



Estudo de novo conceito de fixação de cilindros em montantes de quinadoras hidráulicas

DIOGO BRANDÃO DA COSTA

julho de 2022

PROJETO DE UMA SOLUÇÃO EFICIENTE DE ACIONAMENTO DE UMA QUINADORA HIDRÁULICA

Diogo Brandão da Costa

1200532

2021/2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

PROJETO DE UMA SOLUÇÃO EFICIENTE DE ACIONAMENTO DE UMA QUINADORA HIDRÁULICA

Diogo Brandão da Costa

1200532

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica – Ramo Construções Mecânicas, realizada sob a orientação do Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho e coorientação dos Doutores António José de Sousa Ferreira da Silva e Francisco José Gomes da Silva.

2021/2022

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica



JÚRI

Presidente

Doutor Armando José Vilaça de Campos

Professor Adjunto, ISEP

Orientador

Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho

Professor Adjunto, ISEP

Coorientadores

Doutor António José de Sousa Ferreira da Silva

Professor Adjunto, ISEP

Doutor Francisco José Gomes da Silva

Professor Coordenador com agregação, ISEP

Arguente

Doutor Manuel Romano dos Santos Pinto Barbosa

Professor Auxiliar, FEUP

AGRADECIMENTOS

O principal agradecimento a quem devo o desenvolvimento direto da minha dissertação é à Adira, empresa que me acolheu durante aproximadamente 6 meses e me proporcionou todas as condições para o sucesso da realização do projeto desenvolvido, pelo que posso desde já dizer que levo a Adira no meu coração! As pessoas que aqui desenvolvem a sua profissão e interagiram comigo merecem também o meu especial agradecimento, em particular no departamento de engenharia, nomeadamente ao eng. Joaquim Silva, eng. Pedro Costa e eng. João Marcos com quem lidei diretamente e me ajudaram sempre que precisei, ao Gonçalo, colega de estágio por todas as partilhas de conhecimento, à Catarina e Mariana pela partilha de dados importantes, ao mentor do meu projeto, sr. António Alves e por fim ao meu orientador eng. Jorge Almeida que me acompanhou no desenvolvimento do trabalho. Não poderia também deixar de agradecer ao meu orientador prof. Raul Campilho que deu um enorme contributo no desenvolvimento deste relatório e esteve sempre disponível para me ajudar, também ao meu coorientador prof. Ferreira da Silva pelas dicas dadas no projeto hidráulico. À minha mãe, Alexandrina, ao meu pai, Carlos e à minha irmã, Marta, só vos posso estar eternamente grato por serem a minha família e me apoiarem em mais um percurso que é a conclusão da minha formação! Não esqueço também a minha restante família que esteve sempre presente, um obrigado! Aos meus amigos mais próximos, Márcio, Marcelo Daniel Silva, Daniel Braz, Rafael, Renato, André, João e Rúben e também a todos os conhecidos que de uma forma ou de outra me apoiaram!

A elaboração desta dissertação é o culminar de aproximadamente 8 anos de muito estudo e experiência adquirida primariamente no curso profissional de manutenção industrial em Vale de Cambra, seguido da licenciatura em engenharia mecânica em Coimbra e agora, a conclusão do mestrado em engenharia mecânica no Porto.

PALAVRAS-CHAVE

Quinadora, Método dos elementos finitos, Otimização estrutural, Projeto mecânico, Cilindro hidráulico.

RESUMO

O papel dos equipamentos industriais no fabrico de um produto assume cada vez mais importância, devido à complexidade associada à conceção de uma peça. Esta complexidade tem particular impacto no desenvolvimento de uma máquina, uma vez que o seu projeto mecânico deverá privilegiar o desempenho em operação e assim garantir o cumprimento dos requisitos inerentes ao seu funcionamento e com o impacto desejado no produto final. O desenvolvimento de máquinas para a conformação de materiais, em particular as máquinas quinadoras, deve considerar os esforços transmitidos à estrutura da máquina durante o processo de quinagem. Uma vez que o principal objetivo é deformar chapa plasticamente, a estrutura desta máquina deve deformar-se o mínimo possível para não afetar a precisão e a qualidade final da peça.

Este trabalho foi solicitado pela empresa Adira Metal Forming Solutions, fabricante de máquinas de conformação plástica, e teve como objetivo o dimensionamento de uma nova fixação de cilindros hidráulicos em montantes de quinadoras hidráulicas com o propósito de reduzir o custo de produção da máquina. A nova fixação de cilindros hidráulicos, incrementada de normalização de um sistema hidráulico de utilização recorrente por parte da empresa, também requereu o dimensionamento de novos cilindros hidráulicos.

A nova fixação idealizada permitiu a utilização de cilindros hidráulicos de dimensões mais reduzidas e normalizadas, o que resultou num custo inferior aos cilindros hidráulicos utilizados atualmente. Foi feita uma otimização estrutural da máquina, cumprindo com os requisitos necessários ao seu correto funcionamento e obteve-se aqui também uma redução no custo de fabrico.

KEYWORDS

Press Brake, Finite element method, Structural optimization, Mechanical design, Hydraulic cylinder.

ABSTRACT

The role of industrial equipment in the manufacture of a product is becoming increasingly important, due to the complexity associated with the design of a part. This complexity has a particular impact on the development of a machine, since its mechanical design must privilege the performance in operation and thus ensure compliance with the requirements inherent to its operation and with the desired impact on the final product. The development of material forming machines, particularly press brakes, must consider the stresses transmitted to the machine structure during the bending process. Since the main objective is to plastically deform sheet, the structure of this machine should deform as little as possible not to affect the precision and final quality of the part.

This work was requested by the company Adira Metal Forming Solutions, a manufacturer of plastic forming machines, and aimed to design a new fixing of hydraulic cylinders in hydraulic press brakes to reduce the production cost of the machine. The new fixing of hydraulic cylinders, enhanced by the normalization of a hydraulic system used by the company on a recurring basis, also required the design of new hydraulic cylinders.

The new idealised attachment enabled the use of smaller, standardised hydraulic cylinders, which resulted in a lower cost than the currently used hydraulic cylinders. A structural optimisation of the machine was carried out, complying with the necessary requirements for its correct operation, and a reduction in the manufacturing cost was also accomplished.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

CAD	<i>Computer aided design</i>
CAM	<i>Computer aided manufacturing</i>
CE	Conformidade europeia
CLP	Controlador lógico programável
DIN	<i>Deutsches institut für Normung</i>
KBE	<i>Knowledge based engineering</i>
LCA	<i>Life-cycle assessment</i>
MEF	Método de elementos finitos
PA	<i>Press Accuracy</i>
PF	<i>Press Fast</i>
PH	<i>Press Heavy</i>
QFD	<i>Quality function deployment</i>
SCU	Sistema de controlo industrial
SN	<i>Stress number of cycles</i>

Lista de Unidades

bar	Bar
cm ³ /rot	Centímetro cúbico por rotação
GPa	GigaPascal

kg/m ³	Quilograma por metro cúbico
kW	QuiloWatt
l/min	Litro por minuto
m	Metro
mm	Milímetro
mm/min	Milímetro por minuto
mm ²	Milímetro quadrado
MPa	MegaPascal
N	Newton
°	Grau
°C	Grau Celsius
rpm	Rotação por minuto
W	Watt

Lista de Símbolos

A	Área resistente [m ²]
A _□	Área da barra quadrada do corpo do cilindro hidráulico [mm ²]
A _a	Área de avanço do cilindro hidráulico [mm ²]
A _{secção da haste}	Área de secção da haste do cilindro hidráulico [mm ²]
A _t	Área útil resistente da secção do parafuso [mm ²]
b	Distância do centro de aplicação da força de avanço do cilindro hidráulico ao plano de fixação [mm]
cc	Cilindrada [cm ³ /rot]

d_{ext}	Diâmetro externo da camisa do cilindro [mm]
d_{int}	Diâmetro interno da camisa do cilindro ou diâmetro do êmbolo [mm]
E	Módulo de Young [MPa]
F	Força [N]
F_a/F_c	Força de avanço do cilindro hidráulico [N]
F_i	Força de pré-aperto do parafuso [N]
F_p	Força num parafuso [N]
$F_{p,xm}$	Força num parafuso da linha de amarração m [N]
F_q	Força de quinagem [N]
F_{xm}	Força exercida na linha de fixação m à distância x_m [N]
h	Espessura do fundo do corpo do cilindro hidráulico [mm]
I	Momento de inércia [m ⁴]
I_p	Momento polar de inércia [m ⁴]
k	Constante de proporcionalidade entre o deslocamento dos parafusos e a distância a que se encontram do eixo de rotação do cilindro
K^*	Constante usada no cálculo da força dos parafusos [N/mm]
k_f	Fator de redução de resistência à fadiga
k_{fb}	Coeficiente de fiabilidade
k_s	Coeficiente de acabamento superficial
k_t	Coeficiente de tamanho
k_T	Coeficiente de temperatura
L	Lado da barra quadrada do corpo do cilindro hidráulico [mm]

l	Curso do cilindro hidráulico [mm]
L_{f1}	Comprimento de guiamento do êmbolo [mm]
L_{f2}	Comprimento de guiamento da haste [mm]
l_i	Comprimento inicial de um parafuso [mm]
M	Momento fletor [N.m]
m	Número da linha fixação do parafuso do cilindro hidráulico
M_t	Momento torsor [N.m]
n	Coefficiente de segurança à cedência
$n_{p,xm}$	Número de parafusos de cada linha de amarração m
P	Pressão máxima admissível do sistema hidráulico [MPa]
P_{acc}	Potência de acionamento do motor elétrico debitada pela bomba hidráulica [kW]
Q_a	Caudal de avanço do cilindro hidráulico [l/min]
Q_b	Caudal debitado pela bomba hidráulica [l/min]
r	Raio [m]
r_i	Raio interior de quinagem [mm]
r_p	Raio de curvatura do punção [mm]
s	Espessura da camisa do cilindro [mm]
s_0	Espessura teórica da camisa do cilindro [mm]
t	Espessura da chapa [mm]
V	Abertura da matriz [mm]
v_{rot}	Velocidade de rotação nominal da bomba hidráulica [rpm]
v_a	Velocidade de avanço do cilindro hidráulico [mm/s]

x_m	Distância da linha de fixação m ao ponto de rotação do cilindro hidráulico [mm]
y	Profundidade de quinagem [mm]
y_{max}	Distância ao eixo neutro da secção [m]
α	Ângulo de quinagem [°]
δ	Deslocamento [mm]
Δl_{xm}	Deslocamento axial de um parafuso [mm]
ε	Deformação axial de um parafuso
θ	Rotação [°]
λ	Grau de esbeltez
σ	Tensão normal [Pa]; Tensão de tração de um parafuso [MPa]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Tensões principais [MPa]
σ_a	Tensão alternada [MPa]
$\sigma_{a(adm)}$	Tensão alternada admissível [MPa]
σ_{adm}	Tensão admissível [MPa]
σ_{camisa}	Tensão aplicada na camisa do cilindro hidráulico [MPa]
σ_{ced}	Tensão de cedência [MPa]
$\sigma_{equiv.parafuso}$	Tensão equivalente aplicada em cada parafuso [MPa]
σ_{fo}	Tensão limite de fadiga [MPa]
σ_{haste}	Tensão aplicada na haste do cilindro hidráulico [MPa]
σ_k	Tensão crítica de encurvadura [MPa]
σ_m	Tensão média [MPa]
σ_p	Tensão de prova [MPa]

σ_{rot}	Tensão de rotura [MPa]
$\sigma_{z adm}, \sigma_{b adm}$	Tensão normal admissível devido à tração/ compressão e devido à flexão [MPa]
τ	Tensão de corte [Pa]
$\tau_{t adm}, \tau_{z adm}$	Tensão de corte admissível devido ao corte e à tração [MPa]
τ_{tr}	Tensão de corte em r [N/m ²]
η_g	Rendimento global [%]
η_m	Rendimento mecânico [%]
η_v	Rendimento volumétrico [%]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Equipamento para produzir perfis em "T" por soldadura a laser [1].	9
Figura 2 - Estrutura portante com construção soldada de uma quinadora (elaboração própria).	10
Figura 3 - Torno mecânico convencional com estrutura portante em fundição da marca Eduardo Ferreirinha & Irmão (elaboração própria).	11
Figura 4 - Equipamento automatizado para o fabrico de vestuário (adaptado de [3]).	12
Figura 5 - Etapas para definição de um material aplicado a um projeto (adaptado de [4]).	12
Figura 6 - Exemplos de mecanismos com combinação de acionamentos.	15
Figura 7 - Configuração das etapas de um SCI [14].	16
Figura 8 - Atividades básicas de um projeto mecânico (elaborado com base em [17]).	16
Figura 9 - Responsabilidades do fabricante ao nível da certificação europeia no desenvolvimento de uma máquina [19].	18
Figura 10 - Estrutura de normas para máquinas (elaborado com base em [19]).	18
Figura 11 - Exemplos de aplicações de máquinas industriais: I - Quinadora da marca ADIRA (elaboração própria); II - Impressora 3D da marca Adira (elaboração própria); III - Guilhotina da marca Adira (elaboração própria); IV – Micro injetora de termoplásticos [21]; V – Máquina para dobrar tubo da marca AMOB [22]; VI - Máquina para montagem de componentes automóvel [23]; VII – Célula robotizada de soldadura da marca Fronius [24].	19
Figura 12 - Banco urbano com diversas quinagens [28].	19
Figura 13 - Variáveis do processo de quinagem (adaptado de [29]).	20
Figura 14 - Principais componentes de uma quinadora mecânica [30].	22
Figura 15 – Quinadora hidráulica PH30040 da marca Adira (elaboração própria).	22
Figura 16 - Quinadora elétrica Bluebender da marca Adira [31].	23
Figura 17 - Constituintes de uma quinadora hidráulica visualizados na parte frontal (a) e na traseira (b) (elaboração própria).	24
Figura 18 - Principais fatores para a escolha de uma quinadora (elaboração própria).	26
Figura 19 - Ilustração do retorno elástico no processo de quinagem (adaptado de [34]).	27
Figura 20 - Relação entre quinagens com diferentes orientações de grão: a) quinagem paralela à laminagem; b) quinagem perpendicular à laminagem (adaptado de [35]).	27
Figura 21 - Ferramentas de quinagem em operação no fabrico de uma caixa (elaboração própria).	28

Figura 22 - Parâmetros e características geométricas de uma quinadora (elaboração própria).	31
Figura 23 - Comportamento do montante de uma quinadora em carga (adptado de [46]).	32
Figura 24 - Influência da mesa bombeada na deflexão do avental fixo e na precisão do ângulo de quinagem: a) deformação natural dos aventais; b) deformação imposta pela mesa bombeada (adaptado de [45]).	32
Figura 25 - Formas dos tipos de elementos finitos [48].	35
Figura 26 - Modelos de elementos finitos para pistão (a), biela (b) e cambota (c) de um motor [49].	35
Figura 27 - Curvas de tensão-extensão de vários materiais metálicos na zona inicial elástica e início da deformação plástica [53].	36
Figura 28 - Identificação da localização dos principais constituinte de um cilindro hidráulico (adptado de [55]).	37
Figura 29 - Movimentos de funcionamento de um cilindro hidráulico: a) avanço; b) retorno [54].	38
Figura 30 - Caraterísticas e parâmetros geométricos de um cilindro hidráulico (adaptado de [54]).	39
Figura 31 - Identificação do sentido das forças de avanço e recuo nos cilindros hidráulicos de uma quinadora (elaboração própria).	40
Figura 32 - Válvula hidráulica direcional [56].	41
Figura 33 - Válvula hidráulica redutora de pressão [56].	41
Figura 34 - Grupo hidráulico de quinadora da Adira PH 30040 [58].	42
Figura 35 - Logótipo da marca Adira [31].	47
Figura 36 - Presença e representação da Adira no mundo [64].	47
Figura 37 - Panorama geral da oferta de quinadoras da Adira.	48
Figura 38 - Disposição dos cilindros hidráulicos utilizados atualmente na quinadora PH040040.	48
Figura 39 - Especificações técnicas das quinadoras PH da marca Adira [64].	51
Figura 40 - Representação frontal da quinadora PH040040 da marca Adira [64].	52
Figura 41 - Estrutura da PH040040 com cilindros hidráulicos acoplados.	53
Figura 42 - Cilindro hidráulico de duplo-efeito utilizado atualmente na PH040040.	53
Figura 43 - Descrição da zona de fixação do cilindro hidráulico no montante da PH040040.	54
Figura 44 - Fixação rotulada do cilindro hidráulico ao avental móvel.	54
Figura 45 - Configuração atual do sistema hidráulico e cilindros na quinadora PH0400.	55
Figura 46 - Representação das velocidades de deslocamento do avental móvel de uma quinadora.	55
Figura 47 - Disposição do sistema hidráulico da quinadora PA [64].	56

Figura 48 – Possível configuração do sistema hidráulico da quinadora PA com os cilindros hidráulicos no novo projeto de fixação da quinadora PH0400.	57
Figura 49 – Configuração final do sistema hidráulico PA com os cilindros hidráulicos no novo projeto de fixação da quinadora PH0400.	57
Figura 50 - Analogia dos requisitos de utilização de cilindros hidráulicos normalizados ou customizados.	58
Figura 51 - Quinadora Adira que utiliza cilindro hidráulico de corpo redondo.	59
Figura 52 - Ideia A de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante da quinadora.	60
Figura 53 - Ideia B de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante da quinadora.	61
Figura 54 - Ideia C de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante da quinadora.	61
Figura 55 - Representação trimétrica da quinadora com os cilindros hidráulicos.	63
Figura 56 - Esquema da constituição e princípio de funcionamento da quinadora idealizada.	64
Figura 57 - Sistema hidráulico normalizado da PA.	65
Figura 58 - Simetria da quinadora PH0400 no novo conceito de fixação de cilindros hidráulicos.	66
Figura 59 - Cilindro hidráulico utilizado no novo projeto de fixação.	69
Figura 60 - Vista de corte do cilindro hidráulico para identificação das dimensões gerais do diâmetro, do lado do corpo e da espessura da camisa.	72
Figura 61 - Identificação das medidas dimensionadas do cilindro hidráulico projetado (adaptado de [67]).	72
Figura 62 - Representação e descrição da zona frontal de fixação do cilindro hidráulico na quinadora idealizada.	74
Figura 63 - Representação e descrição dos cilindros montados na quinadora idealizada.	75
Figura 64 - Zona elástica (curva azul) ampliada da curva tensão – deformação do aço S235JR na determinação do módulo de Young.	76
Figura 65 - Zona elástica ampliada da curva tensão – deformação do aço S235JR na determinação da tensão de cedência.	76
Figura 66 - Curva tensão – deformação do aço S235JR na determinação da tensão e do alongamento na rotura.	77
Figura 67 - Curva SN de fadiga do aço S235JR (curva a negrito) (adaptado de [68]).	78
Figura 68 - Vista isométrica da estrutura da quinadora idealizada.	78
Figura 69 - Geometria da zona posterior de fixação dos cilindros hidráulicos.	79
Figura 70 - Vistas da geometria da quinadora idealizada.	79

Figura 71 - Tipo de parafuso e suas propriedades mecânicas [5].	80
Figura 72 - Representação genérica das ligações aparafusadas de um cilíndrico hidráulico (adaptado de [69]).....	81
Figura 73 - Representação gráfica da localização dos furos de fixação do cilindro hidráulico.....	82
Figura 74 - Etapas de dimensionamento do modelo geométrico da quinadora.	86
Figura 75 - Ponto de fixação deslizante inferior da quinadora nas simulações numéricas.....	87
Figura 76 - Ponto de fixação de restrição de movimento da quinadora nas simulações numéricas.	87
Figura 77 - Ilustração e representação das forças aplicadas à quinadora na simulação numérica.....	88
Figura 78 - Resultados da tensão de von Mises do estudo de convergência.	89
Figura 79 - Representação do ponto de obtenção da tensão de von Mises no estudo de convergência. .	90
Figura 80 - Resultados do deslocamento máximo segundo a direção x do estudo de convergência.	90
Figura 81 - Ilustração da zona de aplicação do controlo de malha no modelo geométrico da quinadora.	91
Figura 82 - Representação das tensões de von Mises instaladas na estrutura da quinadora idealizada com valor superior a 100 MPa.....	92
Figura 83 - Representação das tensões de von Mises instaladas na estrutura da quinadora idealizada e localização da tensão máxima instalada.....	92
Figura 84 - Representação do deslocamento na direção x na estrutura da quinadora idealizada.	93
Figura 85 - Representação do deslocamento na direção z na estrutura da quinadora idealizada.....	93
Figura 86 - Representação da inclinação da face de fixação dos cilindros hidráulicos na estrutura da quinadora idealizada.....	94
Figura 87 - Fator de segurança da estrutura da quinadora idealizada.	94
Figura 88 - Representação das cargas cíclicas aplicadas na estrutura da quinadora.	95
Figura 89 - Número de ciclos de vida da estrutura da quinadora idealizada.	96
Figura 90 - Dano devido a fadiga na estrutura da quinadora idealizada.....	96
Figura 91 - Representação da malha criada no modelo de casca e viga.	97
Figura 92 - Tensões de von Mises instaladas na estrutura com elementos de casca e elementos sólidos.	98
Figura 93 - Tensões de von Mises instaladas na zona da estrutura com elementos de viga.	98
Figura 94 - Esquema com as etapas do processo do fabrico da quinadora.	101
Figura 95 - Representação da estrutura da quinadora idealizada após fabrico de soldadura e pré maquinagem.	101

Figura 96 - Vista isométrica frontal com identificação da localização dos constituintes da estrutura da quinadora.....	102
Figura 97 - Vista isométrica posterior com identificação da localização dos constituintes da estrutura da quinadora.....	103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos e aplicações de materiais utilizado no projeto de máquinas (adaptado de [4]).	13
Tabela 2 - Comparação ente os tipos de acionamento (elaborado com base em [9]).	15
Tabela 3 - Comparação dos métodos de quinagem (elaborado com base em [30]).	21
Tabela 4 - Principais componentes de uma quinadora hidráulica (elaboração própria).	24
Tabela 5 - Tipos de materiais utilizados em ferramentas de quinagem (elaborado com base em [30] e [39]).	29
Tabela 6 - Estado da arte de trabalhos sobre quinagem.	29
Tabela 7 - Expressões de cálculo das tensões, para cada tipologia de solicitação mecânica [17].	33
Tabela 8 - Tipos de cilindros hidráulicos (elaborado com base em [56]).	38
Tabela 9 - Tipos de fixação de cilindros hidráulicos (elaborado com base em [57]).	40
Tabela 10 - Estado da arte de trabalhos sobre o projeto mecânico e acionamento hidráulico de quinadoras.	42
Tabela 11 - Especificações técnicas estruturais da quinadora PH040040 (elaborado com base em [64]).	52
Tabela 12 - Velocidades de deslocamento da haste dos cilindros da PH040040.	56
Tabela 13 - Seleção e pontuação de ideias para a geometria do montante de fixação do cilindro.	62
Tabela 14 - Constituintes alvo de alteração no projeto de fixação dos cilindros hidráulicos.	64
Tabela 15 - Características do sistema hidráulico da PA.	66
Tabela 16 - Caudal debitado pelas bombas hidráulicas Eckerle (adaptado de [65]).	67
Tabela 17 - Especificações técnicas da bomba hidráulica Eckerle EIPH3 032 (adaptado de [65]).	68
Tabela 18 - Massa dos componentes considerados para o recuo dos cilindros hidráulicos das PH400.	70
Tabela 19 - Forças de avanço e recuo necessárias no dimensionamento do cilindro hidráulico.	70
Tabela 20 - Área e diâmetro de avanço e recuo do cilindro hidráulico.	70
Tabela 21 - Propriedades mecânicas do aço Ck45 (norma DIN 17200) utilizado no dimensionamento do cilindro hidráulico (elaborado com base em [39]).	71
Tabela 22 - Condições de ensaio do ensaio de tração.	75
Tabela 23 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.	77
Tabela 24 - Dimensões do parafuso M30 utilizado na fixação dos cilindros hidráulicos.	80

Tabela 25 - Valores da solicitação à tração dos parafusos de fixação de cada cilindro hidráulico.	83
Tabela 26 - Propriedades mecânicas do aço S235JR.	86
Tabela 27 - Descrição das forças aplicadas à quinadora na simulação numérica.	88
Tabela 28 - Resultados do estudo de convergência de malha.	89
Tabela 29 - Identificação do tamanho de elemento aplicado nas zonas com controlo de malha.	91
Tabela 30 - Identificação da aplicação dos tipos de elementos nos diversos componentes da quinadora.	97
Tabela 31 - Comparação de resultados das simulações numéricas das máquina idealizadas com elementos tridimensionais e com elementos unidimensionais e bidimensionais.	99
Tabela 32 - Comparação de resultados da máquina idealizada com a máquina existente.	100
Tabela 33 - Identificação das peças constituintes da estrutura da quinadora idealizada.	104
Tabela 34 - Análise de custos entre a máquina idealizada e a máquina existente.	105
Tabela 35 - Análise ao cumprimento dos objetivos propostos.	109

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	3
1.1	Contextualização	3
1.2	Objetivos	3
1.3	Metodologia	4
1.4	Estrutura do relatório.....	4
1.5	Local/empresa de acolhimento.....	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1	Projeto de máquinas industriais	9
2.1.1	Caraterização geral dos equipamentos industriais	9
2.1.2	Estrutura para máquinas	10
2.1.3	Materiais utilizados no projeto de máquinas	12
2.1.4	Tipos de acionamentos comuns	13
2.1.5	Sistemas de controlo	15
2.1.6	Considerações de projeto.....	16
2.1.7	Normalização aplicável.....	17
2.1.8	Aplicações de máquinas industriais	18
2.2	Processo de quinagem de chapa.....	19
2.2.1	Caracterização do processo.....	19
2.2.2	Tipos de quinadoras	21
2.2.3	Sistemas constituintes de uma quinadora	23
2.2.4	Fabricantes de quinadoras	25
2.2.5	Efeito do material no processo de quinagem	26
2.2.6	Ferramentas para quinagem	27
2.2.7	Estado-da-arte do processo de quinagem	29

2.3	Projeto de quinadoras hidráulicas	31
2.3.1	Dimensionamento estrutural de quinadoras	31
2.3.1.1	Parâmetros de dimensionamento e consequências estruturais em operação	31
2.3.1.2	Métodos convencionais	33
2.3.1.3	Método de Elementos Finitos.....	34
2.3.1.4	Materiais utilizados.....	36
2.3.2	Dimensionamento dos cilindros e sistema hidráulico.....	37
2.3.2.1	Sistemas de atuadores.....	37
2.3.2.2	Projeto de cilindros para quinadoras.....	39
2.3.2.3	Sistemas de acoplamento dos cilindros à estrutura	40
2.3.2.4	Grupo hidráulico	41
2.3.3	Estado-da-arte do projeto mecânico e de acionamento hidráulico.....	42
3	DESENVOLVIMENTO	47
3.1	Entidade acolhedora	47
3.2	Objetivos do trabalho.....	48
3.3	Requisitos do projeto	49
3.4	Estudo do equipamento existente.....	50
3.5	Anteprojeto.....	56
3.5.1	Grupo hidráulico.....	56
3.5.1.1	Sistema hidráulico.....	56
3.5.1.2	Tipo de cilindro	58
3.5.2	Projeto de fixação à estrutura	59
3.6	Projeto.....	63
3.6.1	Representação final da máquina.....	63
3.6.2	Constituintes e princípio de funcionamento.....	64
3.6.3	Grupo hidráulico.....	65
3.6.3.1	Sistema hidráulico.....	65
3.6.3.2	Descrição e dimensionamento do cilindro hidráulico utilizado.....	68

3.6.4	Estrutura e sistema de fixação	74
3.6.4.1	Descrição da solução do sistema de fixação	74
3.6.4.2	Materiais	75
3.6.4.3	Geometria da estrutura	78
3.6.4.4	Ligações do cilindro hidráulico à estrutura	80
3.6.4.5	Dimensionamento	85
3.6.4.5.1	Pré-processamento dos modelos numéricos	85
3.6.4.5.2	Resultados obtidos do equipamento idealizado	91
3.6.4.5.3	Comparação com modelos de casca e viga	96
3.6.4.5.4	Comparação com o equipamento existente	99
3.6.4.6	Fabrico	100
3.6.5	Desenhos de pormenor	101
3.6.6	Análise de custos	104
4	CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS	109
4.1	Conclusões	109
4.2	Propostas de trabalhos futuros.....	110
5	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....	113
6	ANEXOS.....	119
6.1	Desenho técnico do provete de ensaio de tração	119
6.2	Desenho técnico da estrutura soldada da quinadora idealizada e respetivas peças constituintes.....	120

INTRODUÇÃO

- 1.1 Contextualização
- 1.2 Objetivos
- 1.3 Metodologia
- 1.4 Estrutura do relatório

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

A produção de equipamentos industriais, nomeadamente máquinas para a conformação plástica de chapa (quinadoras), continua em constante evolução e crescimento uma vez que o método de quinagem é abrangente a diversas indústrias. Sendo o processo de quinagem realizado através da aplicação de uma força sobre uma chapa, com objetivo de a conformar com a maior precisão possível, os componentes responsáveis por este processo, nomeadamente a estrutura da máquina, devem deformar-se o mínimo possível. Assim, o dimensionamento estrutural destas máquinas torna-se uma das etapas mais importantes do seu projeto mecânico.

O acionamento hidráulico de quinadoras continua a ser o mais utilizado, apesar dos desenvolvimentos nos acionamentos elétricos e híbridos. As limitações de capacidade e preço travam o crescimento e utilização dos acionamentos elétricos e híbridos. Por outro lado, o acionamento hidráulico, devido à sua longa existência e desenvolvimento avançado, preço, entre outros fatores, mantém a sua presença maioritária no acionamento de quinadoras.

Em linha com a produção de veículos na indústria automóvel, a existência de inúmeros componentes na montagem de uma quinadora remete para a necessidade de normalizar a utilização de diversos conjuntos de montagem numa alargada gama de máquinas produzida pela empresa. A normalização interna de componentes é sem dúvida um dos métodos mais eficazes no que toca à redução de custos. No entanto, no momento de decisão na escolha de um componente a normalização externa de mercado desse componente é também importante. Fatores como o tamanho, a geometria ou a procura no mercado influenciam de maneira não linear o custo de um componente.

1.2 Objetivos

O principal objetivo deste trabalho consiste na redução do custo de fabrico de uma quinadora hidráulica da série PH (*Press-Heavy*), modelo 040040 da Adira. Os objetivos secundários que se traçam para a concretização do objetivo principal são os seguintes:

- Alterar o conceito de fixação dos cilindros hidráulicos por forma a albergar dois cilindros hidráulicos por montante. A máquina existente atualmente é constituída por um cilindro hidráulico por montante para o acionamento do

avental móvel, e espera-se que com a utilização de mais cilindros hidráulicos de proporções mais reduzidas o custo total dos cilindros hidráulicos seja inferior;

- Dimensionar novos cilindros hidráulicos. Uma vez que a nova fixação utiliza novos cilindros hidráulicos existe a necessidade de dimensioná-los;
- Utilizar o sistema hidráulico normalizado da quinadora PA (*Press Accuracy*). Pretende-se considerar um sistema hidráulico normalizado na empresa com a utilização do sistema hidráulico da quinadora PA;
- Otimizar estruturalmente a estrutura da máquina. A verificação estrutural da máquina pretende otimizá-la de maneira a reduzir o seu custo de fabrico.

1.3 Metodologia

As principais etapas do desenvolvimento do projeto da quinadora hidráulica foram:

- Revisão do estado da arte acerca de equipamentos industriais, processo de quinagem e projeto mecânico de quinadoras hidráulicas;
- Análise à estrutura, tipo de fixação de cilindros hidráulicos, e sistema hidráulico da quinadora existente atualmente;
- Procura de soluções de fixação de cilindros hidráulicos na estrutura;
- Dimensionamento dos cilindros hidráulicos e respetiva seleção do sistema hidráulico;
- Desenvolvimento da nova fixação na estrutura da máquina e respetiva análise estrutural com recurso ao MEF (Método dos elementos finitos);
- Redação e finalização do relatório da dissertação.

1.4 Estrutura do relatório

A estrutura deste relatório é composta por quatro capítulos principais.

No capítulo 1 é apresentado o enquadramento do trabalho a realizar, os objetivos gerais, a metodologia utilizada, a estrutura do relatório e o local/empresa de acolhimento.

No capítulo 2 é redigida uma revisão bibliográfica com foco crescente na temática da dissertação. Inicialmente apresenta-se o tema projeto de máquinas industriais. De seguida enquadra-se o leitor sobre o processo de quinagem, no sentido de explorar finalmente o projeto de quinadoras hidráulicas no último capítulo.

No capítulo 3 começa-se por apresentar a entidade acolhedora, os requisitos e objetivos específicos do trabalho e o estudo do equipamento existente. O trabalho prático espelha-se inicialmente no capítulo do anteprojeto onde são tomadas as decisões a desenvolver no capítulo de projeto, seguido do projeto nomeadamente a seleção do

sistema hidráulico, dimensionamento dos cilindros hidráulicos e o dimensionamento da estrutura e fixação da máquina.

No capítulo 4 são apresentadas as conclusões do trabalho e a possibilidade de desenvolvimento de trabalhos futuros.

1.5 Local/empresa de acolhimento

O desenvolvimento deste projeto foi realizado no enquadramento do estágio curricular com a duração de 7 meses na empresa Adira Metal Forming Solutions S.A. localizada em Vila Nova de Gaia, Porto, Portugal.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

- 2.1 Projeto de máquinas industriais
- 2.2 Processo de quinagem de chapa
- 2.3 Projeto de quinadoras hidráulicas

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Projeto de máquinas industriais

2.1.1 Caracterização geral dos equipamentos industriais

Os equipamentos industriais assumem na atualidade uma importância significativa tanto na produção de um produto em específico, como no que rodeia esse processo. A definição de equipamentos industriais pode basear-se na máquina que fabrica, ou na ferramenta que auxilia o fabrico, sendo esta de diversos tipos, como por exemplo uma simples chave de fendas. A caracterização efetuada ao longo deste capítulo apenas focará as máquinas industriais que visam a produção de um objeto nas suas variadas fases, e que podem assumir diversas aplicações.

Na Figura 1 é visível um equipamento industrial para o fabrico por soldadura a laser de perfis metálicos.

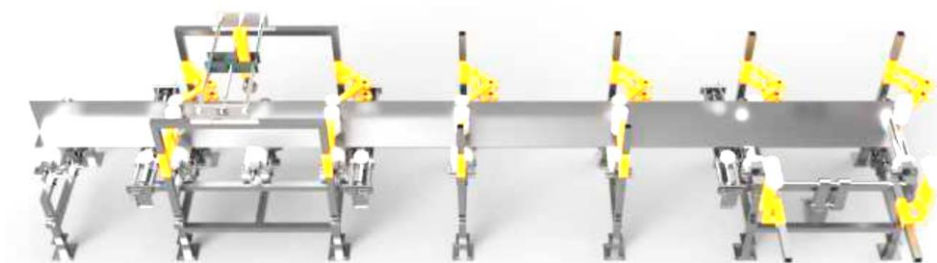


Figura 1 - Equipamento para produzir perfis em "T" por soldadura a laser [1].

Segundo a Diretiva 2006/42/CE uma máquina pode ser caracterizada de várias formas sendo uma das definições mais comuns *“um conjunto, equipado ou destinado a ser equipado com um sistema de acionamento diferente da força humana ou animal diretamente aplicada, composto por peças ou componentes ligados entre si, dos quais pelo menos um é móvel, reunidos de forma solidária com vista a uma aplicação definida”* [2].

Qualquer máquina industrial na sua generalidade é constituída por diversos grupos e sistemas responsáveis pelo desempenho da sua funcionalidade.

2.1.2 Estrutura para máquinas

A estrutura portante de uma máquina é o conjunto destinado a suportar o peso próprio de todas as peças que a constituem, bem como os esforços gerados pelo acionamento dos componentes necessários ao processo inerente à máquina.

O projeto da estrutura de uma máquina está relacionado com o fim a que esta se destina, determinando diretamente o seu porte. Fatores como o tamanho e massa das peças que esta terá que suportar e as reações da força que deverá impor são determinantes no tamanho final e no tipo de estrutura de uma máquina industrial.

O fabrico/construção da estrutura de uma máquina pode ser realizada de diferentes formas, dependendo dos requisitos e considerações que esta deve cumprir.

- Construção Soldada

A construção soldada de material em bruto, que posteriormente é maquinado (geralmente em chapa, barra ou varão), é das mais utilizadas no fabrico de máquinas industriais. Este tipo de construção caracteriza-se por apresentar uma grande variedade de formas, impostas pelo projeto, bem como a possibilidade de fabricar máquinas de grande porte e com capacidade de suportar reações consideráveis.

A Figura 2 mostra a estrutura portante de uma máquina industrial de conformação de metal fabricada por construção soldada. Esta máquina apresenta chapas de grande espessura, unidas umas às outras, e também a outros elementos através de soldadura. Os componentes a unir por soldadura são previamente maquinados de forma a adquirir a sua forma geral, no entanto, as superfícies funcionais que requeiram precisão dimensional podem ser posteriormente maquinadas ou retificadas a fim de evitar as deformações causadas pelo processo de soldadura.



Figura 2 - Estrutura portante com construção soldada de uma quinadora (elaboração própria).

- Construção em estrutura fundida

As máquinas em construção fundida foram muito populares no passado, representando uma grande parte da produção em máquinas de pequeno e médio porte, essencialmente no setor da maquinagem. Este tipo de estrutura caracteriza-se por apresentar uma rigidez estrutural superior à de outras formas de estruturas, devido ao fabrico resultar numa peça única. Além disto, esta construção permite o fabrico de formas muito complexas com custo relativamente baixo, essencialmente utilizada na produção de grandes séries.

O equipamento industrial de maquinagem da Figura 3 apresenta a estrutura portante integralmente fabricada por fundição.

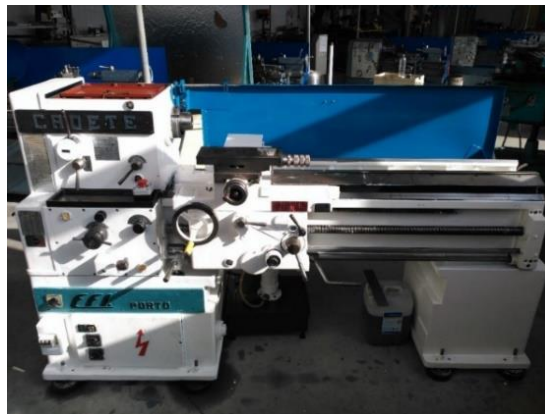


Figura 3 - Torno mecânico convencional com estrutura portante em fundição da marca Eduardo Ferreirinha & Irmão (elaboração própria).

- Construção por ligação de perfis

A construção de máquinas por ligação de perfis é uma das soluções mais utilizadas hoje em dia na construção de máquinas industriais, em particular no setor da indústria automóvel. A adoção desta solução permite fabricar máquinas através de perfis normalizados como por exemplo tubos e vigas, o que reduz o seu custo de produção. A ligação destes perfis pode ser geralmente aparafusada, soldada, cavilhada, rebitada ou através de outros componentes normalizados. Desta forma é possível produzir máquinas mais leves e com resistência mecânica similar à de outras formas de construção. A empresa Bosch Rexroth desenvolveu um sistema flexível de montagem de perfis de alumínio que consiste na união das peças através do encaixe nas ranhuras das peças.

A Figura 4 mostra um equipamento para fabrico de vestuário, que apresenta uma estrutura portante constituída por tubos retangulares ligados por soldadura e aparafusados com componentes normalizados.

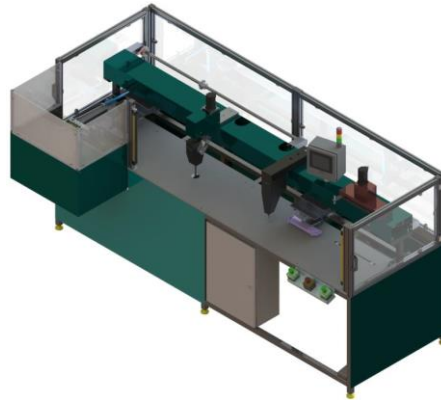


Figura 4 - Equipamento automatizado para o fabrico de vestuário (adaptado de [3]).

2.1.3 Materiais utilizados no projeto de máquinas

A quantidade de materiais de engenharia existentes situa-se na ordem dos milhares, pelo que a escolha de um material para uma dada aplicação, se torna por vezes uma tarefa difícil e dependente de muitos fatores. Para auxiliar esta decisão, Michael Ashby [4], engenheiro britânico, desenvolveu uma ferramenta denominada de Diagrama de *Ashby* que permite definir as famílias de materiais que cumprem as propriedades necessárias ao desempenho da peça.

