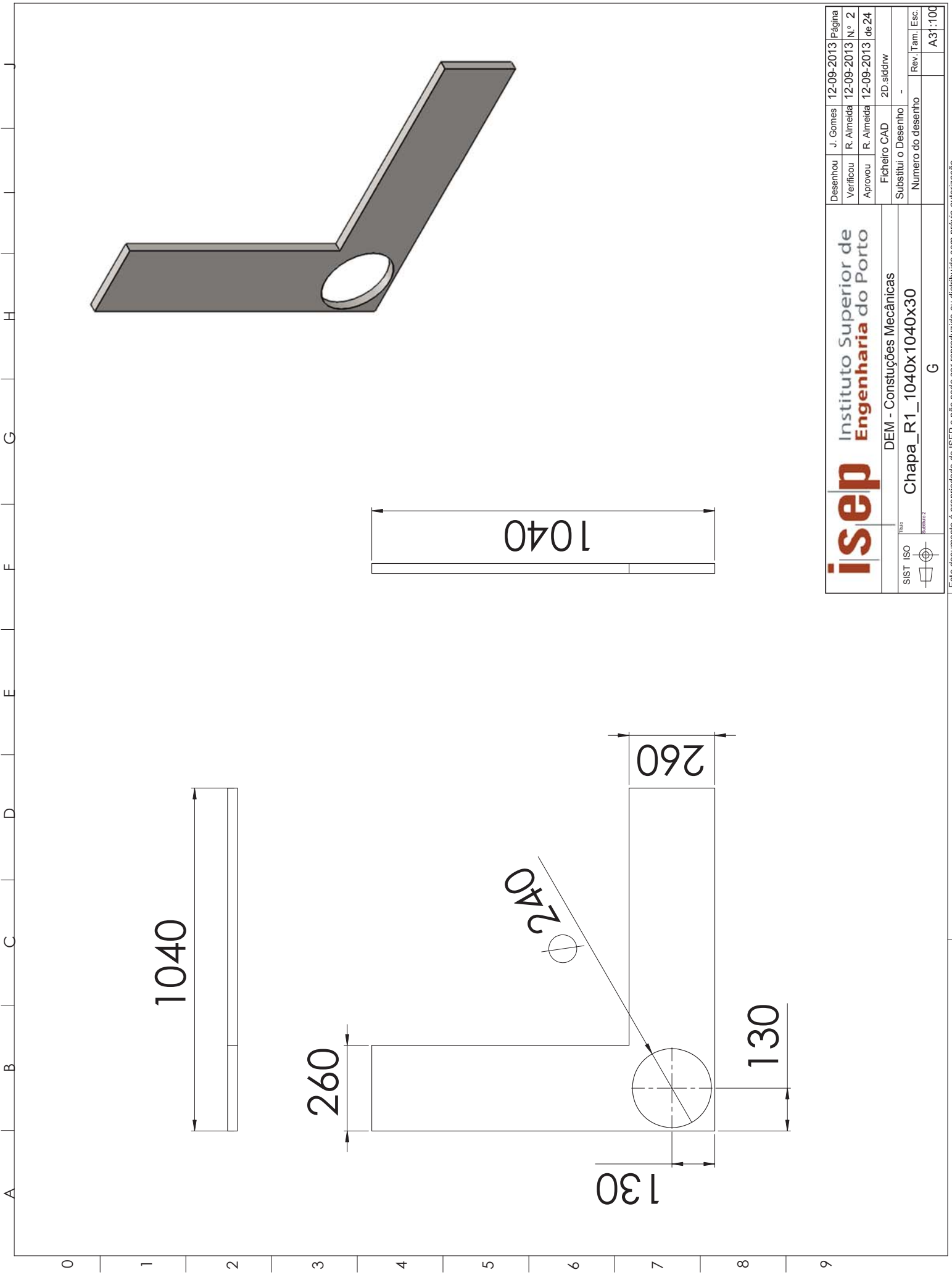
ANEXO VII

Detalhes dos Componentes



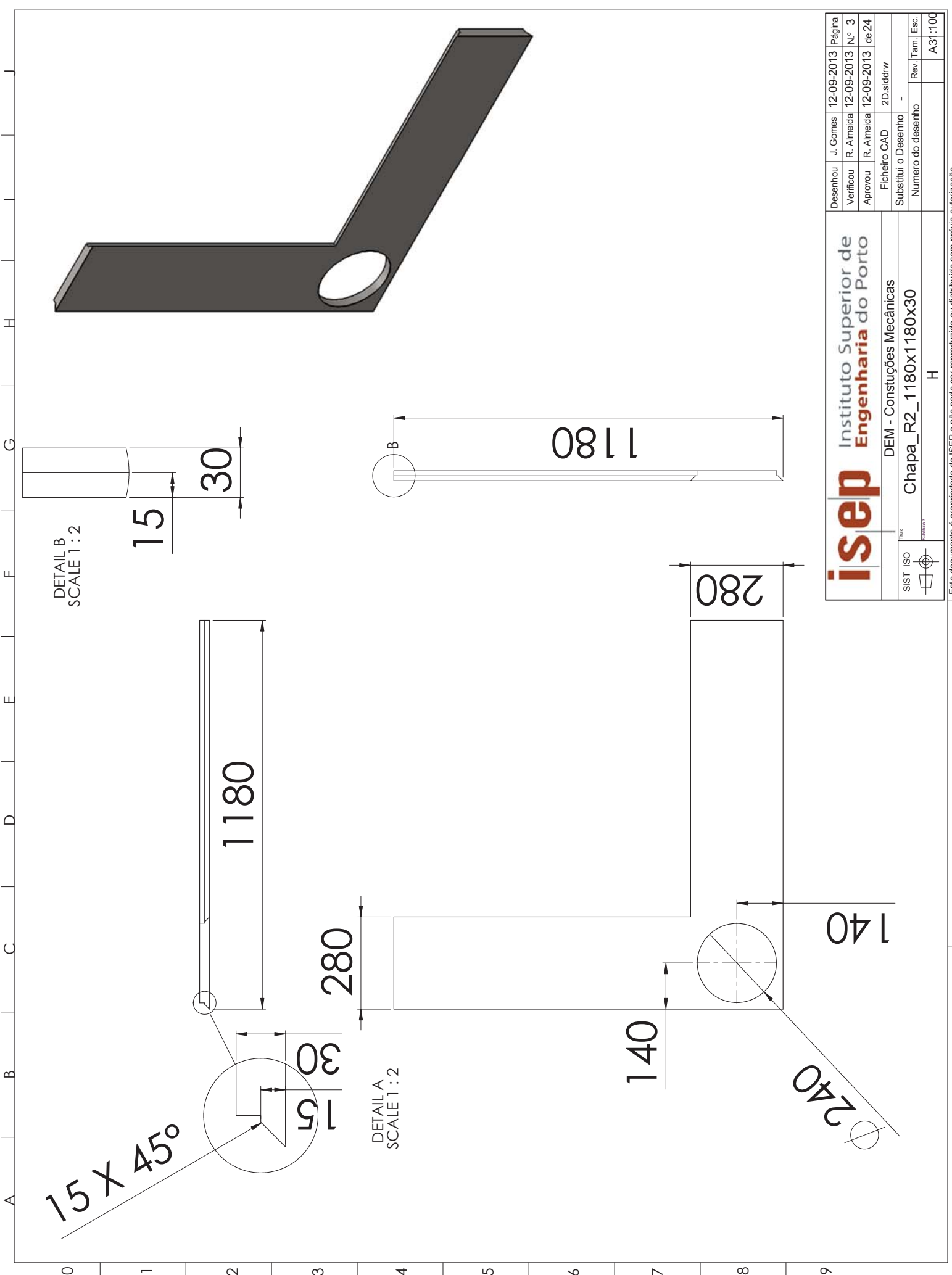
	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 1
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.siddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho			Rev.	Tam. Esc.
				A3 1:100
DEM - Construções Mecânicas Perfil 140x80x8x1500 F				
SIST ISO <small>Formato 1</small>				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



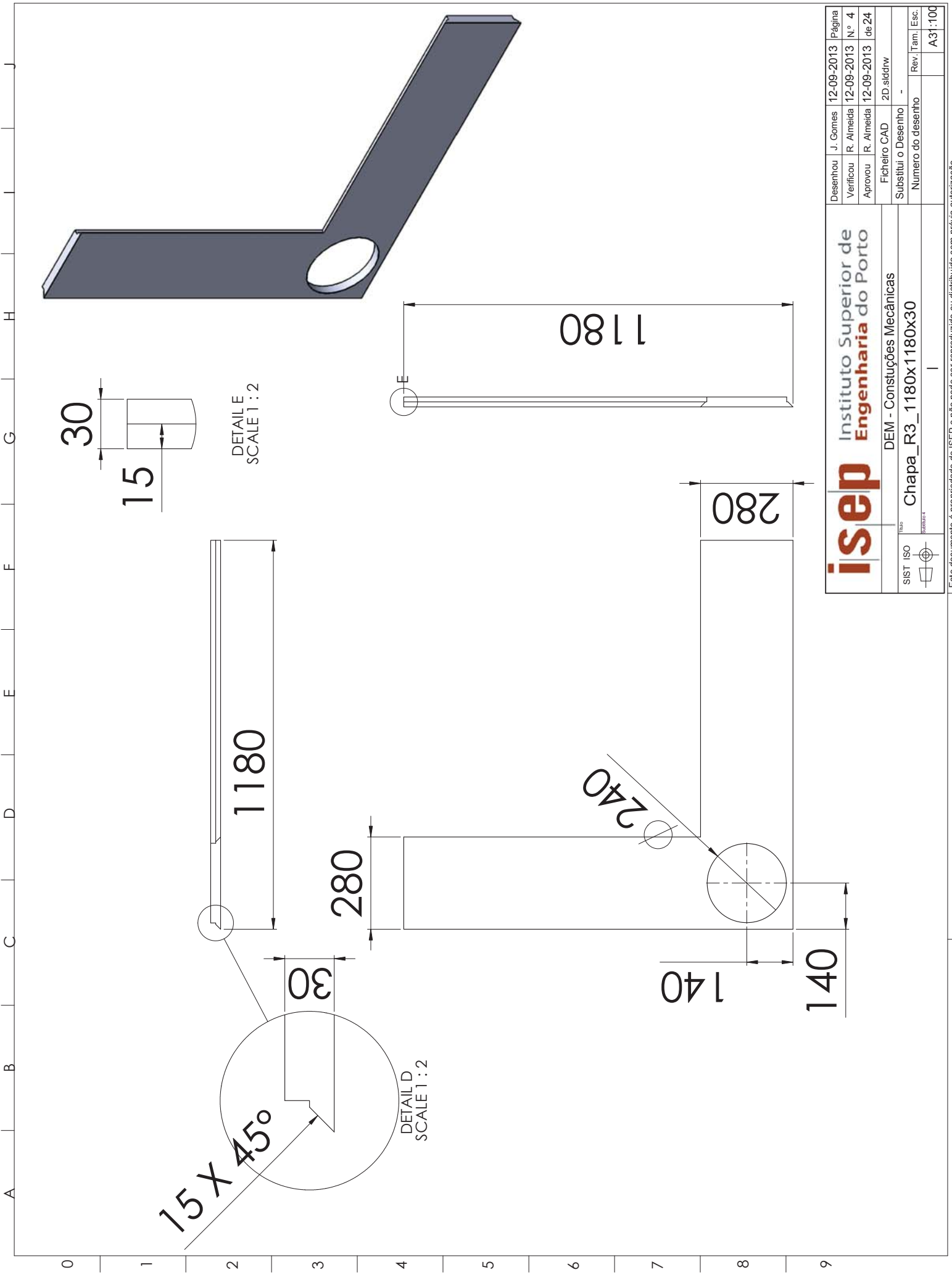
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto		Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
		Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 2
		Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
		Ficheiro CAD	2D.sldprt		
		Substitui o Desenho	-		
		Numero do desenho		Rev.	Tam. Esc.
					A3: 100
SIST ISO 		DEM - Construções Mecânicas			
Chapa_R1_1040x1040x30		G			

