



DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ACIONAMENTO DE UMA PRENSA COM RECURSO AO CONCEITO INDÚSTRIA 4.0

PAULO FILIPE MAIA PINTO

outubro de 2023

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ACIONAMENTO DE UMA PRENSA COM RECURSO AO CONCEITO DA INDÚSTRIA 4.0

Paulo Filipe Maia Pinto, 1141085

Gestão Industrial

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMA DE ACIONAMENTO DE UMA PRENSA COM RECURSO AO CONCEITO DA INDÚSTRIA 4.0

Paulo Filipe Maia Pinto

1141085

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor Adriano Manuel de Almeida Santos e coorientação do Doutor António José de Sousa Ferreira da Silva

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Destaco aqui e agradeço a todos que contribuíram de diferentes formas no desenvolvimento da dissertação.

Ao meu orientador, Professor Adriano Santos e ao meu coorientador, Professor António José de Sousa Ferreira da Silva, pelo excelente acompanhamento, interesse e exigência permanente neste projeto, pelas suas visões críticas e oportunas, que no seu todo contribuíram para enriquecer este trabalho.

À HYDAC pelos contributos que me deram, pela elevada competência e pela confiança que depositaram em mim e sem os quais este projeto não teria sido possível.

Também quero agradecer aos meus amigos e colegas, pela força, incentivo e companheirismo, fundamental para a minha motivação e bem-estar.

Agradeço também aos professores, que me inspiraram a persistir mesmo nas dificuldades, me incentivaram a adquirir novos conhecimentos e me deram valiosas lições. Reconheço também a ajuda de todos os que trabalharam para tornar esse caminho possível.

À minha família, só vos posso estar eternamente grato pela paciência e por me apoiarem em mais um percurso que é a conclusão da minha formação!

página propositadamente em branco

RESUMO

Devido à complexidade associada à fabricação de peças com o objetivo de aumentar a eficiência, quer produtiva quer energética, de forma a evitar paragens desnecessárias, baixar custos e manter a qualidade, cada vez mais o equipamento industrial de fabrico assume um papel com uma importância muito elevada. Esta complexidade tem um impacto muito grande no desenvolvimento de um equipamento, pelo que fará todo o sentido a integração da Indústria 4.0 nestes equipamentos. A Indústria 4.0 é a tendência atual de automação e de troca de grandes quantidades de dados em tecnologia de fabrico. Esta tecnologia inclui sistemas cyber-físicos, computação em nuvens e internet das coisas (IoT). A Indústria 4.0 proporciona uma nova e melhorada forma de organizar e controlar toda a cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos. Estes sistemas, destinam-se a acomodar as exigências constantes e únicas dos clientes, bem como gerar novas ideias para os produtos e como são desenvolvidos e fabricados, garantindo que o produto é entregue em conformidade ao cliente. O desenvolvimento desta Dissertação tem por origem a solicitação de dimensionamento de um sistema de acionamento hidráulico para uma prensa, de acordo com o caderno de encargos do cliente. Esta solicitação, dirigida à HYDAC (fabricante de sistemas de acionamento), visa a melhoria do sistema utilizado atualmente, a reconfiguração (*retrofitting*) focada na eficiência energética e a integração de sistemas de monitorização e de controlo de acordo com o conceito Indústria 4.0.

PALAVRAS-CHAVE

Eficiência energética; Equipamentos; Implementação de sistemas; Indústria 4.0; Prensa; Sistema hidráulico.

página propositadamente em branco

ABSTRACT

Due to the complexity associated with the manufacturing of parts aimed at increasing efficiency, both in terms of productivity and energy, to avoid unnecessary downtime, reduce costs, and maintain quality, industrial manufacturing equipment is increasingly assuming a role of very high importance. This complexity has a significant impact on the development of equipment, making the integration of Industry 4.0 into these systems increasingly meaningful. Industry 4.0 is the current trend in automation and the exchange of large amounts of data in manufacturing technology. This technology includes cyber-physical systems, cloud computing, and the Internet of Things (IoT). Industry 4.0 provides a new and improved way to organize and control the entire value chain throughout the product life cycle. These systems are designed to accommodate the constant and unique demands of customers, as well as generate new ideas for product development and manufacturing, ensuring that the product is delivered in accordance with customer requirements. The development of this Dissertation has its origin on the request to design a hydraulic drive system for a press, in accordance with the customers specifications. This request, addressed to HYDAC (a manufacturer of drive systems), aims to improve the currently used system, retrofitting with a focus on energy efficiency, and integrating monitoring and control systems in accordance with the industry 4.0 concept.

KEYWORDS

Energy efficiency; Equipment; System implementation; Industry 4.0; Press; Hydraulic system.

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XIII
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XV
1. INTRODUÇÃO	19
1.1. Contextualização	19
1.2. Objetivos	19
1.3. Metodologia	19
1.4. Estrutura do relatório.....	20
1.5. Local/Empresa	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1. Projeto de máquinas industriais.....	22
2.1.1. Caracterização geral dos equipamentos industriais e sua Importância	22
2.1.2. Tipos de acionamentos comuns.....	23
2.1.3. Considerações de projeto	25
2.1.4. Normalização aplicável.	26
2.2. Indústria 4.0.....	27
2.2.1. O que é a Indústria 4.0?	29
2.2.2. O que pode ser alcançado com a Indústria 4.0?	30
2.3. Pilares da Indústria 4.0.....	30
2.3.1. Gestão de dados (BIG DATA).....	31
2.3.2. Internet das coisas (IoT).....	32
2.3.3. Sistemas integrados	33
2.3.4. Robôs autônomos	33
2.3.5. Simulação / Digital Twin.....	33
2.3.6. Nuvem (Cloud Computing).....	34
2.3.7. Realidade Aumentada (RA)	34
2.3.8. Cyber segurança.....	35
2.3.9. Manufatura Aditiva / Additive Manufacturing	36
2.4. Estudos e aplicações com recurso à Indústria 4.0.....	38
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	39
3.1. História da hidráulica.....	39
3.2. Principais características a definir	40
3.2.1. Objetivos pretendidos.....	41
3.2.2. Óleo-hidráulica e suas divisões	41
3.3. Unidades hidráulicas e circuitos hidráulicos	44
3.3.1. Vantagens e desvantagens da hidráulica.....	45
3.4. Definições importantes	46

3.5. Dimensionamento e características	47
3.5.1. Dimensionamento do atuador hidráulico.....	47
3.5.2. Caudal do sistema e tipo de bombas	51
3.5.3. Válvulas (direcionais, pressão, caudal)	55
3.5.4. Dimensionamento de tubagem e mangueiras.....	63
3.5.5. Dimensionamento do depósito	69
3.5.6. Permutador de calor	71
3.5.7. Filtragem do sistema e nível de contaminação	78
3.6. Norma ISO 4406:1999	85
3.7. Diretiva Europeia 2006/42/EG	91
3.8. Norma DIN EN ISO 13849 e DIN EN ISO 16093-3	92
3.9. Sensores IO-Link	96
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	98
4.1. Conformidade com a norma DIN EN ISO 16092-3	98
4.1.1. Exemplo1: Cilindro diferencial	101
4.1.2. Exemplo 2: Cilindro diferencial, função de retenção de pressão	106
4.1.3. Exemplo 3: Avanço rápido por gravidade, deteção de carga, ajuste da ferramenta com PLd e válvula direcional proporcional	109
4.2. Desempenho Operacional.....	112
4.3. Considerações finais.....	113
5. CONCLUSÃO	114
5.1. Conclusões finais	114
5.2. Limitações e trabalhos futuros.....	114
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	117

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – HYDAC Alemanha [3]	20
Figura 2 – Exemplos de produtos fabricados na HYDAC Alemanha [3]	21
Figura 3 – HYDAC Tecnologia Lda., Portugal “Imagem do autor”	21
Figura 4 – Máquinas de Prensagem e Conformação [3]	22
Figura 5 – Atividades básicas de um projeto mecânico (elaborado com base em [12])	25
Figura 6 – Responsabilidade do fabricante ao nível da (CE) no desenvolvimento de uma máquina [14]	26
Figura 7 – Estrutura de normas para máquinas (elaborador com base em [14])	27
Figura 8 – A Evolução desde a 1ª Revolução Industrial até à 4ª Revolução Industrial [15].....	28
Figura 9 – As quatro revoluções industriais [16].....	28
Figura 10 – Informações tratadas nas máquinas ferramentas [16]	29
Figura 11 – Pilares da Indústria 4.0 [21].....	31
Figura 12 – Primeira abordagem á Indústria 4.0 [3]	32
Figura 13 – Utilização Óculos Realidade Virtual [26]	35
Figura 14 – Utilização Smart Phone Android [26]	35
Figura 15 – Caracterização de Segurança Aumentada (Cybersecurity) [27]	36
Figura 16 - Visão geral dos materiais de pesquisa atuais para MA na próxima era [28]	37
Figura 17 - Esquema de fábricas inteligentes com propriedades gerais exigidas na Indústria 4.0. [28]	37
Figura 18 – Prensa hidráulica [36].....	41
Figura 19 – Atuador hidráulico (cilindro) para abertura de comporta [37]	42
Figura 20 – Escavadora hidráulica [38]	42
Figura 21 – Gruas [39]	43
Figura 22 – Sistema de teste de um trem de aterragem [40]	43
Figura 23 – Elevador hidráulico [41]	44
Figura 24 – Modelo esquemático e simbólico de um circuito hidráulico [42].....	44
Figura 25 – Unidade Hidráulica (UH) [3]	45
Figura 26 – A lei do escoamento volumétrico [35]	47
Figura 27 – Vista geral dos cilindros hidráulicos [35].....	48
Figura 28 – Exemplos de cargas de Euler [42].....	50
Figura 29 – Possíveis layouts de cilindros para prensas [3]	50
Figura 30 – Vista geral das bombas hidráulicas (hidrostáticas) [35].....	53
Além da classificação da função das válvulas (Figura 31), elas também são classificadas por tamanho, números de vias e para as válvulas direcionais também o número de posições.....	55
Figura 32 – Vista geral das válvulas hidráulicas [35]	55
Figura 33 – Vista geral das válvulas direcionais [35].....	56
Num sistema hidráulico, as válvulas direcionais (Figura 34) são usadas para orientar o fluxo. Orientar significa que posso "parar" e "iniciar" o caudal, bem como "direcioná-la" [35]. Em geral, as válvulas direcionais podem ser divididas em dois tipos, válvulas direcionais de êmbolo ou válvulas direcionais de cartucho (ver Figura 33).....	56
Figura 35 – Vista geral das válvulas de pressão [35]	57
Figura 36 – Válvula limitadora de pressão e sua simbologia [35].....	57

Figura 37 – Exemplo de um circuito com válvula contrabalanço “válvula sequencial” [35]	58
Figura 38 – Válvulas de controlo de caudal [35]	59
De forma a obter diferentes velocidades de avanço e recuo num cilindro hidráulico é necessário diminuir o caudal na linha de utilização do cilindro. Esse tipo de controlo é obtido por meio de uma válvula de controlo de caudal [42] (Figura 39). Uma válvula de controlo de caudal, Figura 40, possui um funcionamento bastante simples, com uma entrada e uma saída e um limitador do tamanho do orifício de passagem de óleo. As válvulas de agulha, são válvulas de controlo de caudal ativadas manualmente para influenciar a taxa de fluxo, por meio de um estrangulamento ajustável da secção transversal usando um fuso de aceleração.	59
Figura 40 – Válvula reguladora de caudal bidirecional [35]	60
Figura 41 – Elemento lógico [35].....	61
Figura 42 – Exemplo de um circuito de uma válvula direcional 4/3 c/ elementos lógicos [35]	61
Figura 43 – Elemento lógico executando a função de uma válvula direcional 2/2 c/ retenção [35]	62
Figura 44 – Tabela de perda de carga de uma válvula centro E [35]	62
Figura 45 – Nomograma para calculo do diâmetro interno de tubagens [42]	64
Figura 46 – Montagem correta e incorreta de tubagem [42]	65
Figura 47 – Nomograma para calculo do diâmetro interno de mangueiras [42]	66
Figura 48 – Montagem correta e incorreta de mangueira flexível [42].....	67
Figura 49 – Diagrama de Moody’s [42]	69
Figura 50 – Depósito prismático com dimensões (3L; 2L; L) [42]	71
Este tipo de permutador também pode ser chamado de radiador, geralmente são utilizados quando não existe água disponível, ou a unidade hidráulica é movel, como no caso de máquinas móveis, Figura 51.....	72
Figura 52 – Permutador ar/óleo [3]	72
Figura 53 – Gráfico troca térmica x caudal [3]	73
Figura 54 – Permutador tubular [44]	75
Figura 55 – Permutador placas soldadas [3]	75
Figura 56 – Permutador placas soldadas c/vista em corte [3].....	76
Figura 57 – Permutador placas c/ juntas [3]	76
Figura 58 – Sistema de refrigeração instalado na linha de retorno [3].....	77
Figura 59 – Sistema de refrigeração off-line [3].....	77
Figura 60 – Causas de contaminação [3].....	78
Figura 61 – Comparação/Visualização de tamanhos [3].....	79
Figura 62 – Composição do elemento filtrante [3]	79
Figura 63 – Diferencial de pressão [3].....	80
Figura 64 – Instalação do filtro de aspiração [3]	80
Figura 65 – Instalação do filtro de pressão [3].....	82
Figura 66 – Instalação do filtro de retorno [3]	83
Figura 67 – Instalação do filtro off-line [3].....	84
Figura 68 – Instalação do filtro de ar [3]	85
Figura 69 – Tabela para selecção de niveis de pureza ISO e malha de filtragem [3]	86
Figura 70 – Classificação de níveis de pureza conforme ISO 4406:1999 [3]	87
Figura 71 – Perdas de carga inicial recomendada para filtros limpos [3]	87
Figura 72 – Indicador de colmatagem visual [3]	88
Figura 73 – Indicador de colmatagem elétrico [3]	88

Figura 74 – Filtro em corte [3].....	88
Figura 75 – Exemplo de cálculo de perda de pressão inicial para um elemento de retorno, de 10 µm, com coeficiente de gradiente =4.0 [3]	89
Figura 76 – Sensor MCS [3]	90
Figura 77 – Esquema hidráulico FMM [3]	90
Figura 78 – Modulo monitorização FMM [3]	91
Figura 79 – Bloco de segurança PSBH [3].....	92
Figura 80 – Normas Harmonizadas na União Europeia “Sistema Planetário” [3].....	93
Figura 81 – Esquema simplificado de níveis de desempenho [3]	95
Figura 82 – Esquema de comunicação de recolha e tratamento de dados [3].....	97
Figura 83 – Verificação/recolha de dados “Imagem do autor”.....	97
Figura 84 – Bloco PSBH [3]	98
Figura 85 – Unidade Hidraulica UH [Imagem do autor].....	99
Figura 86 – Identificação de válvulas principais do bloco PSBH (1) [3].....	99
Figura 87 – Identificação de válvulas principais do bloco PSBH (2) [3].....	100
Figura 88 – Bloco PSBH e identificação das subplacas [3]	100
Figura 89 – Exemplo circuito hidráulico 1 [3].....	101
Figura 90 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Repouso” [3]	102
Figura 91 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Prensar” [3]	103
Figura 92 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Descompressão” [3].....	104
Figura 93 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Retorno” [3]	105
Figura 94 – Gráfico acionamento “exemplo 1” “Imagem do autor”	105
Figura 95 – Exemplo circuito hidráulico 2 [3].....	106
Figura 96 - Gráfico de acionamento “exemplo 2” “Imagem do autor”	108
Figura 97 – Exemplo de circuito hidráulico 3 [3].....	109
Figura 98 – Gráfico acionamento “exemplo 3” “Imagem do autor”	112

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Vista Geral: Comparação de formas de transmissão de energia (elaborado com base [10])	24
Tabela 2 – Estudos de algumas aplicações com recurso à Indústria 4.0.....	38
Tabela 3 – Hidráulicos notáveis e suas principais contribuições [35].....	40
Tabela 4 – Comparação de bombas hidráulicas (hidrostáticas) e suas características [35]	54
Tabela 5 – Determinação do Coeficiente de Atrito da Tubagem [42]	69
Tabela 6 – Tabela determinação da classe da norma ISO 4406:1999 [3]	86

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

Δp	Diferencial de pressão (Perda de carga)
AS	Aqua Sensor
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CAPP	Computer-Aided Processing Planning
CIM	Computer Integrated Manufacturing
CNC	Computer Numerical Control
CS	Contamination Sensor
FMM	Fluid Monitoring Module
FMSs	Flexible Manufacturing Systems
I4.0	Indústria 4.0
IoT	Internet of Things
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
MA	Manufatura Aditiva
MCS	Metalic Contamination Sensor
P.Porto	Instituto Politécnico do Porto
PL	Performance Level
PSBH	Pressensteuerblock hydraulisch (Bloco de controlo da prensa hidráulica)
QFD	Quality Function Deployment
RA	Realidade Aumentada
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
TN	Tamanho Nominal
UH	Unidade Hidráulica