A Figura 5 mostra que a definição de um material para uma determinada aplicação passa sempre por um processo iterativo e a sua escolha nunca é perfeita nem única, sendo sempre uma solução de compromisso com fatores como o custo, disponibilidade, processo de fabrico inerente, entre outros.

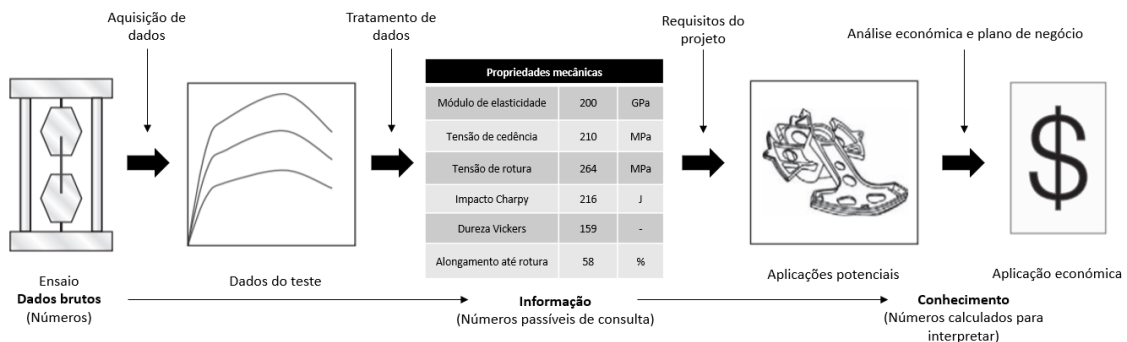


Figura 5 - Etapas para definição de um material aplicado a um projeto (adaptado de [4]).

A escolha e seleção de um material a utilizar no projeto de uma máquina é uma das decisões mais importantes que o engenheiro de projeto deve tomar. Esta etapa geralmente é feita antes do dimensionamento mecânico do componente, mas deve ter em consideração a forma que este pode obter, o respetivo processo de fabrico e a potencial aplicação [4].

O material dos componentes constituintes de uma máquina deve ser escolhido em função das condições de serviço do componente, os esforços a que está sujeito,

temperatura de funcionamento e entre outros aspetos. A Tabela 1 mostra a aplicabilidade dos diferentes materiais existentes, em componentes de máquinas.

Tabela 1 – Tipos e aplicações de materiais utilizado no projeto de máquinas (adaptado de [4]).

	Tipo de material	Exemplos de aplicações
Metais	Ferrosos (ferros fundidos, aços de alto teor em carbono, aços inoxidáveis, aços de baixa liga e entre outros)	Peças estruturais de máquinas, ferramentas, engrenagens, molas e tubagens.
	Não ferrosos (ligas de alumínio, ligas de magnésio e ligas de titânio)	Condutores elétricos, blindagens, turbinas e permutadores de calor.
Polímeros	Elastómeros (borrachas, elastómeros de silicone e isopreno)	Pneus, suportes anti vibração, mangueiras e isolamento elétrico.
	Termoplásticos (acrilonitrilo butadieno estireno, policarbonato e polietileno)	Guarnições, calhas, mancais e engrenagens.
	Termoendurecíveis (epóxi e fenólicos)	Adesivos e encaixes elétricos.
	Espumas	Embalagens e esponjas.
Compósitos	Polímero-metal	Peças estruturais leves de alto desempenho e cascos de barco.
	Cerâmicos	Ferramentas de corte, mancais e abrasivos.
	Naturais	Correias de transmissão, mancais e cordas.

Os aços continuam a ser os materiais mais utilizados em órgãos de máquinas industriais, embora a sua utilização tenha diminuído em detrimento de outros materiais como os metais não ferrosos [5].

Os bons índices de resistência/peso e rigidez/peso, aliados ao baixo custo, facilidade de reciclagem e disponibilidade no mercado fazem dos aços o material de eleição na construção de máquinas industriais [5].

2.1.4 Tipos de acionamentos comuns

Como foi referido no capítulo 2.1.1, uma máquina industrial está destinada a ser equipada com um sistema de acionamento capaz de realizar a força necessária à execução do seu processo. Os acionamentos possíveis de aplicar em equipamentos industriais permitem efetuar uma sequência de acontecimentos, facilitando o processo e otimizando tempos e cadências. Os tipos de acionamento mais comuns são o pneumático, hidráulico, elétrico e mecânico. A seleção do tipo de acionamento a utilizar é ditada pela função a executar, precisão e força pretendida, disponibilidade da fonte de energia, custo, entre outros fatores [6].

- Acionamento hidráulico

O princípio do acionamento hidráulico, baseia-se na obtenção de deslocamentos, utilizando um fluido, geralmente óleo que representa o meio pela qual a potência é transmitida. Os movimentos resultantes de uma aplicação hidráulica podem ser obtidos por atuadores (lineares ou rotativos), mais concretamente por cilindros ou motores hidráulicos.

- Acionamento pneumático

Os atuadores pneumáticos são elementos mecânicos que através de movimentos lineares ou rotativos, transformam a energia cinética gerada pelo ar comprimido em expansão, em energia mecânica, produzindo trabalho [7]. A pneumática é aplicada em diversas atividades, especialmente em aplicações industriais. Atualmente, quase todas as unidades industriais possuem um sistema de distribuição de ar comprimido instalado devido à sua fácil manutenção, segurança e aplicabilidade em diferentes processos [8].

- Acionamento mecânico

Um acionamento mecânico é tradicionalmente um mecanismo capaz de transmitir e/ou transformar movimento através de componentes mecânicos interligados entre si, ou apenas um componente de interação isolada. Citam-se como exemplo, guiamentos lineares, veios de transmissão entre outros.

- Acionamento elétrico

Um acionamento elétrico é constituído geralmente por um motor elétrico que transforma energia elétrica em energia mecânica. A energia mecânica é transmitida em movimento rotacional através de um veio, para acionar por exemplo uma bomba hidráulica ou então, através de um acionamento mecânico o movimento rotacional é transformado em movimento linear.

Na Tabela 2 é feita uma analogia às vantagens e desvantagens de cada um dos acionamentos referidos.

Os sistemas elementares de acionamento referidos anteriormente são amplamente utilizados de forma combinada, dando origem a acionamentos combinados [9]:

- *Eletromecânicos;*
- *Hidromecânicos;*
- *Pneumomecânicos;*
- *Hidroelétricos;*
- *Hidropneumáticos.*

Tabela 2 - Comparação ente os tipos de acionamento (elaborado com base em [9]).

	Tipo de Acionamento			
	Hidráulico	Pneumático	Elétrico	Mecânico
Força	elevada	baixa	baixa	média/elevada
Precisão	elevada	baixa	elevada	média
Custo de aquisição	elevado	baixo	médio	alto
Custo de operação	médio	elevado	baixo	baixo
Rapidez de acionamento	baixa	elevada	média/elevada	média/elevada
Eficiência	elevada	baixa	elevada	média/baixa
Tamanho	pequeno	médio	grande	médio
Nível de automatização	alta	alta	alta	baixa
Limitações	sujo	necessidade de rede de ar comprimido	requer quase sempre uma transmissão	pode ser perigoso

Na Figura 6 apresentam-se exemplos de alguns dos acionamentos supramencionados.

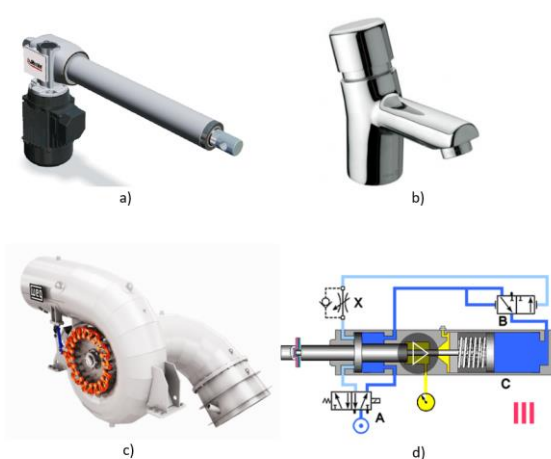


Figura 6 - Exemplos de mecanismos com combinação de acionamentos.

a) Atuador linear eletromecânico [10]: O motor elétrico induz movimento rotacional a um acionamento mecânico que transforma o movimento para linear;

b) Torneira temporizada com acionamento hidromecânico [11]: Através da força exercida pelo fluido (água), existe um acionamento mecânico por mola que se opõe retardando o fecho da torneira;

c) Turbina hidroelétrica [12]: A força exercida pelo fluido nas pás da turbina que estão solidárias com o eixo de um gerador, que produz por sua vez energia elétrica;

d) Cilindro hidropneumático [13]: O deslocamento inicial a alta velocidade da haste do cilindro é feita pelo acionamento pneumático que quando encontra resistência ao deslocamento aciona uma válvula que promove o acionamento hidráulico.

2.1.5 Sistemas de controlo

Após a análise aos tipos de acionamentos de máquinas industriais no tópico anterior, verifica-se que estes devem ser comandados a partir de um dispositivo de controlo para efetuar o movimento pretendido e exigido conforme o mecanismo da máquina.

Para que uma máquina com um sistema automatizado funcione corretamente é necessário integrar nesta um sistema de controlo adequado à complexidade dos dispositivos que a compõem.

A configuração básica de um sistema de controlo industrial (SCI) com acionamentos de diversos tipos (pneumático, hidráulico e outros), pode ser representada pelo esquema apresentado na Figura 7 [14]. A complexidade de um SCI pode aumentar bastante conforme o número de sistemas a controlar.

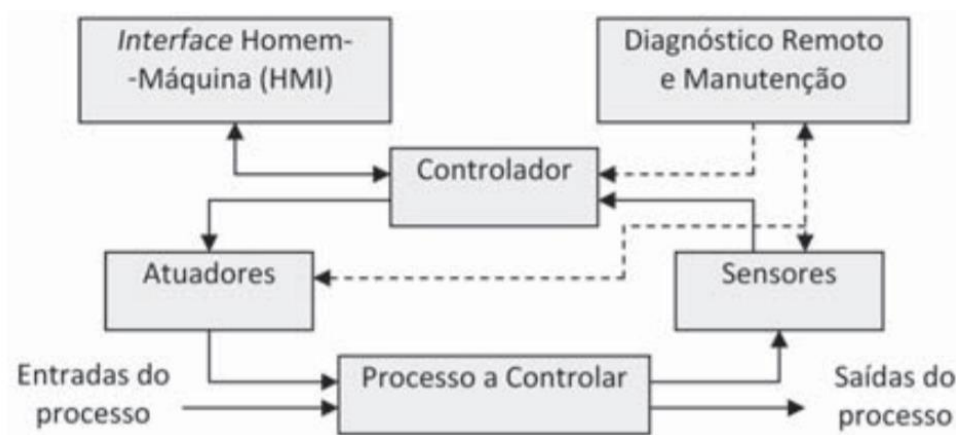


Figura 7 - Configuração das etapas de um SCI [14].

A constituição de um SCI inclui uma ou mais malhas de controlo compostas por sensores, *hardware* de controlo (controlador lógico programável (CLP) ou outro tipo), atuadores, válvulas de controlo, disjuntores, interruptores, motores e por um conjunto de variáveis. [15].

O controlador tem como missão interpretar os sinais e estado das variáveis e, com base nos parâmetros de referência, transmitir o sinal aos atuadores. As alterações do processo resultam em novos sinais e identificação do novo estado do processo, que será novamente transmitido ao controlador.

A interação entre o operador ou utilizador da máquina é realizada em Interfaces Homem-Máquina, bem como a deteção remota que ajuda a estabelecer e identificar o diagnóstico de falhas do processo [15].

2.1.6 Considerações de projeto

A definição de projetar consiste em desenvolver algo para uma necessidade específica ou resolver um problema tendo em conta todas as considerações inerentes, este processo tem sempre um grau de inovação associado, embora seja altamente repetitivo, uma vez que este não se faz em apenas uma única ação [16].

As atividades essenciais à execução de um projeto mecânico envolvem os seguintes passos (Figura 8) [17].



Figura 8 - Atividades básicas de um projeto mecânico (elaborado com base em [17]).

Para executar este processo (Figura 8) é necessário consultar e manipular um conjunto de informação [17]:

- ❖ Analisar os produtos e soluções da concorrência;
- ❖ Ser criativo e antecipar os passos dos concorrentes;
- ❖ Respeitar e considerar a normalização inerente ao produto;
- ❖ Identificar os requisitos técnicos, legais e de homologação que o produto deve respeitar;
- ❖ Ter em conta as restrições tecnológicas associadas ao seu desenvolvimento e fabrico;
- ❖ Alcançar e considerar todos os cenários a que o produto esteja sujeito em todas as fases do seu ciclo de vida.

O sucesso e aceitação do projeto de um órgão mecânico pode avaliar-se pela validação das metas impostas em termos de custo, qualidade e prazo [17].

A nível organizacional existem diversas ferramentas que auxiliam e organizam de outra perspetiva toda a informação do projeto, como é o exemplo da matriz *Quality Function Deployment* (QFD). Já para o cumprimento de prazos e sequência de tarefas a realizar, o diagrama de *Gantt* é uma ferramenta indispensável em qualquer projeto mecânico uma vez que permite a previsão dos recursos necessários ao seu desenvolvimento [17].

2.1.7 Normalização aplicável

Qualquer máquina industrial que é projetada e desenvolvida na união europeia deve cumprir, de acordo com a diretiva máquinas 2006/42/CE, determinados requisitos de segurança que protejam os potenciais utilizadores de sofrerem possíveis acidentes. Existem ainda outras diretivas obrigatórias em máquinas conforme a sua constituição e área de aplicação. Os equipamentos que cumpram com a referida diretiva devem ser identificados, na sua estrutura e em local bem visível, com a sigla representativa de Conformidade Europeia (CE) [18].

Antes de colocar a máquina em serviço no mercado o fabricante deve efetuar os passos representados na Figura 9. A existência de normalização referente à segurança e construção das máquinas, apesar de não ser obrigatória, é uma mais-valia para os fabricantes uma vez que fornecem as indicações e especificações técnicas para cumprir os requisitos impostos pela diretiva. Além disto, e como responsáveis pela segurança do equipamento que produzem, a aplicação de normas garante e salvaguarda a qualidade dos sistemas de segurança presentes nas máquinas.

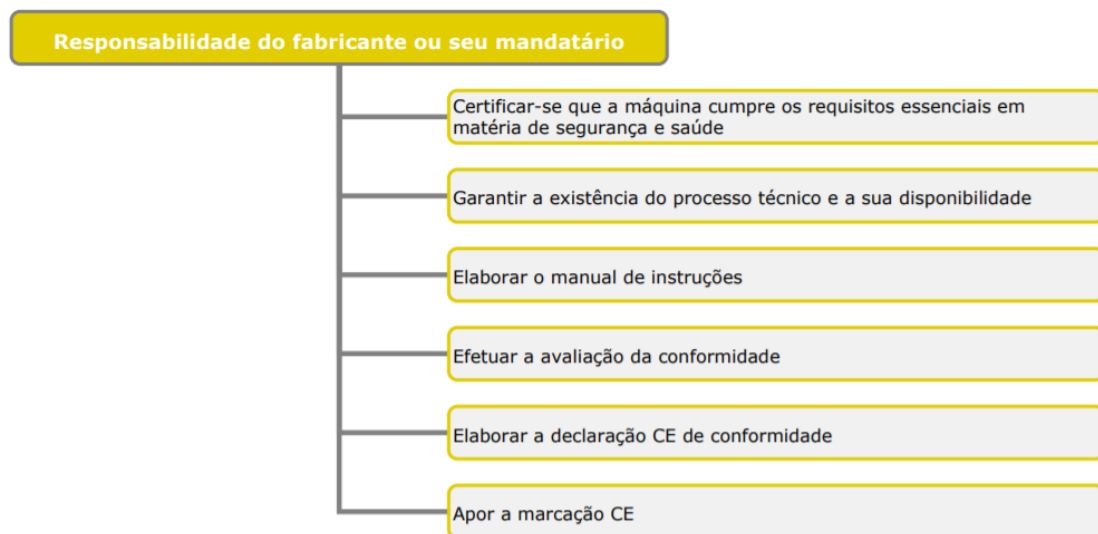


Figura 9 - Responsabilidades do fabricante ao nível da certificação europeia no desenvolvimento de uma máquina [19].

Na Figura 10 é apresentado e explicado o tipo de normas harmonizadas pelo Comité Europeu de Normalização para segurança e construção de máquinas, bem como alguns exemplos.

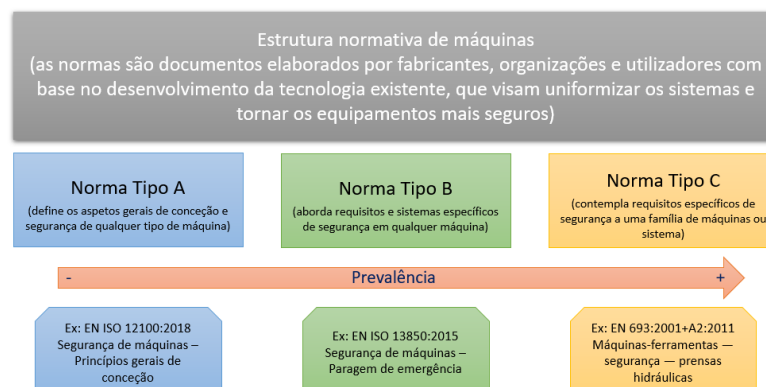


Figura 10 - Estrutura de normas para máquinas (elaborado com base em [19]).

2.1.8 Aplicações de máquinas industriais

Nos dias de hoje, qualquer produto existente nos mais variados ramos passa por um processo de fabrico, que pode ser muito complexo ou apenas resumir-se a uma operação simples. Devido à exigência que cada vez mais um produto revela ao nível tecnológico, bem como, à necessidade de o produzir em grande escala fazendo face à sua procura, requer, cada vez mais, máquinas industriais de alto desempenho e capazes de superar os desafios inerentes aos processos de fabrico [20].

Como já foi referido anteriormente, uma das classificações possíveis de máquinas é o fim a que esta se destina, tendo aplicabilidade nas mais variadas áreas, como é mostrado na Figura 11.

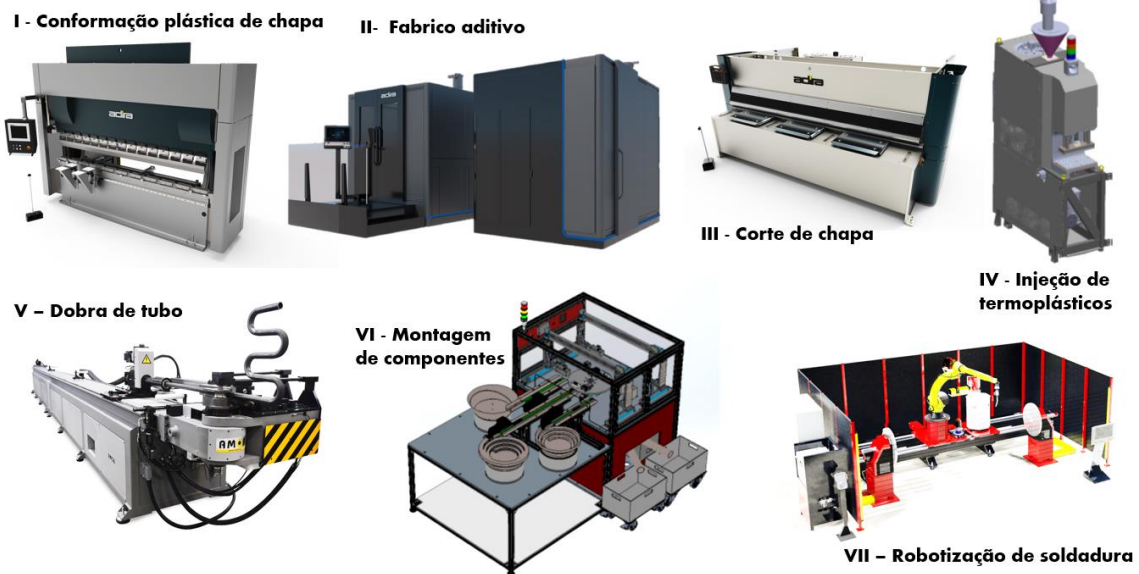


Figura 11 - Exemplos de aplicações de máquinas industriais: I - Quinadora da marca ADIRA (elaboração própria); II - Impressora 3D da marca Adira (elaboração própria); III - Guilhotina da marca Adira (elaboração própria); IV – Micro injetora de termoplásticos [21]; V – Máquina para dobrar tubo da marca AMOB [22]; VI - Máquina para montagem de componentes automóvel [23]; VII – Célula robotizada de soldadura da marca Fronius [24].

2.2 Processo de quinagem de chapa

2.2.1 Caracterização do processo

A quinagem de chapa pode ser definida como um processo que deforma plasticamente uma superfície planificável de um qualquer material. A máquina ferramenta que realiza este processo denomina-se de quinadora [25].

A quinagem de chapa é um dos processos de fabrico mais utilizados na indústria metalomecânica. O resultado do processo de quinagem permite fabricar peças, aplicadas em utensílios do quotidiano, como máquinas de lavar, quadros elétricos, postes de eletricidade e mobiliário urbano, como mostra na Figura 12 [26]. Uma das grandes vantagens do processo de quinagem é a rigidez estrutural que este confere às peças devido ao aumento do seu momento de inércia [27].

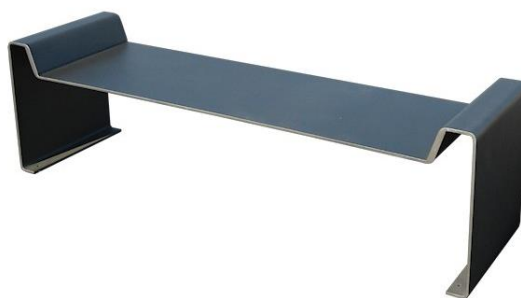


Figura 12 - Banco urbano com diversas quinagens [28].

O processo de quinagem consiste na aplicação, através de um punção, de uma força (F_q) a meio vão (ponto 3) sobre uma chapa, que está simplesmente apoiada em 2 pontos (pontos 1 e 2) na matriz, como está ilustrado na Figura 13, e que efetua um determinado deslocamento (y), denominado de profundidade de quinagem.

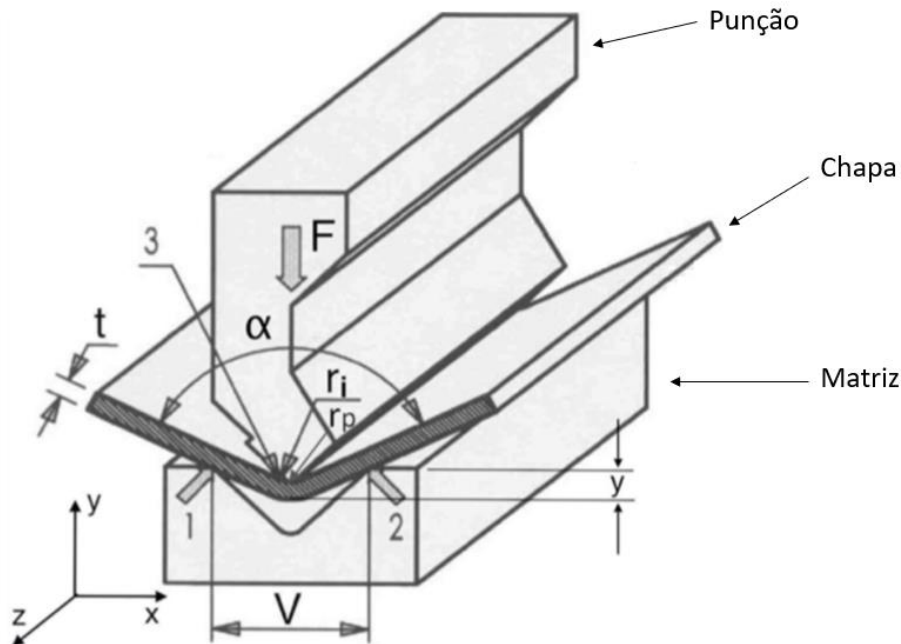


Figura 13 - Variáveis do processo de quinagem (adaptado de [29]).

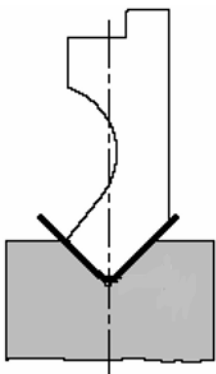
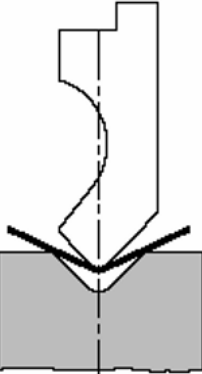
A abertura da matriz, entre o ponto 1 e o ponto 2, denominado por V , influencia a força requerida para efetuar um ângulo de quinagem específico (α).

O ponto de contacto 3 entre o punção e a chapa é definido pelo raio desta ferramenta (r_p). Quanto maior for r_p , menores são as tensões nas extremidades interiores da chapa onde ocorre compressão, e nas extremidades exteriores onde ocorre tração.

O raio interior de quinagem (r_i) na peça a dobrar é influenciado pela espessura da chapa (t), resistência do material, relações da direção de quinagem e laminação, e ângulo de dobragem (α). Os raios interiores baixos criam fissuras ou até mesmo rotura na aresta exterior [25].

Embora existam inúmeros métodos de quinagem, com formas de punção e matriz diferentes, o princípio do processo de quinagem pode basear-se num dos tipos apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Comparação dos métodos de quinagem (elaborado com base em [30]).

Quinagem a fundo	Quinagem no ar
	
<p>Na quinagem a fundo a chapa é esmagada entre o punção e a matriz obtendo os ângulos das ferramentas utilizadas.</p>	<p>Na quinagem no ar o punção desloca-se até atingir o ângulo pretendido, sem haver contacto total da chapa com a matriz.</p>
<p>Maior precisão nas peças obtidas Maior repetibilidade nas peças obtidas Desgaste rápido das ferramentas</p>	<p>Maior rapidez de fabrico Exige menor força de quinagem Diversidade de ângulos com a mesma ferramenta</p>

Atualmente, a quinagem no ar é aquela com maior expressão na indústria, uma vez que, as suas limitações, que são as vantagens da quinagem a fundo, conseguiram ser ultrapassadas com o desenvolvimento tecnológico nas quinadoras.

2.2.2 Tipos de quinadoras

Como já foi referido, a máquina capaz de realizar o processo de quinagem denomina-se de quinadora, e o seu principal objetivo é efetuar a movimentação do punção sobre a chapa apoiada na matriz. Este deslocamento, realizado por um avental, pode ser feito de diversas formas e recorrendo a diversos tipos de acionamento, transmissão e transformação de movimento. Estes conceitos permitem classificar e distinguir os tipos de quinadoras existentes.

- Quinadoras mecânicas

As quinadoras mecânicas foram as primeiras máquinas desenvolvidas e utilizadas para quinagem. O seu princípio de funcionamento consiste na atuação do avental móvel através de um sistema biela-manivela acionado por um motor elétrico ou outra fonte de energia.

A Figura 14 mostra os principais componentes de uma quinadora mecânica, que hoje em dia é pouco empregue na indústria pelo seu funcionamento rudimentar, perigoso e pouco preciso.

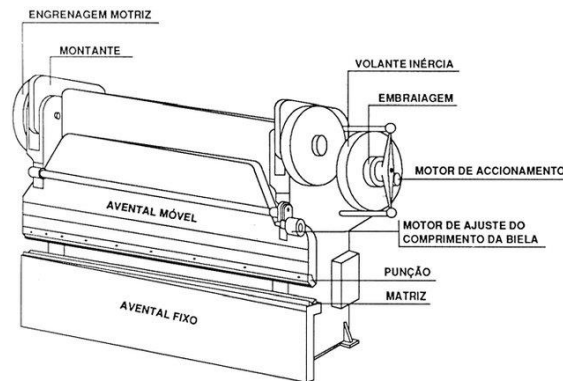


Figura 14 - Principais componentes de uma quinadora mecânica [30].

- Quinadoras hidráulicas

As quinadoras hidráulicas são as que utilizam cilindros hidráulicos na movimentação do avental móvel. Este avental pode estar situado na zona inferior e assim movimentar-se no sentido ascendente como ocorre nas quinadoras hidráulicas ascendentes, ou então, como na maioria das quinadoras, denominadas de descendentes, o avental móvel situa-se na zona superior, como é visível na Figura 15 apresenta-se, uma quinadora hidráulica descendente com 2 cilindros hidráulicos.



Figura 15 – Quinadora hidráulica PH30040 da marca Adira (elaboração própria).

Neste tipo de quinadora o curso do avental móvel pode diferir bastante consoante a aplicação.

O sucesso no desenvolvimento das quinadoras hidráulicas permitiu adotar sistemas que contrariassem os problemas inerentes ao seu funcionamento, ou melhorassem a sua produtividade e qualidade de fabrico, temas estes que serão abordados no capítulo 2.3.

- Quinadoras elétricas

As quinadoras elétricas são as mais recentes e surgiram com a necessidade de reduzir o consumo energético durante a operação e também por questões de manutenção e complexidade inerentes a uma quinadora hidráulica e mecânica. Quando se fala no

termo elétrico refere-se ao acionamento que controla diretamente o sistema de movimentação do avental móvel. O sistema de movimentação tem sido desenvolvido de diversas formas por alguns fabricantes, sendo o Direct Drive o que teve mais sucesso. Este sistema foi desenvolvido pelo fabricante de fusos Umbrá, e consiste num servomotor com um fuso solidário ao rotor que transmite uma força através de um sistema roscado ao avental móvel. As desvantagens deste sistema são a baixa capacidade de carga e o preço. Na Figura 16 pode-se visualizar uma quinadora elétrica com o sistema Direct Drive.



Figura 16 - Quinadora elétrica Bluebender da marca Adira [31].

2.2.3 Sistemas constituintes de uma quinadora

Os principais constituintes de uma quinadora podem desempenhar funções de segurança, de funcionamento, de auxílio à operação e suporte estrutural. Na Figura 17 está apresentada a localização dos componentes principais de uma quinadora hidráulica e na Tabela 4 a sua ilustração e caracterização.

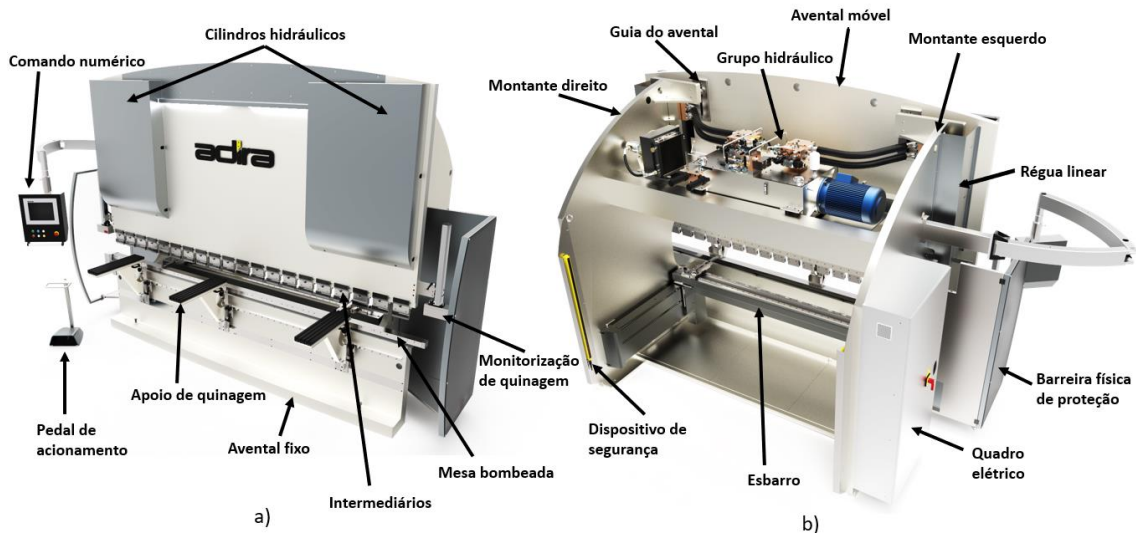


Figura 17 - Constituintes de uma quinadora hidráulica visualizados na parte frontal (a) e na traseira (b) (elaboração própria).

Tabela 4 - Principais componentes de uma quinadora hidráulica (elaboração própria).

Componente	Caraterização
<p>Esbarro</p> 	<p>O esbarro permite posicionar com precisão a peça a quinar fazendo de batente a esta.</p>
<p>Grupo hidráulico</p> 	<p>O grupo hidráulico é constituído por todos os acessórios responsáveis pelo acionamento dos cilindros hidráulicos.</p>
<p>Cilindro hidráulico</p> 	<p>Os cilindros hidráulicos que estão fixos aos montantes, geralmente um de cada lado, têm a função de acionar o avental móvel.</p>
<p>Intermediário</p> 	<p>O intermediário, que está fixo ao avental móvel, permite fixar os punções e porta-punções a utilizar na quinagem.</p>
<p>Comando numérico</p> 	<p>O comando numérico, que contém a interface homem-máquina, permite ao utilizador configurar os parâmetros de funcionamento para o trabalho a executar.</p>
<p>Guia do avental móvel</p> 	<p>As guias do avental permitem que este faça um movimento descendente linear, evitando desvios e imprecisões na quinagem.</p>

Dispositivo de segurança e monitorização de quinagem



Este componente tem como principal objetivo a segurança do operador para evitar o esmagamento de algum órgão durante a quinagem. No entanto este pode controlar a quinagem em tempo real e assim melhorar a precisão do ângulo de quinagem.

Pedal de acionamento



O pedal de acionamento permite controlar os movimentos de descida e subida do avental móvel.

Quadro elétrico



O quadro elétrico agrupa o CLP e todos os módulos dos dispositivos elétricos afetos ao funcionamento da máquina.

Régua linear



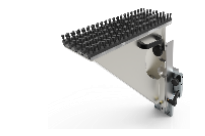
A régua linear existente em cada lado do avental dá informação ao controlo da máquina da posição do avental, que tenta manter o mesmo deslocamento nos 2 lados da máquina.

Mesa bombeada



A mesa bombeada é um constituinte que assenta sobre o avental fixo e tem como objetivo atenuar a deformação do avental e manter o paralelismo entre aventais.

Apoio de quinagem



Este componente permite o apoio das chapas a quinar sobre uma base, o que se torna muito útil na manobra de chapas com elevada massa.

Existe ainda a possibilidade de incorporar à quinadora alguns constituintes mais específicos de apoio à quinagem, como a troca automática de ferramentas, esbarros independentes para quinagens mais específicas, comando numérico com sistema CAD/CAM, acompanhador de quinagem, aperto automático de ferramentas, entre muitos outros. Nas quinadoras não hidráulicas, o grupo hidráulico e o cilindros hidráulicos são substituídos por servomotores com fuso como é o caso das quinadoras elétricas, ou um sistema biela-manivela no caso das quinadoras mecânicas.

2.2.4 Fabricantes de quinadoras

O estado atual de oferta de quinadoras dos diversos fabricantes pretende abranger todos os tipos de soluções para responder às necessidades e exigências dos utilizadores deste tipo de máquinas. O mercado das soluções de quinagem de chapa permite a

obtenção de quinadoras ajustadas às necessidades da operação de fabrico. Os principais parâmetros para a escolha e definição da versatilidade de uma quinadora são os mencionados na Figura 18.

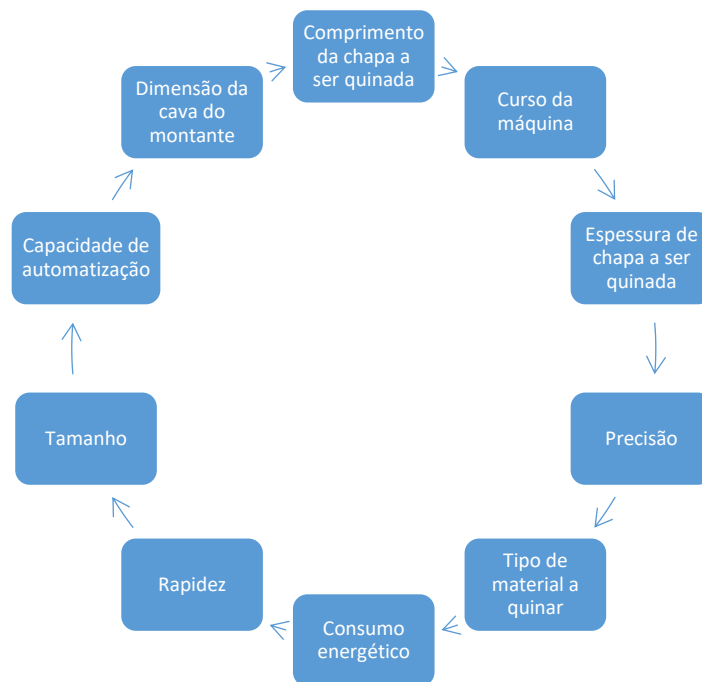


Figura 18 - Principais fatores para a escolha de uma quinadora (elaboração própria).

O mercado de quinadoras procura oferecer máquinas ajustadas aos parâmetros mencionados (Figura 18), e os principais fabricantes como a Adira, Amada, Dimakin, Trumpf ou a Ursviken têm a sua oferta vocacionada para diversos segmentos divididos fundamentalmente em quinadoras puramente hidráulicas, híbridas e elétricas com modelos disponíveis com capacidades e comprimentos de quinagem diferentes.

2.2.5 Efeito do material no processo de quinagem

Durante o processo de quinagem existem diversas variáveis que influenciam a qualidade do produto final. Desprezando as deformações estruturais, a precisão e a repetibilidade da máquina, e o desgaste das ferramentas, tem-se que as propriedades do metal a ser deformado são decisivas no sucesso da operação de quinagem. As variáveis do material que têm maior influência nas operações de quinagem são:

- Espessura da chapa

A variação da espessura da chapa na operação de quinagem produz efeitos no ângulo de quinagem para as mesmas profundidades de quinagem, ou seja, uma chapa mais fina requer uma profundidade de quinagem maior para efetuar um determinado ângulo. Este fator impõe que a tolerância dimensional da espessura da chapa deva ser o mais apertada possível de maneira a minimizar os desvios nos ângulos de quinagem [32].

- Resistência e resiliência do material - retorno elástico

O retorno elástico é um fenômeno inerente a todo o processo de quinagem e define-se pelo desaparecimento das deformações na zona elástica do material após a solicitação de quinagem como está patente na Figura 19. A recuperação elástica é influenciada por uma combinação de vários parâmetros de processo, como a forma e dimensão da ferramenta utilizada, coeficiente de atrito de contacto, resistência mecânica, espessura, entre outras propriedades [33].

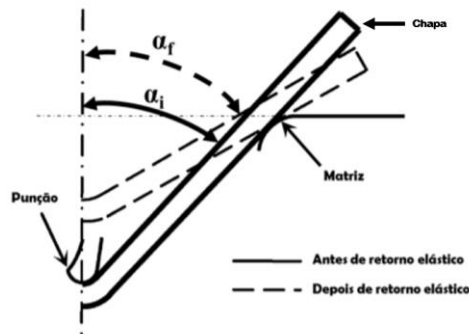


Figura 19 - Ilustração do retorno elástico no processo de quinagem (adaptado de [34]).

- Orientação do grão

A orientação do grão da chapa a dobrar é outro parâmetro importante, e a ter em conta no processo de quinagem, uma vez que a quinagem deve ser perpendicular à direção de laminagem, para evitar a separação dos grãos e conseqüente fissuração das arestas exteriores tracionadas [35]. A Figura 20 mostra o exemplo de duas peças quinadas com orientações de laminagem diferentes e o respectivo aparecimento de fissuras na quinagem paralela à laminagem.

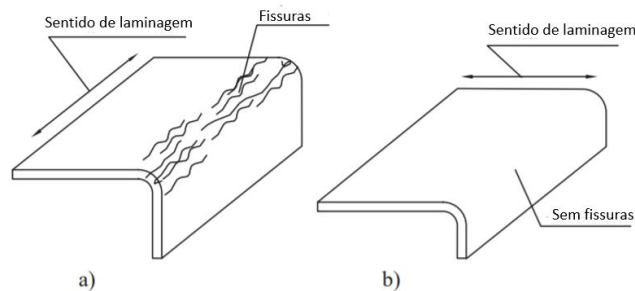


Figura 20 - Relação entre quinagens com diferentes orientações de grão: a) quinagem paralela à laminagem; b) quinagem perpendicular à laminagem (adaptado de [35]).