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



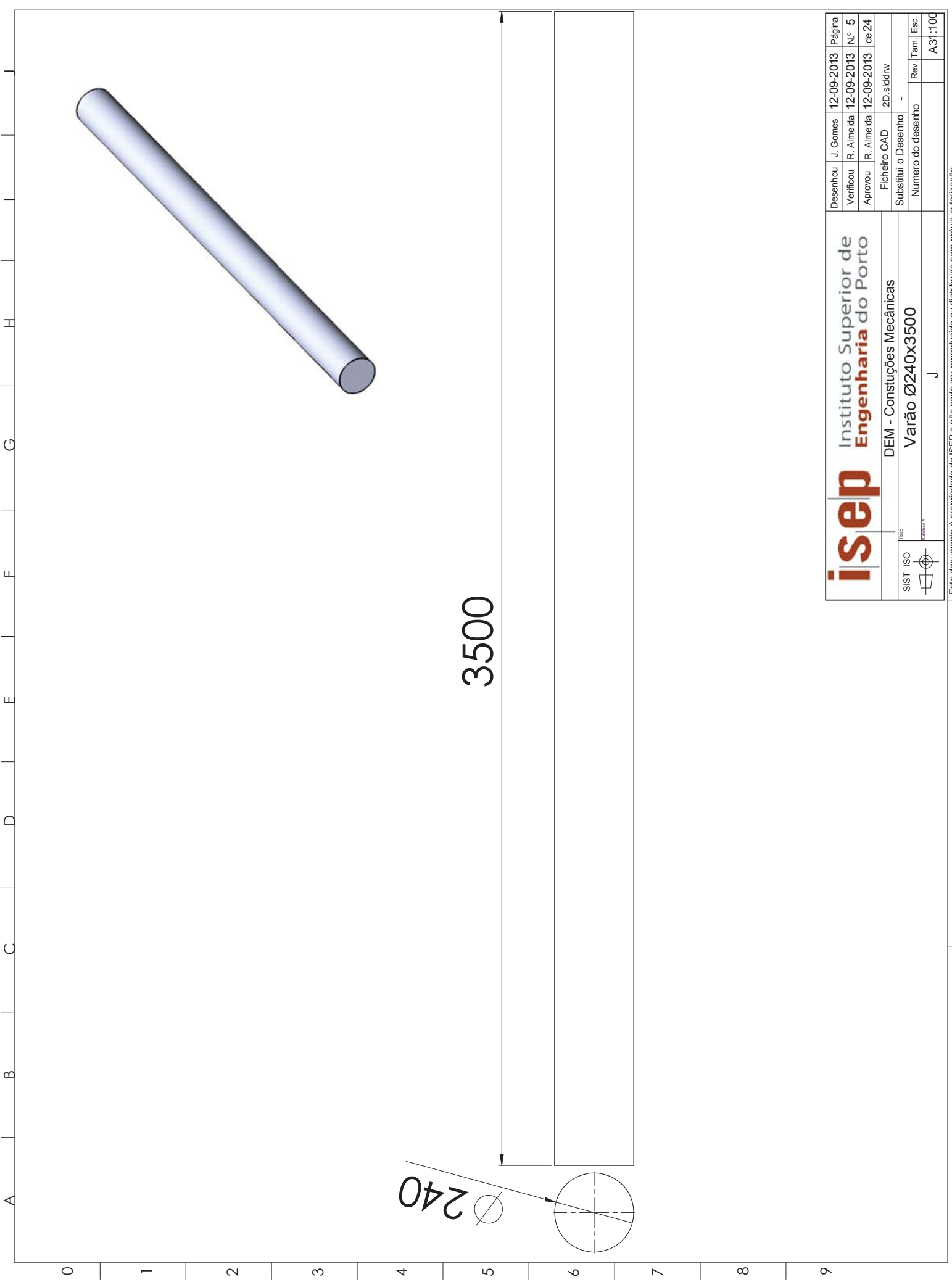
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto		Desenhado	J. Gomes	12-09-2013	Página
		Verificado	R. Almeida	12-09-2013	N.º 3
		Aprovado	R. Almeida	12-09-2013	de 24
		Ficheiro CAD	2D.slddrw		
		Substitui o Desenho	-		
		Numero do desenho		Rev.	Tam. Esc.
					A3: 100
SIST ISO		DEM - Constuções Mecánicas			
Chapa_R2_1180x1180x30		Chapa_R2_1180x1180x30			
H		H			

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



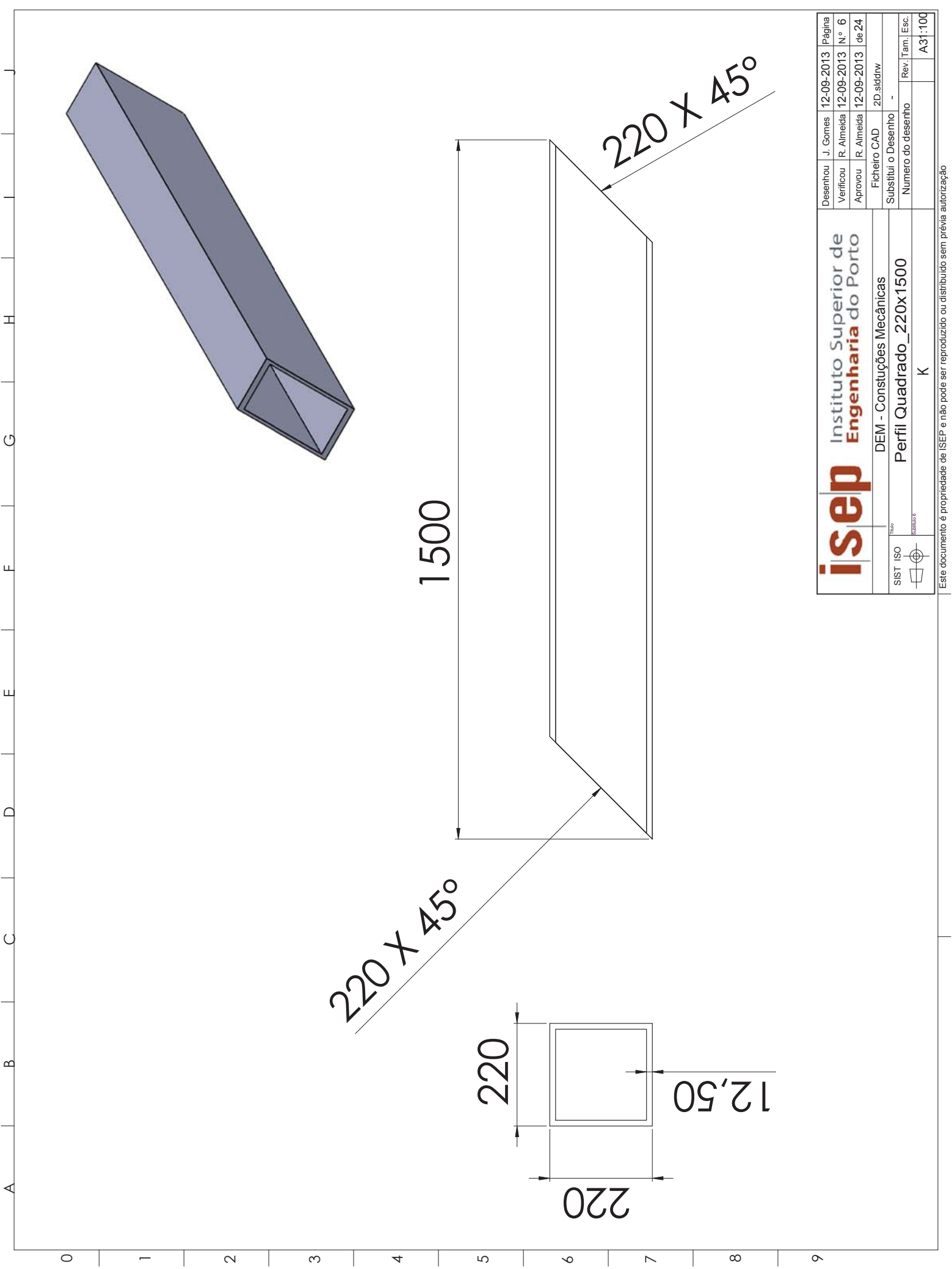
 Instituto Superior de Engenharia do Porto		Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
		Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 4
		Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
		Ficheiro CAD		2D.sldrw	
		Substitui o Desenho		-	
		Número do desenho			
		Rev.	Tam.	Esc.	
					A3:100
TÍTULO Chapa_R3_1180x1180x30					
TEMA DEM - Construções Mecânicas					