Lista de unidades

$^{\circ}\text{C}$	Graus celsius
bar	Bar
cm	Centímetro
cm^2	Centímetro quadrado
cm^3/rot	Centímetro cúbico por rotação
daN	Decanewton
kg/dm^3	Quilograma por decímetro cúbico
kg/l	Quilograma por litro
kg/m^3	Quilograma por metro cúbico
kgf	Quilograma-força

kJ/kgK	Kilojoule por quilograma kelvin
kW	Kilowatt
kW/K	Kilowatt por kelvin
l	Litro
l/min	Litro por minuto
m	Metro
m/s	Metro por segundo
m ² /s	Metro ao quadrado por segundo
m ³ /s	Metro cúbico por segundo
min	Minuto
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
MPa	Megapascal
N	Newton
Pa	Pascal
Pa·s	Pascal segundo
rpm	Rotação por minuto
s	Segundo

Lista de Símbolos

ΔP	Perda de pressão	bar
μ	Viscosidade dinâmica	Pa·s
A	Área	cm ²
A _{êmbolo}	Área do êmbolo	mm ²
C	Cilindrada	cm ³ /rot
CP _{Oil}	Capacidade de calor específico para o óleo mineral	kJ/kgK
D	Diâmetro do atuado	cm
d	Diâmetro interno do tubo	mm
D _h	Diâmetro mínimo da haste	mm
D _{it}	Diâmetro interno	m
E	Módulo de elasticidade do aço	MPa
F	Força	N
F _a	Força de avanço	kgf
F _k	Força de avanço	N
h	Curso do cilindro	mm
L	Comprimento total da linha	m
L _k	Comprimento livre de deformação	mm
n	Rotação do motor	rpm
p	Pressão	bar

P_{01}	Capacidade de refrigeração específica	kW/K
P_{hidr}	Potência hidráulica necessária	kW
P_{tb}	Pressão de trabalho	bar
P_V	Dissipação necessária, capacidade de refrigeração	kW
Q	Caudal no avanço/recuo, lento/rápido	l/min
Q_B	Caudal calculado da bomba	l/min
Q_{in}	Caudal induzido no avanço	l/min
Q_{max}	Caudal máximo do sistema	l/min
Q_{out}	Caudal induzido no retorno	l/min
R_{bomba}	Rotação da bomba	rpm
Re	Número de Reynolds	adimensional
$r_{\text{êmbolo}}$	raio do êmbolo	mm
r_{haste}	raio da haste	mm
S	Coefficiente de segurança	adimensional
T	Tempo de avanço/recuo	s
t	Tempo de operação	min
T_1	Temperatura do óleo necessária	°C
T_2	Temperatura ambiente do ar	°C
T_{av}	Tempo de avanço	s
T_{re}	Tempo de retorno	s
V	Volume consumido	l
v	Velocidade média do fluido	m/s
ν	Viscosidade cinemática	m ² /s
V_{av}	Volume de óleo para o avanço do cilindro	l
$V_{\text{avanço}}$	Volume de óleo no avanço	l
V_{dep}	Volume do depósito	l
V_g	Volume de deslocamento	cm ³ /rot
v_{rec}	Velocidade do fluxo recomendado na linha	m/s
V_{ret}	Volume de óleo para o retorno do cilindro	l
V_{retorno}	Volume de óleo no retorno	l
δ_{oil}	Densidade para o óleo mineral	kg/l
ΔT	Aumento de temperatura no sistema	°C
λ	Fator de atrito	adimensional
ρ	Densidade	kg/m ³
η_{at}	Perdas de atrito	adimensional
η_{vol}	Rendimento volumétrico	adimensional

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia tem impulsionado uma revolução na indústria, conhecida como a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0. Este movimento tem transformado completamente os processos industriais em todo o mundo, apresentando grandes inovações que afetam a forma como as empresas fabricam, automatizam e gerenciam suas operações. Nesse contexto, o acionamento hidráulico, um dos pilares fundamentais de muitos processos industriais, também passou por uma transformação profunda.

1.1. Contextualização

Atualmente uma grande parte da indústria já está acostumada e preparada para a quarta revolução industrial, chamada de Indústria 4.0. Devido à exigência e à competitividade atual do mercado, as empresas começaram por apostar na automatização dos processos, na globalização e na produção em massa, onde o trabalho manual cada vez mais passa a ser efetuado por máquinas ou por novas tecnologias.

Este paradigma da quarta revolução está a ser muito requisitado pelas empresas, embora ainda exista muito trabalho manual que depende do operador. Contudo, a possibilidade de se reduzir tempos de fabrico e melhorar a qualidade do produto é uma ideia que é muito bem vista no mercado.

A utilização de sistemas de acionamento hidráulico em prensas continua a ser o mais utilizado, devido essencialmente à sua precisão e controlo. Surgiram entretanto novos acionamentos tendo por base os sistemas elétricos e híbridos, mas ainda com muitas limitações. Contudo, o acionamento hidráulico devido à sua longa história, desenvolvimento avançado, preços de fabricação, força e precisão, entre outros, mantém uma grande presença no acionamento das prensas.

1.2. Objetivos

A realização deste trabalho tem por base o projeto/fabrico de um sistema hidráulico para uma prensa, projetado de acordo com as normas de segurança DIN EN ISO 16093-3 [1], onde o sistema de controlo hidráulico corresponde ao nível de desempenho PL (Performance Level), de acordo com DIN EN ISO 13849 [2], de forma a aumentar o nível de segurança das máquinas e com recurso à Indústria 4.0 (I4.0), para ser possível ter um controlo mais preciso, aumentar a eficiência energética e evitar paragens desnecessárias. Estas paragens desnecessárias irão ser controladas através do sistema de monitorização (sensores), que serão implementados no acionamento hidráulico de forma a ser possível prever avarias (Manutenção Preditiva).

1.3. Metodologia

De forma a cumprir com os objetivos que foram estabelecidos, irá ser utilizado o bloco PSBH (a sigla advém da palavra alemã *Pressensteuerblock hydraulisch* que significa Bloco de controlo da prensa hidráulica), que foi projetado de acordo com as normas DIN EN ISO 16093-3.

1.4. Estrutura do relatório

A estrutura deste relatório é composta por cinco capítulos, os três primeiros capítulos considerados os principais e mais dois finais, apresentação de resultados e conclusões.

No 1º capítulo é apresentado o enquadramento do trabalho que irá ser realizado, os objetivos gerais, a metodologia utilizada, a estrutura do relatório e o local/empresa onde irá ser realizado o projeto.

No 2º capítulo é descrita uma revisão bibliográfica com foco gradual no tema da dissertação. No início é apresentado o tema máquinas industriais, apresentando-se igualmente o projeto de acionamento da prensa com recurso à Indústria 4.0.

No 3º capítulo foram explorados os fundamentos da hidráulica e sua evolução ao longo da história, onde são descritas todas as vantagens e desvantagens da mesma. No dimensionamento e nas características dos acionamentos hidráulicos são levados em consideração fatores como, potência, caudal, pressão e eficiência energética. Além disso, são abordadas normas importantes como, ISO 4406:1999, e de forma a garantir a segurança e funcionamento dos sistemas e são analisadas a Diretiva Europeia 2006/42/EG, e as normas DIN ISO 13849 e ISO 16093-3. No final do capítulo menciono os sensores IO-Link, que desempenham um papel essencial na monitorização e no controlo de sistemas hidráulicos.

1.5. Local/Empresa

O desenvolvimento deste projeto consiste num trabalho prático, realizado em contexto de estágio, na empresa onde trabalho, HYDAC Internacional Lda., localizada na Maia, Porto, Portugal.

A HYDAC é um grupo empresarial com quase 60 anos de existência, foi fundada em Saarland na Alemanha, em 1963 como “Gesellschaft für Hydraulikzubehör” (Empresa de Acessórios Hidráulicos) e gerida como uma empresa familiar (Figura 1). A HYDAC conta atualmente com 50 empresas na Alemanha, cerca de 500 parceiros de serviços e vendas em todo o mundo, 14 linhas de produtos (Figura 2) e mais de 9.500 colaboradores. Só na Alemanha, mais de 900 dos engenheiros são da área dos fluidos, onde constantemente trabalham para criar soluções energeticamente eficientes, fiáveis e de baixo desperdício. Os pedidos de patentes são o testemunho de sentimento que a empresa tem de inovação [3].



Figura 1 – HYDAC Alemanha [3]



Figura 2 – Exemplos de produtos fabricados na HYDAC Alemanha [3]

Em Portugal, a empresa está presente desde 2017, com sede na Maia (Porto) (Figura 3), a competência da HYDAC vai além do conhecimento da hidráulica, sistemas e engenharia de fluidos. É uma empresa comprometida com soluções completas intersectoriais, sustentáveis e acima de tudo, muito voltada para o cliente. Não é uma empresa teórica, tem uma compreensão abrangente da indústria, onde desenvolve sistemas que resistem ao teste do tempo, sistemas esses que serão comprovados hoje e no futuro.



Figura 3 – HYDAC Tecnologia Lda., Portugal “Imagem do autor”

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Projeto de máquinas industriais

2.1.1. Caracterização geral dos equipamentos industriais e sua Importância

A indústria proporciona-nos bens de consumo e mercadorias de qualidade, ela alcança diversos setores que acolhem várias necessidades. Para que seja possível considerar todas essas necessidades e sempre com muita qualidade, a indústria utiliza diversos equipamentos, tanto para produção como para outras aplicações, no entanto, muitas pessoas não fazem ideia quais os tipos de equipamentos existentes e para que eles servem.

Ao longo de qualquer linha de produção os equipamentos industriais estão presentes nos setores mais diversificados de produção, como:

- Indústria automóvel;
- Indústria alimentar;
- Indústria da pasta e do papel;
- Indústria metalúrgica;
- Indústria energética.

Todos os equipamentos industriais têm uma grande importância, porque conseguem aligeirar o processo de produção, garantindo mais qualidade ao que é criado e tornando o dia a dia de trabalho mais seguro. Estes, conseguem realizar atividades impossíveis ou perigosas para o homem, entre muitos outros benefícios, enquadrados numa linha de montagem, modelo conhecido por fabricação em série ou seja, uma sequência de ações específicas e repetitivas que são realizadas de forma contínua [3].

Na Figura 4 é possível visualizar equipamentos industriais para prensagem e conformação.



Figura 4 – Máquinas de Prensagem e Conformação [3]

Uma máquina pode ser caracterizada de variadas formas segundo a Diretiva 2006/42/CE (Diretiva Máquina [4]), sendo uma das definições mais comuns e cito “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” [4].

2.1.2. Tipos de acionamentos comuns

Um equipamento industrial, está determinado a ser munido com um sistema de acionamento, com capacidade para efetuar a força necessária à realização do seu processo. Os acionamentos possíveis de serem aplicados aos equipamentos industriais, permitem efetuar uma sequência de acontecimentos, de forma a simplificar o processo e otimizar tempos e cadências.

Os tipos de acionamentos mais comuns, são:

- Mecânico;
- Hidráulico;
- Pneumático;
- Elétrico ou eletrônico.

A seleção do tipo de acionamento que se deve utilizar, é imposta pela função a realizar, força pretendida, precisão, disponibilidade da fonte de energia, custo, entre outros fatores [5]. As características de desempenho são estimadas a partir de dados dos fabricantes e de modelos simples de limitação de desempenho, como geração de calor e ressonância [6].

- Acionamento mecânico.

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

- Acionamento hidráulico.

O acionamento hidráulico é baseado na obtenção de movimentos, utilizando um fluído sob pressão, geralmente óleo que representa o meio pela qual a potência é transmitida. Os movimentos resultantes de uma aplicação hidráulica, podem ser alcançados por atuadores (lineares ou rotativos), mais concretamente por cilindros ou motores hidráulicos e atuadores angulares.

- Acionamento pneumático.

O acionamento pneumático é baseado na obtenção de movimentos através de ar comprimido. 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]. Aplica-se a pneumática em diversas atividades, nomeadamente em aplicações industriais. Nos dias de hoje, a maioria das unidades industriais possuem um sistema de distribuição de ar comprimido, instalado devido à sua fácil manutenção, segurança e aplicabilidade em distintos processos [8].

- Acionamento elétrico.

Geralmente o motor elétrico é o equipamento que constitui este tipo de acionamento, transforma energia elétrica em mecânica, por sua vez a energia mecânica é transmitida em movimentos rotativos, através de um veio para acionar um equipamento, como por exemplo, uma bomba hidráulica, ou então, através de um acionamento mecânico o movimento rotativo é transformado num movimento linear, onde permite flexibilidade nos projetos [9].

Os sistemas elementares de acionamento referidos anteriormente, são amplamente utilizados de forma combinada, dando origem a acionamentos combinados ou híbridos.

- Eletromecânicos;
- Hidromecânicos;
- Hidroelétricos;
- Hidropneumáticos.

Na Tabela 1 é feita a comparação das formas de transmissão de energia.

Tabela 1 - Vista Geral: Comparação de formas de transmissão de energia (elaborado com base [10])

	Hidráulica	Pneumática	Sistemas elétricos	Sistemas mecânicos
Fonte de energia (drive)	Motores elétricos, motores de combustão, acumuladores hidráulicos	Motores elétricos, motores de combustão, depósito de pressão	Rede elétrica	Motores elétricos, Motores de combustão, Grandes forças,
Elementos de transmissão de energia	Tubagens e mangueiras	Tubagens e mangueiras	Cabos elétricos, campos magnéticos	Componentes mecânicos, alavancas, veios, etc.
Energia	Fluidos	Ar	Elétron	Corpos rígidos e elásticos
Densidade de força (Power density)	Alta pressão, grandes forças, volume de fabricação pequeno	Baixa pressão, pequenas forças, volume de fabricação médio	Forças pequenas (proporção, motor elétrico com motor hidráulico 1:10), volume de fabricação grande	Grande, alcance e distribuição das dimensões necessárias muitas vezes mais económicas do que hidráulicas
Controlo contínuo de dinâmica (aceleração e desaceleração)	Excelente, devido à pressão e caudal	Moderado, devido à pressão e caudal	Bom, devido ao controlo elétrico e regulação	Bom
Tipos de movimento (output)	Movimentos lineares e rotacionais possíveis através de cilindros e motores hidráulicos	Movimentos lineares e rotacionais possíveis através de cilindros e motores pneumáticos	Principalmente movimentos rotacionais, movimentos lineares	Movimentos lineares e rotacionais

2.1.3. 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 [11].

Conforme se pode verificar na Figura 5, as atividades essenciais à execução de um projeto mecânico envolvem os seguintes passos [12].



Figura 5 – Atividades básicas de um projeto mecânico (elaborado com base em [12])

De forma a ser possível a execução deste processo (figura acima) é necessário consultar e manipular um conjunto de informações [12].

- Analisar os produtos e soluções da concorrência;
- Ser criativo e antecipar os passos dos concorrentes;
- Respeitar e considerar a normalização inerente ao produto;
- Ter em conta as restrições tecnológicas associadas ao seu desenvolvimento e fabrico;
- Identificar os requisitos técnicos, legais e de homologação que o produto deve respeitar;
- 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 [12].

A nível organizacional existem diversas ferramentas que auxiliam e organizam de outra perspetiva toda a informação do projeto, como por exemplo da matriz *Quality Function Deployment* (QFD).

O QFD é, segundo [13] "um conceito geral que fornece um meio de traduzir os requisitos do cliente em requisitos técnicos apropriados para cada estágio de desenvolvimento e produção do produto (ou seja, estratégias de marketing, planeamento, design e engenharia do produto, avaliação de protótipo, desenvolvimento do processo, produção, vendas)". Desde o seu desenvolvimento inicial no Japão, no final da década de 1960 e início da década de 1970, especialmente desde sua rápida disseminação para os Estados Unidos na década de 1980 e posteriormente para muitas indústrias em muitos países, tem surgido uma vasta literatura sobre QFD [13].

Em relação aos cumprimentos de prazos e sequência de tarefas a realizar, o software Microsoft® Project, é uma ferramenta indispensável em qualquer tipo de projeto, uma vez que permite a previsão dos recursos necessários para o seu desenvolvimento, onde através do diagrama de *Gantt* torna-se simples a visualização e o entendimento de cada fase do projeto [12].

2.1.4. Normalização aplicável.

Qualquer equipamento ou máquina industrial que é desenvolvida/projetada na comunidade europeia deve obedecer, de acordo com a Diretiva Máquina 2006/42/CE, a determinadas condições de segurança que protejam os potenciais utilizadores de sofrerem possíveis acidentes. Ainda assim, existe outras diretivas obrigatórias em máquinas conforme a sua composição e área de utilização. Os equipamentos que obedeçam à referida diretiva, devem ser identificados, a mesma é colocada na sua estrutura num local bem visível, com a sigla representativa de Comunidade Europeia (CE) [4].

Durante o desenvolvimento/projeto e ensaios finais, antes da colocação do equipamento ao serviço no cliente, o fabricante tem a obrigação de efetuar os passos representados na Figura 6. Apesar de não ser obrigatória, a existência de normalização alusiva à segurança e construção das máquinas, é uma mais-valia para os fabricantes, uma vez que fornece as indicações e especificações técnicas para cumprir as condições impostas 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.