2.2.6 Ferramentas para quinagem

As ferramentas de quinagem são o órgão da quinadora que mais influência tem no processo de quinagem, uma vez que estas estabelecem a forma de contacto com a chapa. As ferramentas de uma quinadora são normalmente constituídas pela matriz, pelo punção, e pelos sistemas de fixação dos punções e das matrizes [36]. As

ferramentas de dobragem podem ser classificadas de acordo com sua concepção ou universalidade de aplicação. As características das ferramentas dependem das formas das peças a fabricar, das dimensões, do tipo de material, entre outros aspectos [35].

Geralmente as quinadoras são dimensionadas e construídas independentemente das ferramentas que possam ser incorporadas nestas. Esta separação conduz à flexibilidade na escolha de uma máquina, uma vez que o sistema de ferramentas pode ser otimizado de acordo com fatores como o tipo de produto, série e frequência de produção [37]. No entanto, alguns fabricantes de quinadoras incorporam e adotam sistemas de apertos e ferramentas específicas para as suas máquinas.

Existem inúmeros formatos de ferramentas (punções e matrizes) com características e aplicações muito diversas. Na Figura 21 é possível ver um conjunto de ferramentas a operar no fabrico de uma caixa, que são previamente escolhidas, como no caso do punção que já tem a forma adequada de maneira a evitar colisões com a peça.

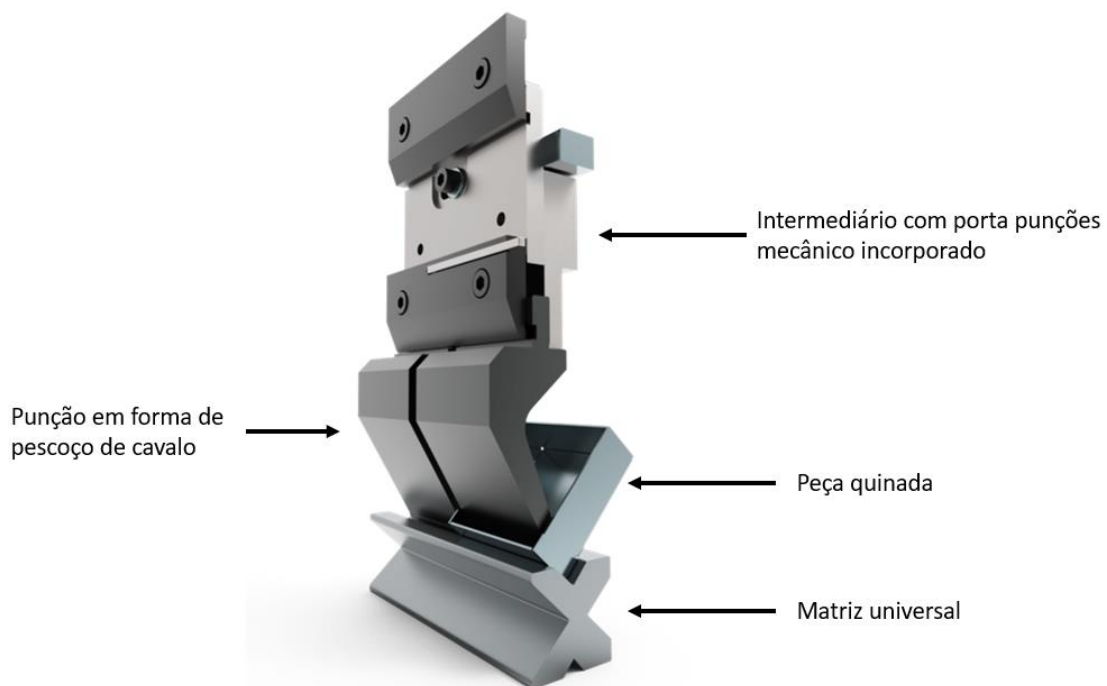


Figura 21 - Ferramentas de quinagem em operação no fabrico de uma caixa (elaboração própria).

Os principais requisitos a ter em conta na escolha de uma ferramenta são o raio mínimo de quinagem, a tonelagem por metro, a abertura da matriz e a aba mínima necessária para efetuar a quinagem [38].

É possível visualizar na Tabela 5 a gama de materiais utilizados em ferramentas de quinagem.

Tabela 5 - Tipos de materiais utilizados em ferramentas de quinagem (elaborado com base em [30] e [39]).

Materiais utilizados em ferramentas de quinagem	Características
Aço de construção ao carbono Ex: Ck 45 (Norma DIN 17200)	Além da relação preço/desempenho este tipo de aço consegue oferecer elevadas durezas através de têmpera, no entanto pode-se fragilizar por excesso de carga localizada.
Aço de construção ligado Ex: 42 Cr Mo 4 (Norma DIN 17200)	A dureza conferida por um pré-tratamento neste aço é sobejamente inferior à do aço anterior, e por isso está mais sujeito ao desgaste. Por outro lado, este pode ser retificado sucessivas vezes.
Aço ligado para ferramentas de trabalho a frio Ex: X 155 CrVMo 12-1 (Norma DIN 17200)	Este tipo de aço é utilizado em ferramentas que requeiram elevada resistência. No entanto, este só é utilizado em ferramentas de pequena dimensão devido à sua têmpera causar empenos em peças de grandes dimensões.
Polímeros de elevado desempenho Ex: Poliuretano ou Nylon	Este tipo de material, mais comumente utilizado em matrizes permite realizar a quinagem sem deixar qualquer marca na chapa, e também é utilizado em quinagens de peças com formas complexas.

2.2.7 Estado-da-arte do processo de quinagem

Na temática da quinagem foram estudados por outros autores diversos assuntos apresentados na Tabela 6, relacionados com a utilização de ferramentas especiais de quinagem, o efeito dos parâmetros no processo de quinagem, entre outros relevantes para os conhecimento científico sobre este processo.

Tabela 6 - Estado da arte de trabalhos sobre quinagem.

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
Grizelj et al. [40]	Este estudo consistiu, na análise, pelo método dos elementos finitos, do retorno elástico e respetiva precisão de quinagem em chapas de aço de elevada resistência utilizadas na indústria automóvel. Durante as simulações foram alterados parâmetros como o tipo de aço, raio de curvatura do punção e penetração do punção na matriz. Concluiu-se que o parâmetro de penetração do punção na matriz é o que tem maior influência na precisão do ângulo de quinagem.

Kuboki et al. [41] Este trabalho japonês, consistiu no desenvolvimento de um método de quinagem assimétrico e com a movimentação simultânea de punções e matrizes. Este método mostrou-se vantajoso para quinagens complexas e de baixo ângulo em comparação com a movimentação isolada do punção sobre a matriz, além disto, revelou maior segurança e rapidez durante a operação de quinagem.

Bessa Pacheco e Santos [29] Este artigo estudou a influência que o raio do punção tem no raio de curvatura interno da chapa quinada. Concluiu-se que, a partir de determinado valor de relação entre a espessura da chapa, tipo de material e abertura da matriz, existe influência do raio do punção no raio de curvatura interno da chapa quinada. Esta influência é tanto maior quanto menor for o ângulo de quinagem.

Raj Prasanth e Shunmugam [42] Neste artigo pretendem-se estudar a otimização das sequências de quinagens e possíveis colisões da peça com as ferramentas. Na resolução do problema os autores utilizaram uma matriz de viabilidade de quinagem, que permitiu criar um algoritmo mais eficiente no planeamento da ordem das quinagens e a rápida identificação das peças inviáveis de quinar.

Abe et al. [43] Neste artigo, os autores pretenderam solucionar a diferença do ângulo de curvatura na quinagem devido à variação da espessura no sentido transversal em chapas laminadas. A solução do problema passou pela utilização de almofadas de borracha de maneira a uniformizar a pressão de contacto entre o punção e a chapa, e concluiu-se que a variação do ângulo de quinagem sofreu menor variação.

Zaragoza et al. [44] Este artigo mostrou a viabilidade da utilização de ferramentas híbridas em quinagem. Este tipo de ferramenta é constituído por uma parte polimérica, onde é feito o contacto da chapa com a matriz, e uma parte metálica, responsável pelo suporte das cargas. Este tipo de solução permitiu fazer ferramentas com uma grande variedade de formatos, e sem provocar os típicos defeitos superficiais na chapa, ocorrentes em ferramentas apenas em metal, além do custo de fabrico por impressão 3D poder ser mais económico, no entanto a resistência ao desgaste tendeu a ser inferior à do metal e inviável para forças de quinagens elevadas.

2.3 Projeto de quinadoras hidráulicas

2.3.1 Dimensionamento estrutural de quinadoras

O dimensionamento estrutural de uma quinadora é o procedimento responsável por garantir o desempenho adequado da estrutura tendo em conta os seus parâmetros de funcionamento.

2.3.1.1 Parâmetros de dimensionamento e consequências estruturais em operação

A possibilidade de diversos tamanhos, capacidades e outras características geométricas na conceção de uma quinadora implica que o dimensionamento tenha vários parâmetros e variáveis afetas ao seu cálculo. Na Figura 22 é possível observar os parâmetros e as características geométricas mais importantes no dimensionamento de uma quinadora. Todas estas características são passíveis de alteração, e a maioria delas independentes entre si.

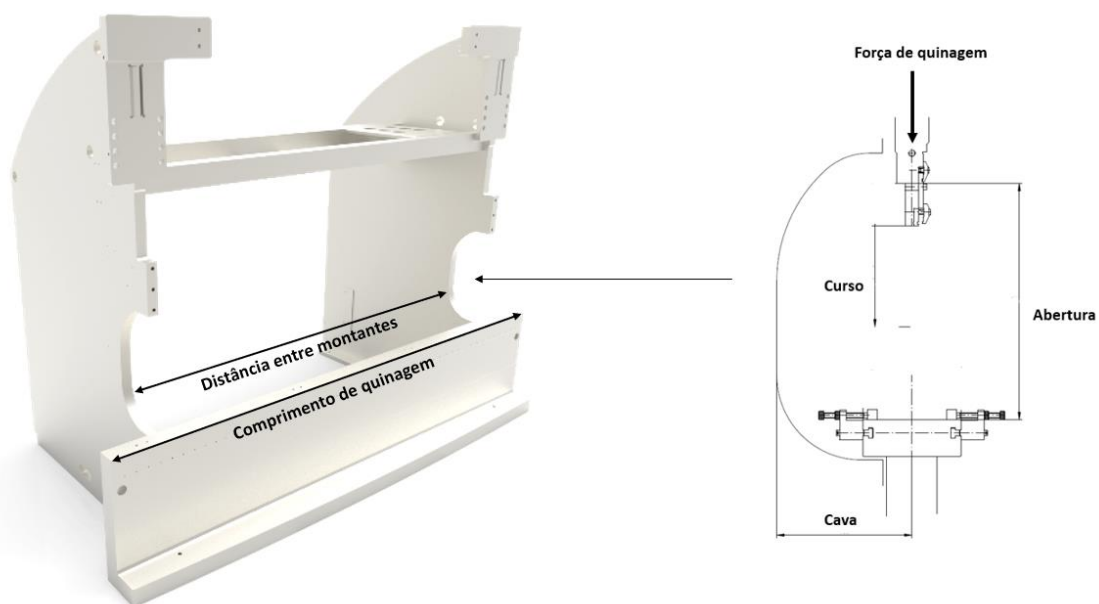


Figura 22 - Parâmetros e características geométricas de uma quinadora (elaboração própria).

Os fabricantes de quinadoras analisam as necessidades do mercado e tendem a normalizar estes parâmetros de forma a otimizar o custo de projeto e fabrico. Durante a operação de quinagem, a estrutura, constituída pelos montantes, aventais e respetivos reforços, deve suportar as reações impostas pela força de acionamento dos cilindros e deformar-se o mínimo possível para não afetar a qualidade e precisão de quinagem [30].

Uma das consequências presentes nestas máquinas é a deformação que os montantes sofrem por efeito da flexão, o que afeta a precisão da profundidade de quinagem, como se pode observar na Figura 23. Coelho et al. [45] afirmam que uma variação de apenas

0,05 mm na profundidade de quinagem pode causar uma imprecisão de 1° no ângulo de quinagem de uma peça. O desvio na verticalidade do avental móvel é uma consequência da deformação da estrutura que é submetida a um momento fletor durante a operação de quinagem.

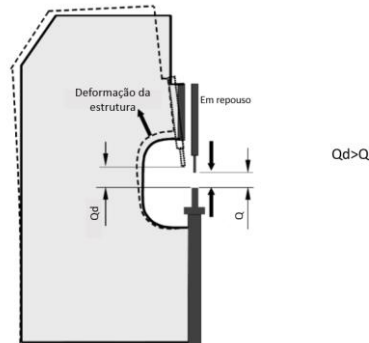


Figura 23 - Comportamento do montante de uma quinadora em carga (adptado de [46]).

A deformação causada nos aventais também é um fator indesejável, uma vez que perturba o ângulo de quinagem ao longo do comprimento da peça, sendo mais crítico na posição central onde ocorre o momento fletor máximo [45]. A extinta marca italiana Rifindus criou um sistema denominado de mesa bombeada, já referido no capítulo 2.2.3 que permite atenuar este efeito, ao impor uma contra deformação no avental fixo, de maneira a copiar a deformação do avental móvel e assim manter a profundidade de quinagem uniforme ao longo do comprimento. A Figura 24 mostra o efeito que a presença deste sistema tem na deformação do avental e no ângulo de quinagem de uma peça.

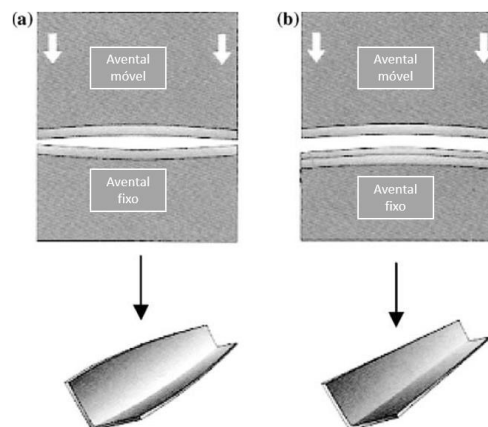


Figura 24 - Influência da mesa bombeada na deflexão do avental fixo e na precisão do ângulo de quinagem: a) deformação natural dos aventais; b) deformação imposta pela mesa bombeada (adaptado de [45]).

A execução de quinagens não centradas com o comprimento de trabalho da quinadora pode também causar torsão na sua estrutura.

2.3.1.2 Métodos convencionais

O comportamento dos materiais e as suas propriedades são fundamentais para projetar máquinas em termos de resistência. A análise estática das forças aplicadas numa quinadora permite determinar as tensões instaladas na estrutura.

O projetista de uma máquina deve ter sempre presente a relação entre a tensão e deformação instaladas, de modo a garantir que a deformação não ultrapasse certos limites. Desta forma é possível garantir o correto funcionamento da máquina [47] e assim não afetar a precisão de quinagem que está diretamente relacionada com a deformação estrutural.

A relação entre a tensão instalada na estrutura (independentemente do material) e a deformação é designada por lei de Hooke, uma das mais importantes leis aplicáveis no domínio elástico de um material [47]. O dimensionamento de quinadoras no projeto mecânico é linear-elástico uma vez que a estrutura nunca poderá sofrer deformação permanente [5]. As solicitações mecânicas (F), (M), (M_t) presentes num componente podem ser do tipo tração-compressão (σ), flexão (σ_b) e torção (τ_{tr}). A Tabela 7 apresenta as expressões de cálculo de verificação estrutural para cada tipo de solicitação mecânica [17] e tendo em conta as dimensões e características do componente (A), (y), (I), (I_p).

Tabela 7 - Expressões de cálculo das tensões, para cada tipologia de solicitação mecânica [17].

Tipo de solicitação	Tração e Compressão	Corte	Flexão	Torção
Tensão $\sigma - \tau$	$\sigma = \frac{F}{A} < \sigma_{z adm}$	$\tau = \frac{F}{A} < \tau_{z adm}$	$\sigma_b = \frac{M \cdot y}{I}$ < $\sigma_{b adm}$	$\tau_t = \frac{M_t \cdot r}{I_p}$ < $\tau_{t adm}$

A maioria das estruturas, pela sua geometria, não está sujeita a apenas um simples esforço, mas a um estado complexo de tensão [17]. Para os estados de tensão bidimensionais e tridimensionais utilizam-se critérios de cedência ou rotura conforme o comportamento do material, de forma a dimensionar o componente de acordo com a sua tensão de cedência [5]. De todos os critérios existentes, o mais utilizado é o de von Mises, por contemplar todas as tensões principais e considerar que a cedência se dá quando a energia de distorção de um estado bidimensional ou tridimensional de tensão ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) é igual à energia de distorção para o estado uniaxial de tração/compressão [5], e a sua equação é dada por:

$$\frac{\sqrt{2}}{2} ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)^{(1/2)} = \sigma_{ced} \quad (1)$$

Geralmente, ao valor da tensão de cedência (σ_{ced}) é aplicado um fator de redução denominado de fator de segurança (n) que caracteriza a tensão admissível (σ_{adm}) apresentada na equação (2) e válida para as diferentes solicitações ($\sigma_{z adm}$), ($\tau_{z adm}$), ($\sigma_{b adm}$), ($\tau_{t adm}$).

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{ced}}{n}. \quad (2)$$

O valor do coeficiente de segurança depende do tipo e nível de incerteza das cargas aplicadas, as tolerâncias de fabrico, método de cálculo de dimensionamento e simplificações, homogeneidade do material, entre outros aspetos [5].

No dimensionamento de quinadoras os principais fatores a ter em consideração para o cálculo do coeficiente de segurança é, a carga por fadiga a que estrutura está sujeita e o método de cálculo para o dimensionamento.

O dimensionamento à rigidez é independente do dimensionamento à resistência e baseia-se na premissa de que o deslocamento, δ , e a rotação, θ , não devem ultrapassar os valores admissíveis em nenhum ponto da peça [5]. Estes valores admissíveis são muitas vezes conhecidos pelos fabricantes das máquinas e impostos pelo constituintes presentes no funcionamento desta.

2.3.1.3 Método de Elementos Finitos

O Método de Elementos Finitos (MEF) é uma técnica numérica de resolução de vários tipos de problemas, aplicados a vários projetos de engenharia, e constitui um método muito versátil e útil na engenharia atual. O MEF permite a obtenção de soluções numéricas para problemas de tensões, temperaturas, aerodinâmica, entre outros [48].

Nos primórdios da engenharia, os diferentes fenómenos em engenharia eram explicados e analisados por técnicas analíticas recorrendo a equações diferenciais ou integrais. A resolução destes problemas pela solução exata das equações diferenciais apenas é possível para geometrias muito simples que raramente têm relevância no mundo real, onde os problemas a analisar são muito mais complexos [48]. O MEF surge então da necessidade de obter resultados o mais realistas possível para qualquer tipo de geometria, sendo mais relevante para geometrias de estruturas complexas.

Tal como o próprio nome do método indica, este divide o componente em estudo num número finito de elementos discretos conectados pelos seus nós que formam a malha podendo-se obter uma aproximação de tensões e deformações, em qualquer parte do componente, para um dado conjunto de condições fronteiriças aplicadas em algumas zonas da estrutura [49]. Isto permite transformar um problema complexo em diversos problemas simples [50].

Um dos parâmetros mais importantes na aplicação do MEF passa pela escolha do tipo de elemento mais apropriado para a modelação do problema. A escolha do tipo de elementos numa análise pelo MEF depende da disposição física do domínio a modelar e do grau de precisão pretendido para os resultados.

Estes elementos apresentam dimensões finitas, daí o termo “elementos finitos” e podem ter formas de quadrados, de triângulos, entre outras, como se pode observar na Figura 25, onde estão representadas as formas mais recorrentes para problemas unidimensionais, bidimensionais e tridimensionais.

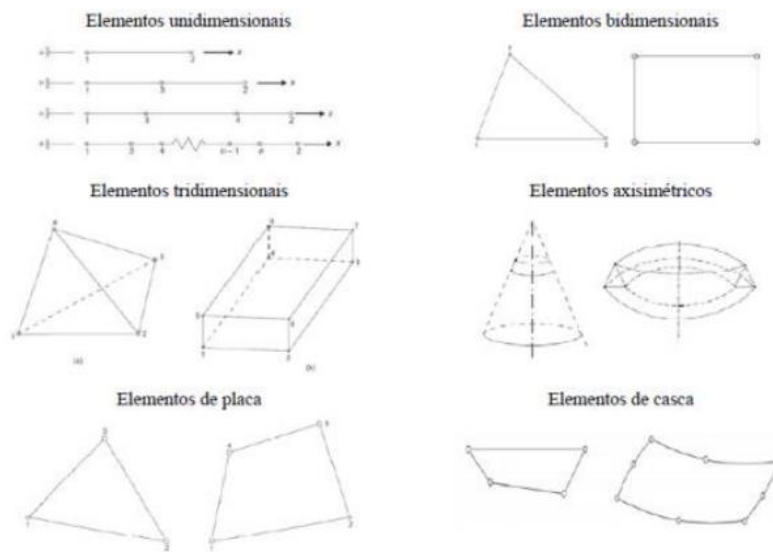


Figura 25 - Formas dos tipos de elementos finitos [48].

Para obtenção de uma solução próxima da exata, é necessário um número considerável de elementos e nós, pelo que se torna necessária a resolução em computador em detrimento do cálculo manual. A solução do MEF aproxima-se da solução exata com o aumento do refinamento da malha, conseqüentemente o tempo computacional também aumenta [48].

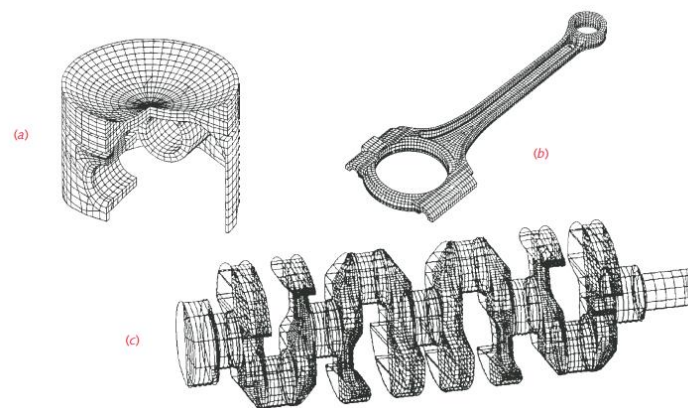


Figura 26 - Modelos de elementos finitos para pistão (a), biela (b) e cambota (c) de um motor [49].

2.3.1.4 Materiais utilizados

A escolha do material a utilizar no projeto da estrutura de quinadoras é um assunto particularmente relevante, não só pela questão do dimensionamento, mas também por ser um dos conjuntos com mais influência no correto funcionamento e com maior custo no fabrico de uma quinadora. Como foi referido no capítulo 2.1.3, os aços são o material de eleição a utilizar em órgãos de máquinas, e em particular na estrutura de quinadoras. Os aços estruturais com baixo teor em carbono são os mais utilizados [51], pelos seguintes motivos:

- Disponibilidade no mercado: a utilização de chapas de grande espessura e dimensões, utilizadas na estrutura de uma quinadora, podem ser difíceis de obter em determinados materiais;
- Custo: aço de utilização corrente que cumpre o desempenho exigido para as condições de utilização e solicitações sujeitas, pelo que permite o máximo valor pelo menor custo;
- Facilidade de processamento: a necessidade de maquinar e soldar a estrutura da quinadora é um requisito essencial que este tipo de aço cumpre [52].

Os aços designados de aços de construção ao carbono são geralmente ligas à base de ferro com teor em carbono inferior a 2,11%, e podem conter alguns elementos de liga com teores diversos, definindo se estes são ligados ou não ligados.

Na Figura 27 estão patentes as curvas de tensão-extensão de alguns materiais metálicos, incluindo aços (representados com o números 1,2,3,4,5 e 7) e alumínio (representados com os números 6 e 8) com características que proporcionam comportamentos mecânicos diferentes.

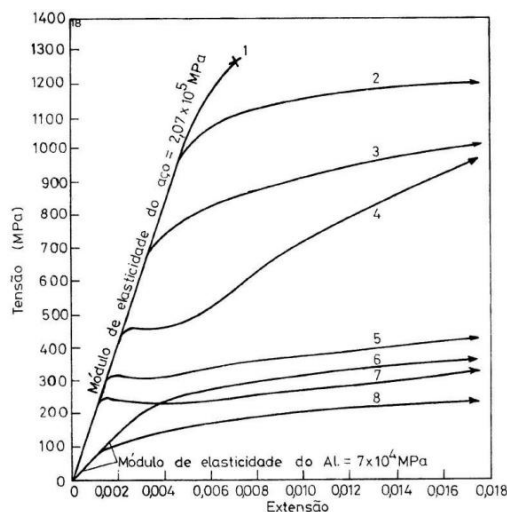


Figura 27 - Curvas de tensão-extensão de vários materiais metálicos na zona inicial elástica e início da deformação plástica [53].

No caso do dimensionamento estrutural de quinadoras, a deformação estrutural é prejudicial no desempenho da quinagem, pelo que, a escolha de materiais com baixo módulo de elasticidade é excluída. Devido à estrutura de uma quinadora não servir apenas para autossustentar os componentes que a constituem, mas também resistir aos esforços provocados pelo processo, o tipo de material influencia diretamente o comportamento desta em operação. No entanto, a escolha de aços mais resistentes não é por si só uma solução, uma vez que a sua taxa de deformação no regime elástico é semelhante em qualquer aço. Como se pode ver na Figura 27 os aços têm o mesmo módulo de elasticidade longitudinal (E), embora com resistências mecânicas diferentes.

2.3.2 Dimensionamento dos cilindros e sistema hidráulico

O sistema de acionamento de uma quinadora hidráulica é constituído por diversos componentes que têm o objetivo de realizar o deslocamento do avental móvel através de cilindros hidráulicos. Este sistema hidráulico será alvo de estudo neste capítulo.

2.3.2.1 Sistemas de atuadores

Os atuadores hidráulicos (lineares ou rotativos) são dispositivos constituintes de um sistema hidráulico que convertem a energia hidráulica produzida pela bomba em energia mecânica. Os atuadores hidráulicos rotativos conhecidos como motores hidráulicos convertem a energia hidráulica em mecânica (binário e rotação) produzindo movimentos circulares. O funcionamento dos atuadores rotativos é o inverso das bombas hidráulicas [54]. As principais variáveis para o projeto de um atuador hidráulico rotativo são a velocidades de rotação e o binário necessários. Os cilindros hidráulicos são atuadores lineares responsáveis por transmitir o movimento linear a um órgão, que no caso das quinadoras se denomina avental móvel. A sua constituição possui geralmente uma carcaça com o corpo do cilindro, um êmbolo ou pistão com uma haste acoplada, e as tampas dianteira e traseira que se fixam ao corpo do cilindro, como se representa na Figura 28.

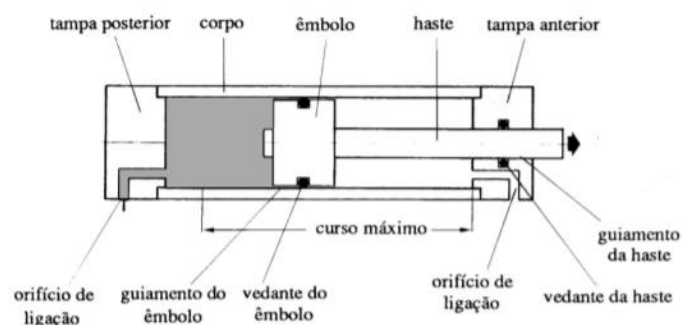


Figura 28 - Identificação da localização dos principais constituinte de um cilindro hidráulico (adptado de [55]).

O seu funcionamento pode-se resumir em 2 movimentos, o de avanço e o de recuo, conforme apresentado na Figura 29.

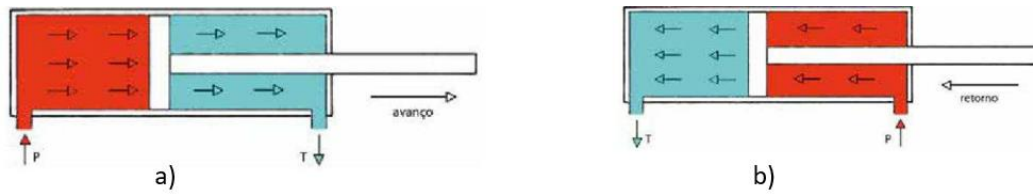


Figura 29 - Movimentos de funcionamento de um cilindro hidráulico: a) avanço; b) retorno [54].

Durante o avanço do cilindro, a câmara traseira é submetida à pressão e empurra o êmbolo geralmente em situação de carga (haste do cilindro à compressão), enquanto o óleo na câmara dianteira retorna ao tanque. A força necessária para este movimento no caso das quinadoras deve ser igual à força necessária para efetuar a quinagem. No recuo do cilindro, o princípio de funcionamento do cilindro é o inverso ao referido anteriormente, neste caso, a força necessária para este movimento deve ser suficiente para mover ao peso dos constituintes acoplados à haste, no caso das quinadoras, o avental móvel e respectivas ferramentas.

O cilindro descrito anteriormente trata-se de um cilindro de duplo efeito, isto é, ambos os movimentos se devem à ação do óleo. No entanto, existem vários tipos de cilindros, como se apresenta na Tabela 8.

Tabela 8 - Tipos de cilindros hidráulicos (elaborado com base em [56]).

Tipo de cilindro	Ilustração	Descrição do funcionamento
Cilindro de simples efeito		A pressão do fluido é aplicada somente numa direção para mover o pistão e haste, sendo o movimento inverso causado pela gravidade dos componentes acoplados à haste.
Cilindro de simples efeito com retorno por mola		É um tipo de cilindro de simples efeito, mas em que o movimento de retorno é efetuado por ação de uma mola.
Cilindro telescópico		É um cilindro que contém várias hastes montadas uma dentro da outra com o objetivo de oferecer um curso e comprimento de trabalho maior, sendo que este pode ser de simples e duplo efeito.
Cilindro de haste passante		Este cilindro tem a característica de apresentar duas hastes solidárias que se movimentam em sentidos opostos, mas com forças e velocidades iguais.

Existem também sistemas de amortecimento utilizados em cilindros para os proteger contra choques.

2.3.2.2 Projeto de cilindros para quinadoras

No projeto de um sistema hidráulico de uma quinadora, a escolha do cilindro adequado exige que sejam considerados parâmetros como a força necessária de avanço (F_a) e recuo (F_r), as velocidades de avanço (v_a) e recuo (v_r), o curso (l) e o sistema de fixação. As características e os parâmetros mais importantes no projeto de um cilindro hidráulico encontram-se identificados na Figura 31.

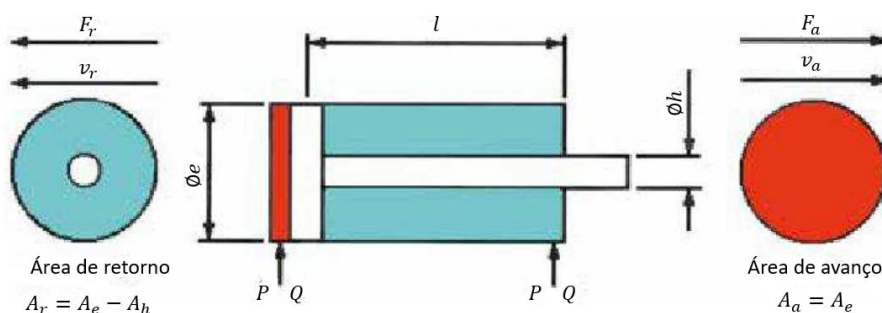


Figura 30 - Características e parâmetros geométricos de um cilindro hidráulico (adaptado de [54]).

A área de uma coroa circular (A_r) responsável pelo retorno da haste do cilindro é dada pela área do êmbolo (A_e) a subtrair pela área da haste (A_h). Por outro lado, a área de avanço (A_a) corresponde exatamente à área do êmbolo (A_e). Para o dimensionamento das áreas do êmbolo do cilindro é necessário também ter em consideração a pressão máxima do sistema.

No caso das quinadoras o tipo de cilindro utilizado é um cilindro de duplo efeito porque este necessita de realizar força nos dois sentidos de trabalho, ou seja, à tração e à compressão. A força necessária ao avanço (F_a) está relacionada diretamente com a força de quinagem, e a força necessária ao recuo (F_r) deve ser suficiente para movimentar o avental móvel e periféricos.

Na Figura 31 mostra-se uma quinadora capaz de aplicar uma força de quinagem de 5000 kN ao longo de 6 metros. Cada cilindro hidráulico é responsável por realizar metade da força total durante o avanço bem como o recuo. O avental móvel acoplado ao cilindro numa máquina desta dimensão pode chegar às dezenas de toneladas de massa, o que implica uma força de retorno que supere estes valores, de maneira a realizar a subida do avental após o processo de quinagem.

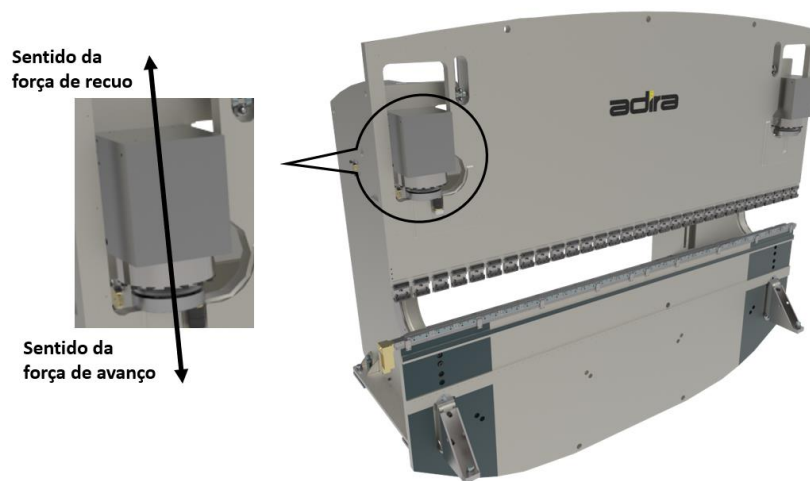


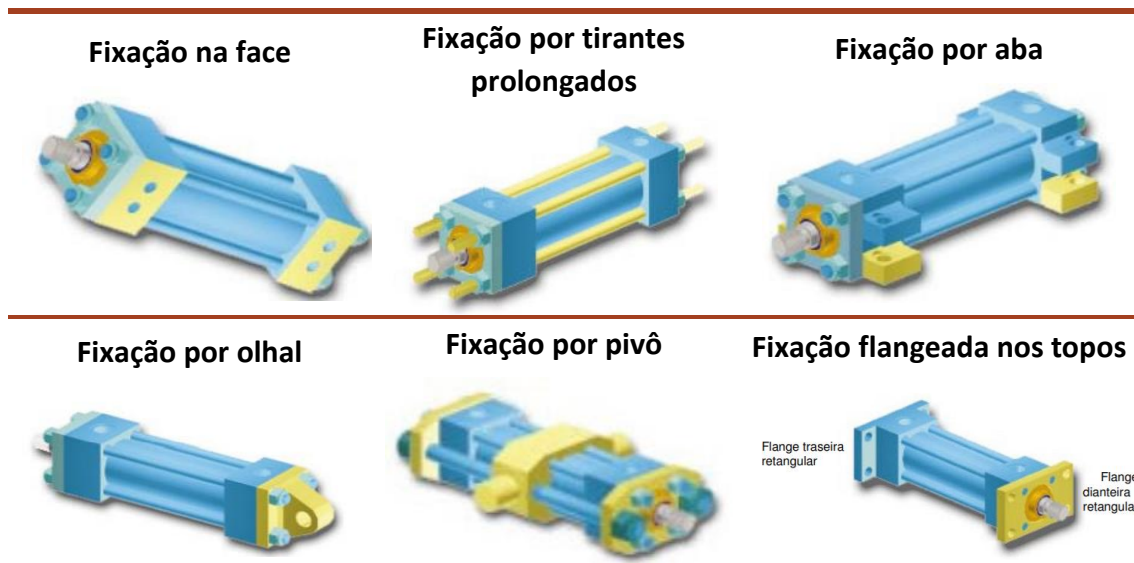
Figura 31 - Identificação do sentido das forças de avanço e recuo nos cilindros hidráulicos de uma quinadora (elaboração própria).

No dimensionamento de cilindros hidráulicos deve-se verificar a possibilidade de encurvadura durante a compressão da haste quando esta realiza o movimento de avanço, no entanto os cilindros para quinadoras revelam coeficientes de segurança à encurvadura elevados, devido à pouca esbelteza da haste do cilindro.

2.3.2.3 Sistemas de acoplamento dos cilindros à estrutura

Além dos aspetos construtivos do cilindro já mencionados, também é importante conhecer os tipos de fixação à estrutura onde este é montado. Na Tabela 9 apresentam-se alguns dos estilos existentes de fixação dos cilindros hidráulicos à estrutura.

Tabela 9 - Tipos de fixação de cilindros hidráulicos (elaborado com base em [57]).



A ligação dos cilindros aos montantes de uma quinadora é tipicamente por face ou flange. A ligação da haste ao avental móvel é geralmente rotulada com calotes esféricas, e aparafusada com anilhas molas que admitam as deformações existentes no avental móvel.

2.3.2.4 Grupo hidráulico

O grupo hidráulico é o conjunto responsável pelo funcionamento dos cilindros hidráulicos, e este é constituído por diversos elementos descritos de seguida:

- Elementos de comando e regulação

Os elementos de comando são constituídos por válvulas direcionais responsáveis por encaminhar o fluido hidráulico dentro do sistema. Na Figura 32 representa-se uma válvula direcional com 4 vias e 2 posições com atuação manual por alavanca e retorno por mola.

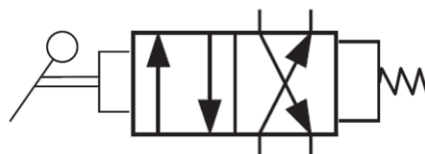


Figura 32 - Válvula hidráulica direcional [56].

Os elementos de regulação, constituídos por válvulas reguladoras de pressão e caudal têm a função de limitar, regular ou reduzir tanto a pressão como o caudal, com o objetivo de ajustar a velocidade e força do cilindro hidráulico. Na Figura 33 representa-se uma válvula redutora de pressão autocompensada com 2 posições.

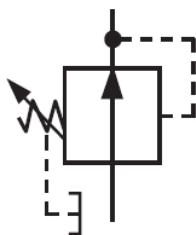


Figura 33 - Válvula hidráulica redutora de pressão [56].

- Elementos de potência

Os elementos de potência, como o conjunto do motor e da bomba, são responsáveis por fornecer potência hidráulica ao circuito, isto é, o motor elétrico converte primariamente a energia elétrica em energia mecânica, que posteriormente é convertida em energia hidráulica pela bomba, que fornece um determinado fluxo de caudal ao circuito hidráulico. As bombas mais utilizadas em quinadoras, onde é necessário transmitir forças, são as bombas hidrostáticas ou de deslocamento positivo [54].

- Elementos auxiliares

Os elementos auxiliares são todos os componentes além dos já mencionados, que auxiliam a operação do sistema hidráulico, como por exemplo o reservatório do fluido hidráulico, mangueiras ou tubagens, filtros, acumuladores de pressão, entre outros.

A Figura 34 apresenta o grupo hidráulico de uma quinadora e principais constituintes, com particular incidência para a existência de dois blocos principais para o acionamento de cada cilindro.

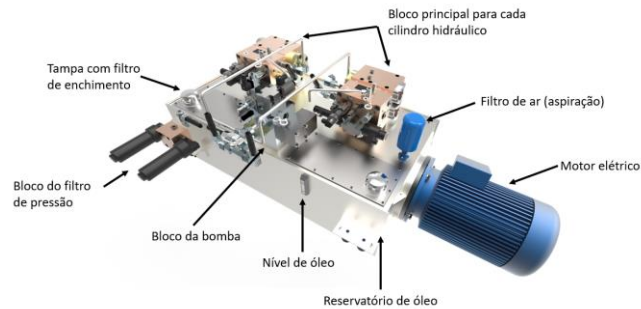


Figura 34 - Grupo hidráulico de quinadora da Adira PH 30040 [58].

2.3.3 Estado-da-arte do projeto mecânico e de acionamento hidráulico

Na Tabela 10 apresenta-se o estado da arte sobre alguns desenvolvimentos e trabalhos realizados por outros autores no âmbito do acionamento hidráulico e do projeto mecânico de quinadoras.

Tabela 10 - Estado da arte de trabalhos sobre o projeto mecânico e acionamento hidráulico de quinadoras.