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



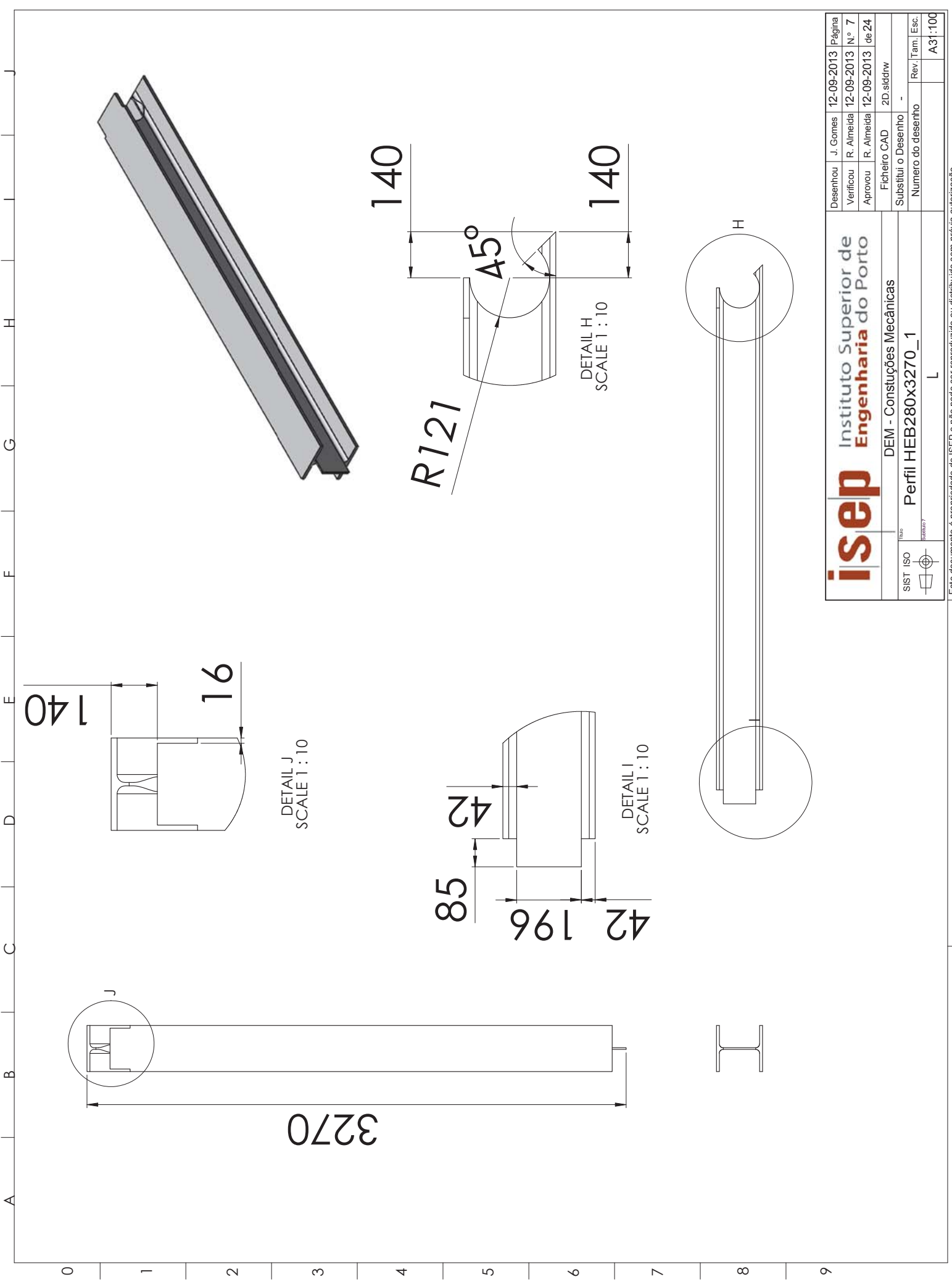
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas Varão Ø240x3500	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 5
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho			Rev.	Tam. Esc.
				A3: 100
SIST ISO				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 6
Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldprt	
Substitui o Desenho		-	
Número do desenho			Rev. Tam. Esc.
			A3: 100
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas Perfil Quadrado_220x1500 K			
SIST ISO			

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



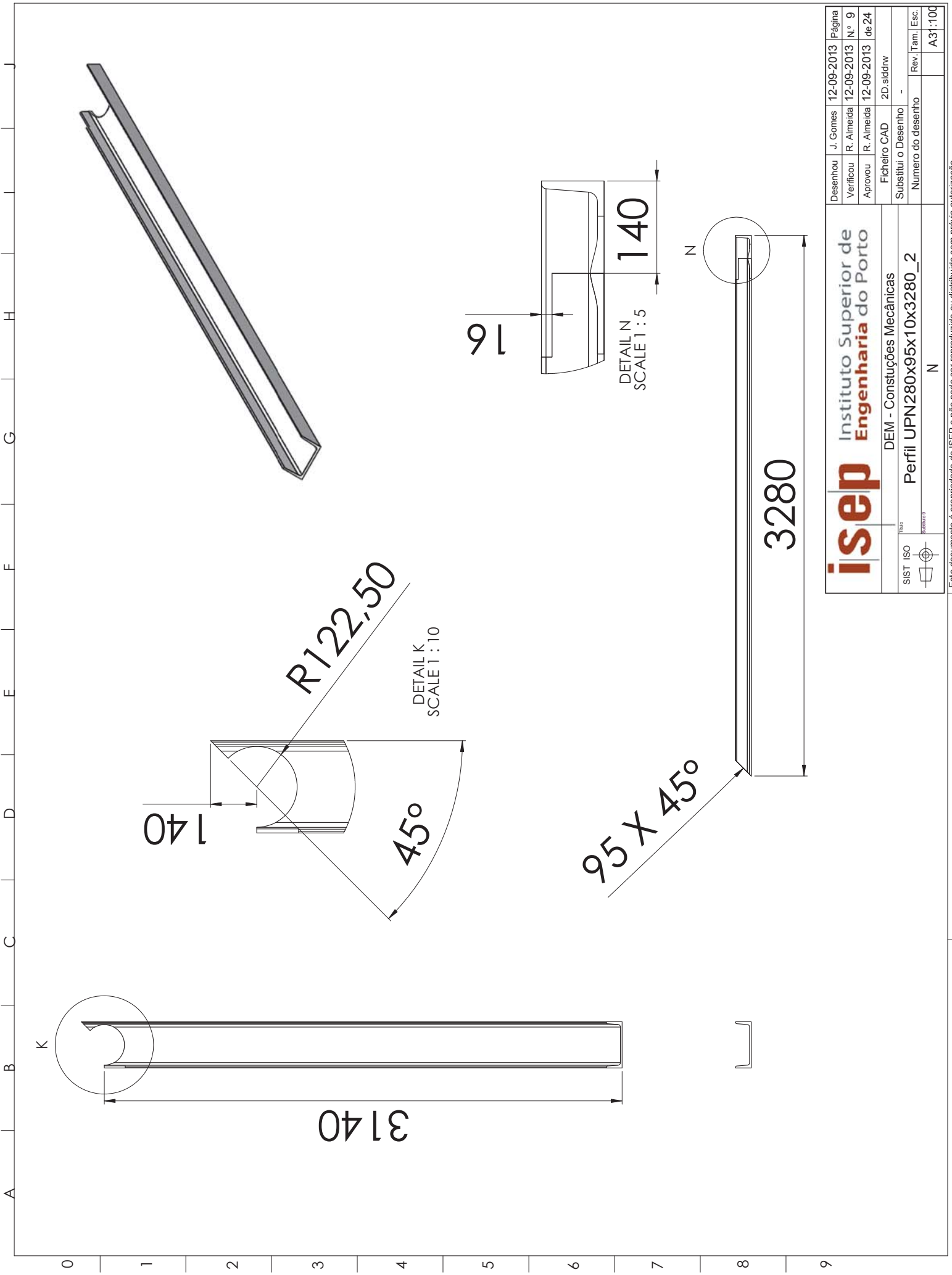
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 7
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldprt		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-	Rev.	Tam. Esc.
SIST ISO		Perfil HEB280x3270_1	A3 100	
Título		DEM - Construções Mecânicas		
Revisão		L		

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



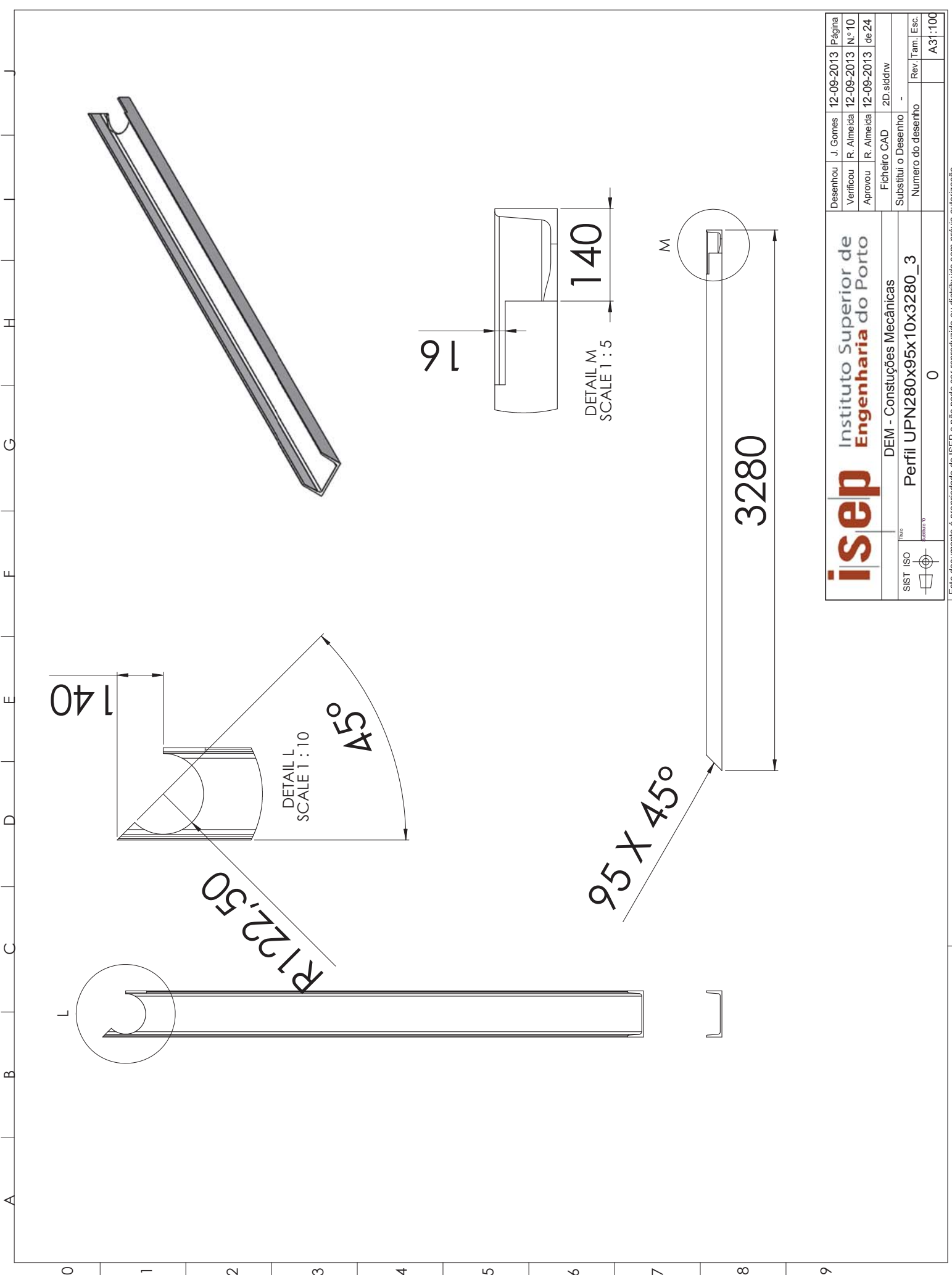
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página	
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º	8
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de	24
Ficheiro CAD		2D.slddrw			
Substitui o Desenho		-			
Número do desenho		-		Rev.	Tam. Esc.
					A3: 100
DEM - Construções Mecânicas Perfil UPN280x95x10x3000_1		M			
SIST ISO 					