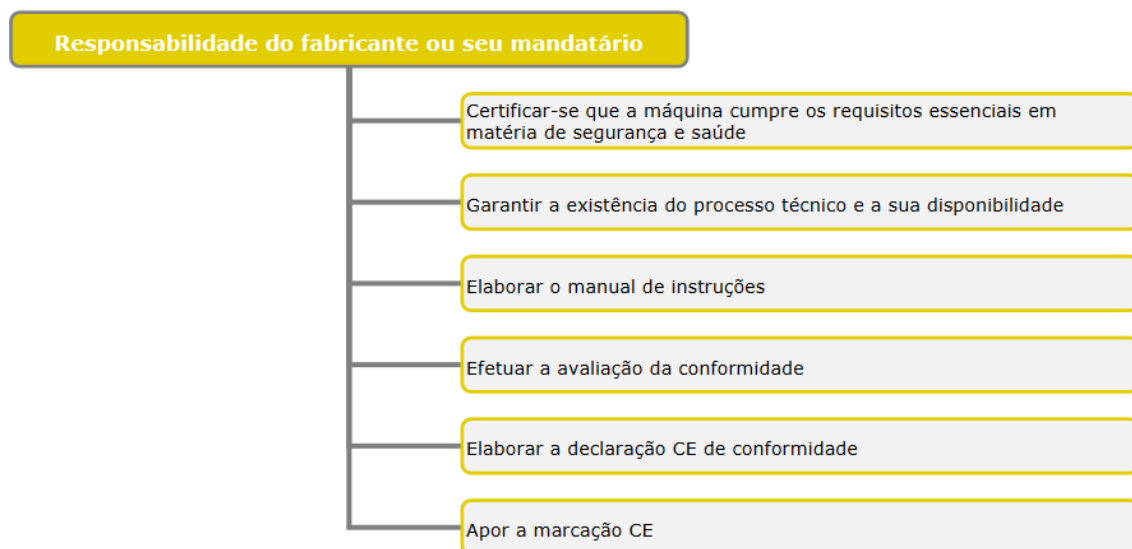


Figura 6 – Responsabilidade do fabricante ao nível da (CE) no desenvolvimento de uma máquina [14]

Na Figura 7, encontra-se apresentado e explicado o tipo de normas harmonizadas pelo Comité Europeu de Normalização, para segurança e construção de máquinas, bem como alguns exemplos.

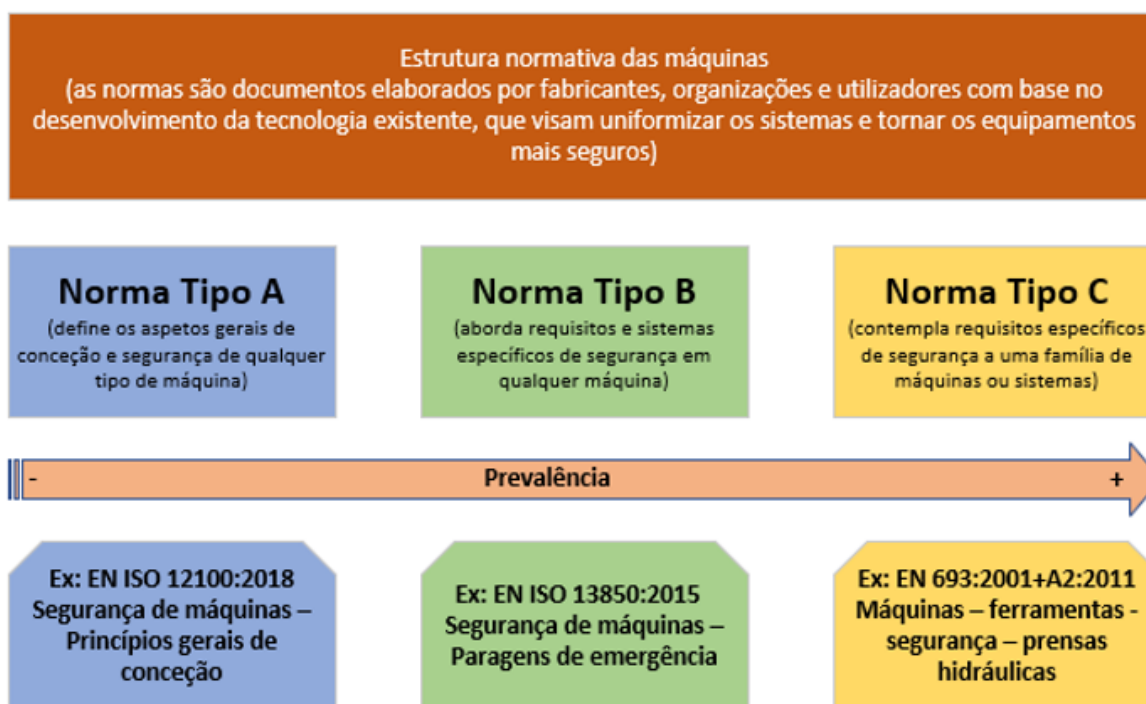


Figura 7 – Estrutura de normas para máquinas (elaborador com base em [14])

2.2. Indústria 4.0

O sector industrial ao longo do tempo passou por diversas evoluções. A criação de novas tecnologias e conforme estas se iam tornando economicamente praticáveis, foram sendo implementadas. Com a sua implementação foram aparecendo picos evolutivos na indústria, fazendo com que fosse possível aumentar o nível de produção e de qualidade e baixando os custos dos mesmos. Por este motivo foram distinguidos os 4 picos evolutivos até agora analisados, e chamaram-lhe as quatro “Revoluções Industriais”, Figura 8.

A Primeira Revolução Industrial começou no final do século XVIII e início do século XIX, e foi representada pela introdução de sistemas mecânicos de fabrico utilizando a energia da água e do vapor. A Segunda Revolução Industrial começou no final do século XIX, simbolizada pela produção em massa através do uso de energia elétrica. A Terceira Revolução Industrial começou em meados do século XX e introduziu a automação e a tecnologia microeletrónica na indústria transformadora. Estes progressos nas tecnologias de fabrico estavam intimamente relacionados com as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), Figura 9. Na Terceira Revolução Industrial, o avanço das TIC esteve no centro de todas as grandes mudanças do paradigma da fabricação. Por exemplo, a adoção generalizada de *Computer Numerical Control* (CNC) e robôs industriais tornou possíveis o surgimento dos *Flexible Manufacturing Systems* (FMSs), as tecnologias de *Computer-Aided Design* (CAD), *Computer-Aided Manufacturing* (CAM) e do *Computer-Aided Processing Planning* (CAPP) que tornaram possível o *Computer Integrated Manufacturing* (CIM) [15] (ver Figura 10).

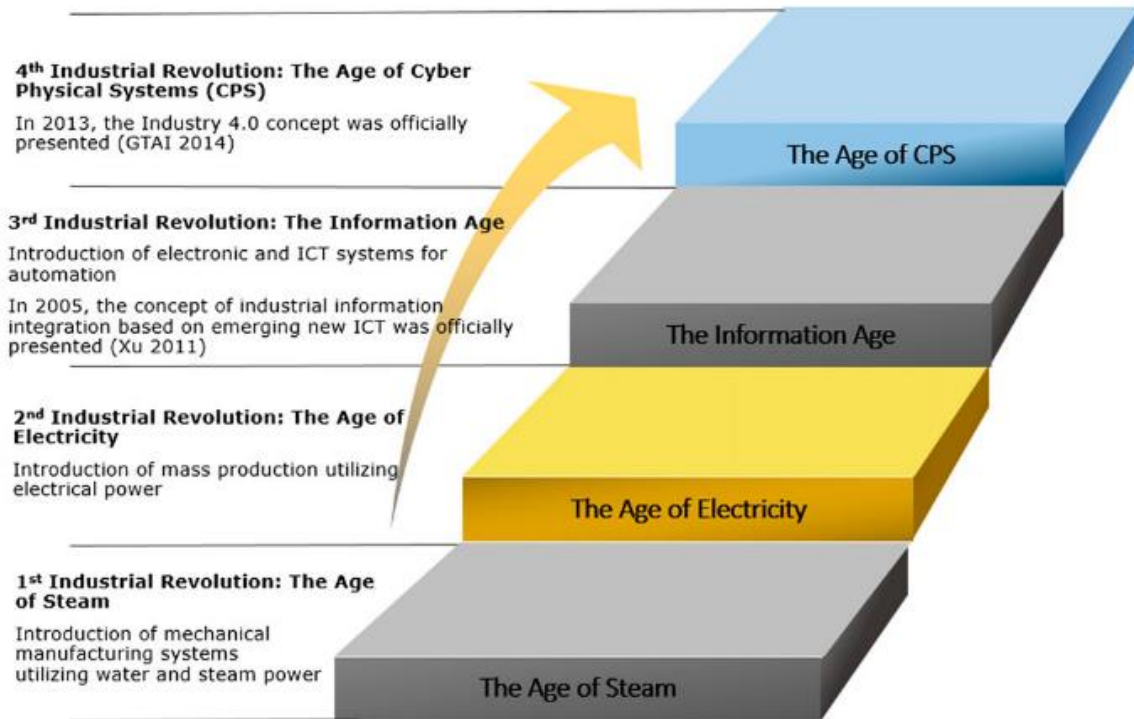


Figura 8 – A Evolução desde a 1ª Revolução Industrial até à 4ª Revolução Industrial [15]

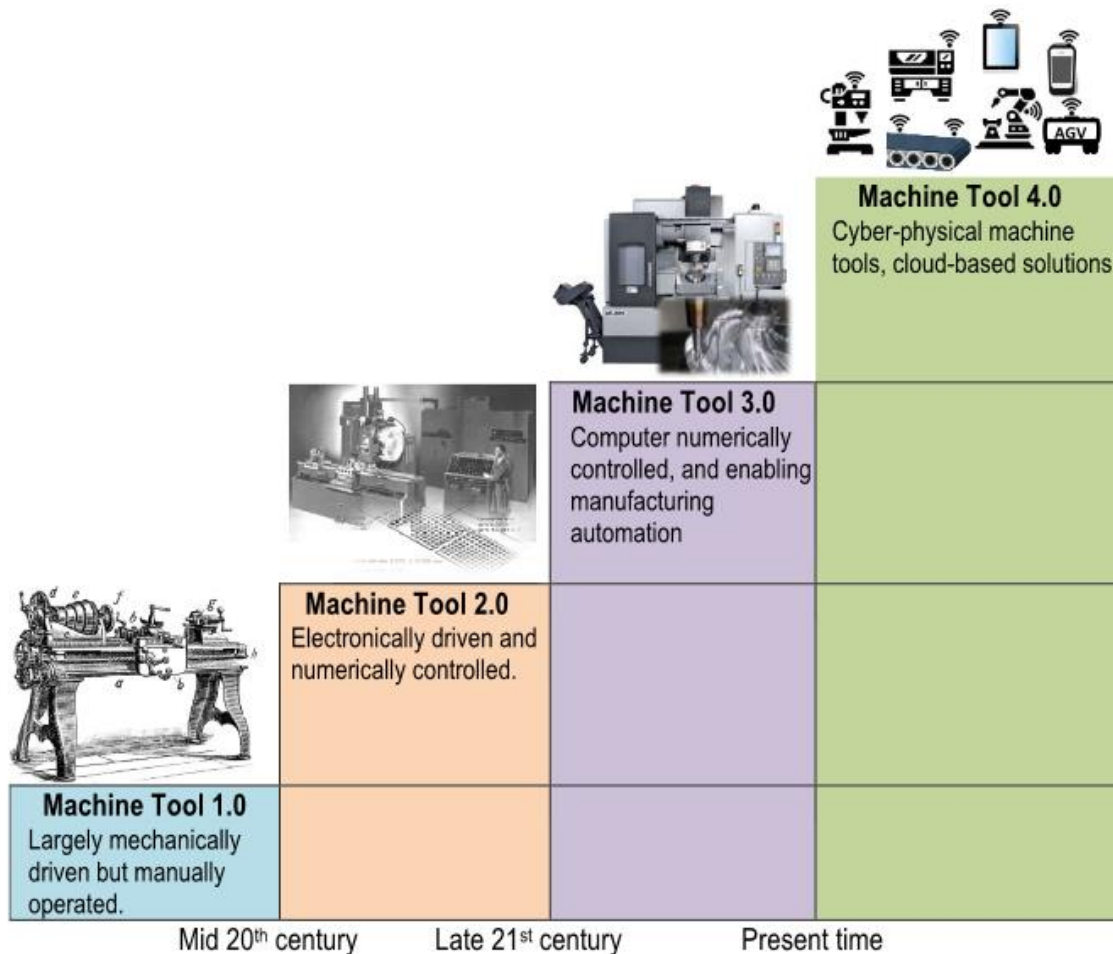


Figura 9 – As quatro revoluções industriais [16]

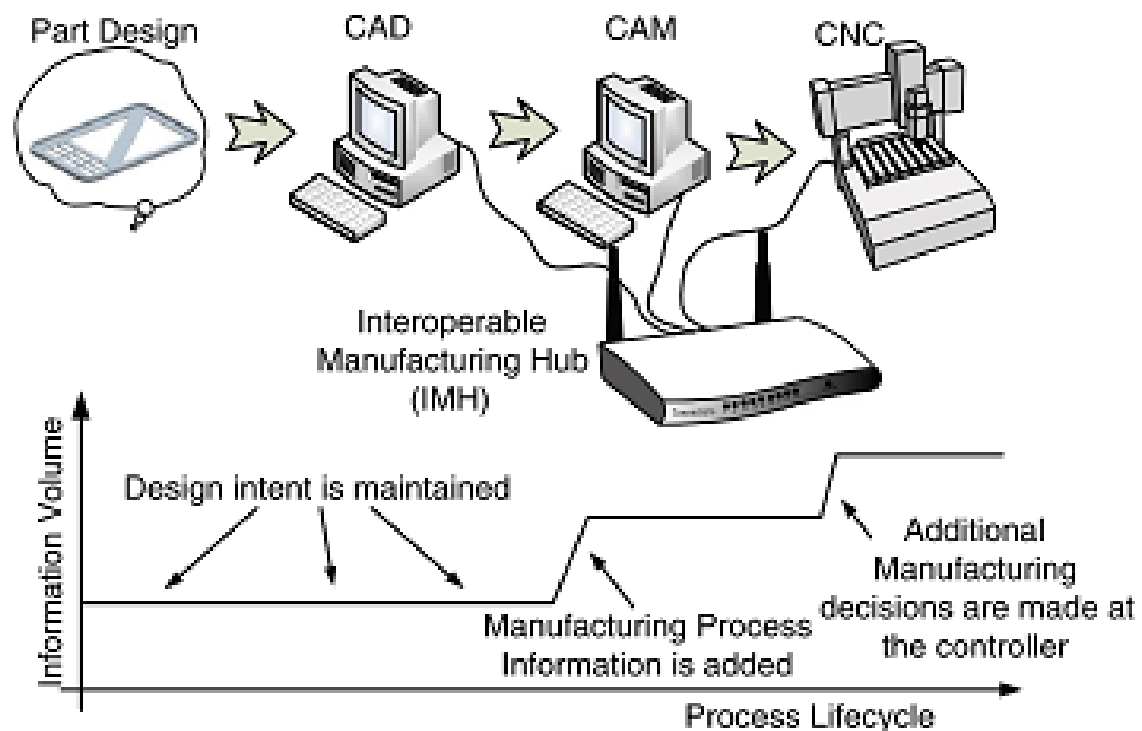


Figura 10 – Informações tratadas nas máquinas ferramentas [16]

Com a chegada da IoT (*Internet of Things*) e dos Serviços foi possível criar recursos e serviços em rede para todo o processo de fabrico, dando origem às Fábricas Inteligentes e às Fábricas do Futuro. O mundo entra na Quarta revolução Industrial, onde o fabrico e os sistemas de produção cyber-físicos desempenham um papel fundamental nesta quarta industrialização. Um sistema de produção cyber-físico, compreende normalmente máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e outras instalações de produção. Com os sistemas de produção cyber-físicos, a produção pode ser configurada de forma mais flexível e eficiente [16].

2.2.1. O que é a Indústria 4.0?

A Indústria 4.0 (também conhecida como I4.0) é a tendência atual da automação e da troca de grandes quantidades de dados em tecnologias de fabrico, onde se incluem sistemas cyber-físicos e computação em nuvens e internet das coisas.

É muitas vezes definida como a fusão das tecnologias de ponta de informação e de comunicação, com a indústria transformadora. Também pode ser definida como a “Internet das Coisas” e os serviços no setor industrial, mas talvez mais notoriamente, é considerada a Quarta Revolução Industrial, onde os métodos industriais e de fabrico convencionais estão a tornar-se progressivamente mais automatizados e digitalizados através do uso da tecnologia.