Referências bibliográficas	Descrição do trabalho
Colombo et al. [59]	Este artigo mostra o desenvolvimento de uma aplicação que permite automatizar o projeto de quinadoras. Face às inúmeras variáveis existentes no projeto de um quinadora, como a força e comprimento de quinagem, distância entre montantes entre outros. Os autores recorreram à ferramenta de desenvolvimento <i>knowledge based engineering</i> (KBE) que cria um protótipo automaticamente de acordo com os parâmetros já citados e fornece a lista de materiais e desenhos do modelo. Esta técnica permitiu uma redução no tempo de projeto de 20 dias para 40 minutos e melhor planeamento da produção e gestão comercial do produto.

Santos et al. [60]

Este estudo teve o objetivo de avaliar o impacto ambiental de máquinas quinadoras hidráulicas. Para esta avaliação foi utilizada a técnica *life-cycle assessment* (LCA) que permitiu concluir que o impacto ambiental associado à construção da estrutura da máquina tem uma contribuição semelhante ao consumo elétrico durante a sua utilização.

Costa [61]

Devido às deformações causadas no aventais da quinadora durante o processo de quinagem, o desenvolvimento deste trabalho teve como objetivo o estudo de um sistema para atenuar estas deformações. A solução passou por criar um rasgo perto da mesa do avental fixo incorporando cilindros hidráulicos que impõem uma contra carga para autocompensar a deformação do avental durante a quinagem. O referido sistema revelou resultados eficazes na correção da deformação, no entanto apresenta um custo muito elevado para implementação em quinadoras de mercado.

Reis [62]

Este trabalho teve como objetivo normalizar os componentes de cilindros hidráulicos de quinadoras. Esta operação consistiu em utilizar as mesmas tampas e hastes em cilindros com capacidades diferentes. Isto permitiu um menor custo no fabrico das quinadoras para empresa e a utilização de componentes iguais transversais a várias gamas de quinadora com tamanhos e capacidades diferentes.

Kanakaraddi e Halli [63]

Neste trabalho, foi projetado e analisado estruturalmente um novo formato de acionamento hidráulico em quinadoras, utilizando o método dos elementos finitos. O acionamento consistiu em transmitir a força ao avental móvel, através de alavanca acionada hidráulicamente por cilindros fixos na parte traseira da quinadora. Os resultados das tensões instaladas e deformações permitiram validar o modelo de quinadora com um coeficiente de segurança próximo de 2.

DESENVOLVIMENTO

- 3.1 Entidade acolhedora
- 3.2 Objetivos do trabalho
- 3.3 Requisitos do projeto
- 3.4 Estudo do equipamento existente
- 3.5 Anteprojeto
- 3.6 Projeto

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Entidade acolhedora

A Adira Metal Forming Solutions S.A., empresa de sociedade anónima pertencente ao grupo Sonae Capital, SGPS, S.A., é um fabricante e fornecedor global de soluções de engenharia, especializado na produção de quinadoras hidráulicas, elétricas e híbridas, guilhotinas e no fabrico aditivo de metal.

A história da marca Adira (Figura 35) remonta a 1956 na Rua António Bessa Leite nº1000 na cidade do Porto, Portugal. No entanto, e após a reestruturação ao nível acionista e de produção, as instalações da fábrica situam-se agora na Rua das Lages nº67 em Vila Nova de Gaia, Portugal.



Figura 35 - Logótipo da marca Adira [31].

Hodiernamente, as principais competências da empresa centram-se no projeto de engenharia e montagem das máquinas, na assistência técnica e na venda dos seus produtos. A presença da marca é mundial (Figura 36) e conta com representação em mais de 30 mercados, o que faz com que a sua produção seja maioritariamente para exportação.



Figura 36 - Presença e representação da Adira no mundo [64].

O exemplo da Adira, patente na Figura 37, mostra a oferta de quinadoras desta marca em função de alguns parâmetros, dividindo fundamentalmente a sua gama de quinadoras em hidráulicas de série ligeira (PA – *Press Accuracy*) e série pesada (PH – *Press Heavy*), quinadoras híbridas (PF – *Press Fast*) e quinadoras elétricas (BB – *Bluebender*). A Adira procura também oferecer soluções de quinadoras denominadas por “soluções especiais”, customizadas em específico aos desafios da indústria.

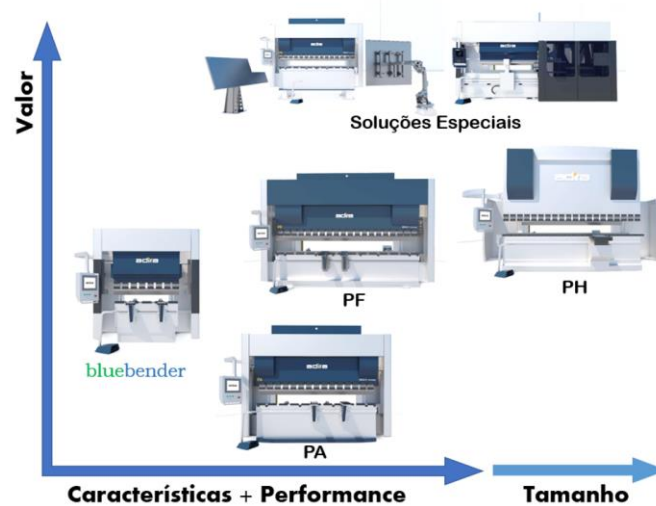


Figura 37 - Panorama geral da oferta de quinadoras da Adira.

3.2 Objetivos do trabalho

O objetivo primordial deste projeto consiste no desenvolvimento de uma nova fixação de cilindros hidráulicos em montantes de quinadoras hidráulicas da gama de quinadoras hidráulicas da série PH da Adira. A nova fixação de cilindros pretende albergar dois cilindros hidráulicos em substituição do cilindro hidráulico utilizado atualmente, como se pode visualizar na Figura 38, e com metade da capacidade de força para, em paralelo, ser produzida a mesma força de atuação.



Figura 38 - Disposição dos cilindros hidráulicos utilizados atualmente na quinadora PH040040.

A necessidade deste projeto surge com o objetivo de reduzir o custo de fabrico da máquina nomeadamente na utilização de um sistema hidráulico de aplicação recorrente (normalizado internamente) no fabrico de máquinas da Adira em vez do sistema hidráulico customizado utilizado atualmente na série de quinadoras PH0400. A implementação deste sistema hidráulico torna-se vantajosa do ponto de vista da normalização interna deste componente já que este é utilizado no fabrico dos modelos da gama de quinadoras PA existentes (gama com maior venda). A inclusão do sistema hidráulico da quinadora PA oferece também um maior poder negocial na compra deste componente uma vez que a quantidade a comprar aumenta. Por outro lado, e apesar da utilização de mais cilindros hidráulicos, prevê-se também aqui uma redução do custo de fabrico devido à possibilidade de incorporar cilindros de proporções mais normalizadas ou mesmo cilindros normalizados.

Neste sentido são traçados diferentes objetivos para o desenvolvimento do projeto:

- **Escolher o cilindro hidráulico:** face aos requisitos impostos torna-se necessário escolher o formato do cilindro hidráulico e considerar a possibilidade de utilizar um cilindro normalizado;
- **Dimensionar o cilindro hidráulico:** caso não seja possível utilizar cilindros hidráulicos normalizados será necessário dimensionar o corpo do cilindro;
- **Selecionar o sistema hidráulico e dimensionar a bomba hidráulica:** a utilização do sistema hidráulico que se pretende normalizar deve ser verificada quanto ao cumprimento dos requisitos necessários para o funcionamento da máquina, e também deve ser calculada e escolhida a cilindrada da bomba hidráulica ideal para funcionar no regime de funcionamento necessário do circuito;
- **Projetar e dimensionar a zona de fixação do cilindro na estrutura:** para albergar os cilindros na estrutura é impreterível projetar e dimensionar a zona de amarração dos cilindros na estrutura da quinadora;
- **Dimensionar a ligação do cilindro à estrutura:** para fixar os cilindros hidráulicos à estrutura, será necessário dimensionar a ligação aparafusada;
- **Verificar o dimensionamento da estrutura:** apesar de a estrutura da máquina já estar dimensionada globalmente, será importante efetuar a respetiva verificação e também induzir possíveis otimizações.

3.3 Requisitos do projeto

A idealização do novo sistema de fixação de cilindros hidráulicos deve obedecer a diversos requisitos impostos por limitações do equipamento já existente e também outros inerentes ao desenvolvimento deste tipo de máquinas e já estabelecidos na maior parte das vezes de forma empírica. Assim sendo, o principal requisito do projeto de fixação dos cilindros hidráulicos consiste na aplicação de quatro cilindros hidráulicos em vez dos dois empregues atualmente. Pretende-se também utilizar o sistema

hidráulico da gama de quinadoras PA da Adira por forma a normalizar a utilização interna deste componente.

Além dos requisitos referidos existem outros mais específicos no desenvolvimento do projeto que serão separados de acordo com a sua especificidade e descritos de seguida.

- Requisitos gerais e funcionais

A nova fixação deve minimizar as alterações necessárias nos acessórios da máquina, e a utilização de componentes normalizados internamente deve ser priorizada.

A velocidade de acionamento bem como a capacidade da máquina devem ser as mesmas do equipamento existente.

- Requisitos hidráulicos

Os novos cilindros hidráulicos devem manter o mesmo curso dos cilindros já existentes e a sua capacidade unitária deve ser de 1000 kN Os quatro cilindros hidráulicos devem ser iguais com o objetivo de uniformizar este componente.

A fixação da haste do cilindro ao avental móvel deve ser rotulada como no equipamento existente e a fixação do corpo do cilindro à estrutura da máquina deve ser na face, como se apresentou na Tabela 9, tal como na solução atual, de maneira a absorver as deformações de não verticalidade do montante e de não paralelismo com o avental móvel.

- Requisitos estruturais

Ao nível estrutural a máquina deve manter as mesmas cotas de abertura, curso, cava, comprimento de quinagem, e distância entre montantes.

O novo dimensionamento da fixação deve garantir que as deformações máximas instaladas na estrutura não ultrapassem os valores limites para o bom funcionamento do equipamento, isto é, com deslocamentos verticais e horizontais máximos de 3 mm na zona de fixação do cilindro hidráulico.

A deformação angular máxima da face de fixação dos cilindros hidráulicos com a direção vertical não deve ultrapassar os $0,5^\circ$.

O coeficiente de segurança mínimo na estrutura da quinadora deve ser superior a 1,2.

O dimensionamento à fadiga deve prever uma durabilidade de funcionamento da máquina de 20 anos.

3.4 Estudo do equipamento existente

A gama de quinadoras PH da Adira destina-se à quinagem de chapas de grandes espessuras e comprimentos, ou que necessitem de forças de quinagem elevadas. Esta gama de máquinas permite comprimentos de quinagem até 8 m e forças de quinagem

até aos 20000 kN (PH200080). A nomenclatura do modelo identifica a capacidade e comprimento de quinagem, os primeiros três ou quatro números representam a capacidade de quinagem em decaNewton e os últimos dois representam o comprimento de quinagem em decímetros,

A Figura 39 mostra as principais especificações de algumas das quinadoras da série PH da Adira. De salientar que máquinas com forças de quinagem iguais podem ter comprimentos de quinagem diferentes, entre outras características, como o curso a cava e a abertura, mediante as necessidades das peças a quinar.

PH		16046	22060	30040	30060	30070	40040	40060	40070	50040	50060	50070	60040
Força de quinagem	kN	1600	2200	3000	3000	3000	4000	4000	4000	5000	5000	5000	6000
Comprimento max. de quinagem	mm	6100	6100	4100	6100	7100	4100	6100	7100	4100	6100	7100	4100
Distância entre montantes	mm	3150	5100	3150	5100	6150	3150	5100	6150	3150	5100	6150	3150
Curso máximo	mm	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	300
Abertura max. sem intermediários	mm	500	500	530	530	530	530	530	530	530	530	530	600
Curso especial n.1	mm	-	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Curso max. Especial n.1	mm	-	-	-	630	630	630	630	630	630	630	630	630
Curso especial n.2	mm	-	-	-	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Curso max. Especial n.2	mm	-	-	-	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Cava	mm	630	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Cava especial n.1	mm	-	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630	630
Cava especial n.2	mm	-	-	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Cava especial n.3	mm	-	-	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Potência	kW	15	15	18	18	18	30	30	30	30	30	30	30
Velocidade de aproximação	mm/s	150	130	150	150	150	150	150	150	80	80	80	80
Velocidade de trabalho	mm/s	10	8	8	8	8	9	9	9	8.5	8.5	8.5	7.5
Velocidade de retorno	mm/s	120	85	100	100	100	90	90	90	75	75	75	75
Comprimento	mm	7160	7000	4820	6550	7650	4400	6550	7650	4400	6550	7650	4400
Largura	mm		2180	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2380	2600
Altura	mm	3170	3540	3450	3500	3950	3450	3700	4050	3650	4280	4600	4200
Altura do posto de trabalho	mm	950	1050	950	1100	860	1000	860	860	1080	860	860	1100
Distância abaixo do solo	mm	-	-	-	-	1500	-	1400	1900	-	1500	1900	-
Massa aprox.	Kg	16500	24000	19000	35000	40000	25000	38000	44000	32000	45000	59000	42000

Figura 39 - Especificações técnicas das quinadoras PH da marca Adira [64].

O novo conceito de fixação de cilindros pode ser transversal aos modelos de quinadoras das séries PH0400, PH0500 e PH0600, com qualquer comprimento de quinagem. No entanto, a nova fixação apenas será estudada no modelo PH040040 sendo compatível e extensível para implementar futuramente nas quinadoras PH0500 e PH0600.

O equipamento alvo do projeto de uma nova fixação de cilindros hidráulicos é uma quinadora hidráulica, modelo PH da marca Adira (Figura 40) com capacidade de quinagem de 4000 kN e 4 m de comprimento de quinagem.



Figura 40 - Representação frontal da quinadora PH040040 da marca Adira [64].

As especificações técnicas e estruturais da máquina apresentam-se na Tabela 11.

Tabela 11 - Especificações técnicas estruturais da quinadora PH040040 (elaborado com base em [64]).

Característica	Valor
Força de quinagem [kN]	4000
Comprimento de quinagem [mm]	4100
Distância interior entre montantes [mm]	3150
Curso [mm]	250
Abertura [mm]	530
Cava [mm]	400

Atualmente, a PH040040 apresenta dois cilindros hidráulicos iguais para o acionamento do avental móvel, um em cada montante, como se apresenta na Figura 41.

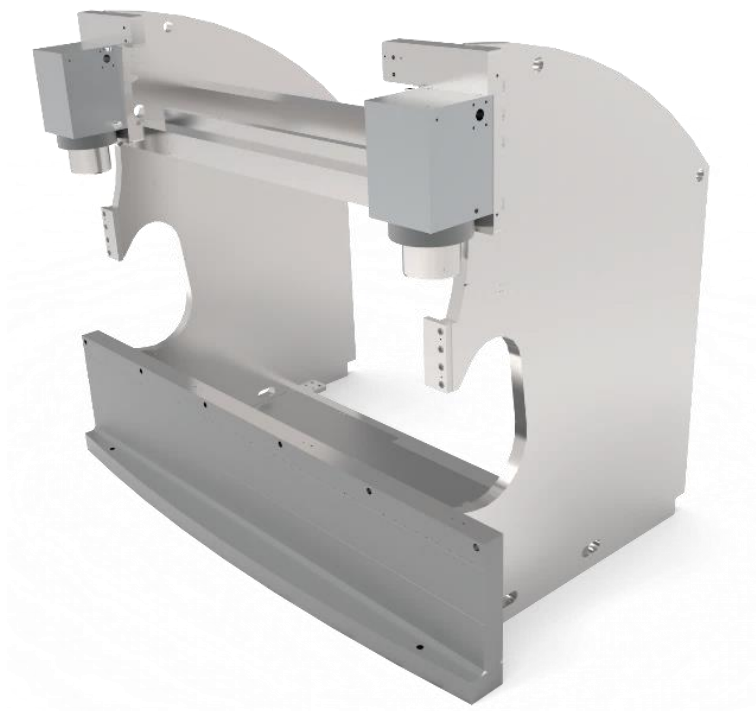


Figura 41 - Estrutura da PH040040 com cilindros hidráulicos acoplados.

Os cilindros hidráulicos utilizados são não normalizados de duplo efeito e apresentam corpo quadrado (Figura 42).



Figura 42 - Cilindro hidráulico de duplo-efeito utilizado atualmente na PH040040.

Na Figura 43 apresenta-se a zona de fixação dos cilindros hidráulicos por face no montante da quinadora e as respectivas zonas de fixação dos guiamentos do avental móvel ao montante.

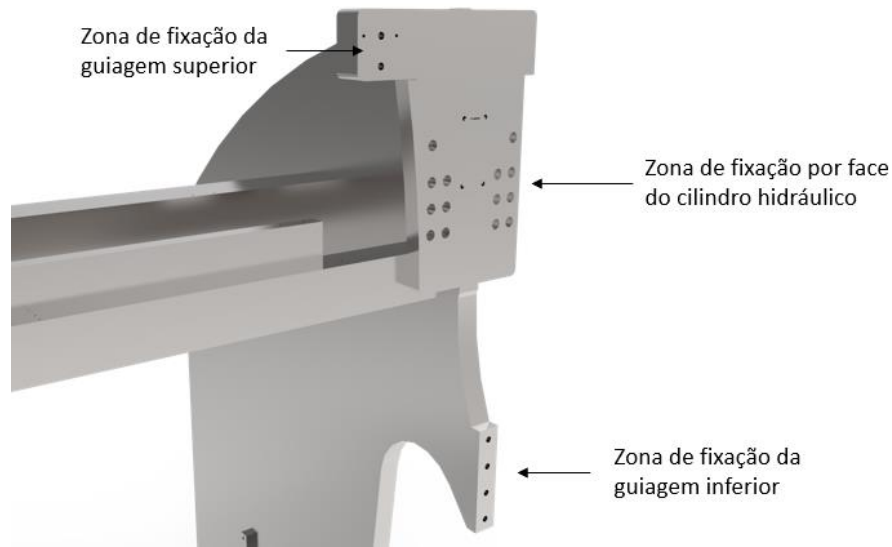


Figura 43 - Descrição da zona de fixação do cilindro hidráulico no montante da PH040040.

A fixação do cilindro hidráulico na haste ao avental móvel é rotulada através da utilização de uma calote esférica que permite graus de rotação em todas as direções (Figura 44).



Figura 44 - Fixação rotulada do cilindro hidráulico ao avental móvel.

Atualmente, a quinadora PH0400 apresenta um sistema hidráulico que aciona os dois cilindros hidráulicos (Figura 45). Este sistema hidráulico é constituído por um motor elétrico com 30 kW de potência responsável pela energia hidráulica debitada por uma bomba de engrenagens interiores com 50 cm³ de cilindrada.

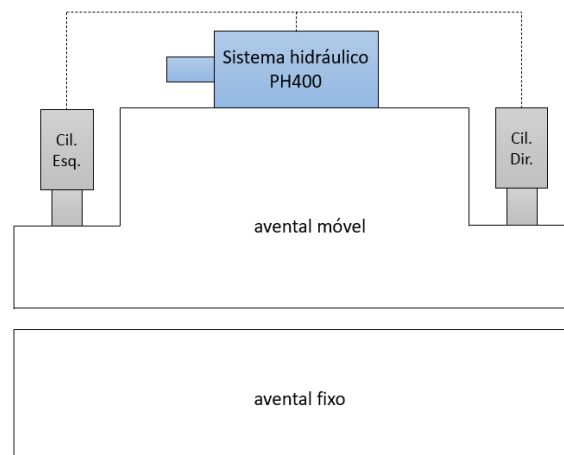


Figura 45 - Configuração atual do sistema hidráulico e cilindros na quinadora PH0400.

A capacidade máxima de quinagem divide-se pelos dois cilindros hidráulicos de igual forma, ou seja, 2000 kN cada cilindro. No entanto, durante o funcionamento do equipamento a força nominal debitada por cada cilindro pode não ser igual caso a quinagem seja executada de maneira não simétrica.

Existem duas velocidades de avanço dos cilindros hidráulicos, a de aproximação, que garante o deslocamento do avental móvel em vazio, ou seja, sem realização da força de quinagem, e a de trabalho, que garante o deslocamento do avental móvel durante a quinagem. Já a velocidade de retorno dos cilindros é igual em todo o seu curso e é responsável por deslocar o avental móvel no sentido ascendente após a quinagem. Na Figura 46 está representada a zona de atuação de cada velocidade na quinadora.

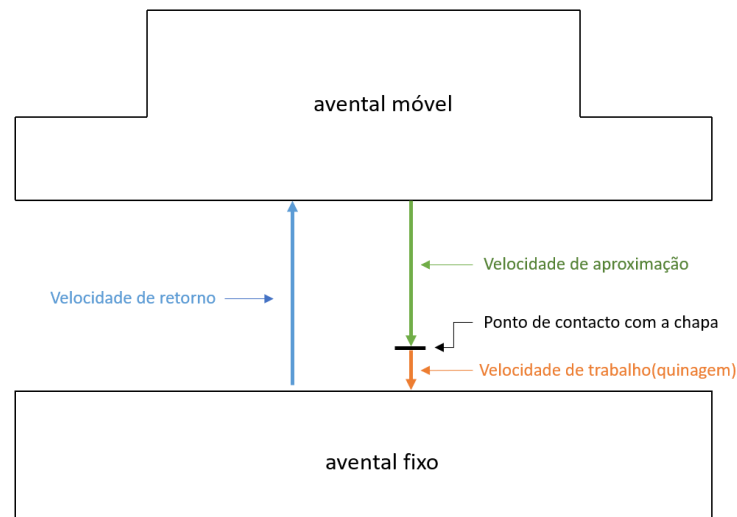


Figura 46 - Representação das velocidades de deslocamento do avental móvel de uma quinadora.

Os valores da velocidades de deslocamento do avental móvel referidas apresentam-se na Tabela 12.

Tabela 12 - Velocidades de deslocamento da haste dos cilindros da PH040040.

Velocidade de aproximação [mm/s]	150
Velocidade de trabalho [mm/s]	9
Velocidade de retorno [mm/s]	90

3.5 Anteprojeto

O anteprojeto tem como objetivo definir as soluções a aplicar no projeto. No presente trabalho pretende-se definir o grupo hidráulico a utilizar e são apresentadas propostas para a escolha do cilindro hidráulico e para o sistema da fixação dos cilindros no montante da quinadora. É desta forma feita uma análise às vantagens e desvantagens de cada uma das propostas apresentadas com o intuito de desenvolver o projeto que melhor se ajusta aos requisitos impostos.

3.5.1 Grupo hidráulico

3.5.1.1 Sistema hidráulico

A ideia de utilização de um sistema hidráulico de utilização recorrente no fabrico de máquinas da Adira tem como objetivo normalizar este componente para uma gama alargada de máquinas quinadoras produzidas pela Adira. Assim, é necessário verificar a utilização do sistema hidráulico da gama de quinadoras PA quanto à sua adequação aos requisitos hidráulicos do novo projeto de fixação na quinadora PH0400. A gama de quinadoras PA oferece forças de quinagem limitadas aos 2200 kN utilizando apenas um sistema hidráulico situado na zona traseira do topo da máquina, como se mostra na Figura 47.



Figura 47 - Disposição do sistema hidráulico da quinadora PA [64].

A utilização de apenas um sistema hidráulico da quinadora PA, no novo projeto de fixação da quinadora PH0400 com uma força de quinagem de 4000 kN, como se exemplifica na Figura 48 não é possível por limitações de potência e caudal necessários, uma vez que a capacidade requerida é aproximadamente o dobro da capacidade máxima fornecida pelo grupo hidráulico da atual quinadora PA.

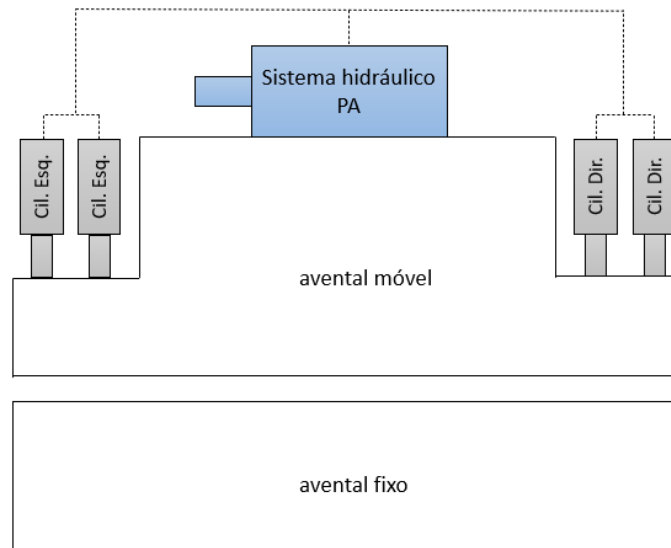


Figura 48 – Possível configuração do sistema hidráulico da quinadora PA com os cilindros hidráulicos no novo projeto de fixação da quinadora PH0400.

Assim, surge a necessidade de duplicar o sistema hidráulico, isto é, cada par de cilindros será alimentado por um sistema hidráulico independente como se apresenta na Figura 49.

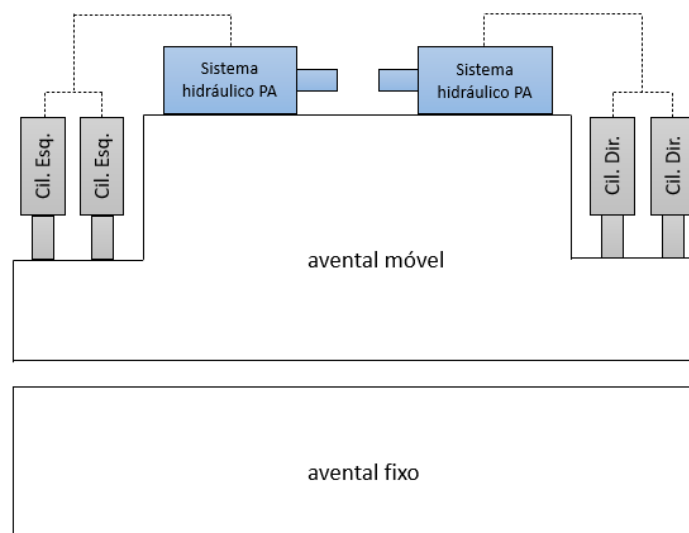


Figura 49 – Configuração final do sistema hidráulico PA com os cilindros hidráulicos no novo projeto de fixação da quinadora PH0400.

3.5.1.2 Tipo de cilindro

Atualmente, toda a gama de quinadoras da Adira utiliza cilindros hidráulicos customizados e fabricados mediante o projeto da empresa. Porém as quinadoras com maior capacidade de quinagem utilizam cilindros hidráulicos de corpo quadrado e as quinadoras com menor capacidade de quinagem utilizam cilindros hidráulicos de corpo redondo, isto é, com forças de quinagem até aos 2200 kN.

No sentido de decidir o formato do cilindro e a possibilidade de incorporar cilindros normalizados no projeto de fixação da quinadora, explica-se de seguida a decisão tomada.

➤ Cilindro hidráulico normalizado versus customizado

A possibilidade de incorporar cilindros hidráulicos normalizados de mercado, traria inúmeras vantagens no fabrico das quinadoras, uma vez que, o seu custo e tempo de aquisição seriam substancialmente menores face aos cilindros customizados. No entanto, a necessidade de manter o requisito de fixação rotulada da haste do cilindro hidráulico ao avental móvel inviabiliza a utilização de cilindros hidráulicos normalizados, uma vez que não existe no mercado uma solução de fixação rotulada igual à pretendida, pelo menos sem se proceder a alterações estruturais na fixação da haste do cilindro normalizado ao avental móvel. A analogia das limitações referidas entre a utilização de cilindro normalizado ou customizado apresenta-se na Figura 50.

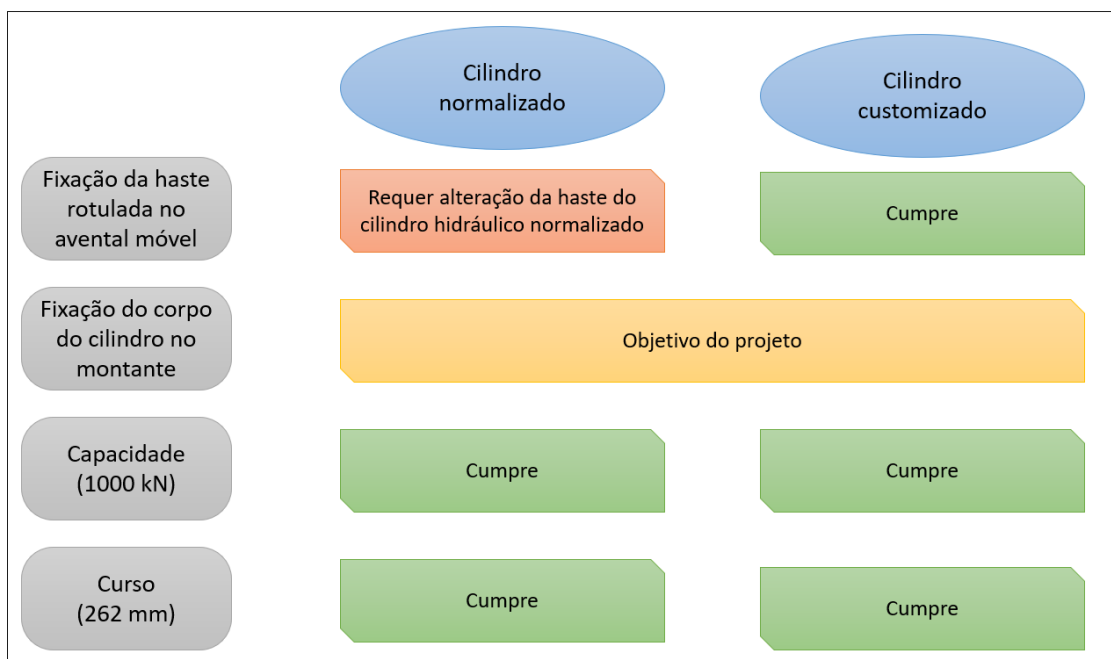


Figura 50 - Analogia dos requisitos de utilização de cilindros hidráulicos normalizados ou customizados.

➤ Formato de cilindro

A possível utilização de cilindros hidráulicos de corpo redondo seria mais benéfica ao nível do custo, face a cilindros hidráulicos de corpo quadrado. Geralmente, a fixação de cilindros hidráulicos de corpo redondo é feita na tampa superior do cilindro, o que é particularmente limitativo, uma vez que obriga a uma face horizontal de fixação de área considerável na estrutura da máquina. Como foi referido anteriormente, a utilização de cilindros hidráulicos de corpo redondo no fabrico de quinadoras da Adira (Figura 51) apenas se faz para capacidades de quinagem até aos 2200 kN. Por experiência da empresa no fabrico destas máquinas, este tipo de fixação inerente à utilização de cilindros hidráulicos de corpo redondo, obriga a grandes reforços estruturais na zona de fixação do cilindro e promove um reduzido desempenho estrutural.

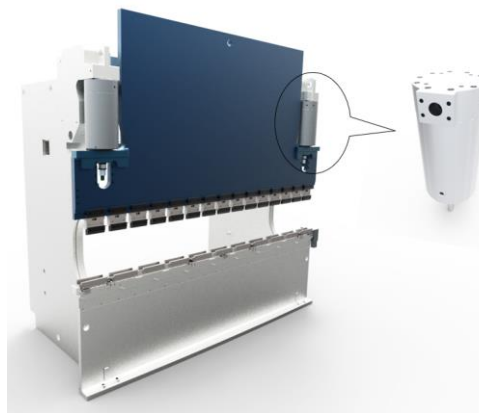


Figura 51 - Quinadora Adira que utiliza cilindro hidráulico de corpo redondo.

Uma vez que os cilindros hidráulicos de corpo quadrado oferecem uma zona fixação com maior área distribuída ao longo do corpo do cilindro e vertical à estrutura da máquina, ao contrário dos de corpo redondo, promovem maior performance estrutural da máquina, por experiência da marca e empresa Adira, líder no fabrico destas máquinas. Assim, o cilindro de corpo quadrado será o escolhido no novo projeto de fixação.

3.5.2 Projeto de fixação à estrutura

Uma vez escolhido o formato do corpo do cilindro hidráulico (quadrado) o projeto de fixação à estrutura considera a partir de agora a existência de duas faces verticais de fixação dos cilindros em cada montante da estrutura da quinadora com a forma retangular.

De seguida apresentam-se as ideias sobre a forma da estrutura para a fixação dos dois cilindros hidráulicos por montante.

- **Ideia A**

A primeira ideia de fixação dos cilindros (Figura 52) consiste em prolongar horizontalmente a zona de fixação dos cilindros do montante da estrutura da quinadora de maneira a criar dois alojamentos de fixação (um de cada lado) perpendiculares à direção de quinagem.

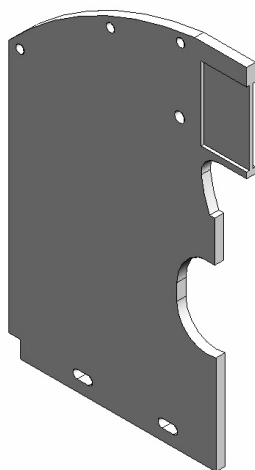


Figura 52 - Ideia A de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante da quinadora.

As principais vantagens desta solução são a menor complexidade de fabrico devido à ausência de soldadura ou quaisquer outros reforços junto à zona de fixação do cilindro e maior eficiência estrutural por não existirem tantos pontos de concentração de tensões.

As principais desvantagens são a complexa montagem do cilindro já que é necessário um maior número de componentes que permitam a sua fixação na estrutura, e também a dificuldade em selecionar pontos de fixação para os guiamentos superiores do avental móvel aos montantes da quinadora.

- **Ideia B**

A segunda ideia de fixação (Figura 53) consiste em unir uma chapa de espessura considerável ao montante da quinadora de maneira a criar uma face paralela à quinagem capaz de albergar os dois cilindros. Nesta solução, apesar de os cilindros poderem ficar juntos, tal não é possível devido à impossibilidade de os fixar na retaguarda, implicando que eles fiquem separados como na ideia A.

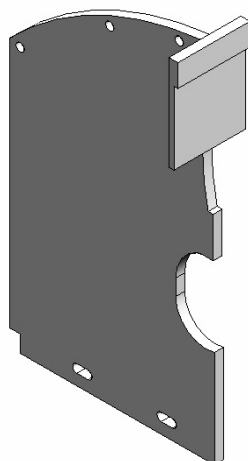


Figura 53 - Ideia B de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante da quinadora.

A principal vantagem desta solução é a fácil fixação dos cilindros hidráulicos, por permitir o aperto traseiro da ligação aparafusada e por induzir menor alteração estrutural de fabrico à estrutura da quinadora existente.

As principais desvantagens são o fabrico relativamente complexo, porque requer reforços soldados na chapa de fixação dos cilindros e a fragilização estrutural devido à existência, de várias zonas de concentração de tensões.

▪ Ideia C

Na terceira ideia de fixação (Figura 54) é criado um alojamento no montante da quinadora de maneira a encaixar uma chapa de encosto que oferece uma face paralela à direção de quinagem capaz de albergar os dois cilindros hidráulicos. Também aqui não há possibilidade de unir os cilindros por estarem separados pelo montante que serve de fixação à chapa de encosto.

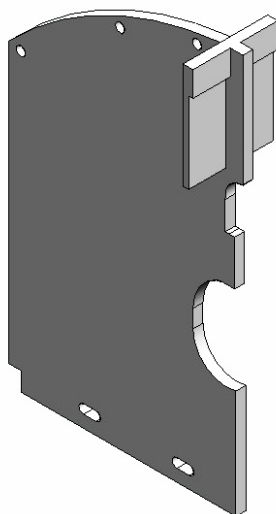


Figura 54 - Ideia C de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante da quinadora.

As principais vantagens desta solução são a maior consistência da ligação da chapa de fixação dos cilindros hidráulicos ao montante face à da ideia B, resultando numa maior eficiência estrutural, e também a fácil fixação dos cilindros hidráulicos devido à possibilidade do aperto traseiro por ligação aparafusada.

As principais desvantagens são o complexo fabrico ao nível de soldadura e maquinaria e a indução de maior custo pelo acréscimo de matéria-prima.

✓ Decisão

Para definir a geometria da nova fixação será feita uma tabela de seleção e pontuação para as ideias já mencionadas. Os critérios apresentados na Tabela 13 já foram explicados na descrição das ideias. No entanto, por forma a avaliar o desempenho da melhor ideia, pontua-se cada um dos critérios inerentes ao desenvolvimento de cada ideia. O peso relativo de cada critério considerado é atribuído conforme a importância e o impacto que cada um tem no desenvolvimento do projeto. A ideia com maior soma de peso relativo é a desenvolvida no capítulo seguinte.

Tabela 13 - Seleção e pontuação de ideias para a geometria do montante de fixação do cilindro.

Critério de seleção	Peso do critério	Ideia A		Ideia B		Ideia C	
		Pontuação	Peso	Pontuação	Peso	Pontuação	Peso
Custo de matéria-prima → 15 % 1 – Caro 5 - Barato		5	0,75	3	0,45	2	0,3
Complexidade de fabrico → 20 % 1 – Elevada 5 - Baixa		5	1	4	0,8	2	0,4
Montagem do cilindro → 25 % 1 – Difícil 5 - Fácil		2	0,5	5	1,25	5	1,25
Fixação do guiamento superior → 15 % 1 – Difícil 5 - Fácil		2	0,3	5	0,75	5	0,75
Eficiência estrutural → 25 % 1 – Má 5 - Boa		5	1,25	2	0,75	4	1
Total			3,8		4,0		3,7
Ranking			2ª		1ª		3ª
Continua?			Não		Sim		Não

De acordo com a seleção apresentada na Tabela 13, a ideia que apresentou melhor pontuação foi a ideia B pelo que esta é a geometria desenvolvida para a nova fixação de cilindros hidráulicos.

3.6 Projeto

3.6.1 Representação final da máquina

A quinadora idealizada com a fixação dos dois cilindros hidráulicos por montante apresenta-se na Figura 55. Apenas se encontra representada a estrutura da máquina idealizada com os cilindros hidráulicos montados, enquanto componentes como o avental móvel e outros acessórios necessários ao funcionamento da máquina não se representam por não fazerem parte do objetivo de desenvolvimento do projeto.

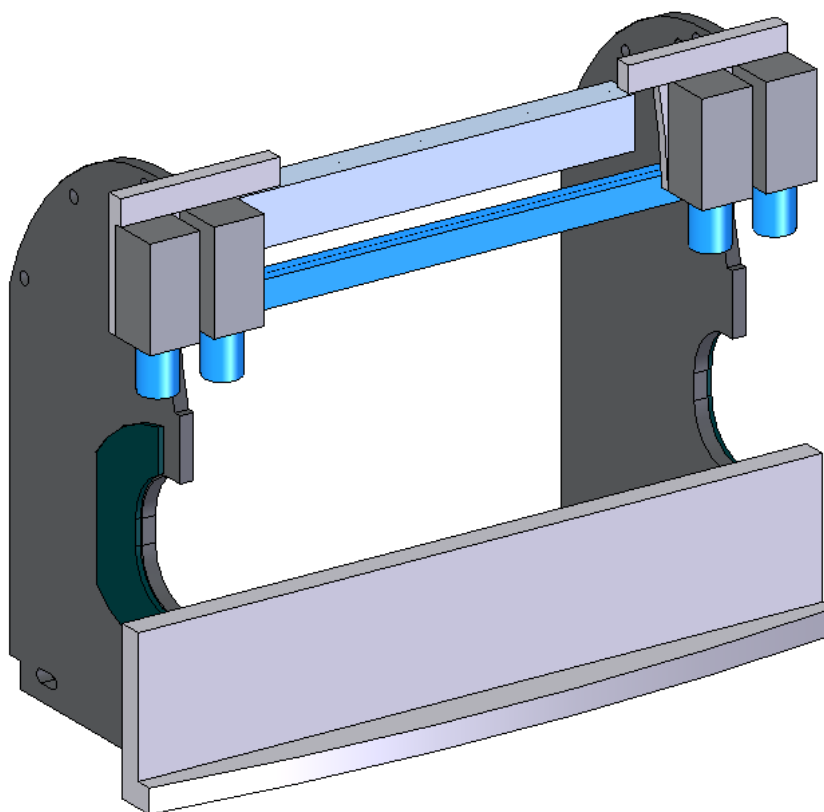


Figura 55 - Representação trimétrica da quinadora com os cilindros hidráulicos.

O projeto de fixação consistiu no desenvolvimento de uma nova face de fixação de cilindros hidráulicos que permitisse albergar dois cilindros por montante na quinadora. Além da alteração produzida, procedeu-se à otimização estrutural da quinadora.

O sistema hidráulico responsável pelo acionamento dos cilindros hidráulicos também foi alvo de alteração (não está representado na Figura 55) passando a ser constituído por

dois sistemas hidráulicos de tamanho mais reduzido, responsáveis pelo acionamento individual de cada par de cilindros.