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



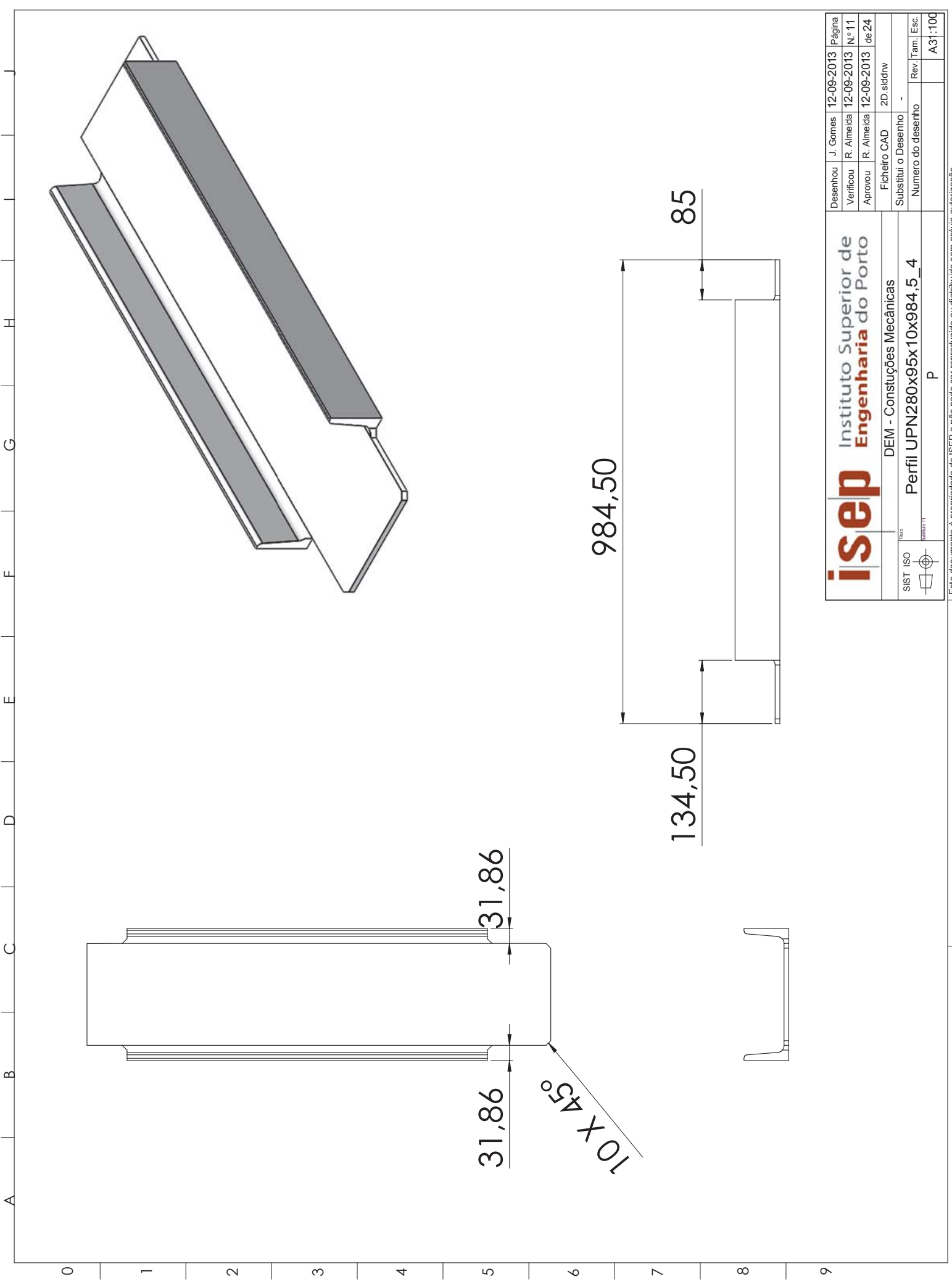
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 9
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldraw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-		
Rev.		Tam.		Esc.
				A3: 100
SIST ISO				
Título		DEM - Construções Mecânicas		
Número		Perfil UPN280x95x10x3280_2		
Autor		N		

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



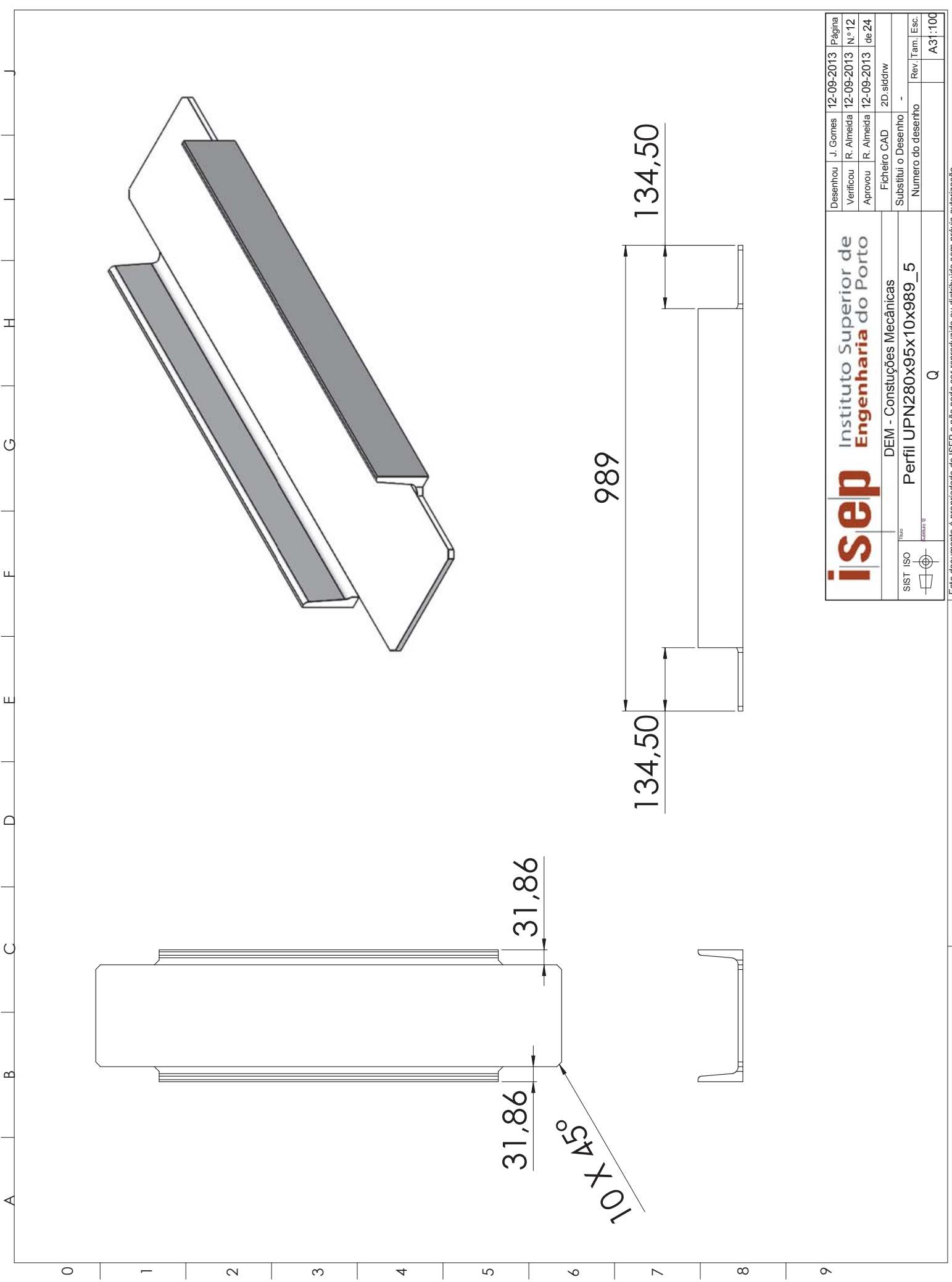
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas Perfil UPN280x95x10x3280_3	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 10
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
SIST ISO	Ficheiro CAD	2D.sldprt	Substitui o Desenho	Rev.
Número do desenho 0	Rev. Tam. Esc. A3:100			