A Indústria 4.0, proporciona uma nova e melhorada forma de organizar e controlar toda a cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos. Este sistema destina-se a acomodar as exigências constantes e únicas dos clientes, bem como gerar novas ideias para os produtos, e a forma como são desenvolvidos e fabricados, garantindo que o produto é entregue ao cliente.

2.2.2. O que pode ser alcançado com a Indústria 4.0?

Com a Indústria 4.0 podem ser alcançadas, entre outras, as seguintes etapas:

- Digitalização e automatização mais abrangente das cadeias/redes de valor;
- Novos modelos de negócio e novas formas de valor acrescentado;
- Produção eficiente de produtos personalizados;
- Flexibilização;
- Nível mais elevado de eficiência no que diz respeito à produtividade e eficiência dos recursos físicos e humanos;
- Mais informação e melhor transparência que ajudarão a otimizar decisões e processos;
- Novo design para o trabalho.

2.3. Pilares da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é construída sobre 9 pilares tecnológicos conforme Figura 11, estes avanços fazem a ponte entre o mundo digital e físico e tornam possíveis sistemas autónomos e inteligentes. Este novo sistema, é executado por tecnologias de fabricação avançadas [17]. As cadeias de abastecimento e as empresas já estão a utilizar algumas destas tecnologias inovadoras, mas a conclusão completa da Indústria 4.0 surge na frente quando usada em conjunto.

Aplicações de Sistemas de Produção Inteligentes (SPI) nas empresas ou indústrias são significativas para a Indústria 4.0, na qual, as empresas da vida real podem beneficiar de tecnologias de ponta. Uma estrutura baseada em agentes para SPI será uma solução adequada para o problema de planeamento e programação da produção, uma vez que as empresas de produção podem envolver variados elementos, como planeamento e programação do processo de fabricação, monitorização e controlo da oficina e gestão de armazém, entre outros [18]. A implementação baseada em agentes, é capaz de definir fluxos de trabalho e seguir lógicas de produção para que a tomada de decisão relacionada a esses elementos possa ser efetivamente facilitada [19]. A automação em sistemas de produção, como por exemplo as tecnologias multiagentes, podem ser usadas para controlar robôs paralelos que são habilitados por uma arquitetura baseada em agentes, a fim de facilitar a implementação da produção inteligente [20]. Outra implementação da produção inteligente, são as soluções em nuvem; estas usam computação em nuvem para compartilhar ou circular recursos de fabricação. Várias plataformas de nuvem diferentes, serão estabelecidas para fazer pleno uso dos SPI para que as capacidades e recursos de fabricação possam fornecer serviços sob requerimento aos utilizadores finais. As principais pesquisas futuras, envolvem a modelagem de recursos de fabricação durante a era da Indústria 4.0, uma vez que recursos típicos com sensores avançados são equipados com inteligência e podem reagir, sentir e até “pensar” e analisar diferentes dados, requisitos ou situações de fabricação. A questão de como converter tais recursos em serviços e colocá-los em uma plataforma baseada em nuvem é desafiadora.

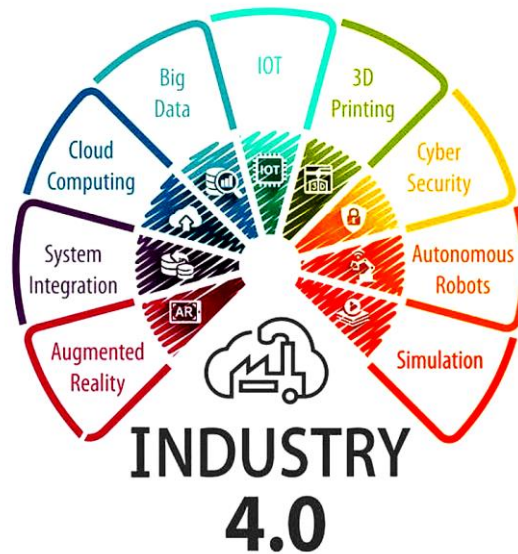


Figura 11 – Pilares da Indústria 4.0 [21]

2.3.1. Gestão de dados (BIG DATA)

BIG DATA é um termo que descreve um grande volume de dados, estruturados e desestruturados, que inundam um negócio no dia a dia, resumindo “coleta e análise de grandes conjuntos de dados de diferentes fontes, suportando decisões em tempo real” [17]. Mas não é a quantidade de dados que é importante, mas sim o que as organizações fazem com esses dados que importa. Os BIG DATA podem ser analisados para *insights* que levam a melhores decisões e movimentos estratégicos de negócio.

A importância dos BIG DATA, não gira em torno da quantidade de dados que têm, mas sim do que se faz com eles conforme Figura 12. Pode pegar-se nos dados de qualquer fonte e analisá-los para encontrar respostas que permitam reduções de custos, reduções de tempo, desenvolvimento de novos produtos, melhorar a integração do sistema, redução do tempo de inatividade, redução otimizada das ofertas de risco e tomadas de decisão mais inteligentes.

Ao combinar os BIG DATA com a análise de dados, é possível realizar tarefas relacionadas com o negócio, como:

- Determinar as causas de falhas, problemas e defeitos em tempo quase real.
- Recalcular carteiras de risco inteiras em minutos.
- Detetar comportamentos enganosos antes de afetarem a organização, isto é, medições e dados do mercado e conectividade Intra máquina, particularmente usado no pilar IoT [22].



Figura 12 – Primeira abordagem á Indústria 4.0 [3]

2.3.2. Internet das coisas (IoT)

Conhecida como “IoT” a internet das coisas (do inglês *Internet of Things*), é a tecnologia associada a sistemas que muitas vezes, detêm sensores que captam informações, conectando esses dados a uma rede com o objetivo de otimizar as operações. Basicamente é a conexão digital de sistemas quotidianos, com a capacidade de fazer a transferência através da internet desses dados de forma a simplificar as rotinas [23].

A IoT é demarcada pela utilização de inteligência reduzida e automação de sistemas para realização de processos de fabrico.

Essa tecnologia permite que as organizações executem cadeias mais suaves, modifiquem e projetem produtos rapidamente, fiquem por dentro das preferências do consumidor, evitem o tempo de inatividade do equipamento, rastreiem produtos e stocks e muito mais.

Assim é possível que os sistemas consigam detetar, agrupar, admitir e enviar informações únicas para outros sistemas, é uma das boas alternativas quando se trata de manutenção preditiva. Deste modo, aprimora-se a segurança e obtém-se em várias partes da operação, a eficácia pretendida. São dispositivos com computação embarcada que vão comunicar e interagir em tempo real [17].

2.3.3. Sistemas integrados

No futuro da indústria a padronização e inclusão serão palavras de ordem. Sempre que mencionamos a inclusão de sistemas, significa que estamos a ligar informação de diferentes departamentos em um meio centralizado, onde o principal objetivo é auxiliar na transferência de dados e ter acesso às informações, pesquisa e gestão. Assim os vários departamentos da empresa, ficam interligados, podendo compartilhar informação, aligeirando a rotina com o que é necessário ao executar requerimentos multidisciplinares, criando redes de integração de dados e também integração interna de funções cruzadas [17].

Incorporar a intervenção com software personalizado não será somente uma ajuda para o trabalho interno. Ajuda também na melhoria da inclusão com clientes e fornecedores, devido à possibilidade de compartilhar painéis de gestão externos, criando uma configuração, de forma a ter acesso às informações fundamentais para todos os envolvidos no processo.

2.3.4. Robôs autônomos

O uso de robôs na produção tem vindo a evoluir na sua utilização, aumentando a autonomia, flexibilidade e a interação de humanos e robôs. Robôs autônomos transferem matérias-primas, produtos semiacabados e acabados de maneira mais fácil, rápida e inteligente. Eles operam com base em um algoritmo lógico complexo, o que significa que não requerem nenhum caminho predefinido para realizar suas funções [17].

Esses robôs catalisam o processo de fabricação. A quantidade de tempo que pode ser obtido e o período que pode ser reduzida é igual à quantidade de tempo necessária para programar os robôs. Ao contrário da correia transportadora, eles são portáteis e a sua função pode ser variada [21].

2.3.5. Simulação / Digital Twin

Tecnologia que torna possível reproduzir o que se passa no mundo físico, reconstruída num ambiente virtual, significa que é utilizada para criar previsões à sua operação, ou à própria gestão.

Combinar os dados da vida real com os modelos de simulação no ambiente virtual, permite dar boas previsões com base nos dados. Isto aborda as oportunidades de utilização de simulação para sistemas de assistência, de forma a apoiar operadores e planeadores durante o funcionamento normal, bem como para a manutenção e serviços através da previsão baseada em simulação. A ideia de Digital Twin permite executar exatamente esse procedimento, uma vez que todos os modelos e todos os dados estão disponíveis num ambiente envolvente e bem alinhado [24].

Neste momento já é possível a realização de simulações em 3D em materiais de produção, o que ajuda para a característica do produto e eficácia da fabricação. Afinal é possível, antes de colocar as ideias em prática ter a possibilidade de as testar, o que irá exigir tempo e recursos.

Assim, pode ser usado antes da execução de algum investimento, com o intuito de verificar a necessidade de substituição de equipamentos, obtenção de frota, etc. Além do uso para simulação de produtos, materiais e processos produtivos, os modelos de simulação podem ser usados para melhorar as operações da fábrica, criando um modelo virtual da mesma, incluindo todos os elementos (máquinas, produtos e humanos) [17].

Para poderem responder rapidamente a acontecimentos inesperados, os futuros sistemas de fabrico terão de se tornar mais autónomos. Os sistemas autónomos são máquinas inteligentes que executam tarefas de alto nível sem programação detalhada e sem controlo humano. Conhecem as suas capacidades (que são modeladas como "competências") e o seu estado. São capazes de decidir entre um conjunto de ações alternativas, orquestrar e executar habilidades. Para que isso aconteça, os sistemas autónomos terão de ter acesso a modelos muito realistas do estado atual do processo e ao seu próprio comportamento na interação com o seu ambiente no mundo real – tipicamente chamado de "Digital Twin", ou seja, o "gémeo digital".

2.3.6. Nuvem (Cloud Computing)

Serviços baseados em dados e compartilhamento de dados em diferentes locais, serão implantados na nuvem [17], basicamente é onde se guarda a informação na internet. Em vez de utilizar um servidor próprio, utiliza-se uma nuvem.

A nuvem é um sistema remoto, que pode ser conectado desde qualquer lugar usando a internet. Existem muitos serviços em nuvem. A comunicação entre as próprias máquinas e entre máquinas e humanos é amplamente apoiada por serviços em nuvem.

Os sistemas numa nuvem aceitam o armazenamento de dados, dados esses que se encontram guardados num ambiente virtual. Além disso, a longo prazo vão representar vantagem económica para a indústria, já que não existe gastos adicionais na compra ou atualização do parque tecnológico próprio.

A nuvem é uma tecnologia de computação que oferece alto desempenho e baixo custo [25]. A tecnologia de virtualização, fornece computação em nuvem com partilha de recursos, alocação dinâmica, extensão flexível e inúmeras outras vantagens. Uma quantidade elevada de dados pode ser enviado para um centro de armazenamento em nuvem, de forma a poderem ser consultados, o que facilita o fabrico e a produção [15].

2.3.7. Realidade Aumentada (RA)

A Realidade Aumentada (RA, do inglês, *Augmented Reality*) pode ser aplicada na indústria de várias formas, dependendo das necessidades operacionais. O envio de instruções para reparação em tempo real e a escolha de peças no stock são os exemplos mais comuns.

O seu principal objetivo é a melhoria da produtividade, nos casos em que seja necessária rapidez de resposta. A RA é exibida diretamente no campo de visão dos utilizadores, onde se podem utilizar vários tipos de ecrãs, tais como ecrãs montados na cabeça (óculos de realidade virtual) (Figura 13), ecrãs portáteis (Figura 14), visores espaciais ou projetores [26].

Além de diversas aplicações, a RA pode ser utilizada para melhorar os procedimentos de trabalho e manutenção e promover formações/treino virtuais [17]. Com o acesso a um ambiente virtual, é possível ensinar e aprender tarefas complexas com perigo elevado com mais eficácia e segurança, situação perfeita para treinar uma equipa de emergência e simular situações de perigo.



Figura 13 – Utilização Óculos Realidade Virtual [26]



Figura 14 – Utilização Smart Phone Android [26]

2.3.8. Cyber segurança

A cyber segurança é parte integral da configuração de redes que exigem proteção para sistemas industriais críticos, linhas de produção e também para garantir fluxos confiáveis de comunicação e informação [17].

As questões de segurança (*Cybersecurity*) representam um desafio complexo para todas as empresas comprometidas com o paradigma da Indústria 4.0. Por outro lado, a caracterização do conceito de segurança nos contextos da Indústria 4.0 revelou-se um tópico emergente e relevante.

Uma vez identificados os principais ativos industriais envolvidos nas questões de segurança em contextos da Indústria 4.0 (ou seja, o que precisa ser protegido), esta secção tira proveito:

1. Da definição das vulnerabilidades intrínsecas dos sistemas que põem em causa a sua segurança;
2. Das ameaças cibernéticas que afetam os sistemas;
3. Dos riscos associados aos cyber-ataques;
4. Das contramedidas para lidar com questões de segurança cibernética.

Esses elementos estão todos associados ao conceito de segurança (ver Figura 15). Em particular, o ponto (1) e (2) respondem à pergunta “contra o que se deve proteger?”; o ponto (3) destaca os riscos potenciais para a empresa devido à exploração das vulnerabilidades do sistema na mão de ataques cibernéticos (ou seja, “quais são os impactos?”); finalmente, o ponto (4) responde à pergunta “como você deve se proteger?” [27].

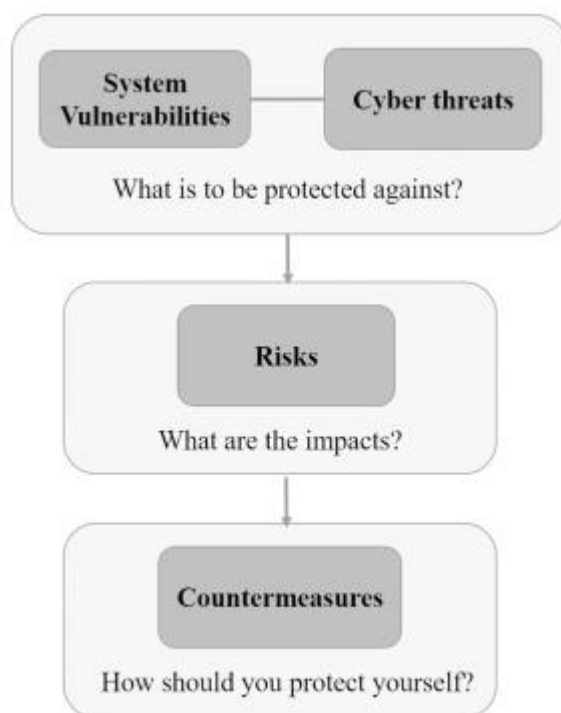


Figura 15 – Caracterização de Segurança Aumentada (Cybersecurity) [27]

2.3.9. Manufatura Aditiva / Additive Manufacturing

A Manufatura Aditiva (MA) possibilitará a produção de pequenos lotes de produtos customizados e mais leves, reduzindo também custos logísticos e stocks [17].

Como perspectiva geral, há uma tendência para novos materiais disponíveis para MA, como materiais inteligentes e constituintes metálicos para alcançar as características exigidas no propósito. Outra tendência popular visa criar peças/máquinas funcionais em apenas uma única etapa de fabricação. Devido às oportunidades oferecidas pelas novas tecnologias MA, os desafios de design e produção são limitados apenas pela imaginação dos indivíduos [28].

Pesquisadores neste campo têm grande interesse em novos materiais adequados para aplicações de impressão 3D. Embora um grande número de constituintes de plástico/polímero estejam

disponíveis para MA, alguns materiais específicos atraem mais atenção da indústria, conforme ilustrado na Figura 16 [28].

Juntando o máximo de pilares possíveis da I4.0 é possível criar indústrias eficazes, conforme ilustrado na Figura 17.