3.6.2 Constituintes e princípio de funcionamento

Os constituintes da quinadora PH040040 alvo de alteração no novo projeto de fixação discriminam-se na Tabela 14 com as respetivas quantidades utilizadas.

Tabela 14 - Constituintes alvo de alteração no projeto de fixação dos cilindros hidráulicos.

Componente	Quantidade	Descrição
Estrutura da máquina	1	A estrutura da máquina foi alvo de alteração da fixação dos cilindros hidráulicos e otimizada estruturalmente.
Cilindros hidráulicos	4	Dimensionaram-se novos cilindros hidráulicos com metade da capacidade dos existentes.
Sistema hidráulico	2	Utilizaram-se os sistemas hidráulicos normalizados internamente das quinadoras PA.

A diferença no princípio de funcionamento da nova máquina idealizada consiste no acionamento do avental móvel através de quatro cilindros hidráulicos (Figura 56) em vez dos dois utilizados no equipamento existente.

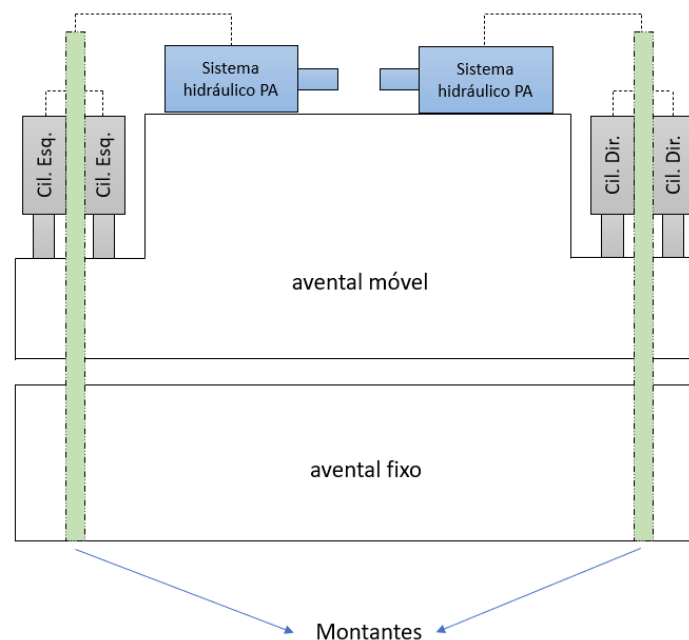


Figura 56 - Esquema da constituição e princípio de funcionamento da quinadora idealizada.

A utilização de mais cilindros hidráulicos para exercer a mesma força embora pareça incoerente, oferece um maior nível de normalização na produção do cilindro e assim um custo menor. Cilindros hidráulicos de grandes dimensões requerem métodos de fabrico especiais e formatos de matéria-prima de pouca procura o que provoca um aumento de preço de forma exponencial. Em linha com a explicação dada, o mesmo acontece com o sistema hidráulico que se pretende normalizar.

3.6.3 Grupo hidráulico

3.6.3.1 Sistema hidráulico

Como foi referido no anteprojecto, o novo conceito de fixação necessita de dois grupos hidráulicos normalizados da quinadora PA (Figura 57). A única variável passível de alteração no sistema hidráulico normalizado da PA é o tamanho da bomba hidráulica e a respetiva potência do motor eléctrico.

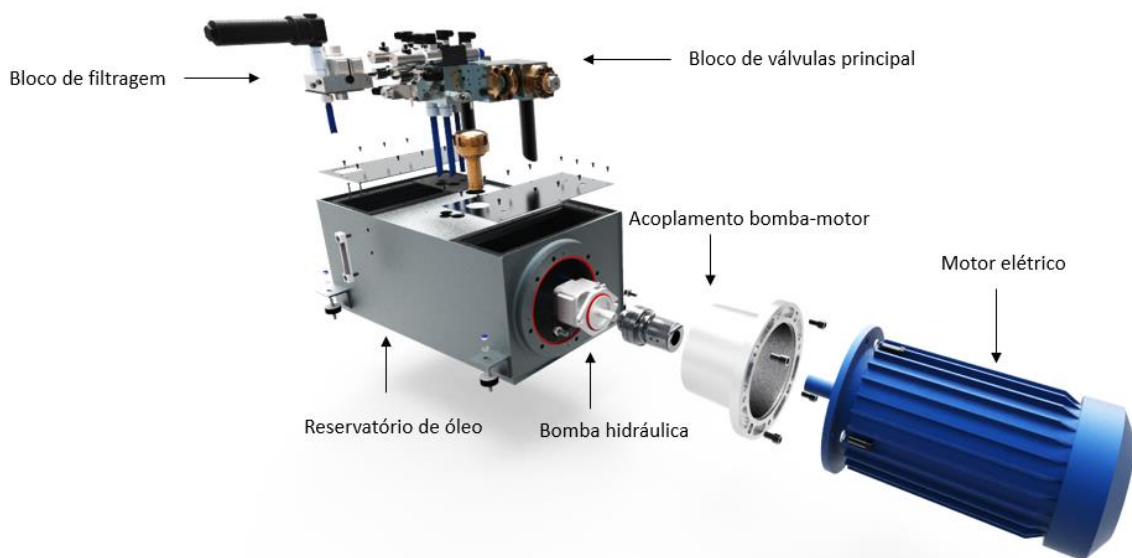


Figura 57 - Sistema hidráulico normalizado da PA.

Assim, para seleccionar a bomba hidráulica para cada sistema hidráulico calcula-se o caudal necessário para alimentação de dois cilindros hidráulicos. Uma vez que a quinadora é simétrica, e tanto o sistema hidráulico como os cilindros são repetidos de igual forma de cada lado da máquina, considera-se apenas um sistema hidráulico nos cálculos (Figura 58).

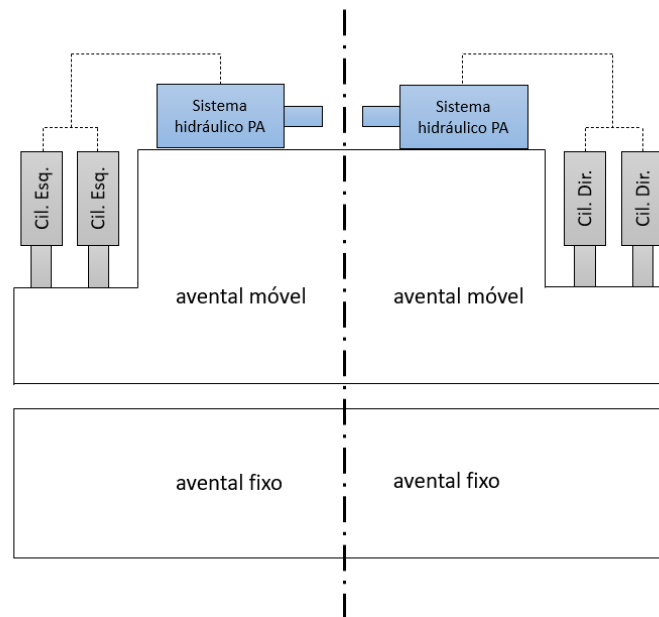


Figura 58 - Simetria da quinadora PH0400 no novo conceito de fixação de cilindros hidráulicos.

As principais características do sistema hidráulico da quinadora PA apresentam-se na Tabela 15.

Tabela 15 - Características do sistema hidráulico da PA.

Pressão máxima admissível do sistema	29 MPa
Máxima cilindrada da bomba hidráulica instalada	aprox. 32 cm ³ /rot
Velocidade de rotação nominal do motor elétrico	1470 rpm
Capacidade do reservatório de óleo	130 l

O cálculo do caudal (Q_a) necessário fornecer aos cilindros no avanço (equação (3)) depende da velocidade com que estes se movimentam e da sua área. A velocidade é um requisito da máquina existente, enquanto a área depende da pressão do sistema e da força a realizar.

$$Q_a = v_a \times A_a \quad (3)$$

A velocidade considerada para o cálculo do caudal é a velocidade de avanço de trabalho (9 mm/s) pois é a que exige maior volume de enchimento do cilindro hidráulico na máxima capacidade da máquina.

A área da avanço (A_a), calculada a partir da equação (4), considera para a força de avanço (F_a) metade da capacidade da máquina (2000 kN), e a pressão máxima admissível do sistema (P), igual a 29 MPa após aplicação de um coeficiente de segurança.

$$A_a = \frac{F_a}{P} \quad (4)$$

Assim, obtém-se a área mínima de avanço que, no dimensionamento posterior do cilindro hidráulico, será ajustada em função dos formatos normalizados de hastes e outros componentes.

$$A_a = \frac{2000 \times 10^3}{29} = 68965,50 \text{ mm}^2$$

O caudal mínimo a fornecer pela bomba é calculado de seguida:

$$Q_a = 9 \times 10^{-2} \times 60 \times 68965,5 \times 10^{-4} = 37,24 \text{ l/min}$$

Para a seleção da cilindrada (cc) da bomba hidráulica é necessário determinar o caudal Q_b debitado por diversos tamanhos de bombas do fabricante Eckerle [65], de maneira a escolher um caudal debitado superior a Q_a . A determinação do caudal debitado pela bomba é efetuado pela equação (5) e tem em conta o rendimento volumétrico (η_v) de cada modelo de bomba e a velocidade de rotação do motor elétrico (v.rot):

$$Q_b = \frac{\text{cc} \times \text{v.rot} \times \eta_v}{1000} \quad (5)$$

Na Tabela 16 encontram-se calculados os caudais debitados pelas bombas hidráulicas com cilindradas possíveis de utilizar no sistema hidráulico da quinadora PA, a fim de selecionar a bomba hidráulica adequada.

Tabela 16 - Caudal debitado pelas bombas hidráulicas Eckerle (adaptado de [65]).

Referência da bomba	Cilindrada [cm ³ /rot]	Rendimento volumétrico [%]	Caudal debitado [l/min]
EIPH3 020	20,0	93	27,34
EIPH3 025	24,8	93	33,90
EIPH3 032	32,1	94	44,36

A bomba hidráulica que oferece um caudal superior ao mínimo calculado é a EIPH3 032 (Tabela 17) com uma cilindrada fixa de aproximadamente 32 cm³. A cilindrada desta bomba hidráulica de engrenagens interiores cumpre com o máximo admitido pelo sistema, pelo que a sua utilização no sistema hidráulico da quinadora PA é válida.

Tabela 17 - Especificações técnicas da bomba hidráulica Eckerle EIPH3 032 (adaptado de [65]).

Característica	Valor	Unidades
Cilindrada (cc)	32,1	cm ³ /rot
Pressão máxima em funcionamento contínuo	330	bar
Rotação nominal (v.rot)	400-3000	rpm
Massa	12	kg
Rendimento volumétrico (η_v)	94	%
Rendimento mecânico (η_m)	92	%
Rendimento global (η_g)	86,5	%

A potência do motor elétrico (P_{acc}) que aciona a bomba hidráulica também deve ser calculada e de acordo com a equação seguinte:

$$P_{acc} = \frac{P \times Q_b}{600 \times \eta_g} \quad (6)$$

Assim, e considerando novamente a pressão do sistema ($P=29$ MPa), o caudal debitado pela bomba ($Q_b= 44,36$ l/min) e o rendimento global ($\eta_g=86,5\%$) obtém-se a potência do motor elétrico:

$$P_{acc} = \frac{29 \times 10^6 \times 44,36}{600 \times 86,5} = 24786,90 \text{ W} \approx 24,8 \text{ kW}$$

A potência necessária calculada é debitada apenas alguns segundos durante o processo de quinagem na máxima capacidade da máquina, pelo que a escolha de um motor elétrico com uma potência de 22 kW admite, de acordo com o fabricante, uma sobrecarga momentânea de 25%. Portanto, a potência máxima admissível seria de 27,5 kW. A utilização deste motor fica então enquadrada para a potência máxima debitada de 24,8 kW, otimizando assim o custo na aquisição de um motor menos potente, que na maior parte do tempo de operação debita uma potência muito inferior à potência nominal.

3.6.3.2 Descrição e dimensionamento do cilindro hidráulico utilizado

O cilindro hidráulico utilizado no novo projeto de fixação é um cilindro de duplo efeito de corpo quadrado e de fabrico customizado (Figura 59).



Figura 59 - Cilindro hidráulico utilizado no novo projeto de fixação.

O dimensionamento do cilindro hidráulico tem como objetivo definir as medidas de todos os componentes que o constituem tendo em conta as condições de funcionamento a que este está sujeito. Para dimensionar a zona de fixação dos cilindros no montante da quinadora também é importante conhecer as dimensões dos cilindros para os albergar.

As principais etapas para o dimensionamento do cilindro são:

- Determinar as forças envolvidas no avanço e recuo dos cilindros;
- Calcular os diâmetros e áreas do êmbolo e haste;
- Calcular a espessura da camisa do corpo do cilindro;
- Calcular a espessura do fundo do corpo do cilindro;
- Calcular os comprimentos de guiamento do cilindro;
- Verificar o diâmetro da haste e da camisa do cilindro hidráulico à encurvadura.

A força necessária de avanço dos quatro cilindros deve corresponder diretamente à capacidade máxima de quinagem da máquina, no valor de 4000 kN. O atrito provocado pelos guiamentos é desprezável na contabilização da força de avanço já que se despreza também o peso do avental móvel e outros componentes que contribuem para o avanço dos cilindros.

A força de recuo deve ser suficiente para mover o avental móvel, as hastes dos cilindros, as blindagens da máquina, as ferramentas, entre outros componentes. Além dos dispositivos referidos deve-se considerar a aceleração do movimento ascendente do avental, uma vez que o sentido de deslocamento é oposto ao sentido da força da gravidade, e ainda o atrito dos componentes mecânicos. Os valores considerados na Tabela 18 pertencem à PH0400 com maior comprimento, uma vez que esta quinadora apresenta avental móvel e outros componentes com maior massa, garantindo assim a adequação dos cilindros a todas as PH0400, seja qual for o seu comprimento.

Tabela 18 - Massa dos componentes considerados para o recuo dos cilindros hidráulicos das PH400.

Componente	Avental móvel	Hastes dos cilindros	Ferramentas e outros acessórios	Total
Massa [kg]	10000	1600	2800	14400

A força total de recuo é majorada em cerca de 30%, a fim de compensar os atritos mecânicos dos guiamentos, a viscosidade do óleo entre outros fatores.

$$\text{Força total de recuo} = 14400 \times 9,81 \times 1,3 = 183643,2 \text{ N}$$

As forças totais necessárias de avanço e recuo apresentadas na Tabela 19, devem ser divididas por cada um dos quatro cilindros hidráulicos, resultando na força unitária por cilindro hidráulico.

Tabela 19 - Forças de avanço e recuo necessárias no dimensionamento do cilindro hidráulico.

	Força de avanço [N]	Força de recuo [N]
Total	4000000	183643,2
P/ cilindro hidráulico	1000000	45910,8

Deste modo calcula-se a área unitária mínima de avanço e recuo por cilindro hidráulico de acordo com a equação (4), e o respetivo diâmetro de êmbolo e haste, respetivamente (Tabela 20).

Tabela 20 - Área e diâmetro de avanço e recuo do cilindro hidráulico.

	Área [mm ²]	Diâmetro [mm]
Avanço	34482,76	209,53 (êmbolo)
Recuo	1583,13	204,67 (haste)

O valor final de diâmetro do êmbolo será arredondado por excesso ao tamanho de vedantes normalizados (210 mm) e o valor final de diâmetro da haste será arredondado por defeito (204 mm) por forma a garantir as áreas de avanço e recuo mínimas.

O material utilizado atualmente no fabrico dos cilindros hidráulicos da Adira é aço ao carbono Ck45 (norma DIN 17200) e as suas propriedades mecânicas apresentam-se na Tabela 21 e de acordo com o fabricante Ramada Aços [39]. Este é o material utilizado no dimensionamento do cilindro.

Tabela 21 - Propriedades mecânicas do aço Ck45 (norma DIN 17200) utilizado no dimensionamento do cilindro hidráulico (elaborado com base em [39]).

Tensão de cedência [MPa]	330
Tensão de rotura [MPa]	590
Módulo de Young [GPa]	200

A espessura da camisa do cilindro hidráulico calcula-se agora segundo o procedimento da norma DIN 2413 [66], caso I. Os principais parâmetros necessários para calcular a espessura mínima da camisa são:

- Diâmetro interno da camisa do cilindro (d_{int}): 210 mm;
- Tensão de cedência (σ_{ced}): 330 MPa;
- Coeficiente de segurança (n): geralmente toma valores entre 2 e 4, neste caso considera-se 2,5 uma vez que o cilindro necessita ainda de furação para a fixação;
- Pressão máxima de serviço (P): 29 MPa.

Calcula-se primeiro a espessura teórica s_0 da camisa do cilindro, através da expressão:

$$s_0 = \frac{d_{int}}{2 \times \frac{\sigma_{ced}}{n} - 2} = \frac{210}{2 \times \frac{330}{2,5} - 2} = 33,9 \text{ mm}$$

A espessura da camisa do cilindro é calculada de seguida:

$$s = s_0 + 0,1 \times s_0 = 33,9 + 0,1 \times 33,9 = 37,3 \text{ mm}$$

Assim, o valor calculado apresenta uma espessura mínima de 37,3 mm de parede da camisa do cilindro hidráulico. De maneira a aproximar um tamanho de barra quadrada normalizado (300 mm) para o fabrico do corpo do cilindro hidráulico considera-se o lado L igual a 295 mm após maquinagem das faces exteriores, como é visível na Figura 60. O diâmetro externo da camisa apresenta assim o valor da espessura da camisa, superior ao mínimo calculado e, por conseguinte, um coeficiente de segurança superior.

De seguida, o cálculo do valor da espessura do fundo do cilindro hidráulico será feito de acordo com o procedimento dos autores Panzer e Beitler [67]. Os principais parâmetros necessários para calcular a espessura do fundo da camisa são:

- Tensão de rotura (σ_{rot}): 590 MPa;
- Diâmetro interior da camisa (d_{int}): 210 mm;
- Diâmetro exterior da camisa (d_{ext}): 295 mm;
- Pressão máxima de serviço (P): 29 MPa.

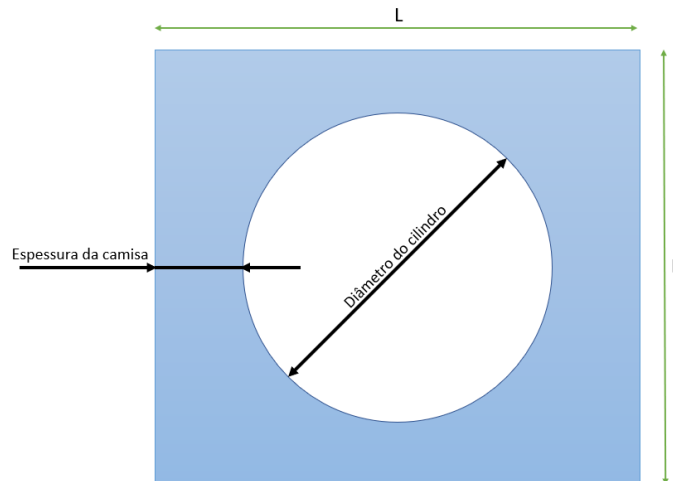


Figura 60 - Vista de corte do cilindro hidráulico para identificação das dimensões gerais do diâmetro, do lado do corpo e da espessura da camisa.

Supondo que a união das tampas à camisa do cilindro hidráulico é feita mediante soldadura, a espessura é dada por:

$$h = 0,9 \times \frac{d_{\text{ext}} + d_{\text{int}}}{4} \times \sqrt{\frac{P}{0,1 \times \sigma_{\text{rot}}}} = 0,9 \times \frac{295 + 210}{4} \times \sqrt{\frac{29}{0,1 \times 590}} = 79,7 \text{ mm}$$

O valor calculado apresenta uma espessura mínima de 79,7 mm. Pelo procedimento de cálculo de Panzer e Beitler [67] calculam-se os comprimentos de guiamento do cilindro:

$$L_{f1} = 0,4 \times d_{\text{int}} = 0,4 \times 210 = 84 \text{ mm}$$

$$L_{f2} = 0,8 \times d_{\text{haste}} = 0,8 \times 204 = 163,2 \text{ mm}$$

Concluído o dimensionamento estrutural do cilindro, apresentam-se na Figura 61 as dimensões finais consideradas no projeto de fixação.

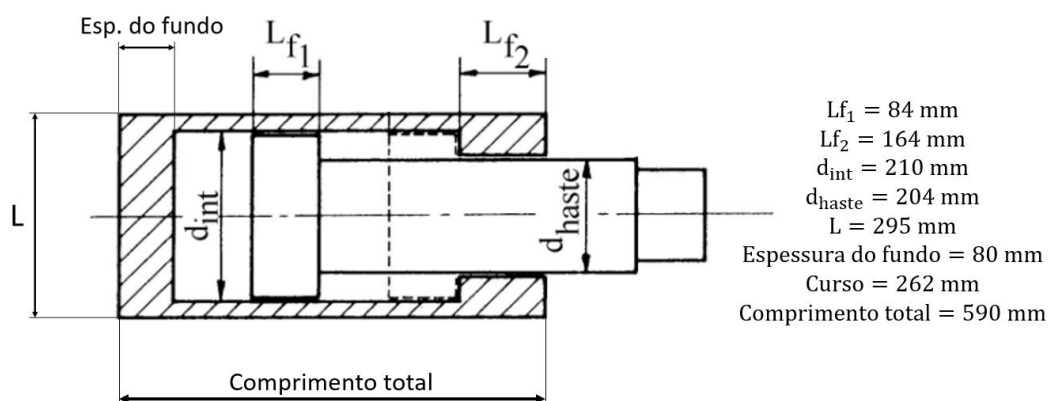


Figura 61 - Identificação das medidas dimensionadas do cilindro hidráulico projetado (adaptado de [67]).

Por fim, e novamente de acordo com o procedimento de cálculo de Panzer e Beitler [67], é realizada a verificação à encurvadura da camisa e da haste do cilindro.

- Verificação do diâmetro da camisa do cilindro hidráulico à encurvadura

Começa-se por verificar qual das expressões – Euler ou Tetmajer – é aplicável. Para o efeito calcula-se o grau de esbelteza:

$$\lambda = \frac{k \times l}{\zeta \times d_{\text{ext}}}, \text{ onde:} \quad (7)$$

- Curso do cilindro (l): 262 mm;
- Fator dependente da fixação do cilindro (k): 2 (encastrado no corpo e rotulado na haste);
- Diâmetro exterior da camisa do cilindro hidráulico (d_{ext}): 295 mm;
- Parâmetro obtido através de gráfico em função do quociente entre o d_{ext} e o d_{int} (ζ): 0,32

Assim, tem-se o grau de esbelteza:

$$\lambda = \frac{2 \times 270}{0,32 \times 295} = 5,6$$

Como o grau de esbelteza é inferior a 100 utiliza-se a expressão de Tetmajer. Neste caso, a tensão crítica de encurvadura, σ_k , dependerá do material indicado para a camisa do cilindro hidráulico. Considerando então o aço Ck45 (norma DIN 17200) tem-se a tensão crítica de encurvadura:

$$\sigma_k = 3250 - 8 \times \lambda = 3250 - 8 \times 5,6 = 3205,2 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \approx 314 \text{ MPa}$$

A tensão aplicada na compressão da camisa é agora calculada:

$$\sigma_{\text{camisa}} = \frac{F_a}{A_{\text{secção da camisa}}} = \frac{F_a}{A_{\square} - A_a} = \frac{1000000}{(295 \times 295) - \pi \times \left(\frac{210}{2}\right)^2} = 19,1 \text{ MPa}$$

Como a tensão aplicada na camisa é inferior à tensão crítica de encurvadura, considera-se que a camisa dimensionada cumpre a resistência à encurvadura.

- Verificação do diâmetro da haste do cilindro hidráulico à encurvadura

Utilizando o procedimento de cálculo anterior começa-se por verificar qual das expressões – Euler ou Tetmajer – é aplicável. Para isso calcula-se o grau de esbelteza da haste:

Assim, tem-se o grau de esbelteza:

$$\lambda = \frac{k \times l}{\frac{d_{\text{haste}}}{4}} = \frac{2 \times 262}{\frac{204}{4}} = 10,3$$

Como o grau de esbeltez é inferior a 100 utiliza-se novamente a expressão de Tetmajer. Considerando então o aço Ck45 (norma DIN 17200) tem-se a tensão crítica de encurvadura:

$$\sigma_k = 3250 - 8 \times \lambda = 3250 - 8 \times 10,3 = 3167,6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \approx 311 \text{ MPa}$$

A tensão aplicada na compressão da haste é agora calculada:

$$\sigma_{\text{haste}} = \frac{F_a}{A_{\text{secção da haste}}} = \frac{F_a}{A_o} = \frac{1000000}{\pi \times \left(\frac{204}{2}\right)^2} = 30,6 \text{ MPa}$$

Como a tensão aplicada na haste é inferior à tensão crítica de encurvadura, é concluído que a haste dimensionada cumpre a resistência à encurvadura.

3.6.4 Estrutura e sistema de fixação

3.6.4.1 Descrição da solução do sistema de fixação

A fixação dos cilindros hidráulicos na estrutura é executada por face do cilindro hidráulico à estrutura (Figura 62) tal como observado no equipamento existente.

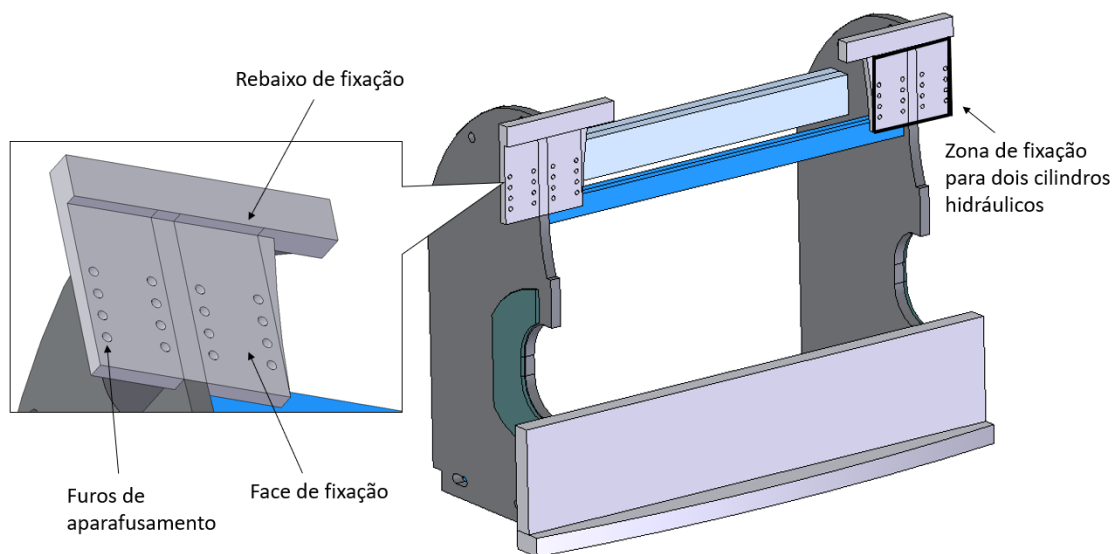


Figura 62 - Representação e descrição da zona frontal de fixação do cilindro hidráulico na quinadora idealizada.

Os cilindros hidráulicos apresentam-se aparafusados na Figura 63 com espaçamento entre si de comprimento igual à espessura do montante, de maneira a possibilitar o seu aparafusamento do lado posterior da face de fixação.

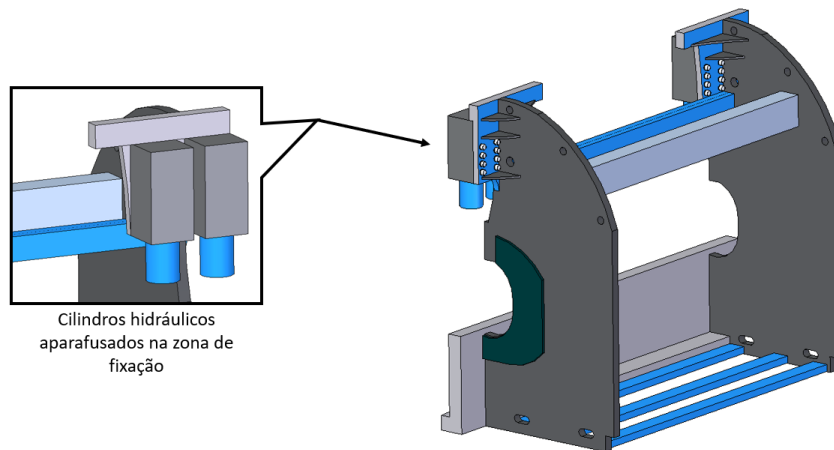


Figura 63 - Representação e descrição dos cilindros montados na quinadora idealizada.

3.6.4.2 Materiais

O material utilizado no fabrico da estrutura das quinadoras é o aço, pois apresenta como propriedade de eleição a rigidez, característica importante e de referência no dimensionamento.

A nova fixação que integra a estrutura da máquina utiliza um aço ao carbono pertencente ao grupo dos aços estruturais (S) com uma tensão de cedência mínima especificada de 235 MPa para a menor espessura do produto segundo a norma DIN.

A utilização de um aço com melhores propriedades de resistência mecânica poderia ser um fator de decisão na escolha de material. No entanto, e como será discutido no capítulo 3.6.4.5 de dimensionamento, a propriedade mais relevante no dimensionamento da estrutura é o módulo de elasticidade, que é intrínseco a qualquer aço. Os fatores como o preço, a disponibilidade no mercado para os formatos e dimensões necessários, a soldabilidade e a maquinabilidade tornam este aço adequado para a aplicação estrutural pretendida.

No sentido de aferir as propriedades do aço S235JR foram realizados ensaios de tração a dois provetes prismáticos de 5 mm de espessura de acordo com a norma EN ISO 6892-1:2019 B. As condições de realização do ensaio cumpriram a norma referida e apresentam-se na Tabela 22. As dimensões do provete utilizado podem ser consultadas no anexo 6.1.

Tabela 22 - Condições de ensaio do ensaio de tração.

Característica	Valor
Velocidade	5 mm/min
Temperatura	20°C

A medição da deformação do provete até ocorrer a rotura é efetuada com recurso ao deslocamento medido através de um extensómetro ótico. O tratamento de dados foi feito apenas para o segundo ensaio pois o primeiro não obteve sucesso.

- Módulo de Young

O primeiro objetivo da realização do ensaio de tração foi aferir e confirmar o valor do módulo de Young do aço, pois este é um parâmetro importante e determinante no dimensionamento mecânico de uma quinadora. A sua determinação foi baseada na média das inclinações (semirretas a verde, vermelho e laranja) entre dois pontos da zona elástica de deformação (Figura 64), devido à instabilidade das extensões lidas pelo extensómetro ao longo da deformação.

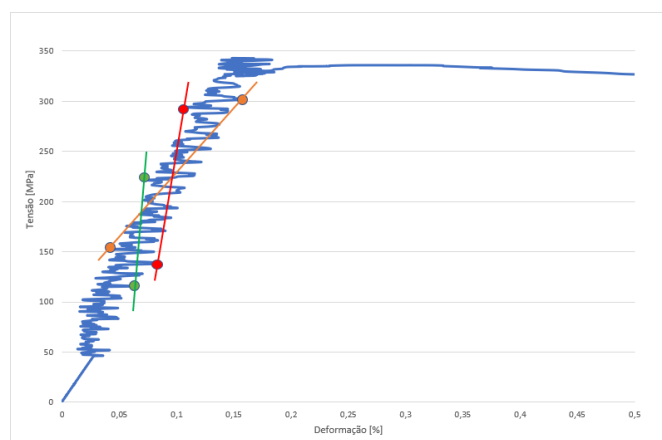


Figura 64 - Zona elástica (curva azul) ampliada da curva tensão – deformação do aço S235JR na determinação do módulo de Young.

- Tensão de cedência

A tensão de cedência foi determinada a partir da interseção da linha paralela à zona elástica a uma distância de 0,2% da curva de tensão – deformação, como se apresenta na Figura 65.

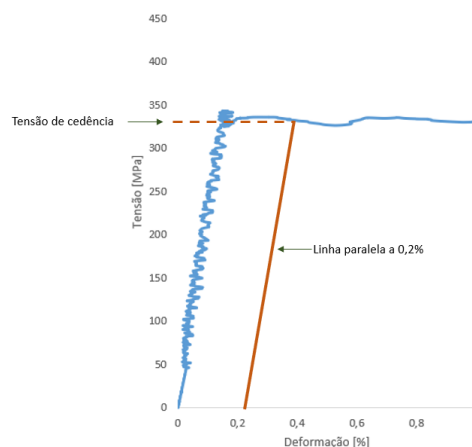


Figura 65 - Zona elástica ampliada da curva tensão – deformação do aço S235JR na determinação da tensão de cedência.

- Tensão de rotura e alongamento na rotura

Face ao comportamento dúctil deste aço e de acordo com a norma referida, a tensão de rotura determina-se a partir da força máxima desenvolvida no ensaio. O alongamento na tensão de rotura corresponde diretamente à deformação sofrida no momento que é atingida a tensão máxima, como se pode visualizar na Figura 66.

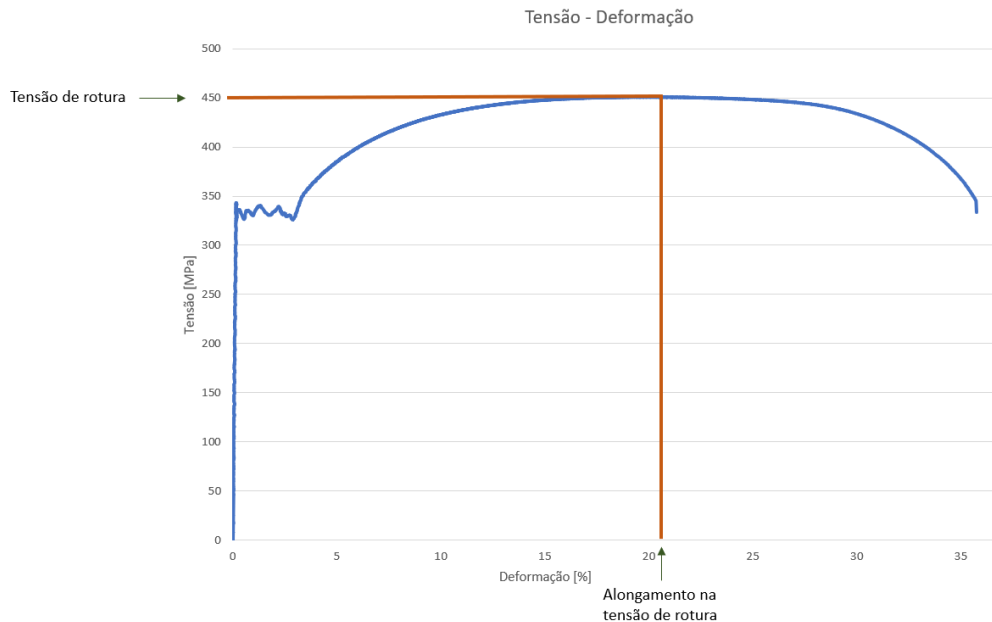


Figura 66 - Curva tensão – deformação do aço S235JR na determinação da tensão e do alongamento na rotura.

- Estricção

A estricção é a percentagem da redução de área na zona de rotura e calcula-se através da relação na medição da área de secção do provete antes e após o ensaio.

As propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração de um provete, apresentadas na Tabela 23, cumprem com os valores de referência do fabricante Ovako [50]. No entanto, a tensão de cedência ultrapassa largamente o valor mínimo especificado pela Ovako, de 235 MPa, o que salvaguarda que os valores de coeficiente de segurança obtidos no projeto são garantidos por excesso.

Tabela 23 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.

Propriedade	Valor
Módulo de Young [GPa]	209,9
Tensão de cedência 0,2% [MPa]	326,3
Tensão de rotura [MPa]	450,6
Alongamento na tensão máxima [%]	20,1
Estricção [%]	55,1

Os fabricantes geralmente especificam valores para a tensão de cedência, a tensão de ruptura e o alongamento para diferentes formatos e espessuras de barras ou outros formatos. No entanto, no projeto mecânico de dimensionamento da estrutura da máquina considera-se o valor nominal de tensão de cedência de 235 MPa.

As propriedades mecânicas de resistência à fadiga utilizadas no dimensionamento da máquina são suportadas pela curva SN (*Stress-Number of cycles*) do aço S235JR apresentada na Figura 67 com a linha mais escura. Verifica-se que tensão limite de fadiga (aproximadamente 190 MPa) acontece a partir de 10^6 ciclos de carregamento e apresenta-se constante para vida infinita.

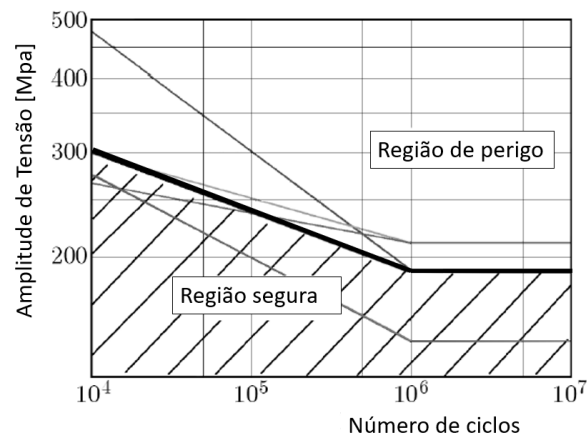


Figura 67 - Curva SN de fadiga do aço S235JR (curva a negrito) (adaptado de [68]).

3.6.4.3 Geometria da estrutura

A geometria da estrutura da quinadora idealizada apresenta-se na Figura 68.

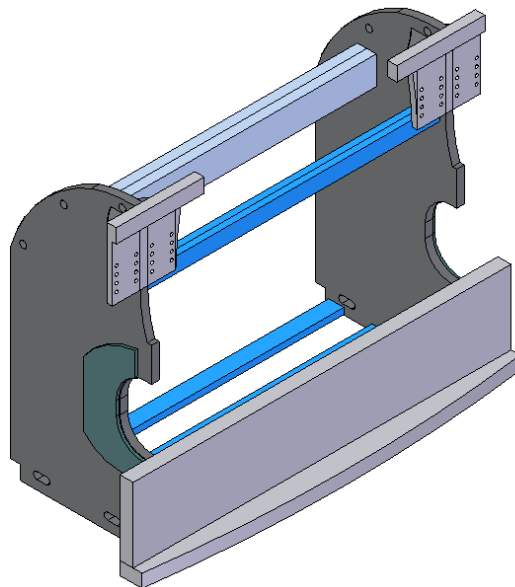


Figura 68 - Vista isométrica da estrutura da quinadora idealizada.

A estrutura da quinadora é constituída por dois montantes (chapas de 80 mm de espessura) reforçados pontualmente na zona da cava (com chapas soldadas de 30 mm de espessura) para compensar a inexistência de material nesta zona. Os montantes são unidos através de perfis em U (três na zona inferior e dois pares de conjuntos acoplados na zona superior). O avental fixo (chapa de 140 mm de espessura) é unido a cada montante e à base inferior (chapa de 140 mm de espessura).

As faces de fixação dos cilindros (chapas de 80 mm de espessura) são acopladas a cada montante e também reforçadas com chapas de 20 mm de espessura do lado posterior (Figura 69).

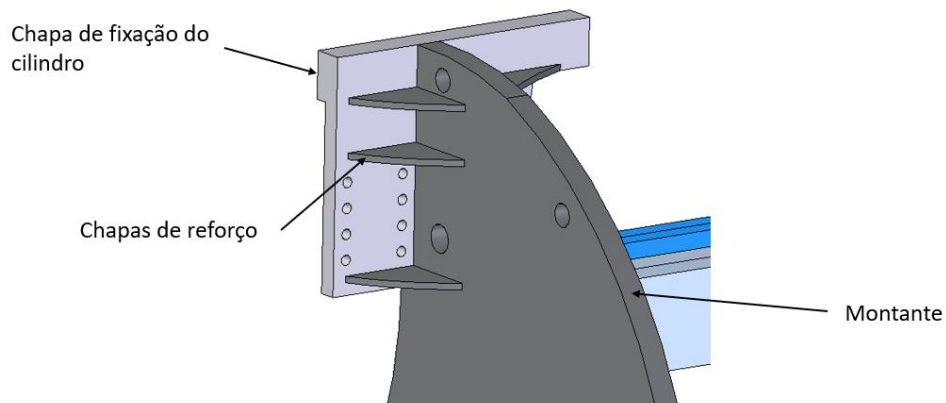


Figura 69 - Geometria da zona posterior de fixação dos cilindros hidráulicos.