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



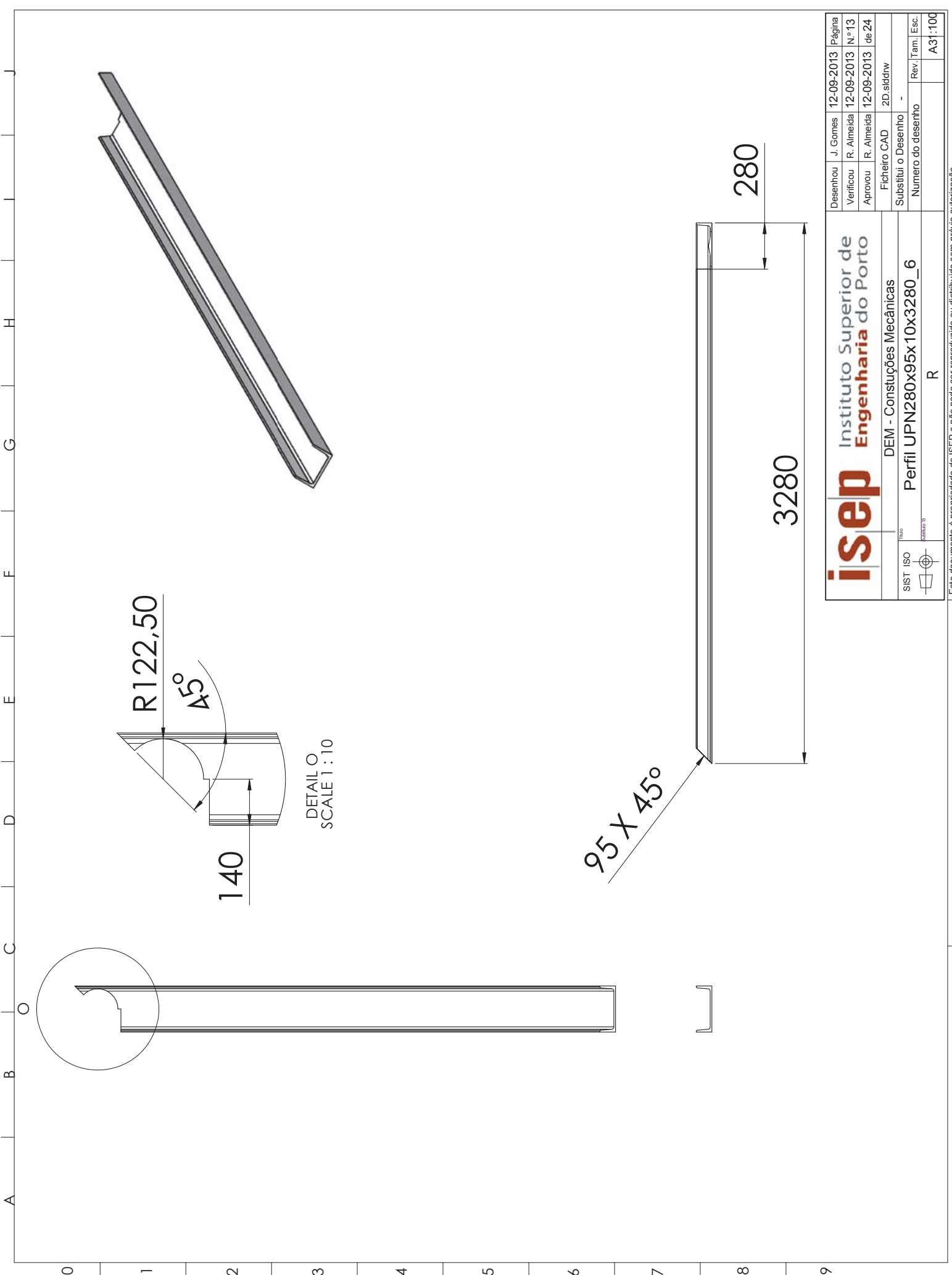
Desenhado	J. Gomes	12-09-2013	Página
Verificado	R. Almeida	12-09-2013	N.º 11
Aprovado	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldraw	
Substitui o Desenho		-	
Número do desenho			Rev. Tam. Esc.
			A3: 100
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas Perfil UPN280x95x10x984,5_4 P			
SIST ISO			

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



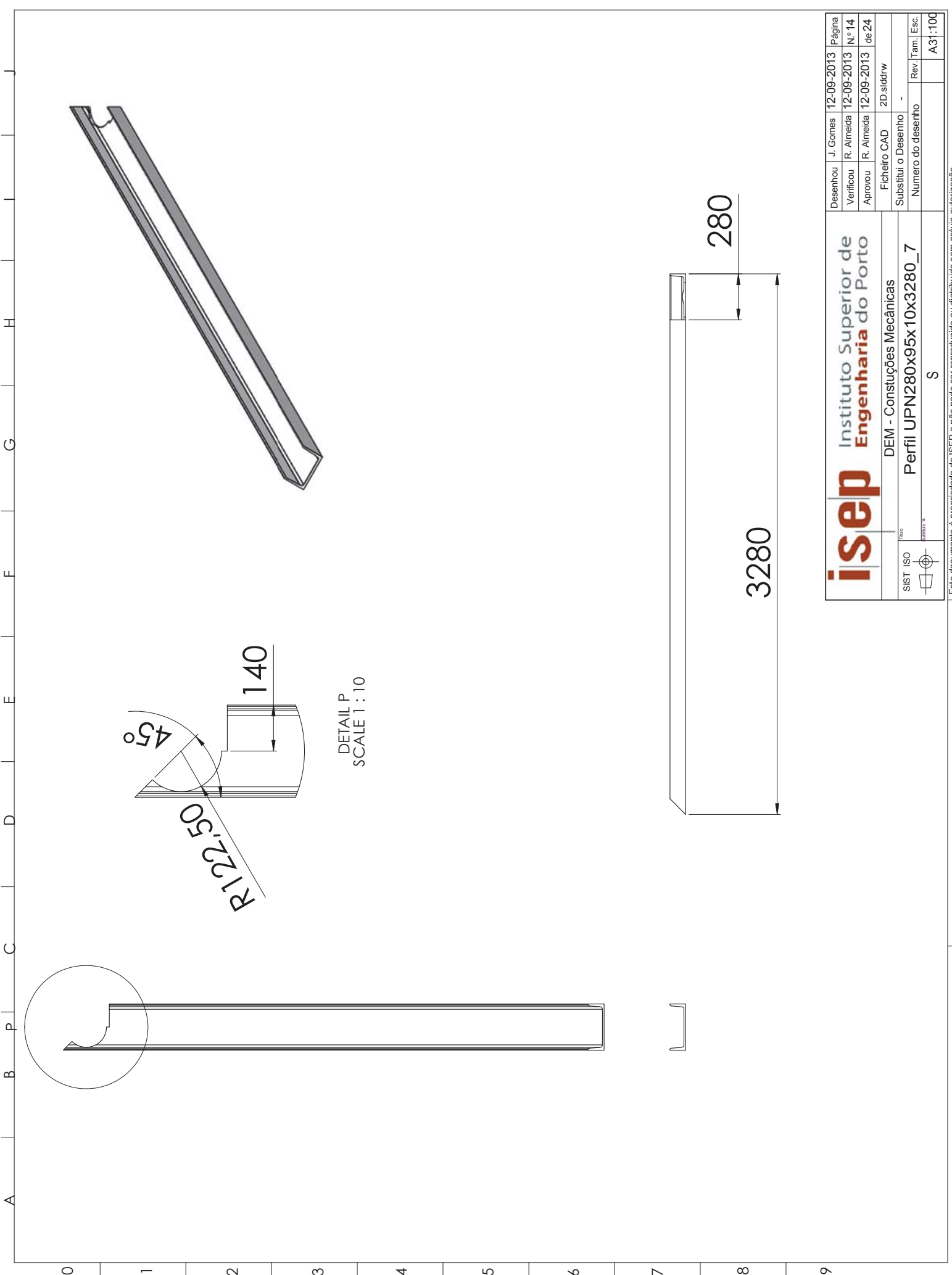
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 12
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD 2D.sldt.drw				
Substituiu o Desenho -				
Número do desenho -		Rev.	Tam.	Esc.
				A3:100
DEM - Construções Mecânicas Perfil UPN280x95x10x989_5				
SIST ISO Q				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 13
Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw	
Substitui o Desenho		-	
Número do desenho			Rev. Tam. Esc.
			A3:100
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto			
DEM - Construções Mecânicas			
Perfil UPN280x95x10x3280_6			
R			
SIST ISO <small>PORTUGAL</small>			