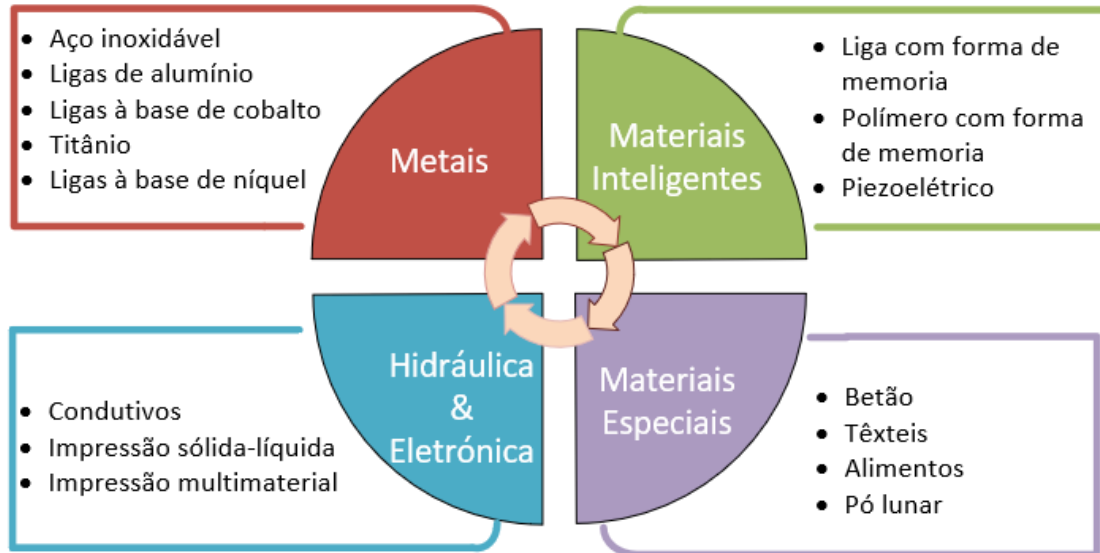


Figura 16 - Visão geral dos materiais de pesquisa atuais para MA na próxima era [28]

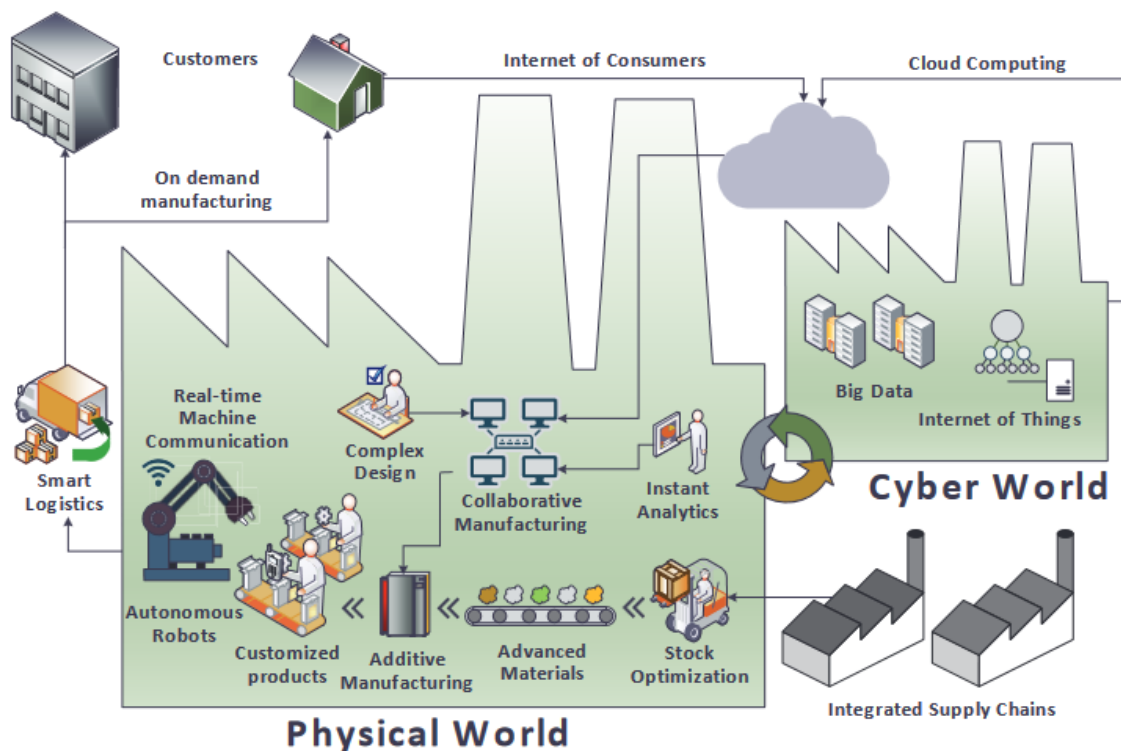


Figura 17 - Esquema de fábricas inteligentes com propriedades gerais exigidas na Indústria 4.0. [28]

2.4. Estudos e aplicações com recurso à Indústria 4.0

Na tabela abaixo apresento alguns estudos sobre desenvolvimentos e trabalhos realizados por outros autores no âmbito de aplicações com recurso à indústria 4.0.

Tabela 2 – Estudos de algumas aplicações com recurso à Indústria 4.0

Referencias bibliográficas	Descrição do trabalho
[29]	Neste artigo os autores pretenderam estudar a monitorização da condição (CM) em máquinas com recurso à indústria 4.0. Focaram no problema CM das máquinas e o método de seleção de características otimizadas. Quanto maior a informação de dados recolhido mais fácil se torna a caracterização das informações do estado das máquinas com maior eficiência, melhorar a disponibilidade e confiabilidade do processo de operação das máquinas industriais e com isso reduzir custos e economizar energia. Assim sendo é possível prolongar a vida útil dos equipamentos e economizar custos de reparação. Ao mesmo tempo, evitar que acidentes inesperados causem danos às pessoas e evitar com isto que as empresas sofram perdas económicas significativas.
[30]	Este artigo estudou a possibilidade de efetuar a atualização de um equipamento com recurso à indústria 4.0, de forma a poder ajudar as PMEs a entrar na indústria 4.0, com a atualização de equipamentos com recurso a sensores de baixo custo.
[31]	Este trabalho consistiu num sistema de controlo de empilhadores de forma a ser possível entender e comparar o algoritmo de funcionamento em vários setores industriais. O sistema consistia na possibilidade de ter acesso a funcionalidade dos componentes principais através da web ou smartphones. Os responsáveis de produção tiveram a possibilidade de monitorizar os seus processos logísticos e identificar gargalos antes que se tornassem críticos
[32]	Neste artigo pretendesse estudar o resultado que permite avaliar o nível de desenvolvimento tecnológico da indústria de transformação. A estrutura do índice permitiu diferenciar 3 níveis de desenvolvimento tecnológico que compõem a Indústria 4.0. A análise realizada pretendia distinguir as tecnologias existentes e as tendências, que fornecem às empresas. O conhecimento dos produtos específicos que compõem a Indústria 4.0 facilitará a definição de um processo de adoção de tecnologia.
[33]	Este artigo estudou a forma de adaptar as práticas LEAN nas PMEs de forma a apoiar a Indústria 4.0 na fabricação. Em relação às possíveis respostas deste artigo, foram apresentados os pontos fortes e as limitações. As ferramentas e os princípios do LEAN levam a uma maior produtividade através da redução do desperdício, as tecnologias da Indústria 4.0 têm o potencial de permitir que as empresas consigam um salto significativo na melhoria da fabricação.
[34]	Neste artigo estudou-se a aplicação de um dos pilares da I4.0, o Big Data, para processos de fabricação e manutenção mais limpa de produtos complexos. Os resultados mostraram que a arquitetura proposta beneficiou os clientes, fabricantes, meio de ambiente e até mesmo todas as etapas da gestão do ciclo de vida do produto, e promoveu efetivamente a implementação da produção limpa. A nova estratégia de produção mais limpa forneceu uma base teórica e prática para o desenvolvimento sustentável das empresas de fabricação de produtos.

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

3.1. História da hidráulica

O termo "hidráulica" não é uma invenção recente. De facto, Arquimedes (285-212 aC) experimentou o poder da água quando descobriu a pressão de elevação e algumas leis hidrostáticas.

Herói de Alexandria (aproximadamente 100 aC) usava pressão do ar e da água para diversos artifícios técnicos e traquinices, que na época se acreditava serem feitiçaria e bruxaria. Entre outras coisas, ele desenvolveu um mecanismo de abertura para os portões do templo. Quando um fogo era aceso no altar em frente ao templo, o ar em um reservatório subterrâneo, que também continha água, era aquecido. O ar expandia-se e deslocava parte da água por meio de um tubo ascendente para um segundo reservatório, que era colocado sobre uma roldana e descia conforme o peso aumentava. Por estar conectado a um sistema mecânico de engrenagens, os portões do templo abriam-se quando o reservatório descia. Assim que o fogo era extinto, todo o processo era revertido. Para as pessoas da época, parecia que os próprios deuses abriam e fechavam os portões do templo.

A partir do século XVI, Bernoulli, Pascal e Torricelli ocuparam-se com sucesso da hidráulica e formularam as leis essenciais e fundamentais da hidráulica. No final do século XVIII, devido à invenção da máquina a vapor, foram desenvolvidos os primeiros métodos, que ainda hoje são usados.

A hidráulica industrial, área da hidráulica que trata de sistemas de fluidos que são usados em processos industriais, envolve aplicações muito diversas, desde a produção de energia, transporte de cargas pesadas, manuseamento de materiais, sistemas de alimentação e controlo de processos, até utilizações mais específicas como o controlo de processos químicos. A hidráulica industrial é responsável por todos os equipamentos mecânicos que são acionados por pressão de óleo, como bombas, válvulas, motores, cilindros e outros componentes. A pressão de óleo é gerada pelos sistemas, onde estão inseridas as bombas, válvulas e os motores hidráulicos, que são capazes de gerar movimentos lineares ou rotativos, dependendo do tipo de equipamento.

Tabela 3 – Hidráulicos notáveis e suas principais contribuições [35].

Nome	Principais contribuições	Origem	Período
Arquimedes	Primeiro texto conhecido sobre hidráulica: introduziu o conceito de impulso.	Siracusa	287 – 212 a.C.
Leonardo da Vinci	Elaborou estudos e projetos dentro dos conceitos atuais de engenharia hidráulica.	Itália	1452 – 1519
Evangelista Torricelli	Pioneiro de estudos experimentais: estudos de orifícios e jatos.	Itália	1608 – 1647
Daniel Bernoulli	Precursor da abordagem teórica da hidráulica.	Holanda	1700 – 1782
Leonardo Euler	Equações gerais do movimento dos fluídos perfeitos.	Suíça	1707 – 1783
Antoine Chézy	Estudos experimentais relativos à resistência ao escoamento.	França	1718 – 1798
Jean Charles de Borda	Estudo do escoamento junto a embarcações, bombas e orifícios: expressões para cálculo de perdas de carga localizadas.	França	1733 – 1799
Louis Marie Henri Navier	Contribuições teóricas à Hidrodinâmica.	França	1735 – 1836
Gaspard Gustave de Coriolis	Aceleração em sistemas de rotação: introdução de coeficientes para velocidade.	França	1792 – 1843
George Gabriel Stokes	Equações gerais do escoamento.	Irlanda	1819 – 1903
Jean Claude Barré de Saint-Venant	Escoamento não permanente.	França	1797 – 1886
Henri Philibert Gaspard Darcy	Escoamento em meios porosos e em tubulações.	França	1803 – 1858
Ludwing Julius Weisbach	Contribuições experimentais concedentes à resistência ao escoamento.	Alemanha	1806 – 1871
William Froude	Modelagem física em hidráulica.	Inglaterra	1810 – 1879
Robert Manning	Proposição e divulgação de expressões de resistência ao escoamento em canais abertos.	Irlanda	1816 – 1897
Osborne Reynolds	Conciliação de resultados experimentais e teóricos.	Irlanda	1842 – 1912
Joseph Boussinesq	Contribuições teóricas ao estudo de coeficientes de velocidade e turbulência.	França	1842 – 1929
Boris Bakhmeteff	Ressalto hidráulico e energia nos escoamentos livres.	Rússia	1880 – 1951
Ven Te Chow	Consolidação e divulgação da hidráulica e hidrologia	China	1919 - 1981

3.2. Principais características a definir

Dimensionar uma unidade hidráulica para controlar as funções de uma prensa.

As principais características da prensa a ser controlada pela Unidade Hidráulica (UH) são:

- Força Máxima (xxx Ton)
- Curso (xxx mm)

- Duas velocidades de avanço

Avanço rápido (xxx mm/s)

Avanço trabalho (xxx mm/s)

Este sistema deve utilizar conceitos da I4.0, estar preparado para uma perda de carga, apresentar meios de realização de manutenção preditiva de forma a aumentar a vida útil de todos os componentes e da UH como um todo.

3.2.1. Objetivos pretendidos

- Dimensionar os componentes e acessórios de forma que cumpram as especificações pretendidas pelo cliente, dentro das normas de segurança.
- Aplicar conceitos da I4.0 na UH.

3.2.2. Óleo-hidráulica e suas divisões

A hidráulica permite-nos obter forças através da utilização de fluidos como meio de trabalho. Com a utilização da automação, podemos direcionar a força para o sistema ou equipamentos que desejamos. Precisamos de um circuito hidráulico, circuito que deve ser dimensionado com dados de pressão, caudal e componentes, conforme as necessidades de cada aplicação.

1. Hidráulica Industrial ou estática

- Aplicada em máquinas ou equipamentos estacionários utilizados nas indústrias, por exemplo, prensas hidráulicas (Figura 18), máquinas injetoras, robôs industriais e simuladores.



Figura 18 – Prensa hidráulica [36]

2. Hidráulica geração de energia, engenharia civil.

- Alguns exemplos de aplicação de aberturas de comportas de represas (Figura 19), equipamentos de exploração de petróleo, equipamentos para pontes moveis, etc.



Figura 19 – Atuador hidráulico (cilindro) para abertura de comporta [37]

3. Hidráulica Móvel

- Aplicada em veículos moveis, como por exemplo, tratores, automóveis, veículos de transporte, escavadoras (Figura 20), etc.



Figura 20 – Escavadora hidráulica [38]

4. Hidráulica para aplicações Navais

- Os equipamentos para este tipo de aplicação, geralmente possuem um tipo de tratamento ou pintura especial para evitar a oxidação. Algumas destas aplicações são para controladores de guias, guindastes, etc. (Figura 21).



Figura 21 – Guas [39]

5. Aplicações técnicas especiais.

- Algumas das aplicações da hidráulica são, trens de aterragem, controlo de aeronaves, etc. (Figura 22)



Figura 22 – Sistema de teste de um trem de aterragem [40]

6. Aplicações Gerais

- Neste tipo de aplicação podemos mencionar equipamentos hospitalares, processadores de lixo urbano, oficinas, etc.



Figura 23 – Elevador hidráulico [41]

3.3. Unidades hidráulicas e circuitos hidráulicos

Uma Unidade Hidráulica (UH) é basicamente o componente onde estão conectados todos os itens que compõem o circuito hidráulico.

São dimensionados para realizar um trabalho, fornecendo fluido ao sistema de maneira controlada, tanto em quantidade de fluido (caudal), como em pressão.

Todos os circuitos hidráulicos possuem três sistemas principais, são eles:

- **Sistema de geração:** constituído por bomba(s), reservatório(s), filtro(s), acumuladores(s), e outros acessórios.
- **Sistema de distribuição e controlo:** constituído por válvulas de caudal, pressão e direcionais. O fluido é transmitido pelas linhas hidráulicas (tubos e mangueiras). A energia hidráulica é controlada por válvulas de diferentes tipos, alguns modelos são, para controlar a pressão, controlar o caudal e outras a direção do fluido.
- **Sistema de aplicação de energia:** constituído pelos atuadores, que podem ser cilindros (atuadores lineares), motores hidráulicos (atuadores rotativos).

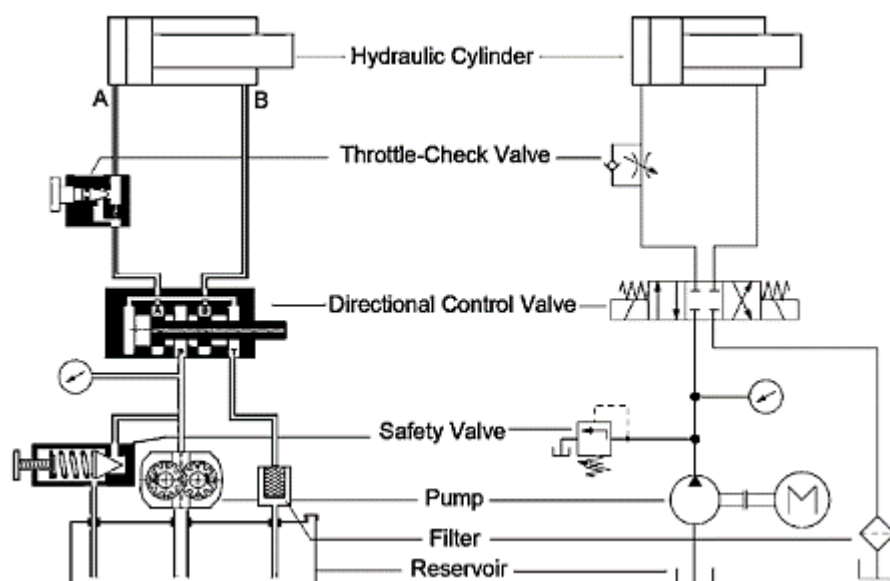


Figura 24 – Modelo esquemático e simbólico de um circuito hidráulico [42]

Uma UH pode conter muitos outros itens além dos apresentados no sistema básico mostrado na Figura 24. Conforme a necessidade, podem vir a ser acrescentadas válvulas, acumuladores e permutadores de calor, como ilustrado na Figura 25.