Apresenta-se na Figura 70 a identificação e a localização das vistas geométricas da quinadora idealizada.

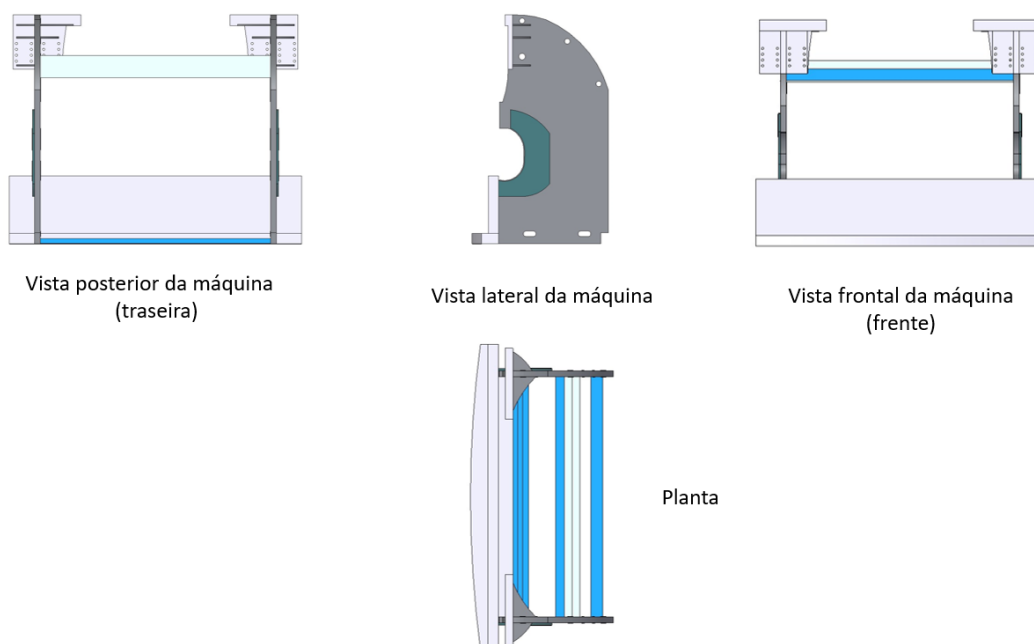


Figura 70 - Vistas da geometria da quinadora idealizada.

A estrutura da quinadora idealizada segue o mesmo formato geral da quinadora existente apresentando o mesmo número de constituintes.

3.6.4.4 Ligações do cilindro hidráulico à estrutura

A fixação dos cilindros hidráulicos na estrutura é aparafusada e o seu dimensionamento é apresentado de seguida.

- Tipo de parafuso e características

O tipo de parafuso escolhido para o dimensionamento da ligação é um parafuso de cabeça cilíndrica de oco hexagonal ISO 4762 por apresentar disponibilidade no mercado para as dimensões necessárias no projeto.



Material e tratamento	Aço ligado fosfatado
Classe de resistência	12.9
Tensão de rotura	1200 MPa
Tensão de cedência	1080 MPa
Tensão de prova	970 MPa

Figura 71 - Tipo de parafuso e suas propriedades mecânicas [5].

As iterações de dimensionamento, realizadas através de uma folha de cálculo, permitiram concluir a necessidade de oito parafusos M30 por cilindro hidráulico. As características dimensionais dos parafusos apresentam-se na Tabela 24.

Tabela 24 - Dimensões do parafuso M30 utilizado na fixação dos cilindros hidráulicos.

Diâmetro nominal	30,000 mm
Diâmetro do furo	33,500 mm
Diâmetro da raiz da rosca	26,211 mm
Área útil (A_t)	561,000 mm ²
Passo da rosca	3,500 mm

De seguida explica-se o cálculo da solicitação à tração a que os parafusos se encontram sujeitos de acordo com o manual de projeto da Adira [69].

Como a força dos cilindros hidráulicos (F_c) não se encontra no plano de encosto do cilindro com o montante, possuindo uma distância b , é gerado um momento (M_{gerado}) que deve ser equilibrado pelas ligações aparafusadas. O momento gerado é igual a:

$$M_{gerado} = F_c b \quad (8)$$

Considerando a Figura 72, obtém-se o seguinte equilíbrio de momentos no ponto de rotação do cilindro considerando a força em cada parafuso (F_{xm}) e a respectiva distância (x_m):

$$M_{\text{gerado}} - (F_{x1} x_1 + F_{x2} x_2 + F_{x3} x_3 + \dots + F_{xm} x_m) = 0 \Leftrightarrow M_{\text{gerado}} - \sum_{i=1}^m F_{xm} x_m = 0 \quad (9)$$

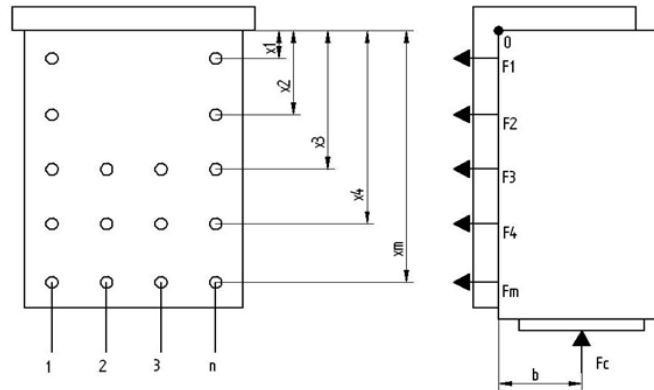


Figura 72 - Representação genérica das ligações aparafusadas de um cilindro hidráulico (adaptado de [69]).

Aplicando a lei de Hooke para determinar a força aplicada a cada parafuso (F_p), tem-se que:

$$F_p = \sigma A = E \varepsilon A = EA \frac{\Delta l_{xm}}{l_i}, \quad (10)$$

admitindo que os deslocamentos nos parafusos (Δl_{xm}) têm uma deformação proporcional (k) à distância a que se encontram do eixo de rotação do cilindro:

$$\Delta l_{xm} = k x_m, \quad (11)$$

a força resultante em cada linha de parafusos é então igual a:

$$F_{xm} = \frac{kEA}{l_i} x_m. \quad (12)$$

Fazendo $k^* = \frac{kEA}{l_i}$, obtém-se:

$$F_{xm} = k^* x_m. \quad (13)$$

Por sua vez, k^* é determinado através da expressão (14):

$$M_{\text{gerado}} - k^* \sum_{i=1}^m x_m^2 = 0 \Leftrightarrow k^* = \frac{M_{\text{gerado}}}{\sum_{i=1}^m x_m^2} \Leftrightarrow k^* = \frac{F_c b}{\sum_{i=1}^m x_m^2}. \quad (14)$$

Finalmente a força aplicada por parafuso de cada linha constituída por $n_{p,xm}$ parafusos é igual a:

$$F_{p,xm} = \frac{F_{xm}}{n_{p,xm}} = \frac{k^* x_m}{n_{p,xm}} \quad (15)$$

Os parafusos da linha (m) são os mais solicitados à tração, pelo que o dimensionamento considera o esforço aplicado aos parafusos desta linha.

A disposição e localização da ligação aparafusada na face dos cilindros hidráulicos e respetiva máquina é definida de acordo com o Eurocódigo 3 – Projeto de estruturas de aço parte 1-8: projeto de ligações. Há, no entanto, diversas limitações de projeto para definir a localização das ligações aparafusadas. A localização dos furos de aparafusamento no cilindro hidráulico deve situar-se nas extremidades do cilindro, uma vez que nesta zona existe maior comprimento disponível para perfuração sem penetrar a câmara do cilindro hidráulico. Além disto, e de acordo com o cálculo da solicitação de tração nos parafusos, já deduzida, constata-se a necessidade de existência de mais parafusos junto à zona inferior de fixação, logo será prioritário localizá-los o mais distanciados possível do ponto de rotação do cilindro. Na Figura 73 está ilustrada a disposição dos furos de fixação do cilindro hidráulico no novo projeto de fixação.

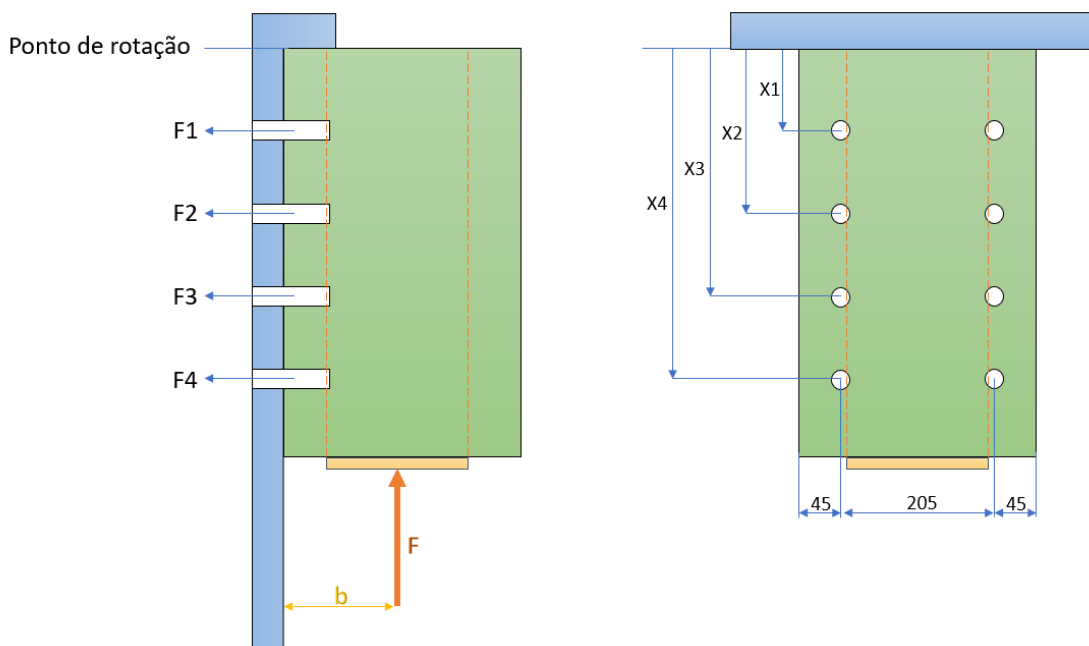


Figura 73 - Representação gráfica da localização dos furos de fixação do cilindro hidráulico.

Na Tabela 25 apresentam-se os valores calculados do esforço aplicado a cada parafuso de cada linha.

Tabela 25 - Valores da sollicitação à tração dos parafusos de fixação de cada cilindro hidráulico.

Linha nº (m)	Distância (x_m)	Nº de parafusos por linha ($n_{p,xm}$)	Força de tração por parafuso ($F_{p,xm}$)
1	241 mm	2	32124 N
2	321 mm	2	42788 N
3	401 mm	2	53451 N
4	481 mm	2	64115 N

- Pré-esforço de aperto

O pré-esforço de aperto dos parafusos deve garantir uma resistência de aproximadamente metade da capacidade do cilindro por atrito/escorregamento entre as faces de fixação do cilindro à máquina (requisito). O resto do esforço da ligação que o pré-esforço não suporte para a capacidade máxima de cada cilindro (1000 kN) é suportado pelo rebaixamento existente na face de fixação que garante a ausência de deslocamento vertical do cilindro. O coeficiente de atrito estático no contacto (com lubrificação) entre as superfícies de metal do cilindro com o montante da quinadora estimou-se em 0,15, de acordo com Raymond et al. [70].

A força de aperto recomendada por parafuso para ligações não permanentes, como é o caso da ligação aparafusada de um cilindro hidráulico de uma quinadora, de acordo com Branco et al. [5] é dada por:

$$F_i = 0,75 \times A_t \times \sigma_p = 0,75 \times 561 \times 970 = 408127,50 \text{ N}$$

Como existem 8 parafusos por cilindro, a força total de aperto é:

$$F_{Ti} = 408127,5 \times 8 = 3265020 \text{ N}$$

Assim, a resistência da ligação por escorregamento das superfícies é dada por:

$$F_{Tescorr.} = F_{Ti} \times \mu = 3265020 \times 0,15 = 489753 \text{ N}$$

O valor calculado aproxima-se do requisito imposto da transmissão da resistência da ligação por escorregamento entre as superfícies do cilindro e do montante, por cilindro hidráulico.

- Dimensionamento dos parafusos

A força aplicada a cada parafuso da linha 4 é dada pela expressão:

$$F_p = F_i + F_{p,x4} \times \left(\frac{k_p}{k_p + k_c} \right),$$

onde, a constante de rigidez do parafuso é dada por:

$$k_p = \frac{\pi \times d^2 \times E}{4 \times L} = \frac{\pi \times 30^2 \times 210000}{4 \times 100} = 1,48 \times 10^6 \text{ N/mm},$$

e a constante de rigidez dos elementos unidos é dada por:

$$k_c = \frac{A_c \times E}{L} = \frac{((295 \times 590 - 8 \times \pi \times 15^2)/8) \times 210000}{100} = 4,42 \times 10^7 \text{ N/mm}.$$

Assim,

$$F_p = 408127 + 64115 \times \left(\frac{1,48 \times 10^6}{1,48 \times 10^6 + 4,42 \times 10^7} \right) = 410210,59 \text{ N}.$$

A tensão aplicada no parafuso é:

$$\sigma_{\text{equiv.parafuso}} = \frac{F_p}{A_t} = \frac{410210,59}{561} \approx 731 \text{ MPa}.$$

O coeficiente de segurança da ligação é:

$$n = \frac{\sigma_p}{\sigma_{\text{equiv.parafuso}}} = \frac{970}{731} \approx 1,3.$$

Para que não se verifique rotura por fadiga é necessário fazer o dimensionamento para vida infinita. Utilizando o critério de Goodman, que considera o efeito da tensão média, de acordo com Branco et al. [5] tem-se:

$$\sigma_{a(\text{adm})} = \frac{\sigma_{f0} \times (k_s \times k_t \times k_T \times k_{fb})}{k_f \times n} \times \left(1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_r} \right) \geq \sigma_a.$$

A determinação dos fatores de fadiga e o cálculo da tensão média e da tensão alternada são apresentados de seguida:

- Tensão limite de fadiga (σ_{f0})

Para aços com tensão de rotura inferior a 1400 MPa a tensão limite de fadiga é dada por:

$$\sigma_{f0} = 0,5 \times \sigma_{\text{rot}} = 0,5 \times 1200 = 600 \text{ MPa}.$$

- Coeficiente de acabamento superficial (k_s)

Considerando a tensão de rotura do parafuso e o respetivo processo de fabrico por laminagem, obtém-se graficamente:

$$k_s \approx 0,45.$$

- Coeficiente de tamanho (k_t)

O coeficiente de tamanho varia com o diâmetro da peça e, para o diâmetro do parafuso em causa calcula-se a partir de:

$$k_t = 1,24 \times d^{-0,107} = 1,24 \times 30^{-0,107} = 0,86.$$

- Coeficiente de temperatura (k_T)

O coeficiente de temperatura considera a temperatura de exposição dos parafusos em operação. Neste caso considera-se 20°C como temperatura ambiente, pelo que $k_T = 1$.

- Coeficiente de fiabilidade (k_{fb})

O coeficiente de fiabilidade para o cálculo da resistência à fadiga considera uma fiabilidade de 99,9999 %, o que conduz a $k_{fb} = 0,62$.

- Fator de redução de resistência à fadiga (K_f)

O fator de redução de resistência à fadiga para peças roscadas laminadas toma o valor 3 para a classe de resistência do parafuso (12.9).

- Coeficiente de segurança à fadiga (n)

Geralmente o coeficiente de segurança à fadiga toma valores ente 1,3 e 2,5. Neste caso considera-se um valor de 2.

- Tensão média:

$$\sigma_m = \frac{F_p + F_i}{2 \times A_t} = \frac{(410210,59 + 408127,50)}{2 \times 561} = 729,36 \text{ MPa.}$$

- Tensão alternada:

$$\sigma_a = \frac{F_p - F_i}{2 \times A_t} = \frac{(410210,59 - 408127,50)}{2 \times 561} = 1,86 \text{ MPa.}$$

A tensão de fadiga admissível calcula-se então:

$$\sigma_{a(adm)} = \frac{600 \times (0,45 \times 0,86 \times 1 \times 0,62)}{3 \times 2} \times \left(1 - \frac{729,36}{1200}\right) = 9,41 \text{ MPa.}$$

Como $\sigma_{a(adm)} > \sigma_a$, logo o dimensionamento à fadiga dos parafusos cumpre a duração para vida infinita.

3.6.4.5 Dimensionamento

3.6.4.5.1 Pré-processamento dos modelos numéricos

- Modelo geométrico

O modelo geométrico da máquina foi obtido através de duas etapas de dimensionamento. A primeira etapa consistiu em alterar a zona de fixação dos cilindros hidráulicos na estrutura de modo a obter o objetivo de albergar os dois cilindros hidráulicos em cada montante. A segunda etapa passou por otimizar a estrutura em geral mantendo intacta a zona de fixação já obtida na primeira etapa e o cumprimento dos requisitos impostos. As etapas de dimensionamento da quinadora idealizada apresentam-se na Figura 74.

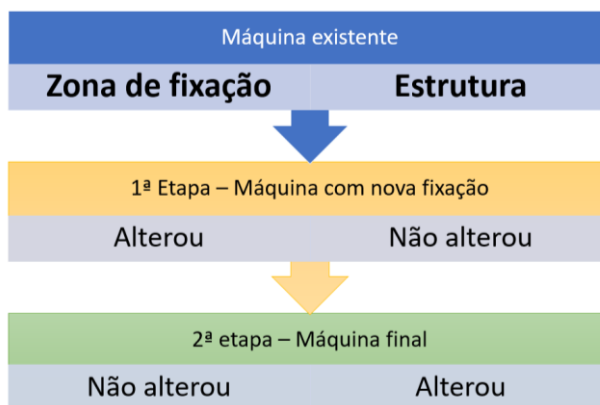


Figura 74 - Etapas de dimensionamento do modelo geométrico da quinadora.

- **Software**

O *software* utilizado na elaboração do modelo CAD da máquina foi o Solid Edge. A simulação por elementos finitos foi executada no módulo *simulation* do Solidworks.

- **Tipo de análise e elemento utilizado**

A análise da estrutura da máquina é estática, uma vez que a aplicação de carga sofre pequenas variações ao longo do tempo e, além disto, as condições fronteira também não se alteram. O comportamento do material é considerado linear elástico uma vez que o projeto mecânico de máquinas deve ser dimensionado no domínio elástico, uma vez que não se pretende que a máquina atinja deformações permanentes. O tipo de elemento utilizado na simulação é um elemento tridimensional tetraédrico sólido de segunda ordem e a criação da malha é baseada no esquema de Voronoi-Delaunay (tipo *standard* do Solidworks).

- **Materiais**

O material utilizado no estudo da quinadora é o aço já apresentado no capítulo 3.6.4.2. As principais propriedades mecânicas do aço S235JR utilizadas pelo *software* de simulação apresentam-se na Tabela 26.

Tabela 26 - Propriedades mecânicas do aço S235JR.

Propriedade	Valor
Módulo de Young	210 GPa (obtido no ensaio de tração)
Coefficiente de Poisson	0,3 (*)
Módulo de corte	80 GPa (*)
Massa volúmica	7800 kg/m ³ (*)

(*) – Fonte: Ovako Steel Navigator [71]

- Condições fronteira da máquina

A fixação da quinadora ocorre geralmente na sua zona inferior ao solo, embora muitas vezes e por questões de instabilidade do piso, estas máquinas apenas são “pousadas”, caso em que a sua estabilidade é assegurada devido ao peso próprio. Uma vez que na simulação numérica as condições fronteira da fixação da máquina devem estar perfeitamente definidas, isto é, a sua ligação ao exterior deve ser isostática, é necessário definir as zonas de fixação da máquina.

De maneira a replicar os pontos de contacto inferiores com o solo, nas quatro zonas de fixação situadas nas extremidades da máquina, é especificado que as faces se podem mover livremente no plano (solo) mas não se movem na direção perpendicular, como é visível na Figura 75 pela simbologia a vermelho.

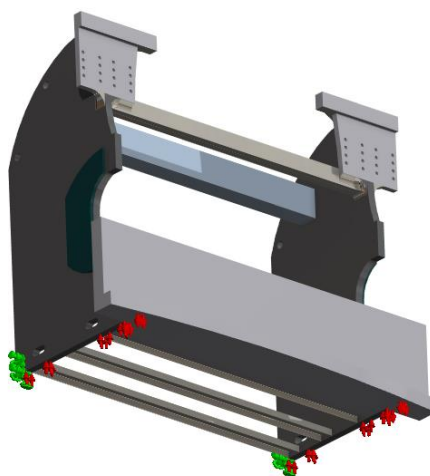


Figura 75 - Ponto de fixação deslizante inferior da quinadora nas simulações numéricas.

De maneira a restringir a movimentação da máquina nas duas direções ainda livres, numa pequena face pouco solicitada são limitados todos os graus de liberdade com translação igual a zero, como se apresenta na Figura 76 pela simbologia a verde.

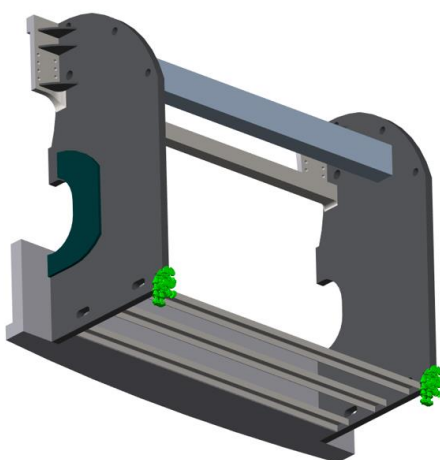


Figura 76 - Ponto de fixação de restrição de movimento da quinadora nas simulações numéricas.

- Contactos entre componentes

Nas condições de contacto entre os componentes da estrutura considerou-se a ligação do tipo *bonded* em todos os componentes com faces em contacto, o que garante a continuidade de malha e simula a ligação com propriedades idênticas entre os materiais na zona de ligação.

- Aplicação das cargas

A aplicação das cargas no modelo geométrico da quinadora apresenta-se Figura 77.

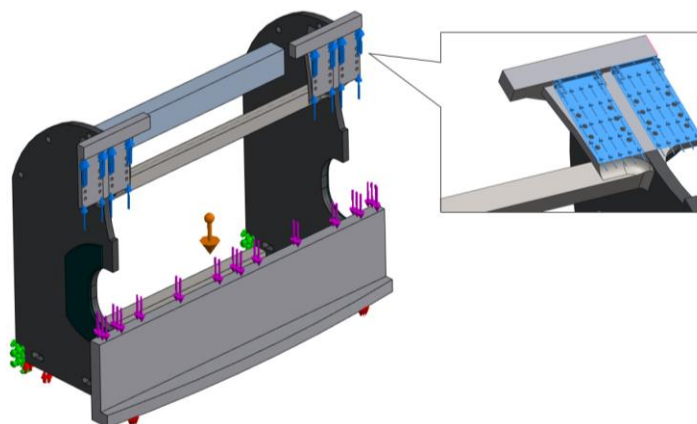


Figura 77 - Ilustração e representação das forças aplicadas à quinadora na simulação numérica.

As forças ilustradas são descritas na Tabela 27.

Tabela 27 - Descrição das forças aplicadas à quinadora na simulação numérica.

Tipo de força	Descrição da força
Força da gravidade (representada a laranja)	Devido à elevada massa que a máquina possui, e de maneira a tornar a análise o mais real possível, a simulação numérica da máquina considera a força do peso na estrutura.
Força de quinagem no avental fixo (representada a roxo)	Apesar do avental fixo não ser alvo de dimensionamento, uma vez que está acoplado à estrutura monobloco da máquina, a força na direção vertical de valor igual à capacidade máxima da máquina (4000 kN) transfere para a estrutura os efeitos da aplicação desta carga.
Força de quinagem na fixação dos cilindros hidráulicos (representada a azul)	A força exercida pelos cilindros na zona de fixação é aplicada em duas faces por cilindro nos quatro cilindros. Metade da capacidade do cilindro (500 kN) é transferida sob forma de escorregamento na face do aparafusamento do cilindro à estrutura e a outra metade do esforço (500 kN) é aplicado no rebaixo existente no topo da zona superior de fixação com a utilização da ferramenta <i>splitface</i> que permite dividir as faces consoante as zonas de aplicação das cargas.

- Estudo de convergência de malha

O estudo de convergência da malha é baseado na comparação de resultados para diferentes tamanhos de elemento, a fim de perceber que tamanho de elemento permite a obtenção de resultados que garantam a precisão requerida com o mínimo custo computacional. As simulações realizaram-se na máquina existente com incrementos de duplicação de tamanho de elemento começando com um tamanho de 10 mm até 160 mm. Os resultados do estudo efetuado apresentam-se na Tabela 28 com a apresentação da percentagem de elementos com rácio de aspeto inferior a três.

Tabela 28 - Resultados do estudo de convergência de malha.

Tamanho de elemento [mm]	Nº de elementos	Tensão [MPa]	Deslocamento x [mm]	Elementos com rácio de aspeto <3 [%]
10	10248967	140	1,71	99,8
20	1382897	140	1,71	96,4
40	224347	138	1,71	87,1
80	46117	137	1,70	66,6
160	18369	136	1,68	54,0

Na Figura 78 apresentam-se os resultados da tensão de von Mises obtidos sempre no mesmo ponto na zona da cava do montante (Figura 79).

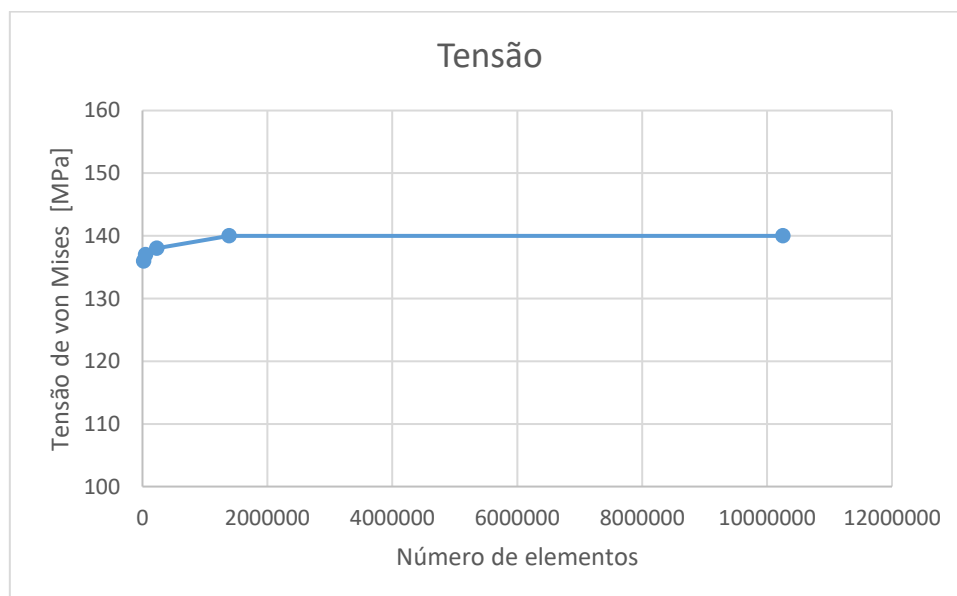


Figura 78 - Resultados da tensão de von Mises do estudo de convergência.

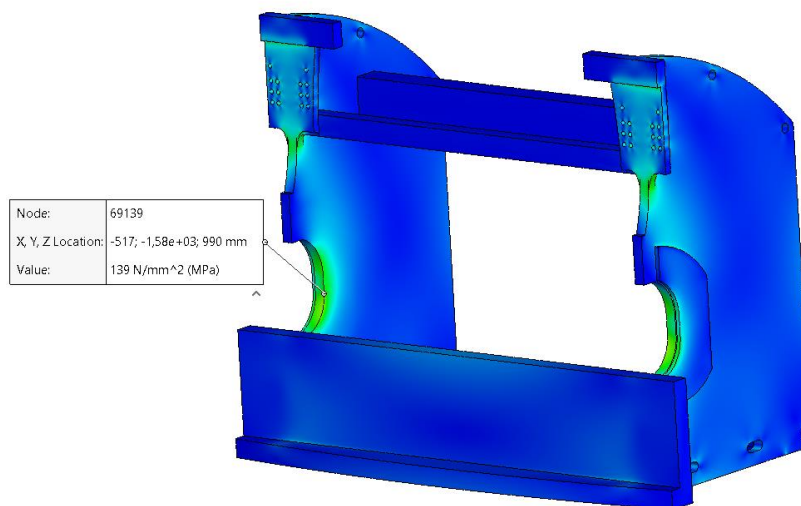


Figura 79 - Representação do ponto de obtenção da tensão de von Mises no estudo de convergência.

Na Figura 80 apresentam-se os resultados do deslocamento máximo obtido sempre no mesmo ponto do modelo segundo a direção x, por ser a direção com maior relevância no dimensionamento da máquina.

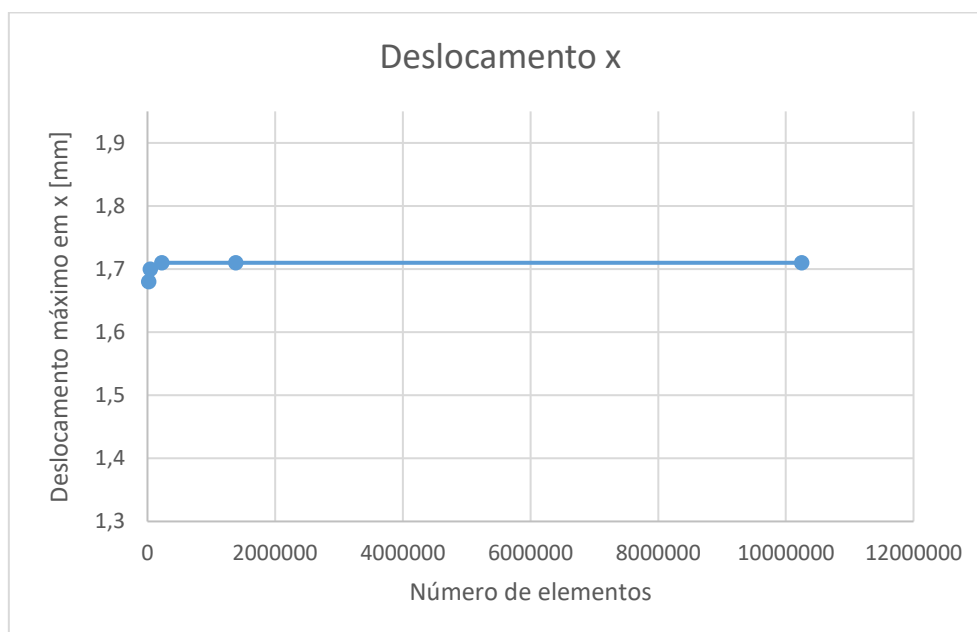


Figura 80 - Resultados do deslocamento máximo segundo a direção x do estudo de convergência.

O tamanho a partir do qual começa a convergência dos resultados das simulações numéricas é 40 mm. Logo, este é o tamanho de elemento escolhido para a realização das simulações de dimensionamento da máquina. A tolerância de tamanho de cada elemento é por defeito 5% do seu tamanho nominal.

- Controlo de malha

O controlo de malha consiste na redução do tamanho do elemento em zonas específicas do modelo geométrico sujeitas a concentração de tensões ou com tamanhos e formas muito diferentes do modelo em geral. O controlo de malha foi aplicado depois do estudo de convergência na zona dimensionada junto da fixação do cilindro hidráulico, por esta apresentar mais pormenores geométricos relativamente ao resto do modelo e também em todos os furos existentes na estrutura, como é visível na Figura 81.

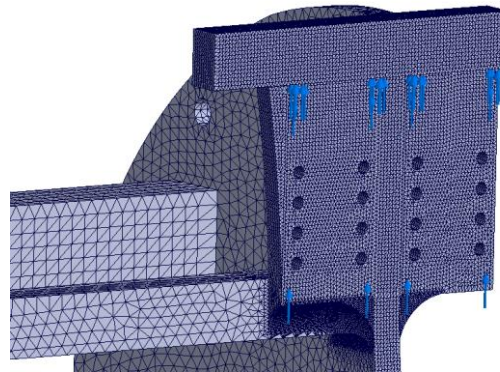


Figura 81 - Ilustração da zona de aplicação do controlo de malha no modelo geométrico da quinadora.

Com a aplicação do controlo de malha descrito, conseguiu-se uma percentagem de elementos com rácio de aspeto inferior a três semelhante à conseguida na simulação com tamanho de elemento geral de 20 mm, mas com um tempo de geração de malha aproximadamente três vezes menor e metade do tempo de corrida.

Na Tabela 29 são apresentados os diferentes tamanhos de elemento aplicados no controlo de malha.

Tabela 29 - Identificação do tamanho de elemento aplicado nas zonas com controlo de malha.

Zona de aplicação	Tamanho de elemento [mm]
Arestas arredondadas junto da fixação do cilindro	5
Fixação do cilindro	10
Furos gerais na estrutura	20

3.6.4.5.2 Resultados obtidos do equipamento idealizado

Os resultados obtidos na corrida das simulações numéricas apresentam-se de seguida as tensões de von Mises, os deslocamentos máximos, o coeficiente de segurança e inclinação máxima da estrutura.

- Tensões de von Mises

As principais zonas da quinadora solicitadas são a zona da cava no montante e a zona inferior do patelo de fixação do cilindro hidráulico. Na Figura 82 visualiza-se em cor de verde e vermelho as zonas com uma tensão instalada superior a 100 MPa.

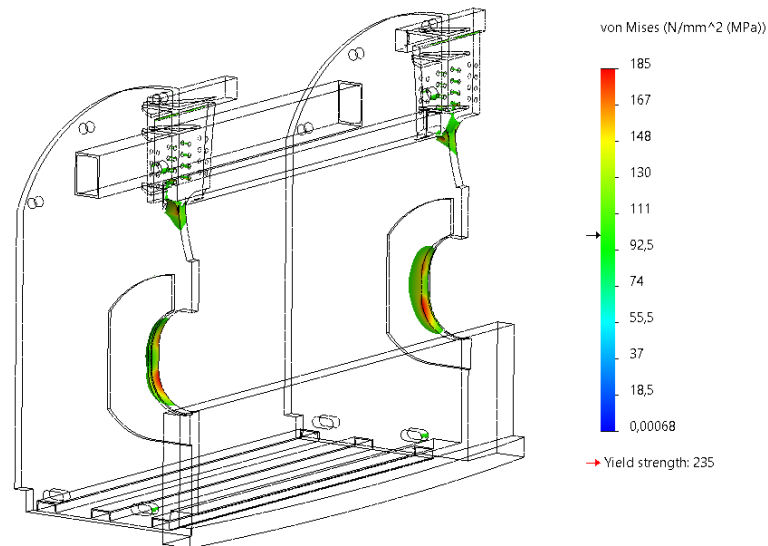


Figura 82 - Representação das tensões de von Mises instaladas na estrutura da quinadora idealizada com valor superior a 100 MPa.

A tensão máxima desenvolvida na estrutura da máquina idealizada localiza-se na zona da cava do montante e apresenta um valor máximo de 185 MPa (Figura 83). Na Figura 83 é também visível a azul que grande parte da estrutura da máquina tem uma tensão instalada inferior a 50 MPa.

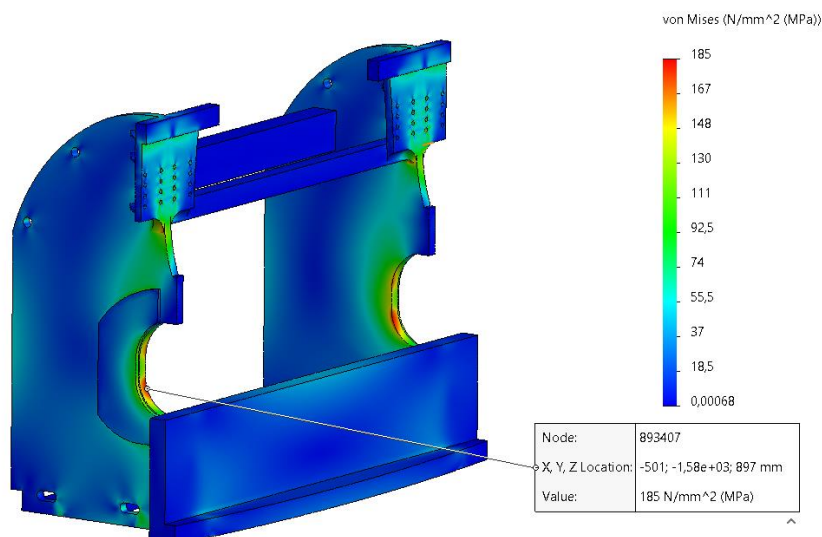


Figura 83 - Representação das tensões de von Mises instaladas na estrutura da quinadora idealizada e localização da tensão máxima instalada.

- Deslocamentos

O deslocamento máximo da deformação da estrutura na direção x situa-se na zona superior do rebaixo de fixação do cilindro hidráulico e apresenta um valor de 2,22 mm no sentido posterior da máquina (Figura 84).

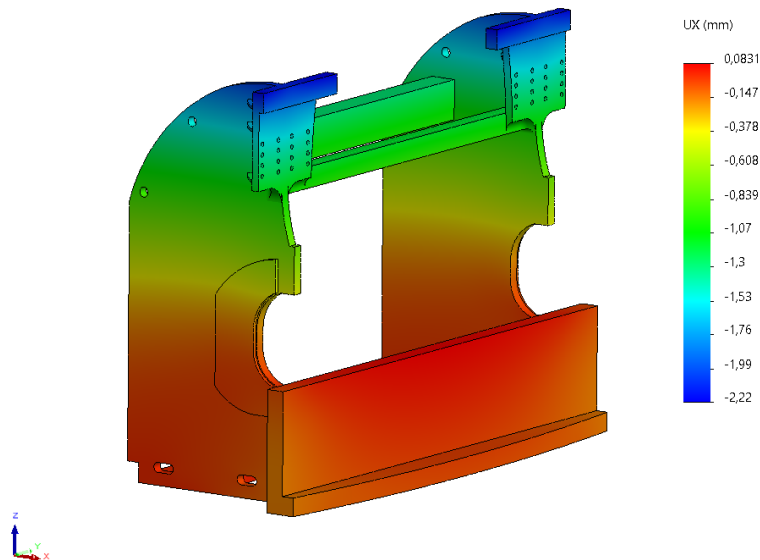


Figura 84 - Representação do deslocamento na direção x na estrutura da quinadora idealizada.

O deslocamento máximo da deformação da estrutura na direção z (direção de deslocamento do avental móvel) situa-se também na zona superior do rebaixo de fixação do cilindro hidráulico e apresenta um valor de 1,31 mm (Figura 85).

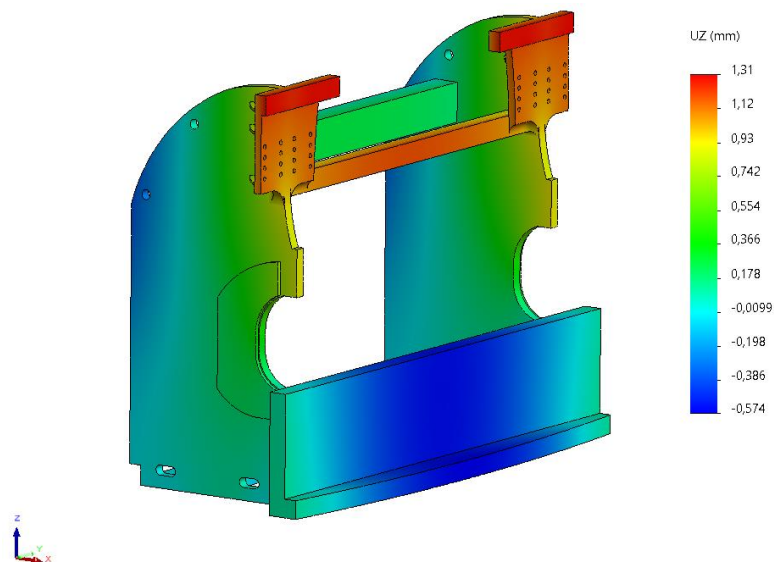


Figura 85 - Representação do deslocamento na direção z na estrutura da quinadora idealizada.

A direção y não foi alvo de análise de resultados por não ser importante para o funcionamento da máquina e apresentar valores residuais.

- Inclinação máxima

A inclinação produzida na face de fixação dos cilindros hidráulicos devido à deformação da estrutura é um dos requisitos mais importantes no dimensionamento da quinadora de acordo com a Adira [31], e apresenta um valor de $0,15^\circ$ com a direção vertical à quinagem (Figura 86).