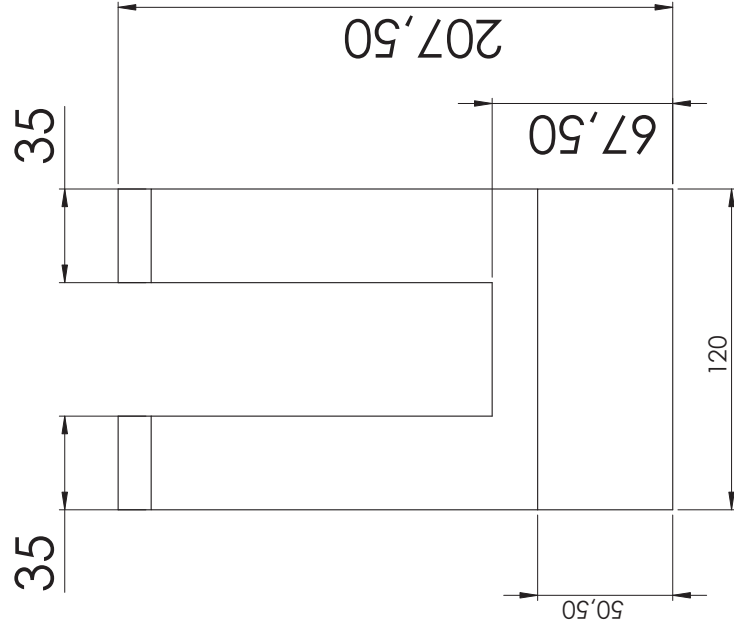
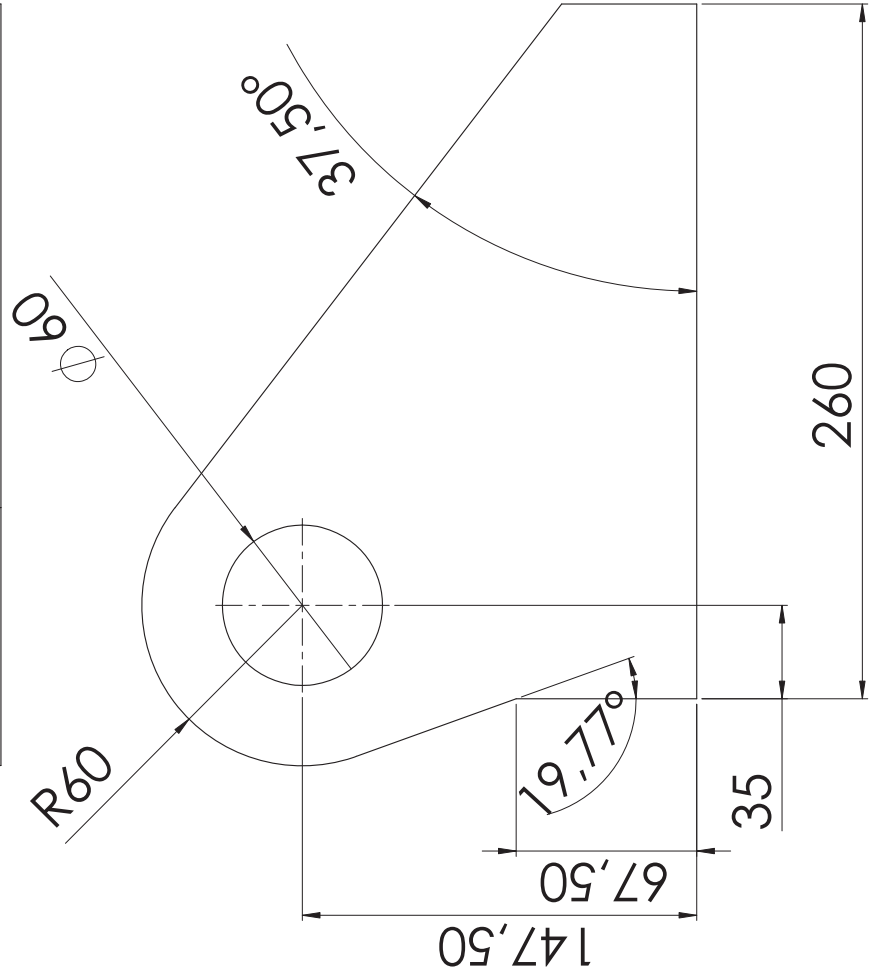
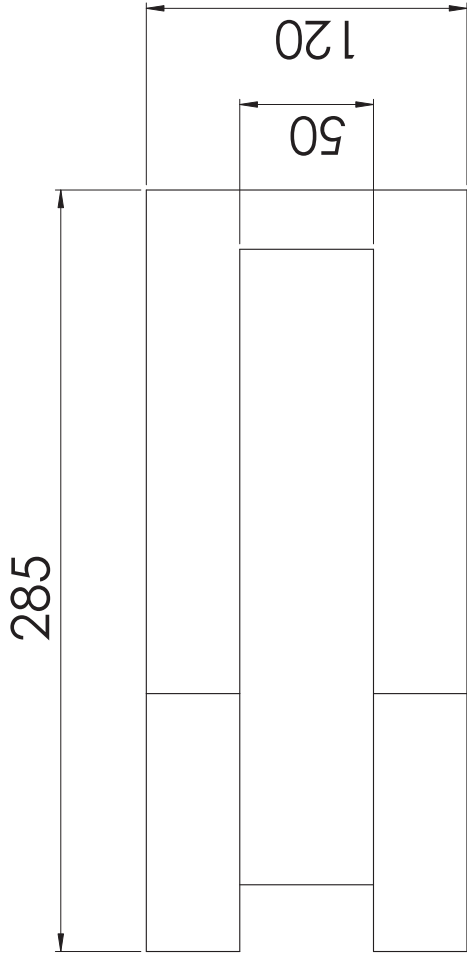
Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização





DETAIL P.
SCALE 1 : 10

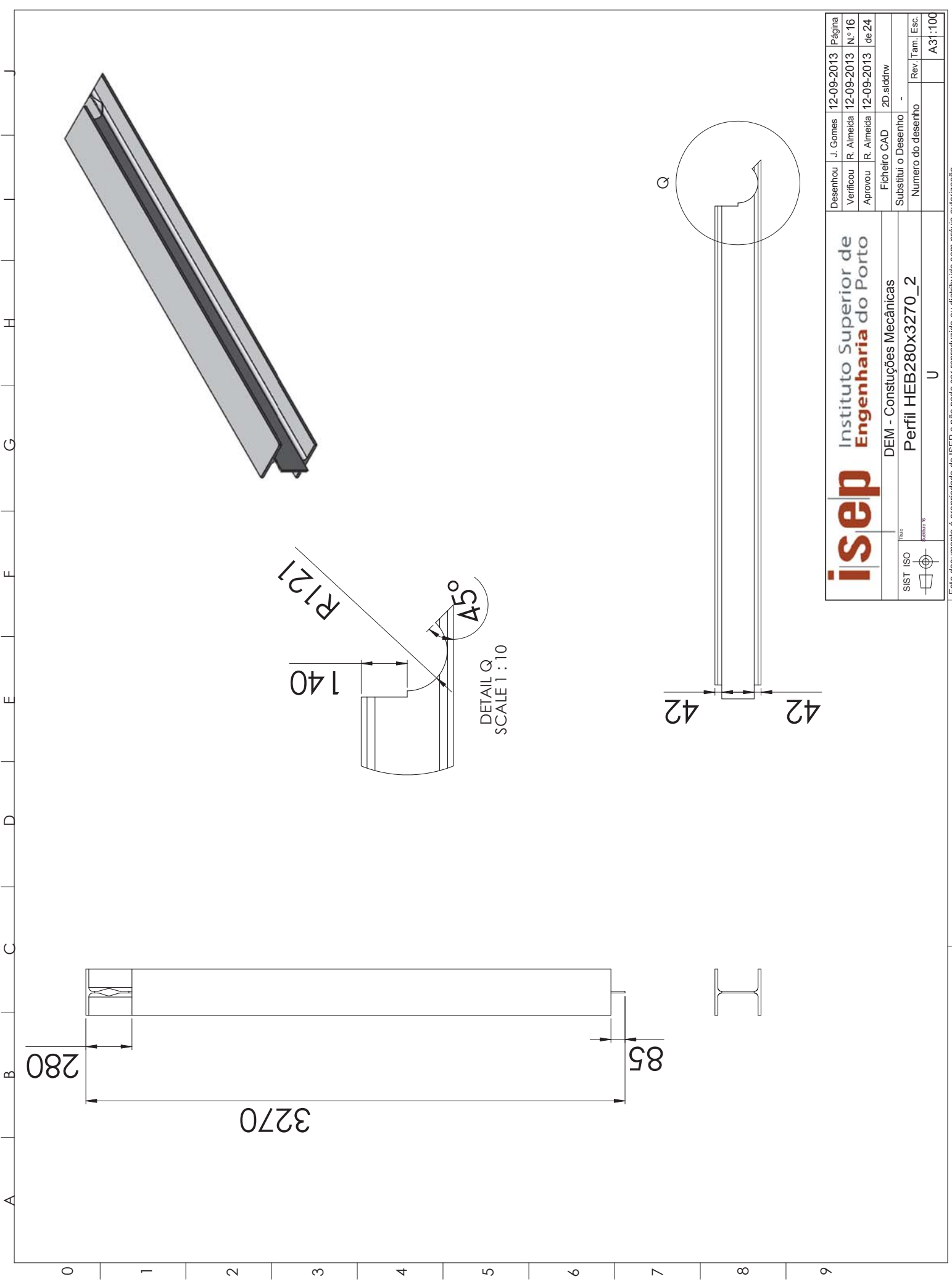
	Desenhado	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificado	R. Almeida	12-09-2013	N.º 14
	Aprovado	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.stdrtrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho			Rev.	Tam. Esc.
				A3: 100
DEM - Construções Mecânicas Perfil UPN280x95x10x3280_7 S				
SIST ISO <small>PROPOSTO N</small>				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



 isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 15
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-	Rev.	Tam. Esc.
				A3: 100
DEM - Construções Mecânicas Fixação Hidráulico				
SIST ISO 				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



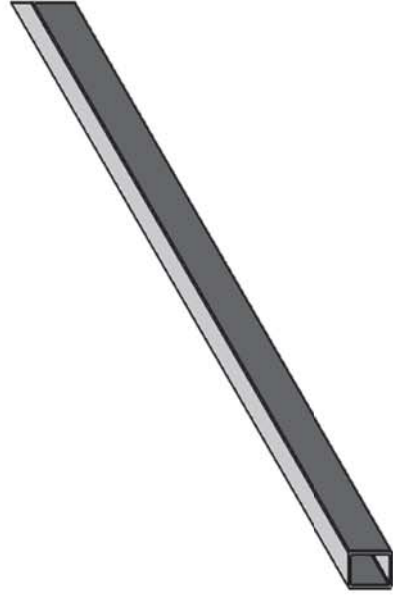
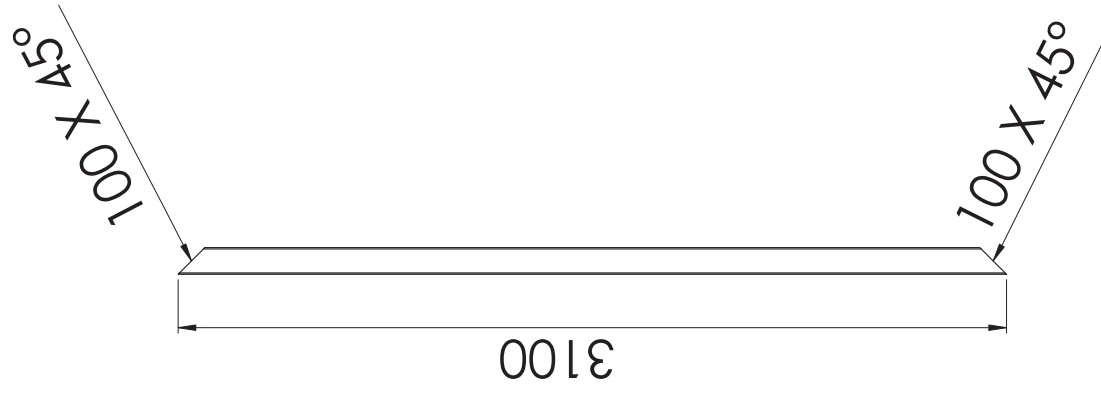
isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 16
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
	Ficheiro CAD	2D.sldprt		
	Substitui o Desenho	-		
	Numero do desenho		Rev.	Tam. Esc.
				A3 100
DEM - Construções Mecânicas Perfil HEB280x3270_2		U		
SIST ISO 				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização

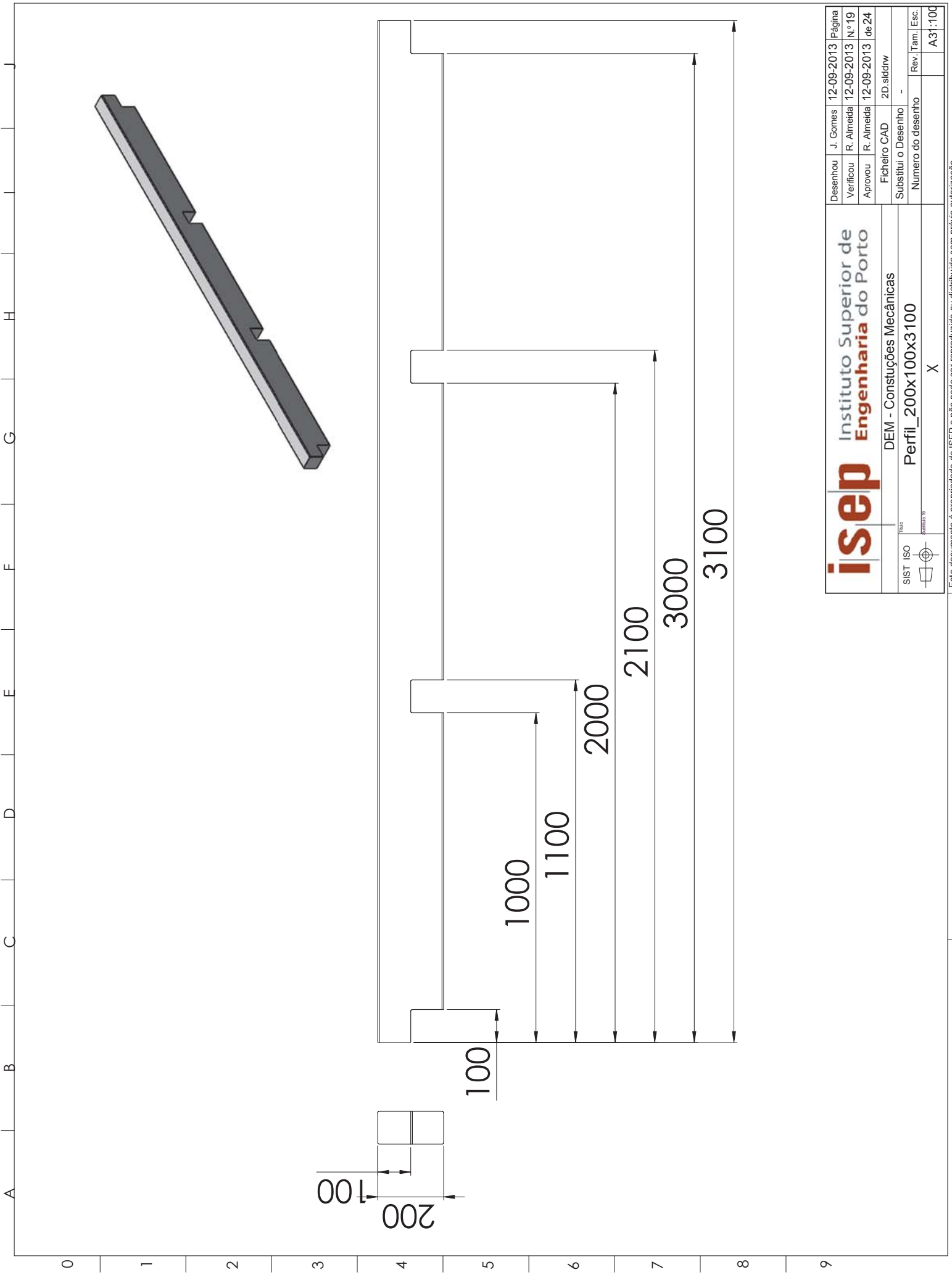


 isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 17
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldtrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho			Rev.	Tam. Esc.
				A3: 100
TÍTULO DEM - Construções Mecânicas				
Nº Perfil_200x100x10x6000				
Símbolo ISO 				
V				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização

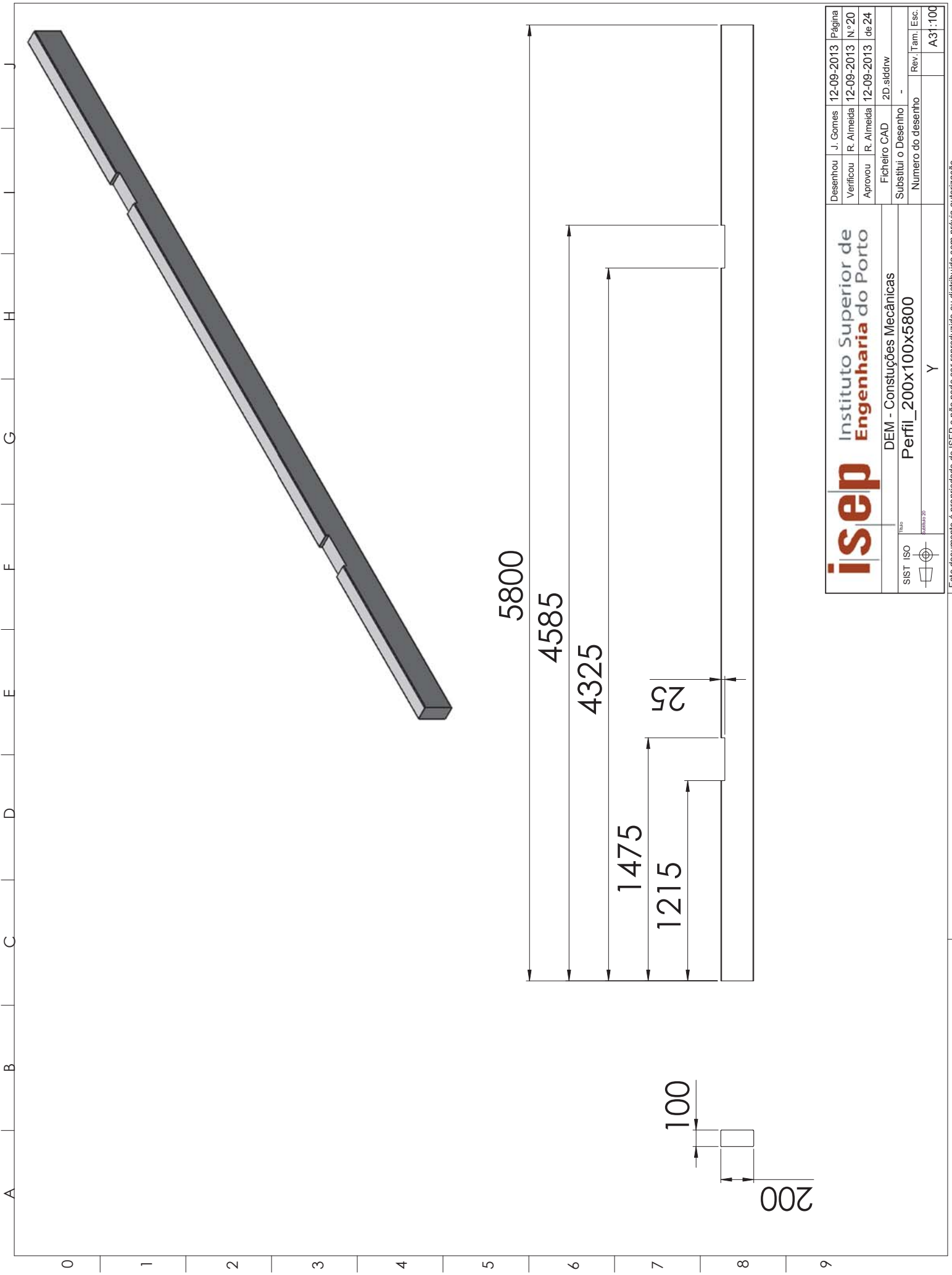


	Desenhou J. Gomes		12-09-2013	Página
	Verificou R. Almeida		12-09-2013	N.º 18
	Aprovou R. Almeida		12-09-2013	de 24
FICHEIRO CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-		
Rev.		Tam.		Esc.
W		A3		100