Figura 25 – Unidade Hidráulica (UH) [3]

3.3.1. Vantagens e desvantagens da hidráulica

Vantagens

- I. Forças elevadas (binários) podem ser facilmente transferidas, mesmo com unidades hidráulicas relativamente pequenas.
- II. O movimento a carga total é possível a partir de uma paragem.
- III. O controlo contínuo da velocidade (controlo e função), do binário e da potência de elevação é fácil de alcançar.
- IV. Tão adequado para movimentos rápidos controláveis como para movimentos de precisão extremamente lentos.
- V. Proteção simples contra sobrecarga e armazenamento de energia relativamente fácil por meio da tecnologia de acumuladores.
- VI. Alta eficiência econômica devido a sistemas de acionamento centralizados simples em combinação com a conversão descentralizada de energia hidráulica em energia mecânica.

Desvantagens

- I. Devido à compressibilidade dos fluidos causada pela contaminação do ar no circuito hidráulico, podem ocorrer choques de pressão e movimentos irregulares no sistema.
- II. As mudanças de temperatura têm uma influência na viscosidade. Isso pode causar, entre outras coisas, perdas devido a vazamentos e bloqueio de orifícios.
- III. Perda de eficiência devido ao atrito em fluidos.
- IV. É necessária alta precisão na produção dos dispositivos hidráulicos.
- V. Emissões sonoras.

3.4. Definições importantes

- Força: Um agente externo que muda ou tende a mudar o estado de repouso ou de movimento uniforme de um corpo sobre o qual atua é conhecido como força. Temos como unidade de medida da força o Newton (N) [43].

Força de um Newton: O newton é uma força relativamente pequena, aproximadamente igual ao peso de uma maçã [43].

$$\text{Força} = \text{Massa} \times \text{Aceleração}$$

$$F = m \times a \quad (1)$$

Onde:

F = Força [N];
m = Massa [kg];
a = Aceleração [m/s²].

- Pressão: É a força exercida por uma unidade de área. Em hidráulica, a pressão é expressa em MPa, kgf/cm², atm ou bar. A pressão aplicada no êmbolo de um cilindro hidráulico vai gerar a força responsável pela conformação do material em prensas.

Lei de Pascal

A pressão aplicada num ponto de um fluido em repouso em um sistema fechado irá ser transmitido integralmente a todos os pontos do fluido.

$$p = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Onde:

p = Pressão [Pa];
F = Força [N];
A = Área [m²].

- Caudal: Define-se caudal como sendo o volume de fluido descarregado pela bomba por unidade de tempo [Q], ou ainda o produto entre a velocidade com que um fluido se desloca num tubo e a sua secção transversal. A sua unidade no Sistema Internacional (SI) é dada por m³/s, embora em hidráulica é utilizada a unidade l/min. O caudal define a velocidade com que o êmbolo se ira deslocar dentro da camisa do cilindro, sendo assim definida a velocidade de deslocamento do cilindro para aproximação e velocidade de trabalho.

Lei do escoamento volumétrico

$$Q = A \times v = A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \quad (3)$$

Onde:

Q = Caudal;
V = Volume;
A = Área;
v = Velocidade.

Resumo:

$$Q_1 = Q_2 \quad (4)$$

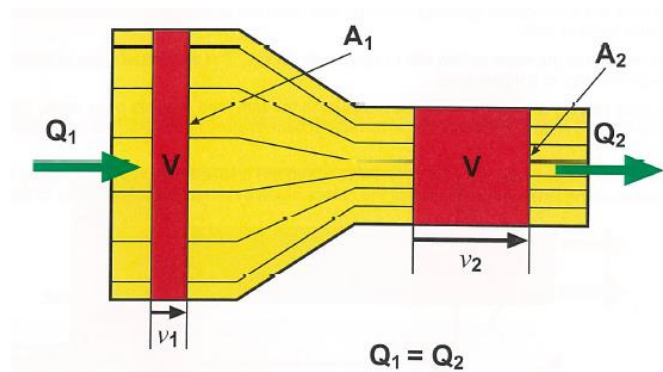


Figura 26 – A lei do escoamento volumétrico [35]

3.5. Dimensionamento e características

3.5.1. Dimensionamento do atuador hidráulico

Os atuadores hidráulicos (cilindros ou motores hidráulicos), são responsáveis por converter a pressão e o caudal do fluido em força e velocidade de deslocamento. São os atuadores lineares que puxam ou empurram, e se forem montados com rótulas nas suas extremidades, são capazes de realizar movimentos rotativos, como por exemplo nas escavadoras.

Devido ao desempenho de várias tarefas efetuadas pelos cilindros hidráulicos, a sua construção não é sempre a mesma. Na Figura 27 temos a visão geral das várias formas de construção dos cilindros hidráulicos. Além de classificarmos os cilindros hidráulicos, conforme a sua forma de atuação (duplo ou simples), os requisitos, local de aplicação e o ambiente determinam o modelo e a versão do cilindro hidráulico. Basicamente, diferenciam-se entre o modelo de tirante e o modelo redondo.

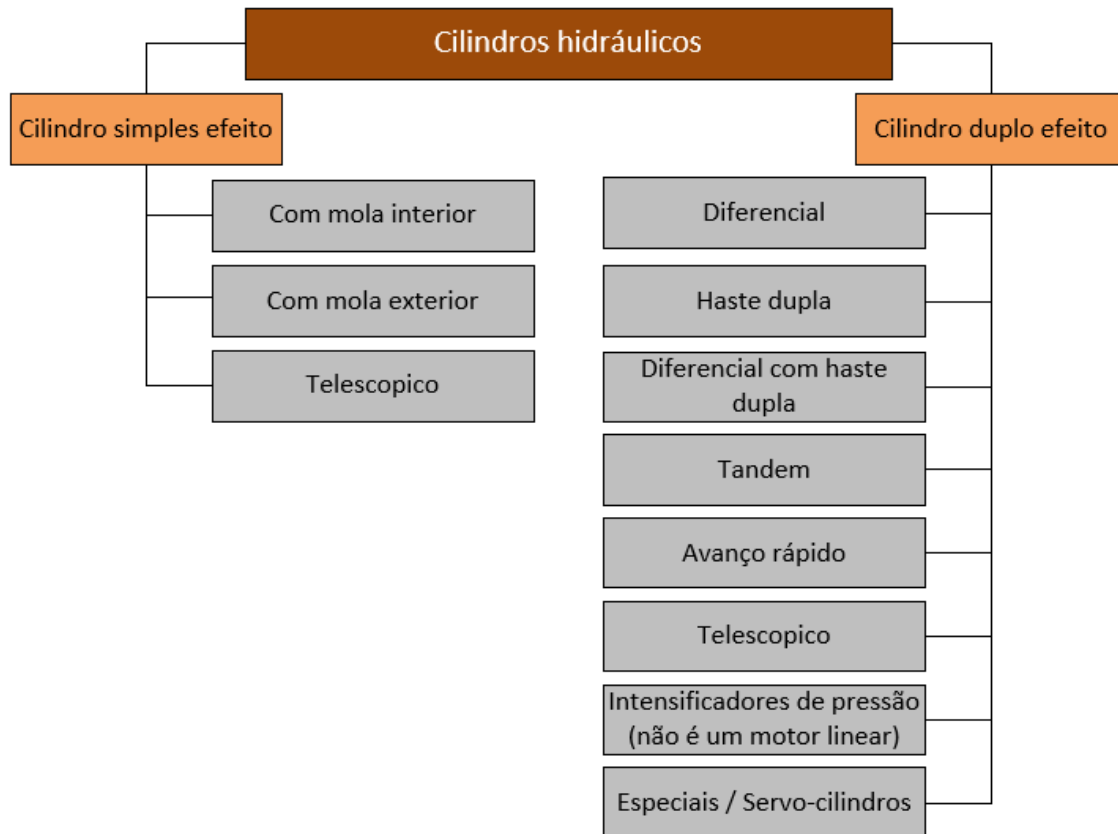


Figura 27 – Vista geral dos cilindros hidráulicos [35]

Para calcular o diâmetro mínimo necessário do cilindro é utilizada a equação (5), é a mesma mencionada na equação (2), mas com o cálculo das perdas de atrito [35].

$$D^2 = \frac{4 \times Fa \times \eta_{at}}{\pi * p_{tb}} \quad (5)$$

Onde:

D = Diâmetro do atuador [cm]

P_{tb} = Pressão de trabalho [bar]

F_a = Força de avanço [kgf]

η_{at} = Perdas de atrito – (utilizar 1,1 na equação)

Depois de ser calculado e selecionado o diâmetro do cilindro, deve ser calculado o diâmetro da haste, para que seja possível suportar os esforços que serão aplicados para não deformar. Para se encontrar este valor é utilizada a expressão (9). Lembrando que o valor encontrado é o diâmetro mínimo necessário da haste.

$$F_k = \frac{\pi^2 \times E \times I}{L_k^2} \quad (6)$$

Onde:

L_k = Comprimento livre de deformação [mm] (exemplos apresentados na Figura 28);

E = Módulo de elasticidade do aço [$2,1 \times 10^5$ MPa];

I = Momento de inércia da massa para secção transversal circular [mm²];

F_k = Força de flexão [N].

$$F_{max} = \frac{F_k}{S} \quad (7)$$

Onde:

S = Coeficiente de segurança [3,5];

F_{max} = Força máxima de avanço [N];

F_k = Força de flexão [N].

$$I = \frac{\pi \times Dh^4}{64} \quad (8)$$

Onde:

Dh = Diâmetro mínimo da haste [mm];

I = Momento de inércia de massa para secção transversal circular [mm²].

$$Dh = \sqrt[4]{\frac{64 \times S \times L_k^2 \times F_{max}}{\pi^3 \times E}} \quad (9)$$

Onde:

Dh = Diâmetro mínimo da haste [mm];

L_k = Comprimento livre de deformação [mm] (exemplos apresentados na Figura 28);

E = Módulo de elasticidade do aço [$2,1 \times 10^5$ MPa];

S = Coeficiente de segurança [3,5];

I = Momento de inércia de massa para secção transversal circular [mm²];

F_{max} = Força máxima de avanço [N];

F_k = Força de flexão [N].

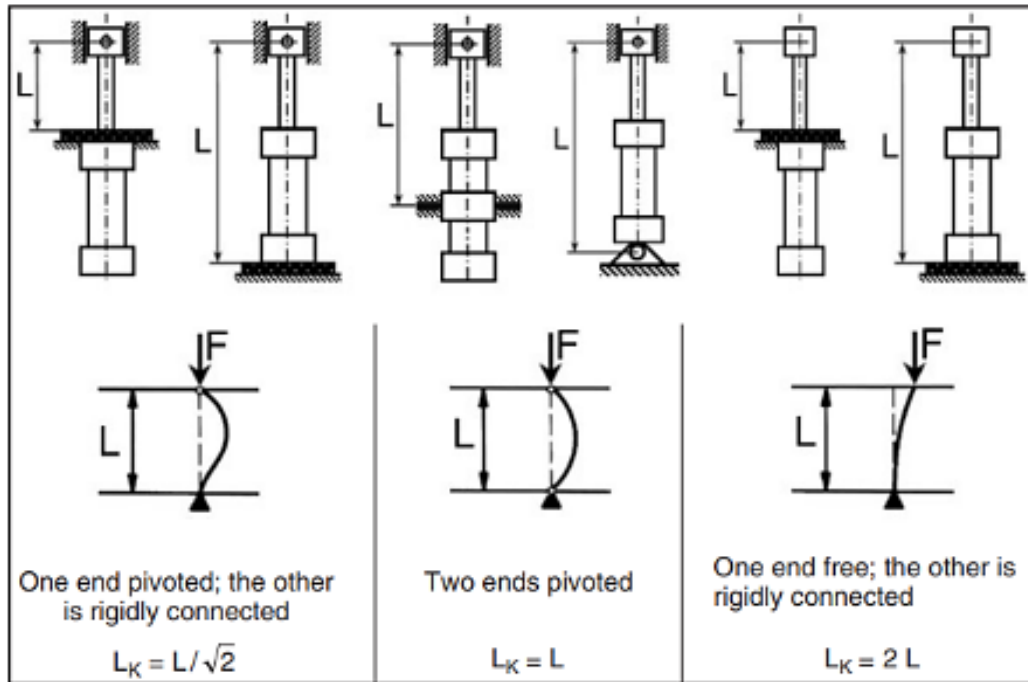


Figura 28 – Exemplos de cargas de Euler [42]

As prensas têm uma característica notável, é a utilização de cilindros hidráulicos personalizados, concebidos para satisfazer necessidades específicas de várias aplicações.

Onde se pode ter dois tipos de acionamentos:

- Descida e subida através da bomba, avanço rápido por circuito regenerativo ou cilindro(s) individual(is), Figura 29;
- Avanço rápido por gravidade, pressão e retorno através da bomba, Figura 29.

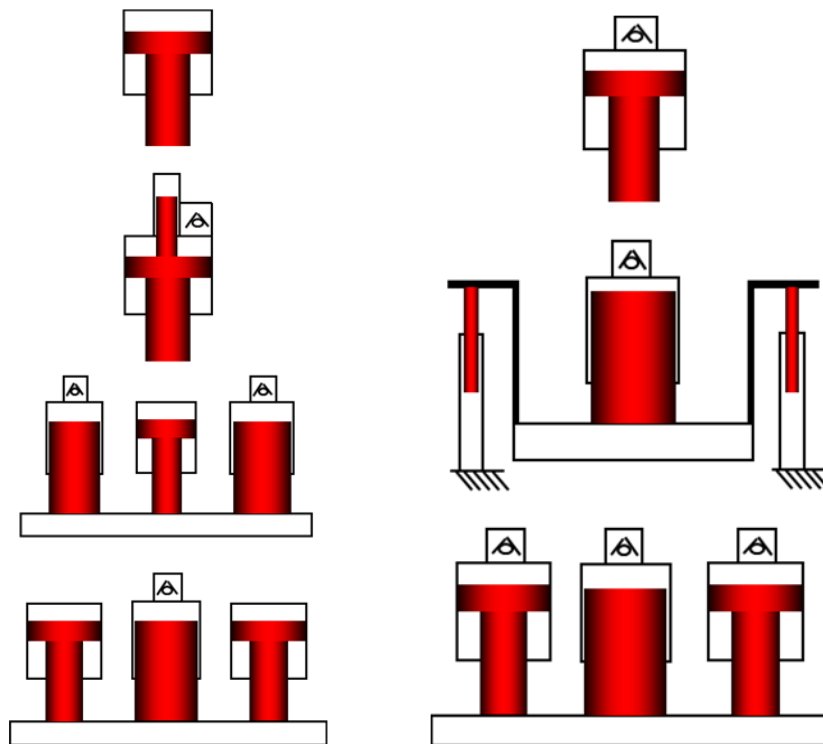


Figura 29 – Possíveis layouts de cilindros para prensas [3]

3.5.2. Caudal do sistema e tipo de bombas

Depois de se determinar o cilindro hidráulico através das fórmulas apresentadas anteriormente, tem de se determinar o caudal necessário para cumprir com as velocidades pretendidas. Com esse caudal definido será possível definir o tamanho da bomba hidráulica a ser aplicada no sistema.

Para se determinar o caudal do sistema é necessário calcular o volume de óleo utilizado para fazer o(s) cilindro(s) hidráulico(s) avançar completamente, ou seja, o volume de óleo que preenche o cilindro, tanto no movimento de avanço, como no de recuo do êmbolo.

Para o volume necessário para o avanço do êmbolo é possível realizar o cálculo com uma simples equação para o volume dos corpos cilíndricos (10).

$$V = \frac{A_{\text{êmbolo}} \times h}{1000000} \quad (10)$$

Onde:

$V_{\text{avanço}}$ = Volume de óleo no avanço [l];
 $A_{\text{êmbolo}}$ = Área do êmbolo [mm²];
 h = Curso do cilindro [mm];
 $r_{\text{êmbolo}}$ = raio do êmbolo [mm].

Para o volume de retorno, desconta-se o volume da haste.

$$A_{\text{retorno}} = A_{\text{êmbolo}} - \pi \times r_{\text{haste}}^2 \quad (11)$$

Onde:

A_{retorno} = Área disponível no retorno [mm²];
 $A_{\text{êmbolo}}$ = Área do êmbolo [mm²];
 h = Curso do cilindro [mm];
 r_{haste} = raio da haste [mm].

$$V_{\text{retorno}} = \frac{A_{\text{retorno}} \times h}{1000000} \quad (12)$$

Onde:

V_{retorno} = Volume de óleo no retorno [l];
 A_{retorno} = Área disponível no retorno [mm²];
 h = Curso do cilindro [mm];
 r_{haste} = raio da haste [mm].

Tendo calculado os volumes para o avanço e retorno, é possível encontrar o caudal de óleo que será necessário para o avanço e retorno do êmbolo do cilindro hidráulico. Para tal, basta utilizar o volume encontrado para cada caso, e dividir esse volume pelo tempo de avanço ou recuo necessário (13).

$$Q = \frac{V}{T} \times 60 \quad (13)$$

Onde:

Q = Caudal no avanço/recuo, lento/rápido [l/min];
 V = Volume consumido [l];
 T = Tempo de avanço/recuo [segundos].