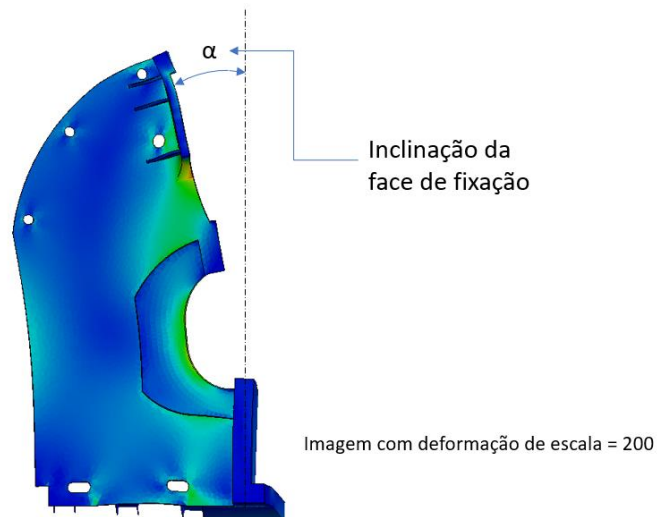


Figura 86 - Representação da inclinação da face de fixação dos cilindros hidráulicos na estrutura da quinadora idealizada.

- Coeficiente de segurança

O coeficiente de segurança mínimo da estrutura situa-se na zona de tensão máxima instalada (já descrita) e apresenta um valor de 1,27. Na Figura 87 são novamente visíveis as zonas mais solicitadas e com coeficiente de segurança menor, e as zonas menos solicitadas com coeficiente de segurança maior, que ultrapassa o valor de 10.

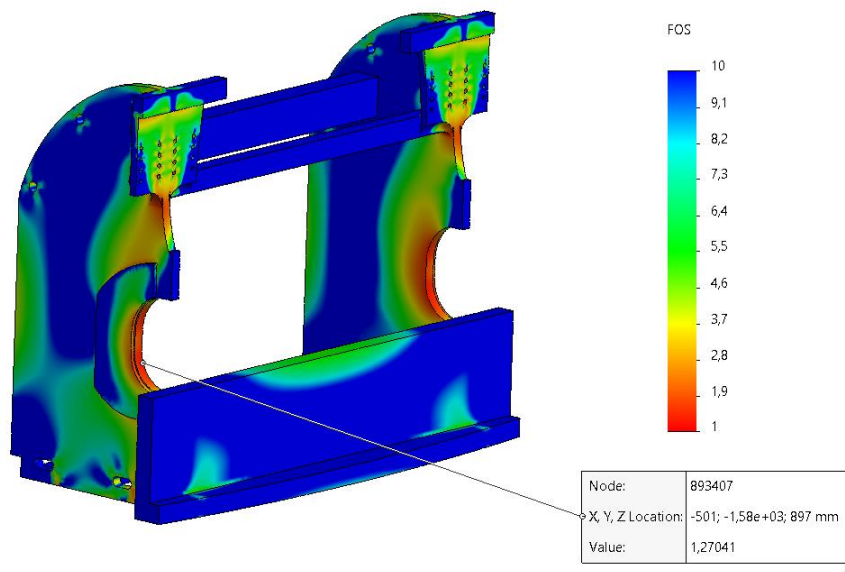


Figura 87 - Fator de segurança da estrutura da quinadora idealizada.

- Estudo de fadiga

O estudo de fadiga da estrutura da quinadora permite obter a vida expectável da quinadora para os carregamentos cíclicos a que está sujeita no seu funcionamento, e de acordo com a curva de fadiga SN do aço S235JR, já apresentada.

Aproximando um valor médio de 1600 carregamentos (quinagens) diários, expectável para uma máquina deste tipo durante 20 anos (requisito do projeto), calcula-se o número de ciclos a aplicar no estudo de fadiga:

$$N^{\circ} \text{ de ciclos} = 1600 \times (\text{dias/ano}) \times \text{anos} = 1600 \times 230 \times 20 = 7360000 \text{ ciclos}$$

A tensão máxima que a estrutura está sujeita, é no carregamento da simulações feitas de dimensionamento, na máxima capacidade (F_{\max}) da máquina.

$$F_{\max} = 4000 \text{ kN}$$

A tensão mínima que a estrutura está sujeita, ocorre no repouso, caso em que esta apenas é solicitada pelo peso dos seus componentes. A força exercida pela massa dos componentes acoplados na fixação do cilindro (F_{\min}) é igual ao valor utilizado no cálculo da força de retorno dos cilindros hidráulicos no capítulo 3.6.3.2 e tem um sentido oposto à de aplicação da carga na quinagem (F_{\max}).

$$F_{\min} = -183,6 \text{ kN}$$

A razão de cargas aplicadas é dada por:

$$R = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} = \frac{-183,6}{4000} = -0,046$$

A Figura 88 apresenta a tensão alternada aplicada na quinadora com $R = -0,046$.

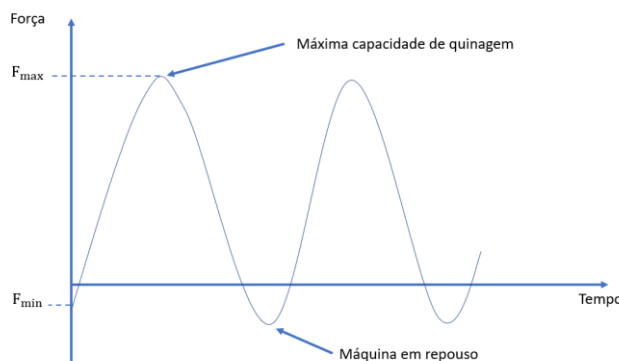


Figura 88 - Representação das cargas cíclicas aplicadas na estrutura da quinadora.

Os resultados da vida da estrutura e do dano causado pelo carregamento, apresentados pelo *software*, dependem da curva SN considerada. Constata-se por análise da curva SN que, para uma tensão instalada inferior a 190 MPa, a estrutura tem vida infinita.

Como a tensão máxima instalada é inferior a 190 MPa a estrutura tem vida infinita. Na Figura 89 a vida apresentada corresponde ao número máximo de ciclos considerados na curva SN (10^7).

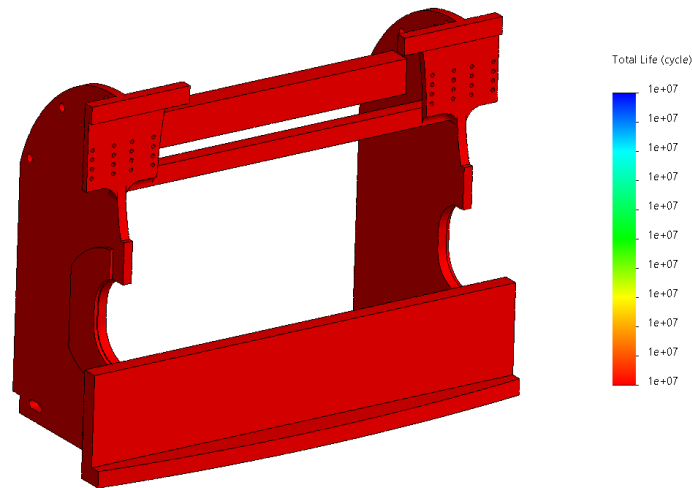


Figura 89 - Número de ciclos de vida da estrutura da quinadora idealizada.

O dano apresentado na Figura 90 depende também proporcionalmente da vida da estrutura. Uma vez que os ciclos aplicados correspondem a 73,6% do número de ciclos de vida infinita da curva SN, a estrutura apresenta esse mesmo valor de dano.

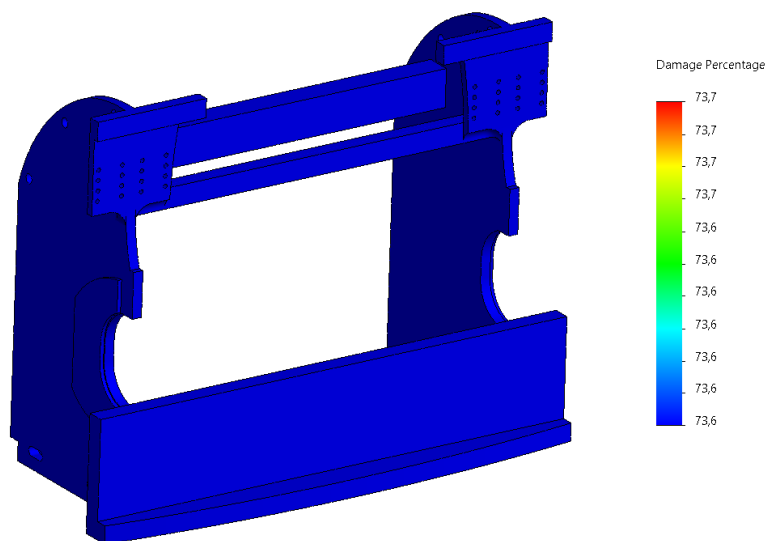


Figura 90 - Dano devido a fadiga na estrutura da quinadora idealizada.

3.6.4.5.3 Comparação com modelos de casca e viga

No sentido de comparar os resultados obtidos na simulação numérica que utilizou elemento sólido tridimensional com o objetivo de construir um modelo igualmente preciso que permita reduzir significativamente o número de graus de liberdade do modelo é feita uma nova simulação com elementos unidimensionais (elementos do tipo

viga) e elementos bidimensionais (elementos do tipo casca). As zonas de fixação dos cilindros hidráulicos utilizam os mesmos elementos tetraédricos utilizados nas simulações de dimensionamento, por apresentarem uma geometria complexa para aplicação de outro tipo de elemento. Na Tabela 30 encontram-se descritas as zonas de aplicação dos tipos de elementos referidos.

Tabela 30 - Identificação da aplicação dos tipos de elementos nos diversos componentes da quinadora.

Componentes	Tipo de elemento
Vigas centrais de acoplamento dos montantes	Viga
Montantes	Casca (espessura 80 mm)
Reforço de cava dos montantes	Casca (espessura 30 mm)
Avental fixo	Casca (espessura 140 mm)
Patelos de fixação dos cilindros hidráulicos	Sólido

Na Figura 91 apresenta-se o modelo geométrico de elementos de casca e viga com a malha criada com tamanho de elemento de 40 mm.

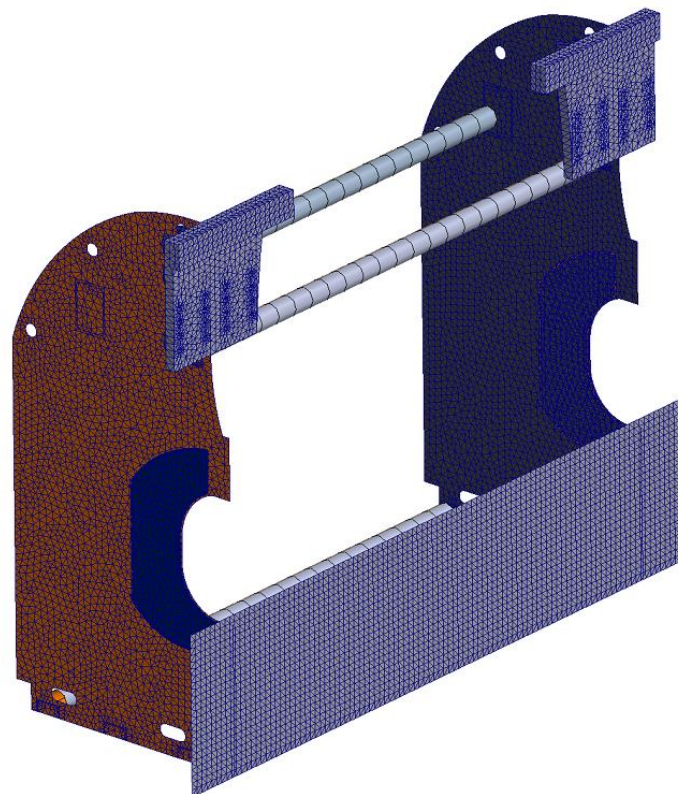


Figura 91 - Representação da malha criada no modelo de casca e viga.

As condições fronteira e de aplicação de carga são as mesmas das simulações do modelo idealizado caracterizadas no capítulo 3.6.4.5.1. Na Figura 92 apresentam-se as tensões de von Mises instaladas na estrutura da máquina composta por elementos de casca e elementos sólidos. Verifica-se que o comportamento da estrutura na dispersão da tensão instalada é muito semelhante ao modelo sólido.

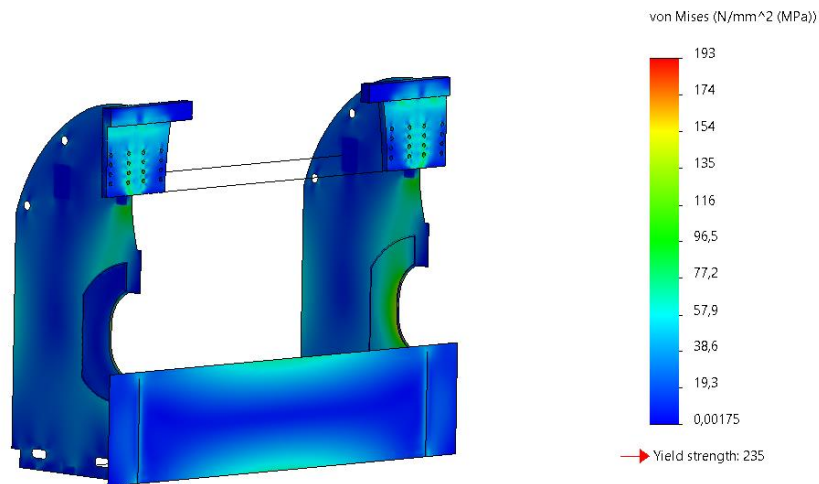


Figura 92 - Tensões de von Mises instaladas na estrutura com elementos de casca e elementos sólidos.

Na Figura 93 apresentam-se as tensões de von Mises instaladas devido ao esforço axial e esforço transversal nos elementos da estrutura do tipo viga. Verifica-se que estes componentes apresentam uma tensão geral instalada inferior 60 MPa. No entanto, em alguma zonas de encastramento, a tensão atinge o valor de 186 MPa à compressão.

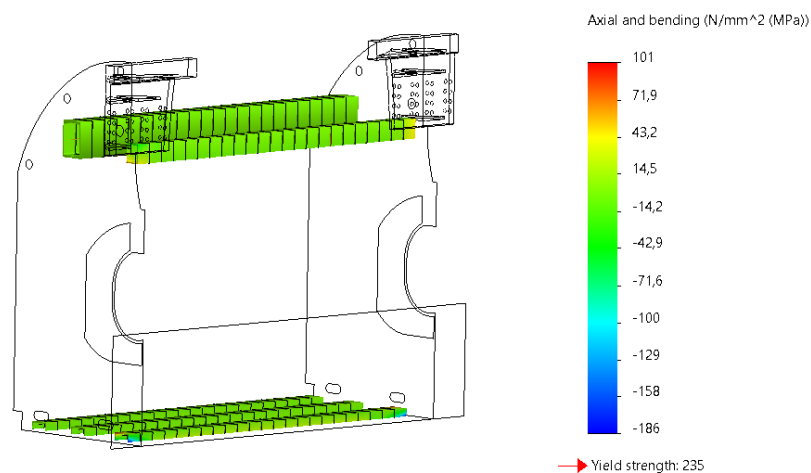


Figura 93 - Tensões de von Mises instaladas na zona da estrutura com elementos de viga.

Na Tabela 31 comparam-se os resultados entre o modelo de elementos tridimensionais com o modelo de elementos unidimensionais e bidimensionais, ambos com tamanho de elemento geral de 40 mm.

Tabela 31 - Comparação de resultados das simulações numéricas das máquina idealizadas com elementos tridimensionais e com elementos unidimensionais e bidimensionais.

Parâmetro	Máquina com elementos tridimensionais	Máquina com elementos unidimensionais e bidimensionais	Diferença relativamente ao modelo tridimensional [%]
Tensão máxima instalada [MPa]	185	193	+4,3
Deslocamento máximo na direção z [mm]	1,31	1,33	+1,5
Deslocamento máximo na direção x [mm]	2,22	2,12	-4,5
Inclinação da face de fixação [°]	0,15	0,10	-33,3
Número de elementos	903541	35602	-96,0
Tempo de geração de malha [s]	264	17	-93,5
Tempo de corrida [s]	83	26	-68,7

Os valores, obtidos apesar de ligeiramente diferentes, consideram-se válidos para o dimensionamento da quinadora, aproximando-se dos resultados obtidos no modelo com elementos tridimensionais. Os recursos computacionais para simular o modelo de elementos unidimensionais e bidimensionais são significativamente menores, apresentando uma redução no tempo de geração de malha de 93,5%, no tempo de corrida menos 68,7% e uma redução do número de elementos de 96%.

3.6.4.5.4 Comparação com o equipamento existente

A máquina existente atualmente também foi simulada numericamente com as mesmas condições da máquina idealizada. As principais diferenças entre as estruturas das duas máquinas são a existência de maior área na face de fixação dos cilindros hidráulicos e a otimização da estrutura para redução de peso na máquina idealizada.

No sentido de comparar o desempenho estrutural das duas estruturas apresentam-se na Tabela 32 as diferenças de cada estrutura ao nível das tensões instaladas, os deslocamentos, o coeficiente de segurança mínimo, a inclinação máxima e a massa.

Tabela 32 - Comparação de resultados da máquina idealizada com a máquina existente.

Parâmetro	Máquina existente	Máquina idealizada	Diferença relativamente à máquina existente [%]
Tensão máxima instalada [MPa]	168	185	+10,1
Coeficiente de segurança mínimo	1,40	1,27	-9,3
Deslocamento máximo na direção z [mm]	1,17	1,31	+11,9
Deslocamento máximo na direção x [mm]	1,70	2,22	+30,6
Inclinação da face de fixação [°]	0,07	0,15	+114,3
Massa [kg]	13079	11923	-8,9

Embora a máquina idealizada possua piores valores de desempenho estrutural em relação à máquina existente, continua a cumprir com os requisitos do projeto e permite uma redução de aproximadamente 9% de massa.

3.6.4.6 Fabrico

O fabrico da estrutura da quinadora segue o processo apresentado na Figura 94.

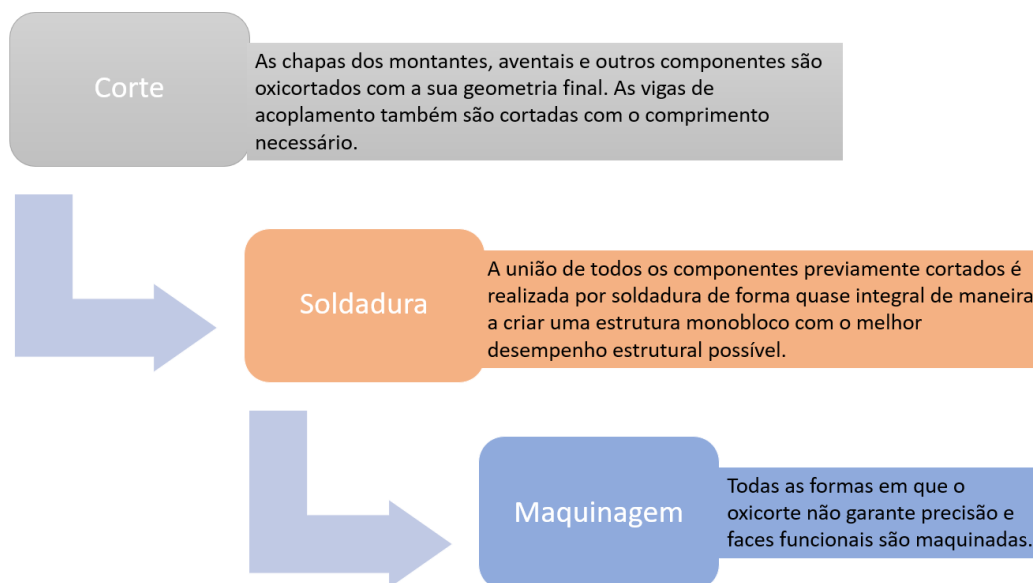


Figura 94 - Esquema com as etapas do processo do fabrico da quinadora.

Após a conclusão do processo de maquinagem, a estrutura monobloco da quinadora está preparada para receber a montagem de todos os componentes que a constituem. A ligação dos restantes componentes à estrutura é maioritariamente executada por aparafusamento.

3.6.5 Desenhos de pormenor

Os desenhos de pormenor da estrutura da máquina apresentam-se sem a devida maquinagem (estrutura em bruto), uma vez que a obtenção dos custos da estrutura é com base na estrutura soldada executada no fornecedor. A maquinagem é executada internamente e os seus procedimentos não sofrem quaisquer alterações face ao equipamento existente (Figura 95).

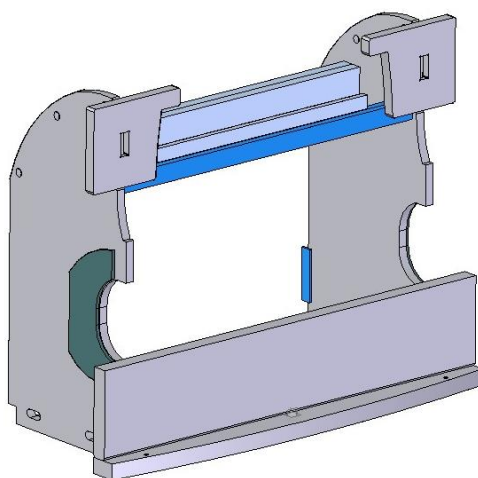


Figura 95 - Representação da estrutura da quinadora idealizada após fabrico de soldadura e pré maquinagem.

Assim, os desenhos de pormenor apresentados não representam as respetivas maquinagens e furações. No entanto estes apresentam outros elementos constituintes que não foram considerados no dimensionamento (por exemplo pequenos apoios e perfis) por não apresentarem um propósito de resistência estrutural.

O desenho técnico individual de todos os componentes constituintes da quinadora localizados na Figura 96 e na Figura 97 encontram-se no anexo 6.2.

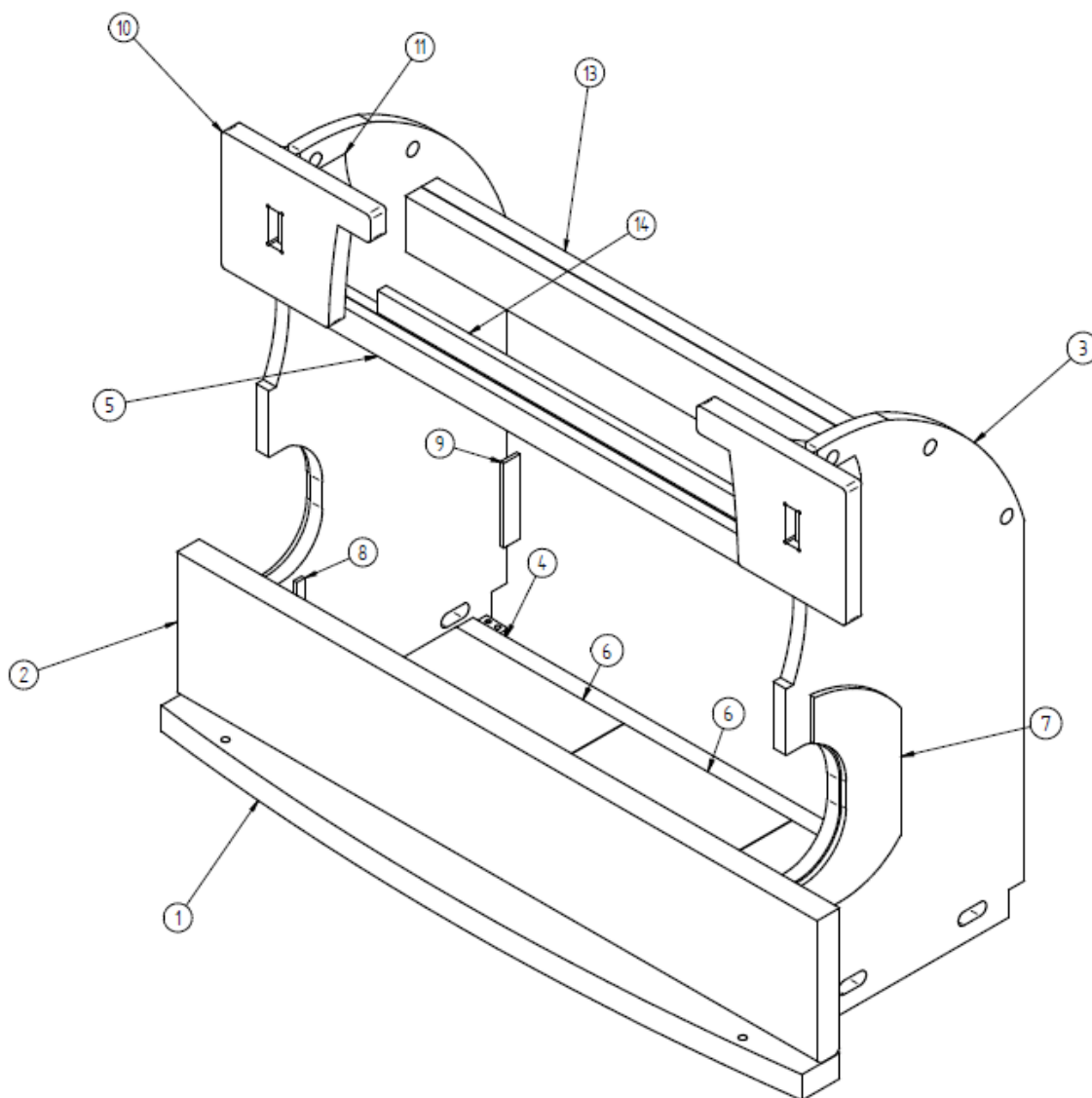


Figura 96 - Vista isométrica frontal com identificação da localização dos constituintes da estrutura da quinadora.

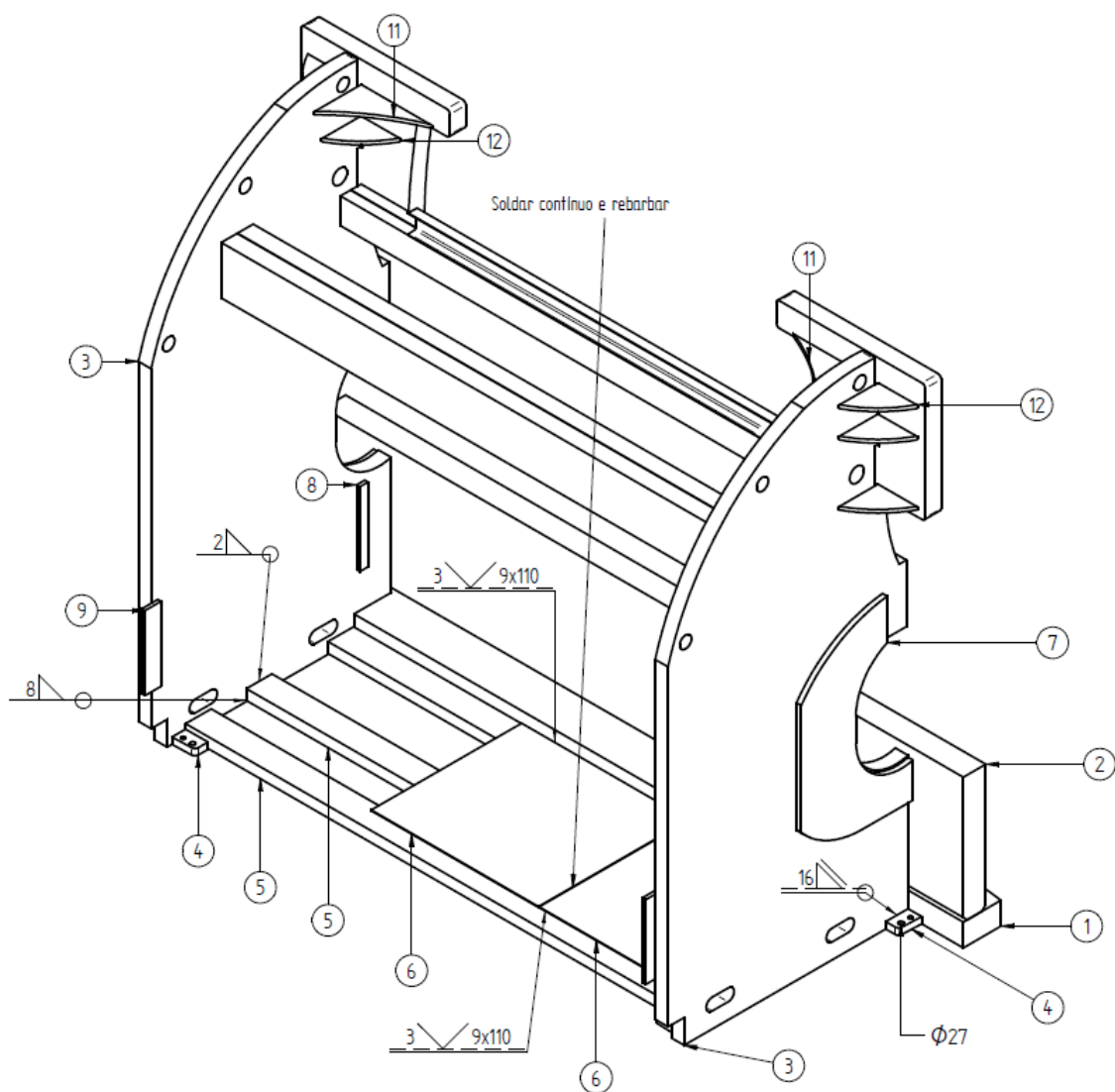


Figura 97 - Vista isométrica posterior com identificação da localização dos constituintes da estrutura da quinadora.

Na Tabela 33 descrevem-se as peças constituintes da estrutura da quinadora idealizada apresentada na Figura 96 e na Figura 97.

Tabela 33 - Identificação das peças constituintes da estrutura da quinadora idealizada.

Peça nº	Descrição
1	Base do avental fixo
2	Avental fixo
3	Montante
4	Chapa de fixação da máquina ao solo
5	Perfil em U 160x3150
6	Chapa 4x940x1046
7	Reforço de cava
8	Chapa 20x460x50
9	Chapa 20x460x100
10	Chapa de fixação dos cilindros
11	Reforço grande posterior da fixação dos cilindros
12	Reforço pequeno posterior da fixação dos cilindros
13	Perfil em U 300x3150
14	Perfil em U 120x2300

3.6.6 Análise de custos

A análise de custos deste projeto incide fundamentalmente em três grupos da máquina que foram alvo de alteração no novo projeto de fixação, nomeadamente a estrutura da máquina, grupo hidráulico e os cilindros hidráulicos. Para avaliar o impacto dos custos do novo conceito de fixação de cilindros hidráulicos é feita a analogia entre o equipamento idealizado e a máquina existente. Os três principais conjuntos, foco da comparação dos custos são:

- Sistema hidráulico:

A máquina idealizada possui dois sistemas hidráulicos de utilização normalizada face a um sistema hidráulico customizado utilizado na máquina atual. A comparação do custo

dos sistemas hidráulicos foi realizada com base nos valores da base de dados da empresa.

- Cilindro hidráulico

O novo projeto de fixação tem quatro cilindros hidráulicos customizados com metade da capacidade dos dois cilindros hidráulicos existentes no equipamento atual. O custo dos novos cilindros hidráulicos foi obtido através de orçamento ao fabricante face ao custo dos cilindros hidráulicos do equipamento existente na base de dados da empresa.

- Estrutura soldada da máquina

A estrutura da máquina idealizada, embora possua uma maior área de fixação para albergar os quatro cilindros hidráulicos, sofreu uma otimização, pelo que o seu custo também se altera. O custo da nova estrutura foi obtido através de orçamento ao fabricante face ao custo da estrutura já existente apurado na base de dados da empresa.

A relação de custos do projeto desenvolvido face à máquina existente apresenta-se Tabela 34.

Tabela 34 - Análise de custos entre a máquina idealizada e a máquina existente.

	Máquina existente	Máquina idealizada	Diferença de custo relativamente à máquina existente [%]
Sistema hidráulico	14359€	10960€	-23,6%
Cilindros hidráulicos	12500€	12000€	-4,0%
Estrutura soldada da máquina	27274€	25170€	-7,7%
Custo total	54133€	48130€	-11,1%

A nova máquina idealizada apresenta assim um custo de produção no valor de 11,1% inferior à máquina existente.

O impacto da diferença de custo numa análise à produção integral da quinadora assume na realidade um valor inferior a 11%, uma vez que o custo dos restantes componentes constituintes da máquina idealizada mantém-se o mesmo comparativamente à máquina existente e não é contabilizado nesta análise.

CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

- 4.1 Conclusões
- 4.2 Propostas de trabalhos futuros

4 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE TRABALHOS FUTUROS

4.1 Conclusões

A máquina quinadora projetada cumpriu com o principal objetivo do projeto sugerido pela Adira, e foi obtida uma redução de custo de aproximadamente 11%. Os objetivos traçados que permitiram o alcance da redução do custo da máquina encontram-se descritos na Tabela 35.

Tabela 35 - Análise ao cumprimento dos objetivos propostos.

Objetivo	Ação tomada
Alteração do conceito de fixação	A estrutura da máquina existente foi alterada de maneira a albergar quatro cilindros hidráulicos de corpo quadrado.
Dimensionamento de novos cilindros hidráulicos	O dimensionamento e utilização de novos cilindros hidráulicos permitiu uma redução de custo de 4%.
Utilização do sistema hidráulico normalizado da quinadora PA	Concluiu-se ser necessária a utilização de dois sistemas hidráulicos normalizados da quinadora PA, mas que ainda assim permite uma redução de custo de 23,6% face ao sistema hidráulico utilizado atualmente.
Dimensionamento estrutural	O dimensionamento estrutural com recurso ao MEF permitiu uma redução no seu custo superior a 7%. A utilização de elementos unidimensionais e bidimensionais nas simulações numéricas permitem obter resultados igualmente precisos em relação ao modelo com elementos tridimensionais, o que reduziu o esforço computacional necessário ao dimensionamento da estrutura.

A implementação do trabalho desenvolvido em futuras encomendas na produção da quinadora da série PH0400 permitirá à Adira aumentar a sua margem de lucro nas suas vendas e aumentar a competitividade face a outras marcas.

4.2 Propostas de trabalhos futuros

As propostas de trabalhos futuros relacionadas com o projeto da máquina idealizada apresentam-se referidas e explicadas de seguida:

- Desenvolvimento do novo avental móvel para receber a fixação dos quatro cilindros hidráulicos idealizados;
- Estudar a possibilidade de utilização de outro tipo de fixação do corpo do cilindro hidráulico (sem ser por face), como por exemplo fixação por aba;
- Incorporar/abranger a solução da estrutura desenvolvida e do grupo hidráulico utilizado nas quinadoras da série PH0500 e PH0600 mediante novo dimensionamento de cilindros hidráulicos;
- Verificar analiticamente e empiricamente a exigência dos requisitos impostos ao funcionamento da quinadora ao nível da inclinação máxima da face de fixação do cilindro hidráulico e dos deslocamentos admissíveis.

Outras propostas mais abrangentes, ligadas ao tema do projeto mecânico de quinadoras, são sugeridas no sentido de apoiar a Adira no seu desenvolvimento futuro e proporcionar a continuidade de novos trabalhos:

- Estudar a implementação de cilindros hidráulicos normalizados mediante o desenvolvimento de novas fixações no montante e avental móvel da quinadora;
- Desenvolvimento de uma aplicação que permita obter a geometria da estrutura da máquina em função da capacidade de quinagem, abertura e cava do montante, e curso do avental móvel, cumprindo com os requisitos impostos de coeficiente de segurança, e deformações admissíveis.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

1. Sousa, V., F. Silva, J. Fecheira, R. Campilho, e V. Vandermeulen, *A Novel Modular Design of an Equipment to Produce "T"-Profiles by Laser Welding*. *Procedia Manufacturing*, 2020. **51**: p. 446-453.
2. *Directiva 2006/42/CE relativa às máquinas* 2006, Jornal Oficial da União Europeia: Estrasburgo, França.
3. Santos, P.M.M., R.D.S.G. Campilho, e F.J.G. Silva, *A new concept of full-automated equipment for the manufacture of shirt collars and cuffs*. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2021. **67**: p. 102023.
4. Ashby, M., *Seleção de Materiais no Projeto Mecânico*. 2012, Amesterdão, Países Baixos: Elsevier.
5. Branco, C.M., J.M. Ferreira, J.D.d. Costa, e A.S. Ribeiro, *Projeto de Orgãos de Máquinas*. 2005, Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.
6. Silva, A.J.S.F.d. e A.M.A. Santos, *Automação Pneumática*. 3ª Edição ed. 2009, Porto, Portugal: Publindústria.
7. Fialho, A.B., *Automação pneumática—Projetos, dimensionamento e análise de circuitos*. 2018, São Paulo, Brasil: Saraiva Educação SA.
8. Schlüter, M.S. e E.A. Perondi, *Mathematical modeling of pneumatic semi-rotary actuator with friction*. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 2018. **40**(11): p. 523.
9. Khaimovich, E.M., *Hydraulic control of machine tools*. 2014, Amesterdão, Países Baixos: Elsevier.
10. *Actuadores lineales*, in *Transmisión y Movimiento Lineal*. 2021, Tecnopower Barcelona, Espanha.
11. *Torneiras Temporizadas 2022* [acedido em: 02/12/2021]; Disponível em: <https://www.cifial.pt/torneiras-temporizadas>.
12. *Turbinas Hidráulicas*. 2022 [acedido em: 27/01/2022]; Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/PT/pt_PT/Gera%C3%A7%C3%A3o%2C-Transmiss%C3%A3o-e-Distribui%C3%A7%C3%A3o/Turbinas-Hidr%C3%A1ulicas/Turbinas-Hidr%C3%A1ulicas/p/MKT_HISA_HYDRAULIC_TURBINES.
13. *Visão geral do Cilindro Hidropneumático-TOX®*. 2021 [acedido em: 02/12/2021]; Disponível em: <https://br.tox-pressotechnik.com/produtos/acionamentos/acionamentos-hidropneumaticos/visao-geral-do-cilindro-hidropneumatico-toxr/>.
14. Stouffer, K.A., J.A. Falco, e K.A. Scarfone, *Guide to industrial control systems (ics) security*. . 2014, National Institute of Standards & Technology: Maryland, EUA. p. 800.
15. Santos, A.A., *Controlo de Sistemas Pneumáticos*. Robótica, 2014. **94**: p. 4.

16. Budynas, R.G. e J.K. Nisbett, *Shigley's mechanical engineering design*. Vol. 9. 2011, Nova Iorque, EUA: McGraw-Hill
17. Completo, A.M.G. e F.J.M.Q.d. Melo, *Introdução ao Projeto Mecânico*. 2ª Edição ed. 2019, Porto, Portugal: Engebook.
18. *Guia "Máquinas seguras"*. 2015, Sick Sensor Intelligence: Waldkirch, Alemanha.
19. *Segurança de Máquinas e Equipamentos de Trabalho*. 2020, ACT - Autoridade para as Condições do Trabalho: Lisboa, Portugal.
20. Souza junior, W.C.d., N. Torres Júnior, e D.I. Miyake, *A servitização e o desempenho organizacional no setor de máquinas e equipamentos*. Revista de Administração de Empresas, 2018. **58**(5): p. 475-493.
21. Vieira, A.L.N., R.D.S.G. Campilho, F.J.G. Silva, e L.P. Ferreira, *Increasing the Environmental Sustainability of an Over-Injection Line for the Automotive Component Industry*. Sustainability, 2021. **13**(22): p. 12692.
22. *Máquinas de curvar tubo*. 2022 [acedido em: 06/12/2021]; Disponível em: <https://www.amobgroup.com/pt-pt/produtos/maquinas-de-curvar-tubo-cnc/>.
23. Veiga, N.F.M., R.D.S.G. Campilho, F.J.G.d. Silva, P.M.M. Santos, e P.V. Lopes, *Design of automated equipment for the assembly of automotive parts*. Procedia Manufacturing, 2019. **38**: p. 1316-1323.
24. *Robotic welding cells – sustainable, safe, cost effective*. 2021 [acedido em: 06/12/2021]; Fronius:[Disponível em: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/pt-br/celulas-de-soldagem-robotizada-soldagem-sustentavel-segura-e-boa-relacao-custo-beneficio/>].
25. Rodrigues, J. e P. Martins, *Tecnologia mecânica*. Vol. 2. 2005, Lisboa, Portugal: Editora Escolar.
26. Amaral, R., A.D. Santos, J.B. Pacheco, e S. Miranda, *Estudo do processo de quinagem para aplicação prática em programação cnc de quinadoras* Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões 2015. **25**: p. 21-30.
27. Kalpakjian, S. e S.R. Schmid, *Manufacturing process for engineering and technology*. 1995, Massachusetts, EUA: Addison Wesley Publishing Company.
28. *Banco de metal*. 2021 [acedido em: 21/12/2021]; Disponível em: <http://www.sopinal.pt/banco-metal.html>.
29. Bessa Pacheco, J. e A.D. Santos, *A study on the Nose Radius influence in Press Brake Bending Operations by Finite Element Analysis*. Key Engineering Materials, 2013. **554**: p. 1432-1442.
30. Pacheco, J.A.B., *Utilização de quinadoras e guilhotinas*. 1992, Porto, Portugal: APTCP - Associação Portuguesa de Conformação Plástica.
31. *Quinadoras*. 2020 [acedido em: 22/12/2021]; Disponível em: <https://adira.pt/>.
32. Gao, P.F., X.G. Yan, F.G. Li, M. Zhan, F. Ma, e M.W. Fu, *Deformation mode and wall thickness variation in conventional spinning of metal sheets*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2022. **173**: p. 103846.
33. Panthi, S.K., N. Ramakrishnan, K.K. Pathak, e J.S. Chouhan, *An analysis of springback in sheet metal bending using finite element method (FEM)*. Journal of Materials Processing Technology, 2007. **186**(1): p. 120-124.
34. Garcia-Romeu, M.L., J. Ciurana, e I. Ferrer, *Springback determination of sheet metals in an air bending process based on an experimental work*. Journal of Materials Processing Technology, 2007. **191**(1): p. 174-177.