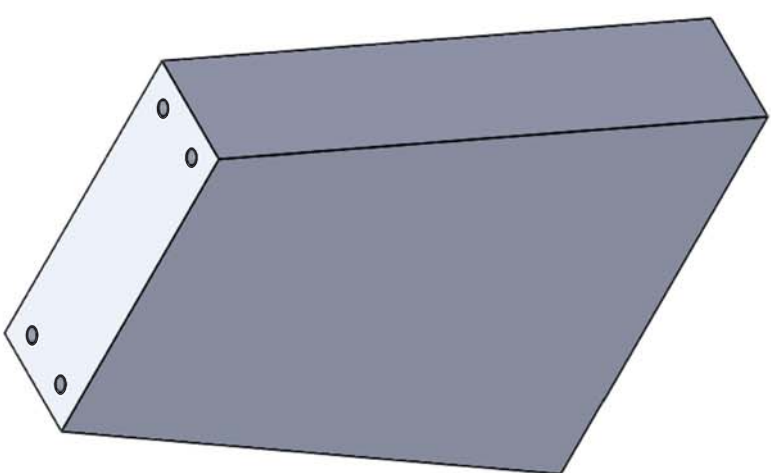
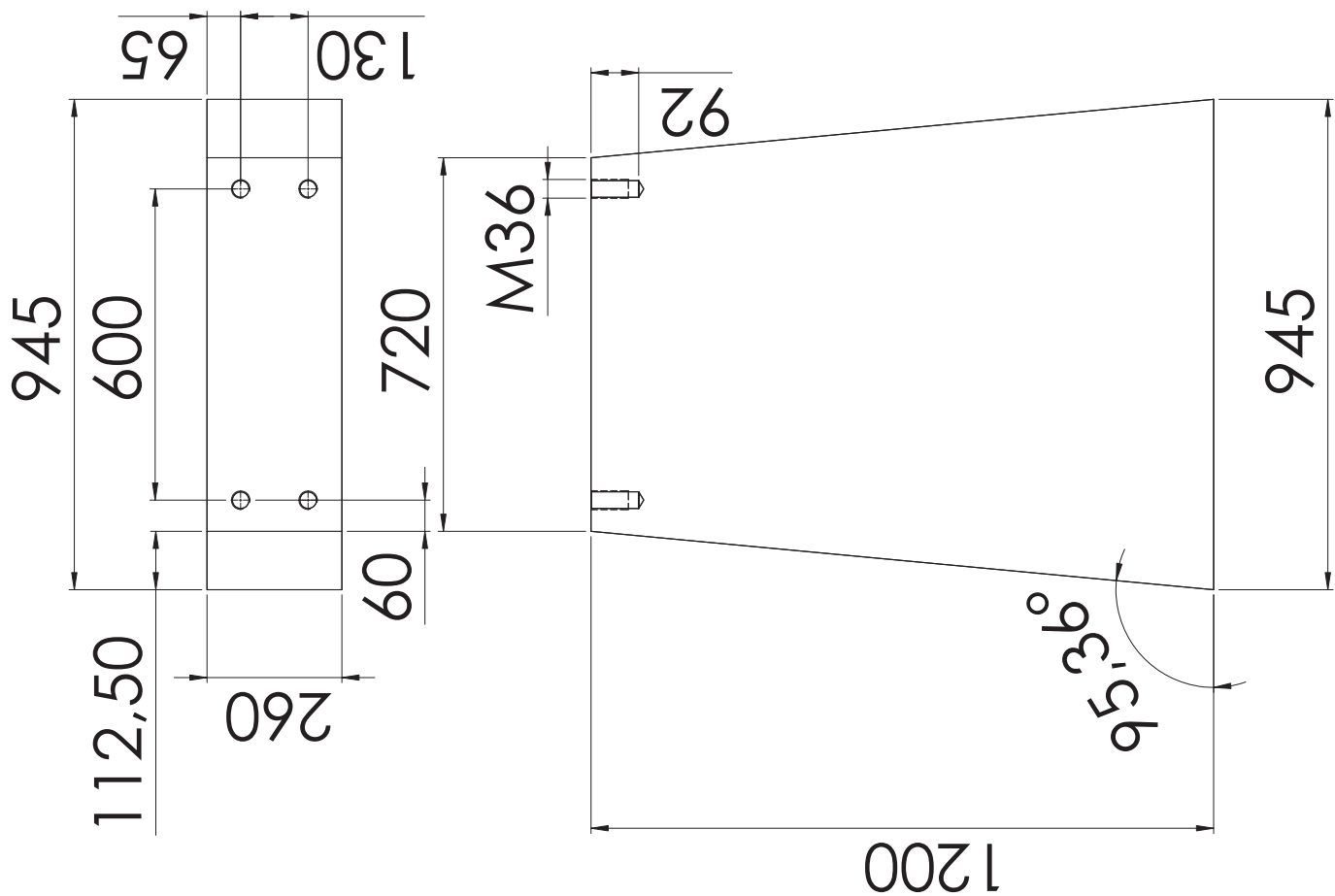
 Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas Perfil_200x100x3100	Desenhado	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificado	R. Almeida	12-09-2013	N.º 19
	Aprovado	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldraw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho			Rev.	Tam. Esc.
				A3: 100
SIST ISO				
				
X				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização



 isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 20
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-	Rev.	Tam. Esc.
				A3: 100
DEM - Construções Mecânicas Perfil_200x100x5800 Y				
SIST ISO				

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização

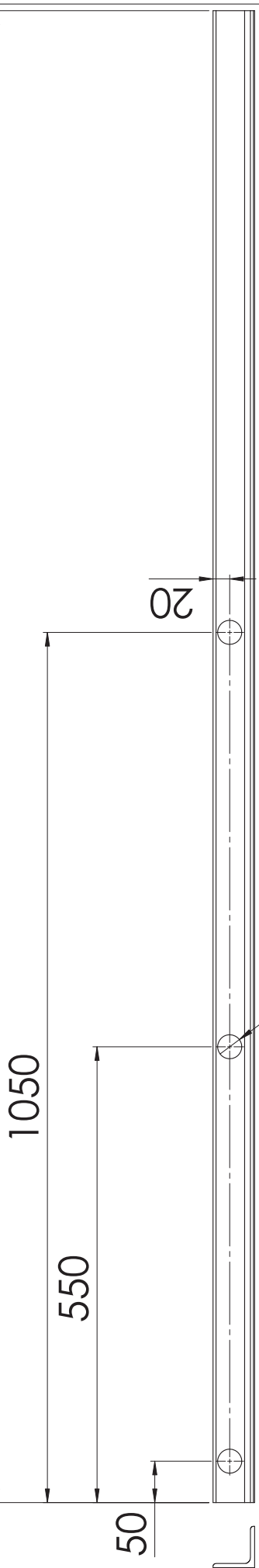


isep Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas Suporte chumaceira Z	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 21
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.sldprt		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho			Rev.	Tam. Esc.
				A3 100

Este documento é propriedade de ISEP e não pode ser reproduzido ou distribuído sem prévia autorização

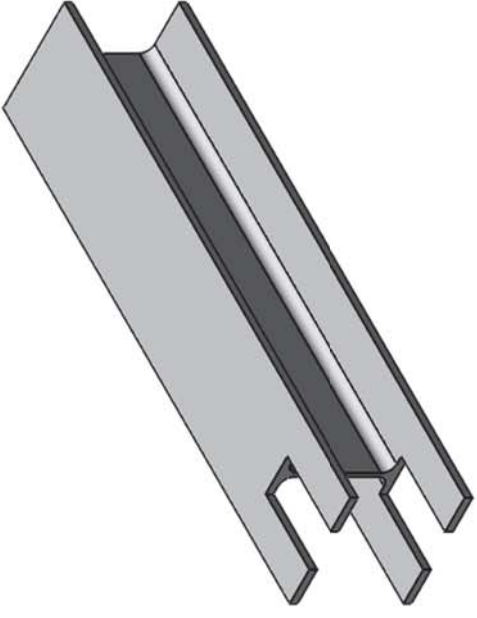
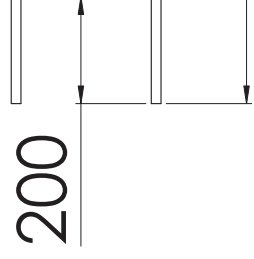
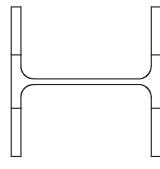
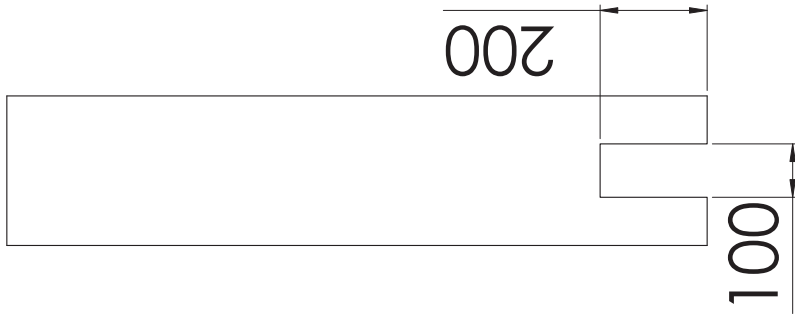


1800

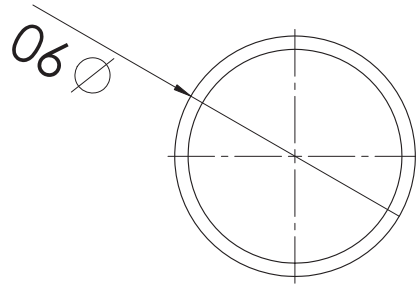
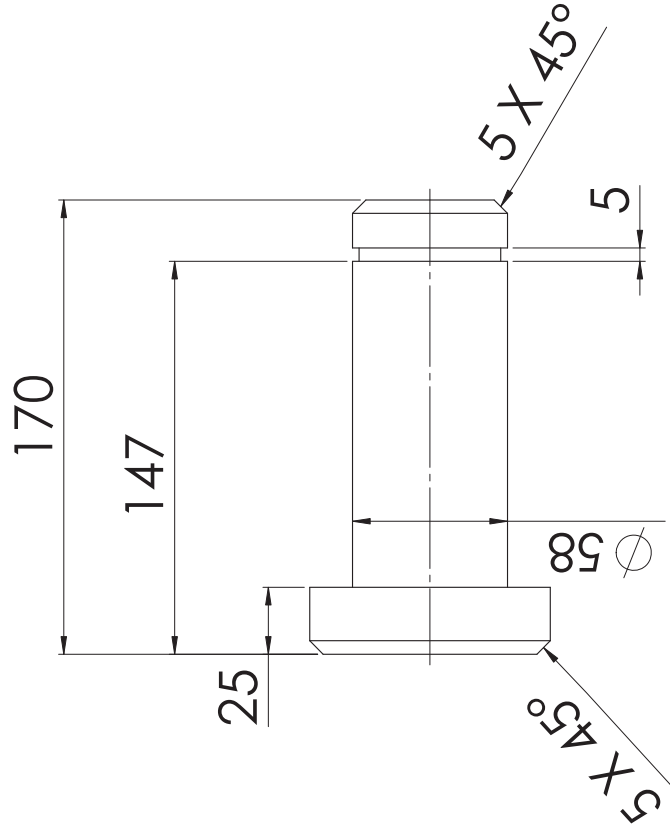
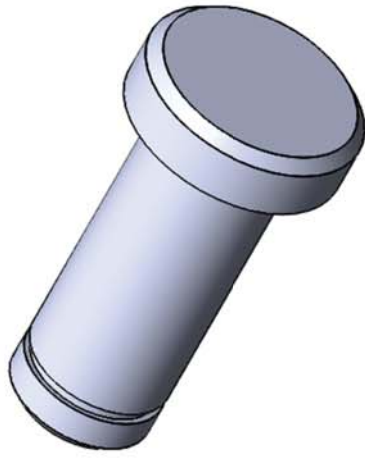


Ø 29

	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 22
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-	Rev.	Tam. Esc.
AA				A3 100
DEM - Construções Mecânicas Cantoneira 50x50x5x1800				
SIST ISO				



 isep Instituto Superior de Engenharia do Porto	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 23
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-	Rev.	Tam. Esc.
				A3 100
SIST ISO				
				
DEM - Construções Mecânicas				
Coluna suporte estrutura				
AE				



 Instituto Superior de Engenharia do Porto DEM - Construções Mecânicas	Desenhou	J. Gomes	12-09-2013	Página
	Verificou	R. Almeida	12-09-2013	N.º 24
	Aprovou	R. Almeida	12-09-2013	de 24
Ficheiro CAD		2D.slddrw		
Substitui o Desenho		-		
Número do desenho		-	Rev.	Tam. Esc.
SIST ISO		AJ	A3 100	
Pino rotação				
AJ				