Os valores em litros por minuto, facilitam muito nas interpretações de catálogos para a realização do dimensionamento de componentes, tais como, válvulas, filtros, permutadores de calor, etc. Também deve-se dividir o maior caudal encontrado, pela rotação da bomba dividida por mil, de forma a encontrar o tamanho da mesma em cm³/rot (14).

$$C = \frac{Q}{R_{bomba}/1000} \quad (14)$$

Onde:

C = Cilindrada [cm³/rot];
 Q = Caudal [l/min];
 R_{bomba} = Rotação da bomba [rpm].

Após o dimensionamento dos caudais necessários para o avanço e retorno do atuador linear, é necessário realizar o cálculo do caudal induzido do atuador, tanto no cabeçote dianteiro, como no cabeçote traseiro do atuador hidráulico. Isto deve-se ao facto de que, quando um cilindro de duplo efeito faz o movimento de avanço, o óleo que está dentro da sua câmara dianteira sairá com um caudal diferente do fornecido pela bomba hidráulica. O mesmo fenómeno acontece quando o cilindro recua. Esse valor é necessário para a seleção de válvulas, tubos e outros componentes utilizados na unidade hidráulica.

Para realizar o cálculo do caudal induzido, são utilizados a equação (15) para o caudal induzido no avanço e a equação (16) para o caudal induzido no retorno [42].

$$Q_{in} = \frac{V_{ret}}{T_{av}} \times 60 \quad (15)$$

Onde:

Q_{in} = Caudal induzido no avanço [l/min];
 V_{ret} = Volume de óleo para o retorno do cilindro [l];
 T_{av} = Tempo de avanço [s].

$$Q_{out} = \frac{V_{av}}{T_{ret}} \times 60 \quad (16)$$

Onde:

Q_{out} = Caudal induzido no retorno [l/min];
 V_{av} = Volume de óleo para o avanço do cilindro [l];
 T_{ret} = Tempo de retorno [s].

Depois de calcular os caudais do circuito, é necessário a escolha do modelo da bomba hidráulica que será aplicada na unidade hidráulica. Para tal, é necessário conhecer quais os principais modelos existentes e suas características básicas.

De acordo com a HYDAC [35] os principais pontos que devem ser levados em consideração no momento de selecionar um modelo de bomba hidráulica são:

- Gama de pressão;
- Viscosidade mínima e máxima de operação;
- Temperatura mínima e máxima de operação;
- Caudal;
- Nível de ruído permitido;
- Manutenção;
- Tempo de vida desejado;
- Gama de velocidade;
- Custos.

Basicamente existem duas categorias de bombas, as bombas hidrostáticas e as bombas hidrodinâmicas. As bombas hidrodinâmicas são aquelas que não possuem deslocamento positivo, ou seja, são usadas apenas para transferir fluidos, sem enfrentar resistência além do próprio peso do líquido. Isso ocorre porque elas não deslocam o fluido através de uma câmara selada, mas sim o impulsionam. Por outro lado, as bombas hidrostáticas deslocam o fluido através de uma câmara selada, empurrando-o literalmente ao longo da linha (Figura 30).

Antes de falar dos modelos de bombas utilizadas em sistemas hidráulicos industriais, é necessário mencionar que independentemente do modelo de bomba utilizado em um sistema hidráulico industrial (Tabela 4), a maioria são bombas hidrostáticas.

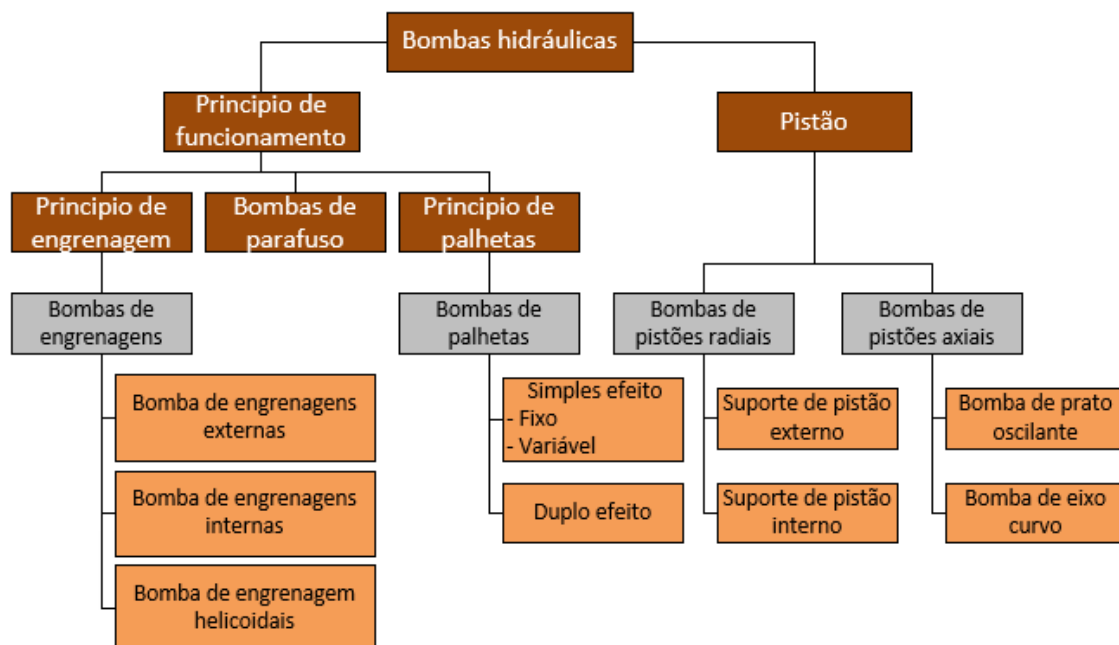


Figura 30 – Vista geral das bombas hidráulicas (hidrostáticas) [35]

Tabela 4 – Comparação de bombas hidráulicas (hidrostáticas) e suas características [35]

Tipo	Intervalo de pressão [bar]	Cilindrada [cm ³ /rot]	Intervalo de velocidade [rpm]	Intervalo de viscosidade [mm ² /s]	Nível de ruído
Bomba de engrenagens externas	Até 300	0.2 - 250	600 – 6,000	16 – 200	Alto
Bomba de engrenagens internas	Até 350	3.5 – 250	200 – 3,600	10 – 300	Muito baixo
Bomba de engrenagens anelares	Até 200	0.2 – 2,000	10 – 600	10 – 1,000	Baixo
Bomba de parafuso	Até 150	15 – 3,500	600 – 6,000	10 – 1,000	Muito baixo
Bomba de palhetas simples efeito	Até 250	14 – 140	800 – 1,800	22 – 400	Médio
Bomba de palhetas duplo efeito	Até 320	5.8 – 250	600 – 3,600	15 – 400	Baixo
Bomba de pistões radiais, suporte interno	Até 1000	0.1 – 500	600 – 3,600	10 – 400	Médio/alto
Bomba de pistões radiais, suporte externo	Até 630	16 – 200,000	400 – 3,000	10 – 200	Médio/ alto
Bomba de pistões axiais, eixo curvo	Até 450	5 – 500	200 – 6,000	10 – 200	Médio/alto
Bomba de pistões axiais, prato oscilante	Até 450	15 – 300	50 – 6,000	10 – 200	Médio/alto

Após o dimensionamento dos atuadores, calculados os caudais para garantir as solicitações de velocidade e escolhido o modelo da bomba a ser utilizada, pode-se calcular o tamanho (deslocamento volumétrico por rotação/cilindrada [cm³/rot]) da bomba.

Para realizar o cálculo do tamanho da bomba, são utilizadas as equações (17) para o deslocamento volumétrico que será necessário e a equação (18) potência hidráulica necessária [35].

$$Vg = \frac{1000 \times QB}{n \times \eta_{vol}} \quad (17)$$

Onde:

Vg = Volume de deslocamento [cm³/rot];

QB = Caudal calculado da bomba [l/min];

n = Rotação do motor [rpm];

η_{vol} = Rendimento volumétrico [0,91 – 0,93].

$$P_{hidr} = \frac{P \times QB \times \eta_{vol}}{600} \quad (18)$$

Onde:

- P_{hidr} = Potência hidráulica necessária [kW];
 P = Pressão [bar];
 QB = Caudal calculado da bomba [l/min];
 η_{vol} = Rendimento volumétrico [0,75 – 0,9].

3.5.3. Válvulas (direcionais, pressão, caudal)

Um dos fatores mais importantes no desenvolvimento e dimensionamento de circuitos hidráulicos é a utilização de válvulas de controlo. Podemos classificá-las em alguns tipos principais: válvulas de controlo direcionais, de pressão e de caudal.

Além da classificação da função das válvulas (Figura 31), elas também são classificadas por tamanho, números de vias e para as válvulas direcionais também o número de posições.

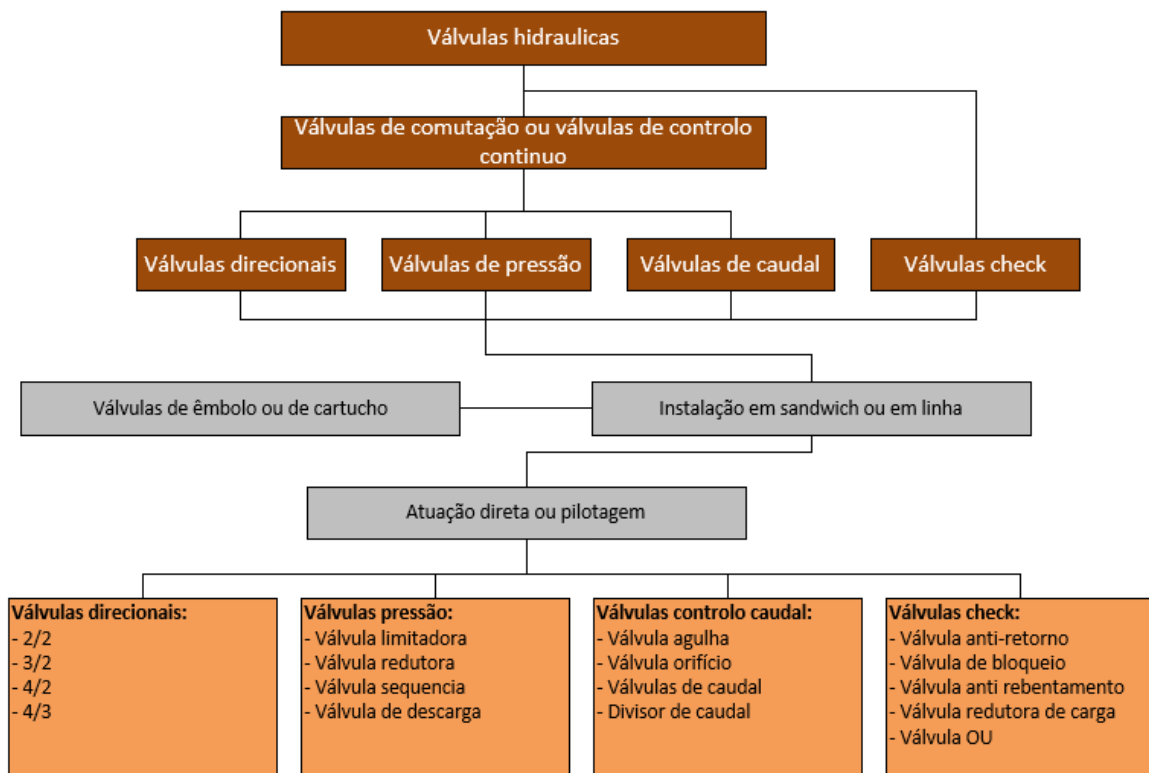


Figura 32 – Vista geral das válvulas hidráulicas [35]

- Válvulas direcionais:

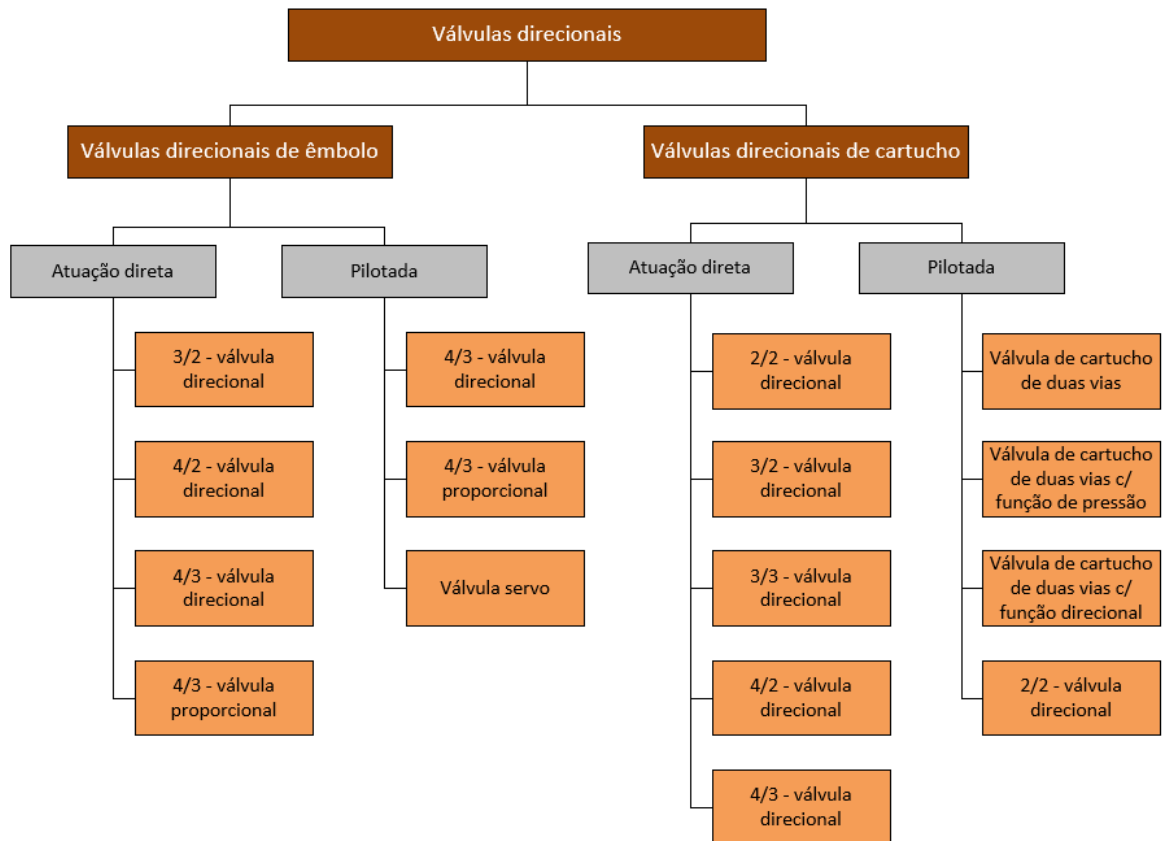


Figura 33 – Vista geral das válvulas direcionais [35]

Num sistema hidráulico, as válvulas direcionais (Figura 34) são usadas para orientar o fluxo. Orientar significa que posso "parar" e "iniciar" o caudal, bem como "direcioná-la" [35]. Em geral, as válvulas direcionais podem ser divididas em dois tipos, válvulas direcionais de êmbolo ou válvulas direcionais de cartucho (ver Figura 33).

Podemos diferenciar as válvulas direcionais de acordo com as seguintes características principais:

- Tipo de atuação
- Número de vias
- Número de gavetas
- Design do elemento de controlo interno (válvula de vedação ou válvula de pistão).

Outra característica que varia nas válvulas direcionais é o tipo de acionamento, podendo ser elétrico, manual, por pilotagem hidráulica ou pneumático.