35. Boljanovic, V., *Sheet metal forming processes and die design*. 2ª ed. 2014, Nova Yorque, EUA: Industrial Press Inc.
36. Lin, Z.-C. e Y.-C. Chang, *Determination of sash bending procedures and selection of bending tools*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1998. **11**(3): p. 241-254.
37. *Press Brake Productivity Guide*. 2007, Wila, BV: Goorseweg, Netherlands.
38. Sala, M., *Rolleri Bending Tips*. 2021, SM TECH S.R.L.: Vigolzone, Itália.
39. *Catálogo de Produtos & Serviços*. 2021, Ramada Aços Ovar, Portugal.
40. Grizelj, B., J. Cumin, e D. Grizelj, *Effect of spring-back in v-tool bending of high-strength steel sheet metal plates*. Metalurgija, 2013. **52**(1): p. 99-102.
41. Kuboki, T., T. Hadano, W. Oba, S. Kajikawa, e Y. Jin, *Asymmetric sheet-metal V-bending applying separate dies with different velocities for diversified bending shapes and operability*. CIRP Annals, 2021. **70**(1): p. 219-222.
42. Raj Prasanth, D. e M.S. Shunmugam, *Geometry-based Bend Feasibility Matrix for bend sequence planning of sheet metal parts*. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 2020. **33**(5): p. 515-530.
43. Abe, Y., W. Ijichi, K.-i. Mori, e S. Miyazawa, *Bending process for producing uniform angle distribution from ultra-high strength steel sheets having thickness distribution*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2020. **107**(5/6): p. 2251-2260.
44. Zaragoza, V.G., M. Strano, L. Iorio, e M. Monno, *Amesterdão, Países Baixos*. Procedia Manufacturing, 2019. **29**: p. 232-239.
45. Coelho, P.G., L.O. Faria, e J.B. Cardoso, *Structural analysis and optimisation of press brakes*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2005. **45**(12-13): p. 1451-1460.
46. *Hexa-C*. 2022 [acedido em: 05/01/2022]; Disponível em: <http://ratin-equip.com/en/adira-2/press-brakes-2/hexa-c-2/>.
47. da Silva, L.F. e J.S. Gomes, *Introdução à resistência dos materiais*. 2010, Porto, Portugal: Publindústria.
48. Campilho, R., *Método de Elementos Finitos - Ferramentas para Análise Estrutural*. 2012, Porto, Portugal: Publindústria.
49. Norton, R.L., *Projeto de máquinas - uma abordagem integrada*. 4ª ed. 2013, São Paulo, Brasil: Bookman editora.
50. Teixeira-Dias, F., J. Pinho-da-Cruz, R.F. Valente, e R.A. de Sousa, *Método dos Elementos Finitos: Técnicas de Simulação Numérica em Engenharia*. 2010, Lisboa, Portugal: ETEP.
51. de Assis, C.L.F., L. Montanari, A.R. Rodrigues, J. Gallego, e O.V. da Silva Neto, *Refino de grão em aços baixo carbono: uma revisão crítica*. 2011, Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas: Rio de Janeiro, Brasil.
52. Fischer, U., R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Oesterle, H. Paetzold, e A. Stephan, *Manual de tecnologia metal mecânica*. 2ª edição ed. 2011, São Paulo, Brasil: Editora Blucher.
53. de Moura Branco, C.A., *Mecânica dos materiais*. 5ª Edição ed. 2011, Lisboa, Portugal: Fundação Calouste Gulbenkian.

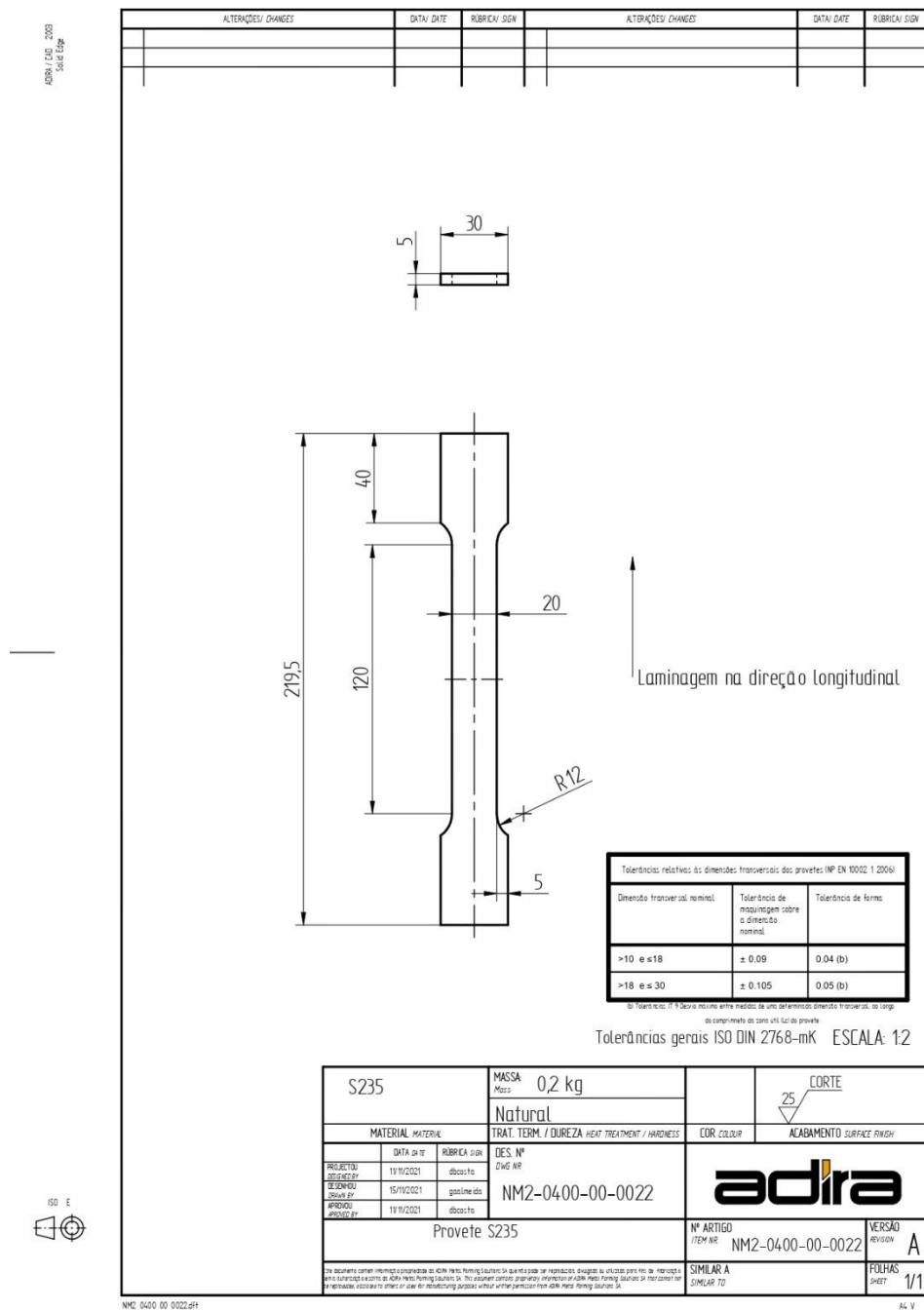
54. Moreira, I.D.S., *Sistemas hidráulicos industriais*. 2012, São Paulo, Brasil: SESI SENAI Editora.
55. Beirão, P., *Apontamentos da disciplina de Automação da Licenciatura em Engenharia Mecânica*. 2016, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra: Coimbra, Portugal.
56. Training, P., *Tecnologia hidráulica industrial*. 1999, Parker Hannifin Corporation: São Paulo, Brasil.
57. *Catálogo de Cilindros hidráulicos MV32*. (referência sem ano), Movicontrol Automação Lda São Paulo, Brasil.
58. *Manual de instruções quinadora PH 30040*. 2020, Adira Metal Forming Solutions S.A.: Vila Nova de Gaia, Portugal.
59. Colombo, G., A. Girotti, e E. Rovida. *Automatic Design of Hydraulic Press Brake for Sheet Metal Bending*. in *15th International Conference on Engineering Design*. 2005. Melbourne, Austrália: Proceedings ICED.
60. Santos, J.P., M. Oliveira, F.G. Almeida, J.P. Pereira, e A. Reis, *Improving the environmental performance of machine-tools: influence of technology and throughput on the electrical energy consumption of a press-brake*. *Journal of Cleaner Production*, 2011. **19**(4): p. 356-364.
61. Costa, A.F.L.d.C.M.d., *Desenvolvimento e validação de um sistema inovador de compensação de deformação numa quinadora*. 2008, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.
62. Reis, J.P.R.P.d., *Standardização e modularização dos cilindros hidráulicos das quinadoras*. 2010, Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto: Porto, Portugal.
63. Kanakaraddi, R. e M.H. Halli, *Design and analysis of hydraulic operated press brake*. *Journal of Mechanical and Mechanics Engineering*, 2015. **1**: p. 2.
64. *Catálogo Adira Metal Forming Solutions*. 2020, Adira Metal Forming Solutions S.A.: Vila Nova de Gaia, Portugal.
65. *Internal gear pumps EIPH*. 2022, Eckerle Technologies GmbH: Malsch, Alemanha.
66. *Calculation of wall thickness subjected to internal pressure*, in *DIN 2413*, D. Normen, Editor. 1972, Deutsches Institut für Normung: Berlim, Alemanha.
67. Panzer, B., *Tratado prático de óleo hidráulica*. 1965, Hamburgo, Alemanha: Editorial Blume.
68. Strzelecki, P. e J. Sempruch, *Verification of analytical models of the S-N curve within limited fatigue life*. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 2016. **54**: p. 63.
69. *Manual de projeto - Cálculo das amarrações dos cilindros da quinadoras*. 2008, Adira Metal Forming Solutions: Porto, Portugal.
70. Raymond A. Serway, J.W.J.J., *Princípios de Física - Mecânica Clássica e Relatividade*. Vol. 1. 2004, São Paulo, Brasil: Thomson Learning.
71. *Steel Navigator - Material data sheet S235 JR*. 2022 [acedido em: 24 de Maio de 2022]; Disponível em: <https://steelnavigator.ovako.com/steel-grades/s235/>.

ANEXOS

- 6.1 Desenho técnico do provete de ensaio de tração
- 6.2 Desenho técnico da estrutura soldada da quinadora idealizada e respectivas peças constituintes

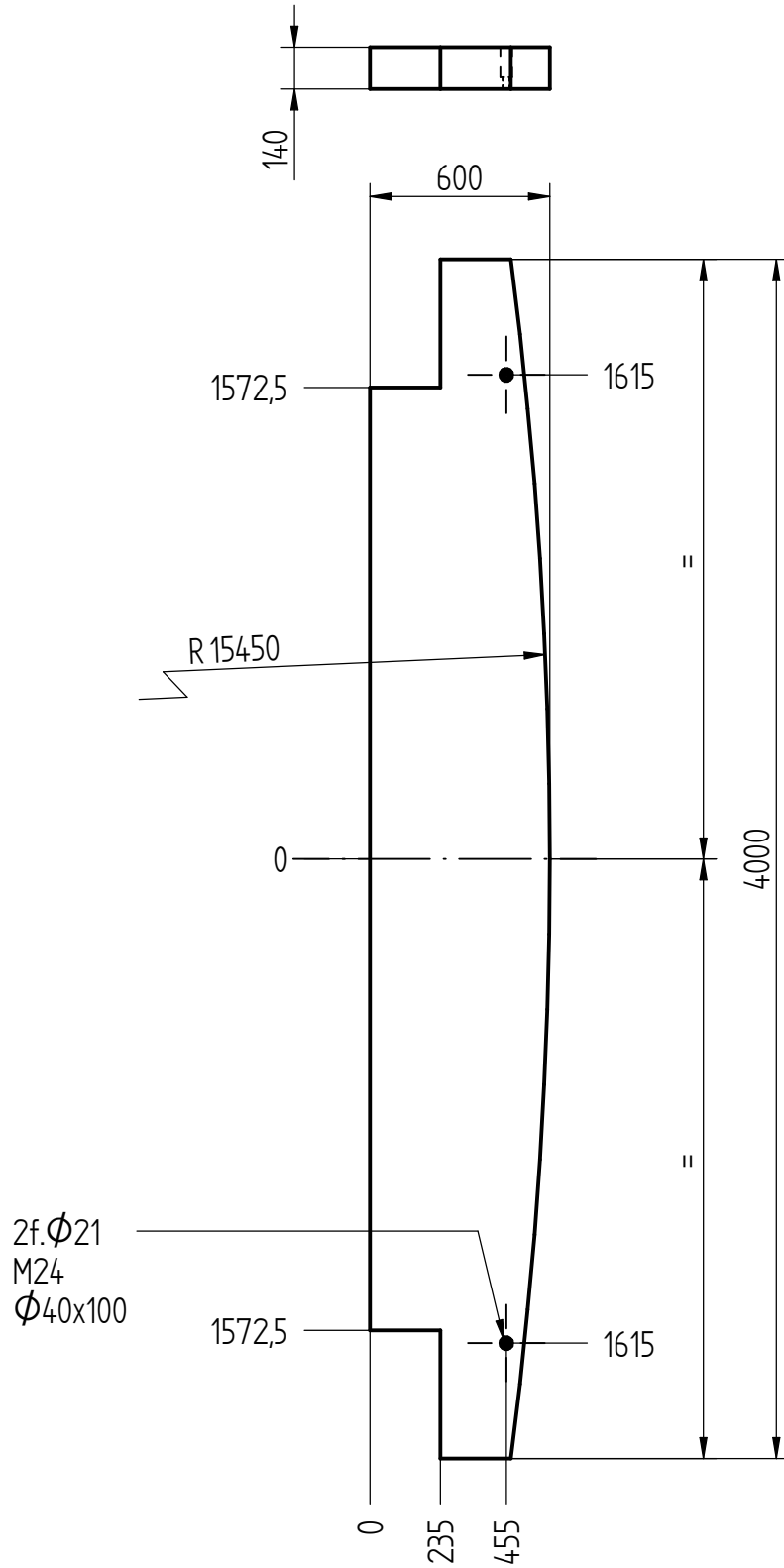
6 ANEXOS

6.1 Desenho técnico do provete de ensaio de tração



6.2 Desenho técnico da estrutura soldada da quinadora idealizada e respectivas peças constituintes

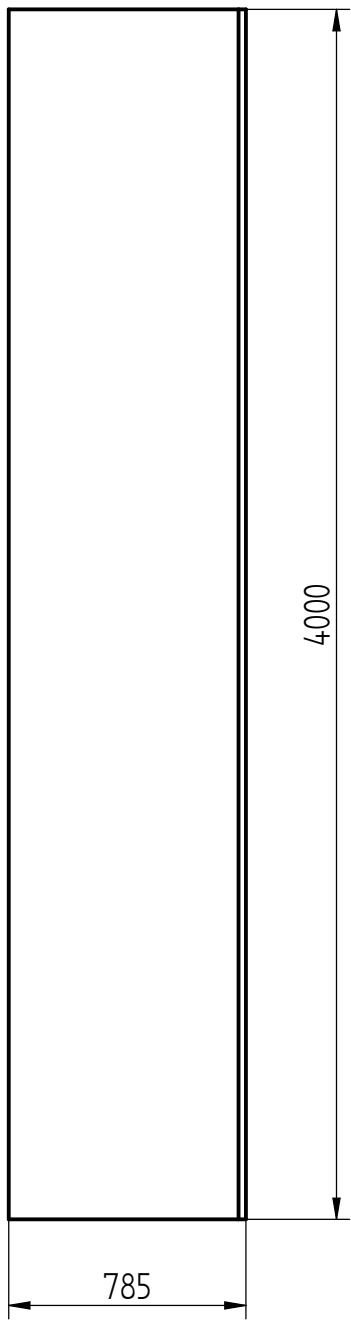
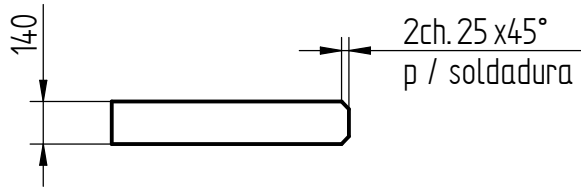
ALTERAÇÕES / CHANGES		DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN	ALTERAÇÕES / CHANGES		DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN



RSt37.1-DIN17100		MASSA: 2219.6 kg		25	
CHAPA ESP 140 (383500140)		Natural			
MATERIAL / MATERIAL		TRAT. TERM. / DUREZA HEAT TREATMENT / HARDNESS		COR / COLOUR	
ACABAMENTOS / SURFACE FINISH		DES. Nº:			
PROJECTOU / DESIGNED BY:		21-09-2017			
RÚBRICA / SIGN:		alves		QU2-0104-00-0182	
SIMILAR A / SIMILAR TO:				Nº ARTIGO: ITEM NR.	
REFORÇO DO APOIO REINFORCE				VERSÃO: REVISION: B	
Este documento tem informação propriedade da ADIRA SA e não pode ser reproduzida, divulgada ou utilizada para fins de fabricação sem a autorização escrita da ADIRA SA. This document contains proprietary information of ADIRA SA, and such information may not be reproduced, disclosed to others or used for manufacturing purposes without written permission from ADIRA SA.		QU2-0104-00-0182		FOLHAS: SHEET: 1/1	



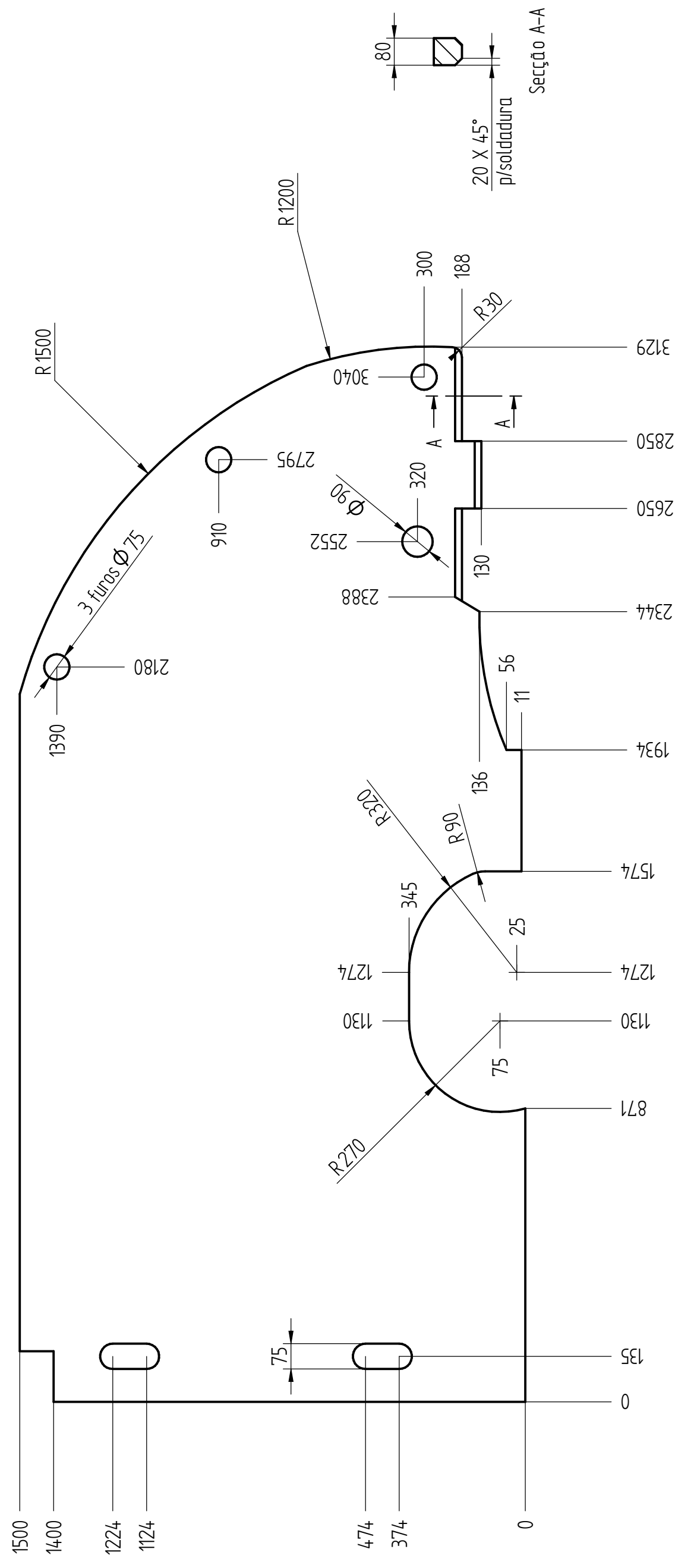
ALTERAÇÕES/ CHANGES		DATA/ DATE	RÚBRICA/ SIGN	ALTERAÇÕES/ CHANGES		DATA/ DATE	RÚBRICA/ SIGN
B	Refirou-se os furos do corte, passaram para maquinação.	07-04-2022	JARSilva				



RSt37.1-DIN17100		MASSA: Mass:	3423.8 kg			25	
CHAPA ESP 140 (383500140)		Natural					
MATERIAL/ MATERIAL		TRAT. TERM. /DUREZA HEAT TREATMENT/ HARDNESS		COR/ COLOUR	ACABAMENTOS/ SURFACE FINISH		
PROJECTO/ DESIGNED BY:	DATA/DATE	RÚBRICA/SIGN.	DES. Nº: DWG NR.	adira		VERSÃO: REVISION: B	
SIMILAR A: SIMILAR TO	28/06/2014	alves	QU2-0103-00-0027				
CHAPA AVENTAL FIXO TABLE SUPPORT				Nº ARTIGO: ITEM NR.	FOLHAS: SHEET: 1/1		
<small>Este documento tem informação propriedade da ADIRA SA e não pode ser reproduzida, divulgada ou utilizada para fins de fabricação sem a autorização escrita da ADIRA SA. This document contains proprietary information of ADIRA SA and such information may not be reproduced, disclosed to others or used for manufacturing purposes without written permission from ADIRA SA</small>							



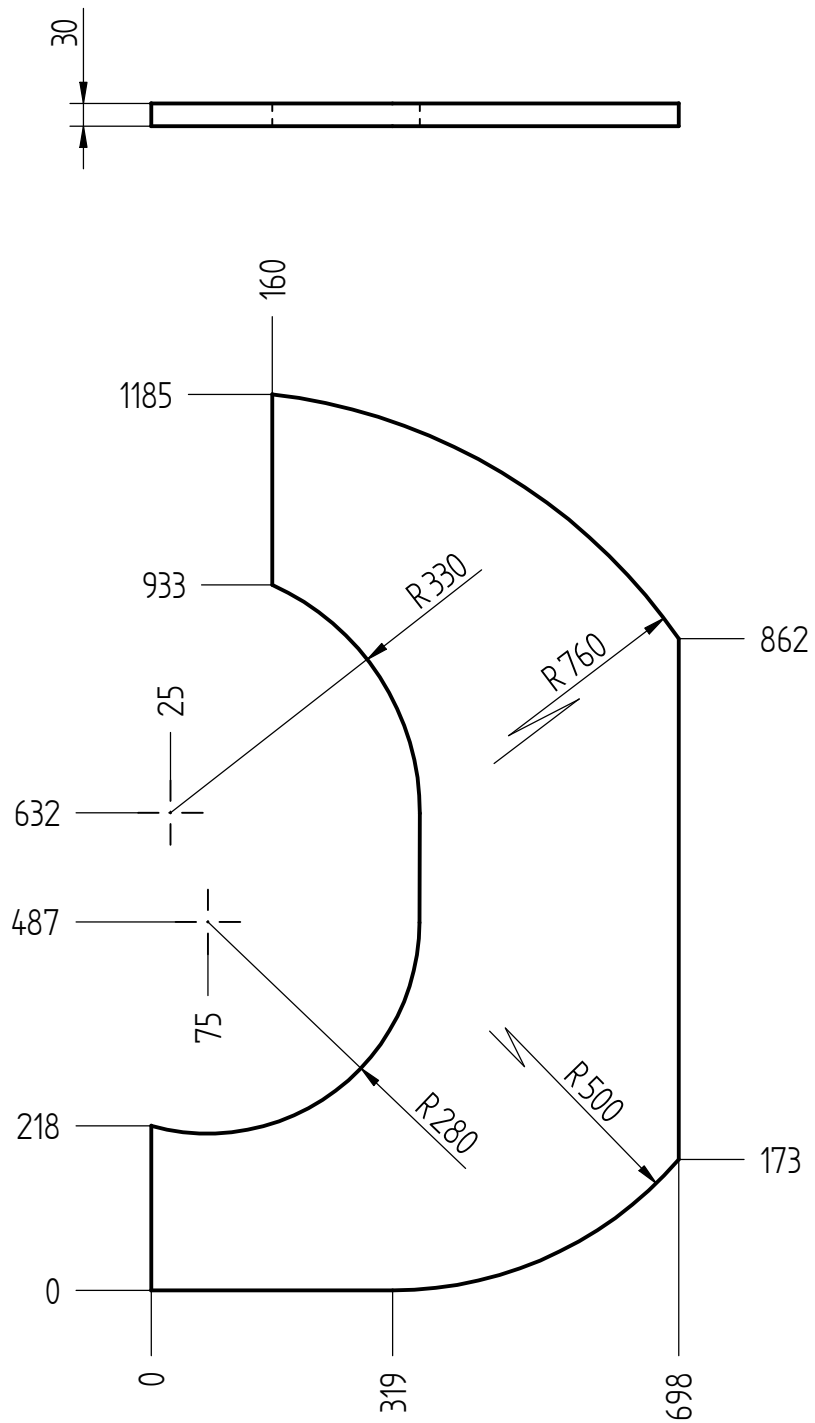
ALTERAÇÕES / CHANGES	DATA / DATE	RUBRICA / SIGN	ALTERAÇÕES / CHANGES	DATA / DATE	RUBRICA / SIGN



ESCALA: 1:7,5

S235JR	MASSA: Mass: 2439,4 kg	ACABAMENTO / SURFACE FINISH 25
C/HAPA ESP 80 (B83500070)	Natural	COR / COLOUR
MATERIAL / MATERIAL	TRAT. TERM. / DUREZA / HEAT TREATMENT / HARDNESS	ADIRA
DATA / DATE	DES. Nº	VERSÃO / REVISION
PROJETO / PROJECTED BY	016/16	1/1
REVISÃO / REVISION BY	dicosta	FOLHAS / SHEET
DESIGNADO / DESIGNED BY	31/05/2022	1/1
APROVADO / APPROVED BY	dicosta	SIMILAR A / SIMILAR TO
Montante / FRAME		Nº ARTIGO / ITEM NR
montante		VERSÃO / REVISION

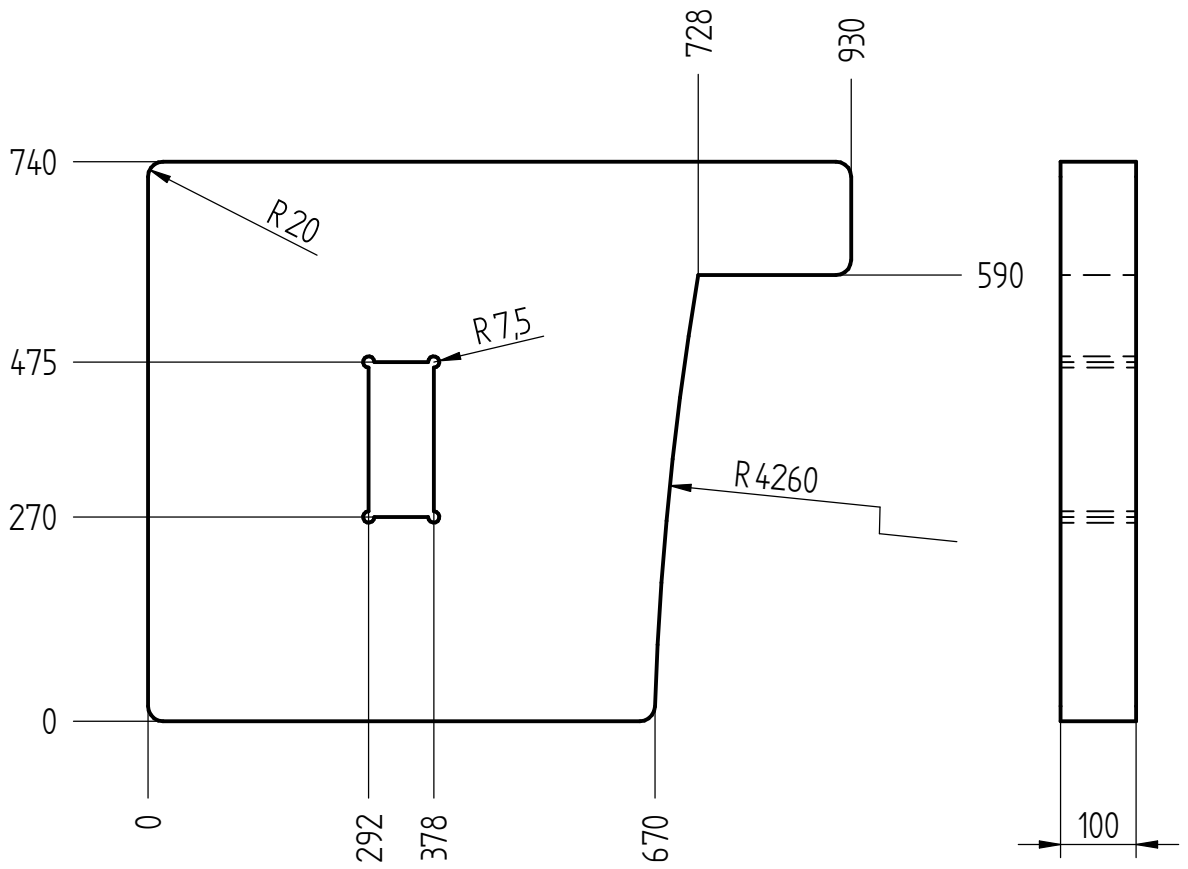
ALTERAÇÕES / CHANGES	DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN	ALTERAÇÕES / CHANGES	DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN



S235JR		MASSA: 114.0 kg		25	
Ch.30		Natural			
MATERIAL / MATERIAL		TRAT. TERM. / DUREZA HEAT TREATMENT / HARDNESS		COR / COLOUR	
ACABAMENTOS / SURFACE FINISH		COR / COLOUR		ACABAMENTOS / SURFACE FINISH	
PROJECTOU / DESIGNED BY:	DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN.	DES. Nº:		
DESIGNED BY:	13-12-2010	alves	DWG NR:		
SIMILAR A / SIMILAR TO:			QU2-0104-00-0026		
REFORÇO DO MONTANTE / REINFORCE			Nº ARTIGO: / ITEM NR.		VERSÃO: / REVISION:
			QU2-0104-00-0026		A
Este documento tem informação propriedade da ADIRA SA e não pode ser reproduzida, divulgada ou utilizada para fins de fabricação sem a autorização escrita da ADIRA SA. This document contains proprietary information of ADIRA SA, and such information may not be reproduced, disclosed to others or used for manufacturing purposes without written permission from ADIRA SA.			FOLHAS: / SHEET:		1/1



ALTERAÇÕES/ CHANGES		DATA/ DATE	RÚBRICA/ SIGN	ALTERAÇÕES/ CHANGES		DATA/ DATE	RÚBRICA/ SIGN



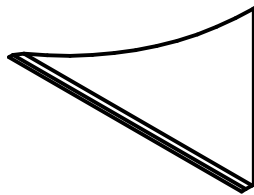
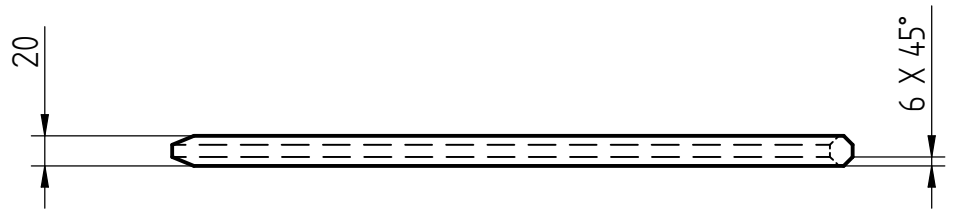
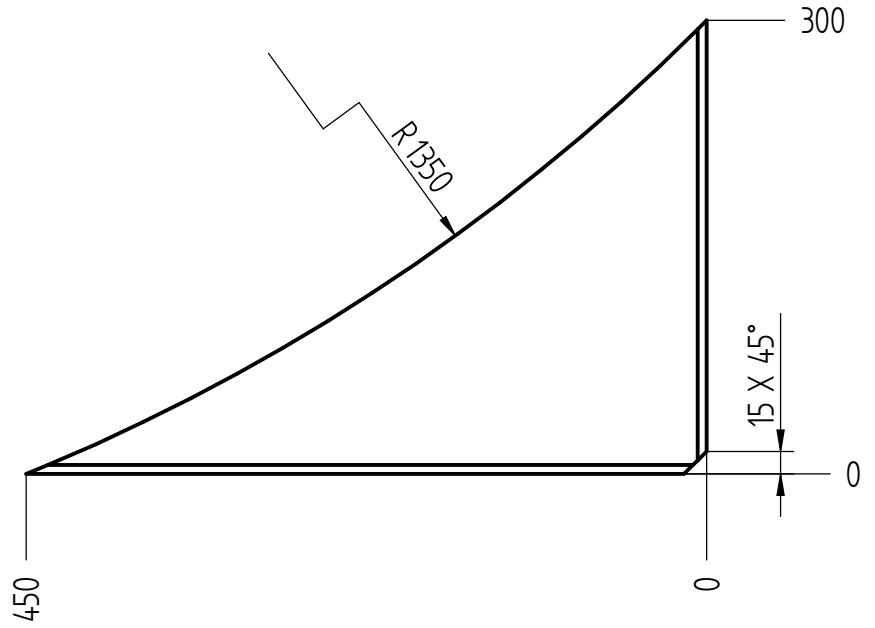
ESCALA: 1:10

S235JR			MASSA: Mass	414,6 kg	25	
CHAPA ESP 100			Natural			
MATERIAL MATERIAL			TRAT. TERM. / DUREZA	HEAT TREATMENT / HARDNESS	COR COLOUR	ACABAMENTO SURFACE FINISH
PROJECTOU DESIGNED BY	DATA DATE	RÚBRICA SIGN	DES. Nº DWG NR			
DESENHOU DRAWN BY	26/05/2022	dbcosta	fixação dos cilindros			
APROVOU APPROVED BY	28/05/2022	dbcosta	26/05/2022			
TOLERÂNCIAS GERAIS P/ MAQUINAGEM (ISO 2768-K)			Nº ARTIGO ITEM NR		VERSÃO REVISION	
≤ 10	> 10	> 32	> 100	> 320	> 1000	SIMILAR A SIMILAR TO
±0,1	±0,18	±0,25	±0,4	±0,6	±1	

Este documento contém informação proprietária da ADIRA Metal Forming Solutions SA que não pode ser reproduzida, divulgada ou utilizada para fins de fabricação sem a autorização escrita da ADIRA Metal Forming Solutions SA. This document contains proprietary information of ADIRA Metal Forming Solutions SA that cannot be reproduced, disclosed to others or used for manufacturing purposes without written permission from ADIRA Metal Forming Solutions SA.



ALTERAÇÕES / CHANGES		DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN	ALTERAÇÕES / CHANGES		DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN



ESCALA: 1:5

S235JR		MASSA: 8,8 kg		25	
CHAPA ESP 20					
MATERIAL MATERIAL		TRAT. TERM. / DUREZA HEAT TREATMENT / HARDNESS		COR COLOUR	
PROJECTOU DESIGNED BY		DES. Nº DWG NR			
DESENHOU DRAWN BY		cutelogrande			
APROVOU APPROVED BY					
DATA DATE		RÚBRICA SIGN		Nº ARTIGO ITEM NR	
30/05/2022		dbcosta		VERSÃO REVISION	
		dbcosta		FOLHAS SHEET	
				1/1	

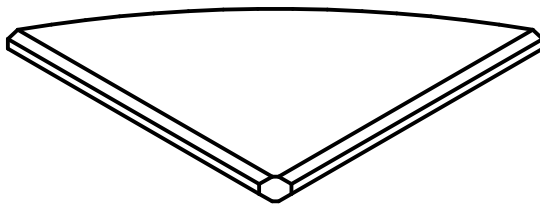
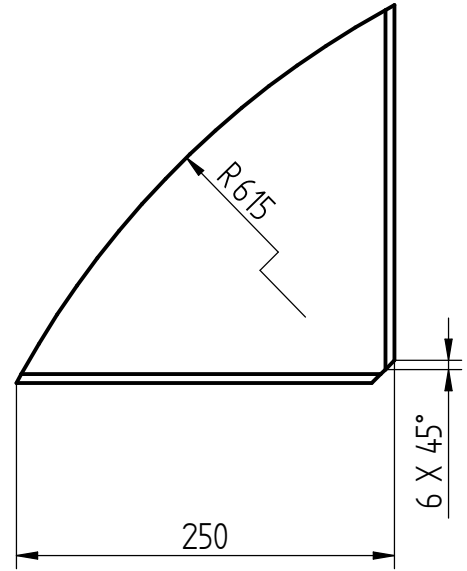
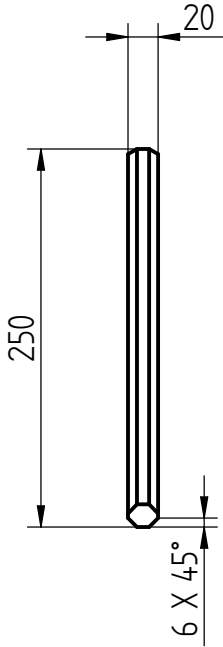
Este documento contém informação propriedade da ADIRA Metal Forming Solutions SA que não pode ser reproduzida, divulgada ou utilizada para fins de fabricação sem a autorização escrita da ADIRA Metal Forming Solutions SA. This document contains proprietary information of ADIRA Metal Forming Solutions SA that cannot be reproduced, disclosed to others or used for manufacturing purposes without written permission from ADIRA Metal Forming Solutions SA.

SIMILAR A
SIMILAR TO

FOLHAS SHEET
1/1



ALTERAÇÕES / CHANGES		DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN	ALTERAÇÕES / CHANGES		DATA / DATE	RÚBRICA / SIGN



ESCALA: 1:2

S235JR		MASSA: 5,7 kg Mass		25	
CHAPA ESP 20		TRAT. TERM. / DUREZA HEAT TREATMENT / HARDNESS		COR COLOUR	
MATERIAL MATERIAL		DES. Nº DWG NR		ACABAMENTO SURFACE FINISH	
PROJECTOU DESIGNED BY	DATA DATE	RÚBRICA SIGN	cutelopeqeno		
DESENHOU DRAWN BY	28/05/2022	dbcosta			
APROVOU APPROVED BY		dbcosta			
			Nº ARTIGO ITEM NR		VERSÃO REVISION
Este documento contém informação propriedade da ADIRA Metal Forming Solutions SA que não pode ser reproduzida, divulgada ou utilizada para fins de fabricação sem a autorização escrita da ADIRA Metal Forming Solutions SA. This document contains proprietary information of ADIRA Metal Forming Solutions SA that cannot be reproduced, disclosed to others or used for manufacturing purposes without written permission from ADIRA Metal Forming Solutions SA.			SIMILAR A SIMILAR TO		FOLHAS SHEET 1/1