- Válvulas de pressão:

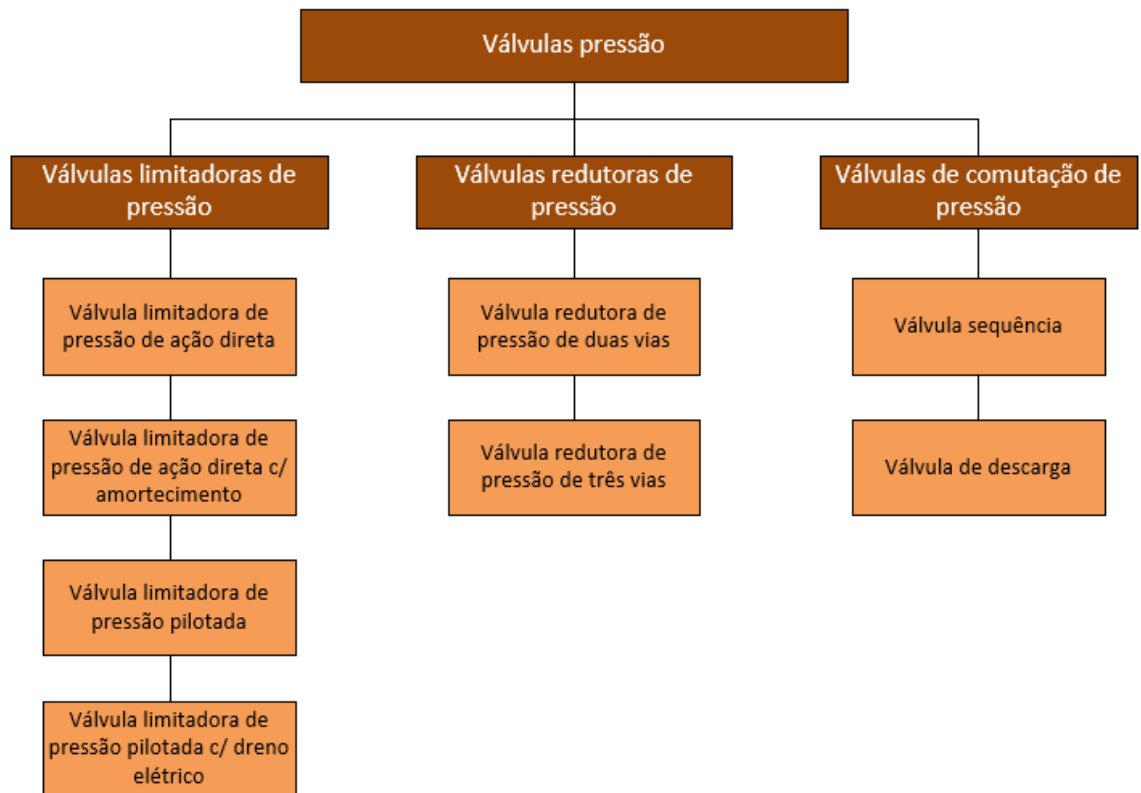


Figura 35 – Vista geral das válvulas de pressão [35]

Existem válvulas de controlo de pressão com diversas funções. Algumas dessas funções são limitar a pressão Figura 36 e reduzir a pressão.

Contudo, a válvula limitadora de pressão não pode faltar em nenhum circuito hidráulico, é a válvula que garante que não se excede a pressão máxima do circuito. Podemos dizer que se trata da válvula mais importante do circuito hidráulico, por ser a válvula de segurança da UH, impedindo que os vários componentes se danifiquem.

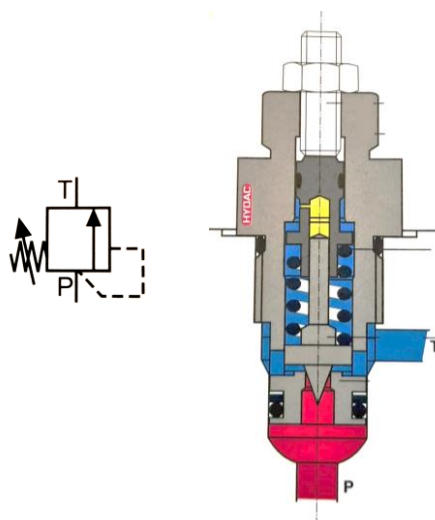


Figura 36 – Válvula limitadora de pressão e sua simbologia [35]

Como este trabalho aborda o dimensionamento e projeto de uma prensa, é conveniente falar da válvula limitadora de pressão que desempenha a função de contrabalanço “válvula sequencial”. Quando um cilindro com a haste voltada para baixo, possui um peso significativo preso na extremidade da haste (como por exemplo, um martelo de uma prensa), ao abrir a válvula direcional, ocorre a tendência de o peso puxar o cilindro para baixo com uma velocidade maior do que o caudal gerado pela bomba. Isso resulta na criação de um vácuo dentro da câmara do cilindro hidráulico.

A fim de evitar esse problema, é utilizada uma válvula de contrabalanço. Conforme ilustrado na Figura 37, essa válvula é instalada na linha da câmara anelar do cilindro hidráulico e permite a passagem do fluxo de óleo apenas se a pressão nessa linha for maior do que a pressão pré-definida na mola da válvula.

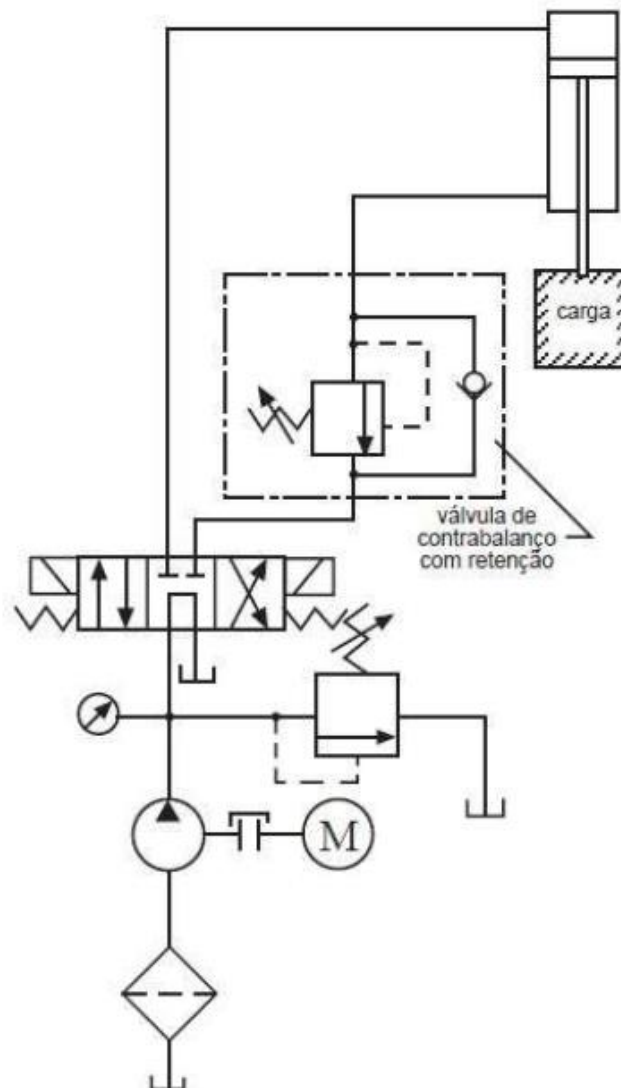


Figura 37 – Exemplo de um circuito com válvula contrabalanço “válvula sequencial” [35]

- Válvulas de controlo de caudal

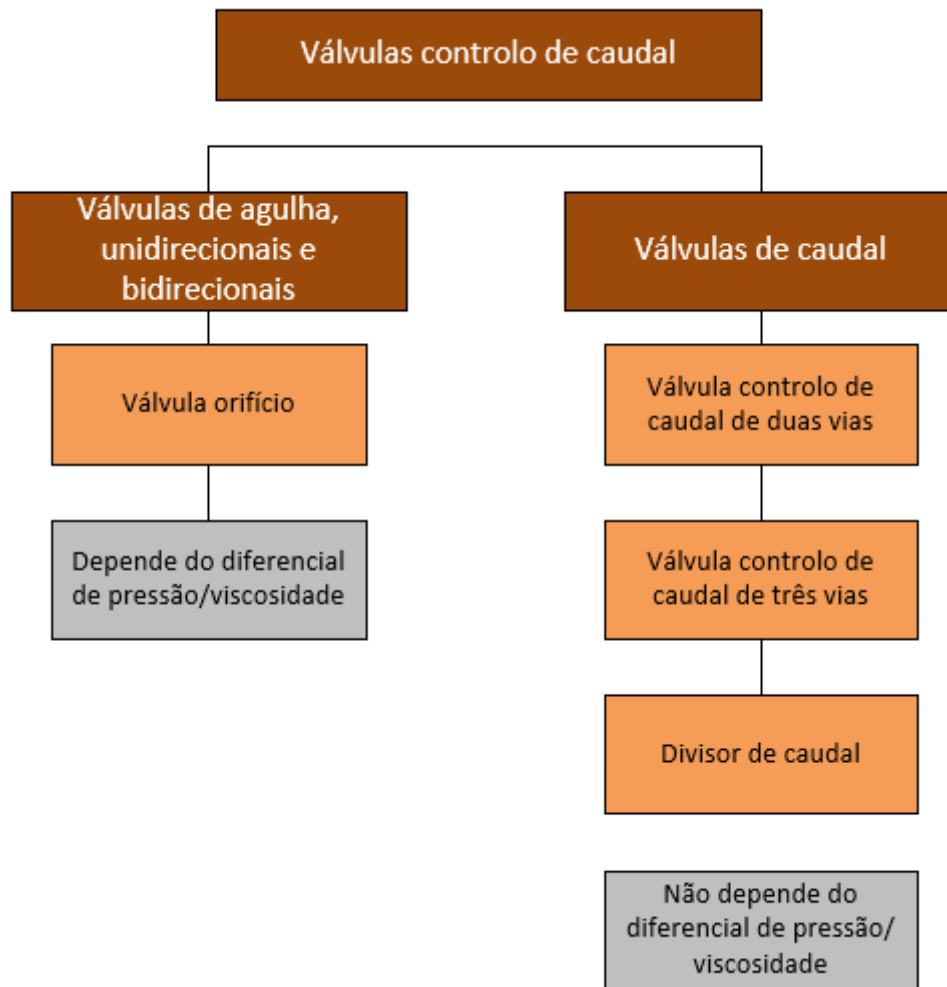


Figura 38 – Válvulas de controlo de caudal [35]

De forma a obter diferentes velocidades de avanço e recuo num cilindro hidráulico é necessário diminuir o caudal na linha de utilização do cilindro. Esse tipo de controlo é obtido por meio de uma válvula de controlo de caudal [42] (Figura 39). Uma válvula de controlo de caudal, Figura 40, possui um funcionamento bastante simples, com uma entrada e uma saída e um limitador do tamanho do orifício de passagem de óleo. As válvulas de agulha, são válvulas de controlo de caudal ativadas manualmente para influenciar a taxa de fluxo, por meio de um estrangulamento ajustável da secção transversal usando um fuso de aceleração.

O caudal depende do diferencial de pressão e da viscosidade. Um manipulador rotativo com uma escala anelar com as válvulas ajustáveis manualmente, permite uma reprodutibilidade dos valores definidos [35].

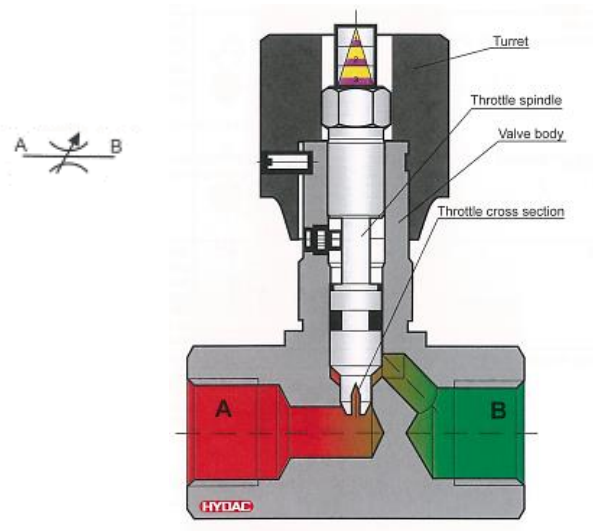


Figura 40 – Válvula reguladora de caudal bidirecional [35]

- Elementos lógicos:

Utiliza-se sempre que é necessário realizar controlos direcionais, de pressão ou de caudal em circuitos hidráulicos com caudais elevados.

Os elementos lógicos são válvulas de cartucho bidirecionais - elas são projetadas para altas pressões até 1000 bar e caudais elevados. Juntamente com as correspondentes tampas de controlo e válvulas de pilotagem, eles representam um programa autônomo na área de hidráulica industrial. Existem válvulas de gatilho operadas por pilotagem com função de pressão e direcional.

A válvula é robusta e apresenta uma construção otimizada para alta taxa de fluxo nominal com baixa perda de pressão. Isso permite válvulas mais compactas e com maior eficiência energética. A confiabilidade e o tempo de uso deste componente aumentam a disponibilidade do sistema. Eles permitem o fluxo em duas direções, de A para B e B para A.

As opções disponíveis em todos os tamanhos, como pinos de amortecimento, vedação de eixo e resistências de mola ajustadas (pressão de rotura), aumentam as possibilidades de otimizações de comutação.

Podemos descrever o elemento lógico como uma válvula de duas vias, que consegue desempenhar uma série de funções em circuitos hidráulicos, apenas variando a sua pilotagem com a utilização de válvulas diferentes [35].

A construção de um elemento lógico Figura 41 é basicamente um êmbolo, uma camisa, uma mola e vários tipos de pilotagem, que faz com que seja possível realizar diferentes funções Figura 42 e Figura 43 .

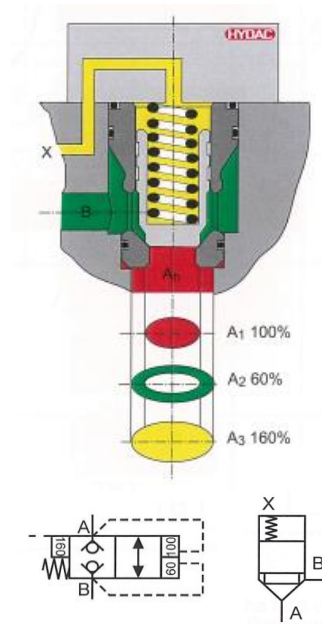


Figura 41 – Elemento lógico [35]

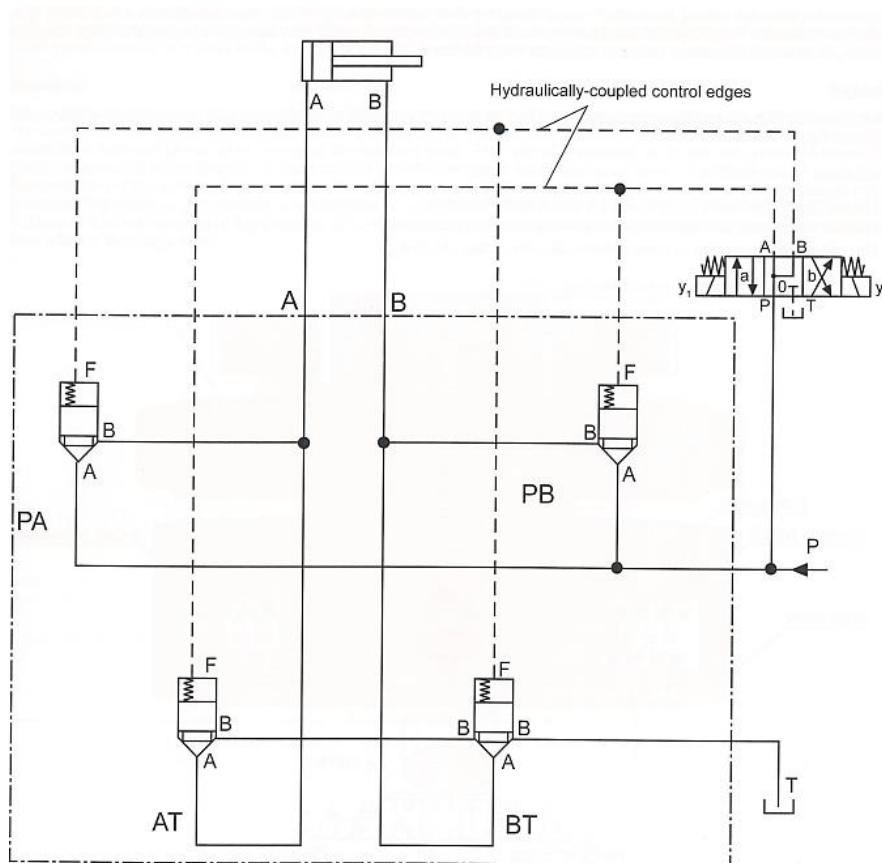


Figura 42 – Exemplo de um circuito de uma válvula direcional 4/3 c/ elementos lógicos [35]

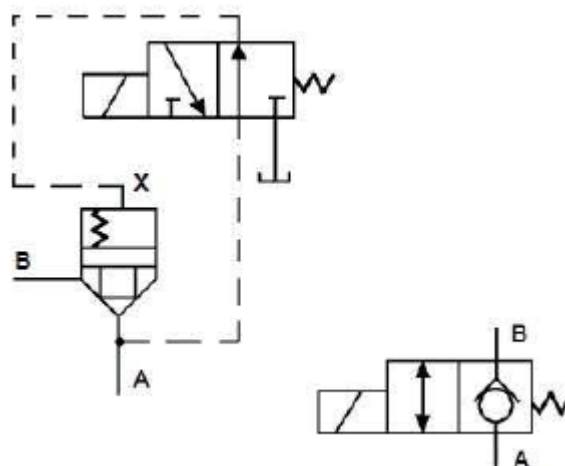


Figura 43 – Elemento lógico executando a função de uma válvula direcional 2/2 c/ retenção [35]

Para dimensionar o tamanho nominal (TN) das válvulas, infelizmente não existe uma tabela geral. É necessário procurar a tabela de perda de carga (Δp) específica da válvula selecionada Figura 44 de um determinado fabricante e analisar qual será o valor da perda de carga com o caudal aplicado.

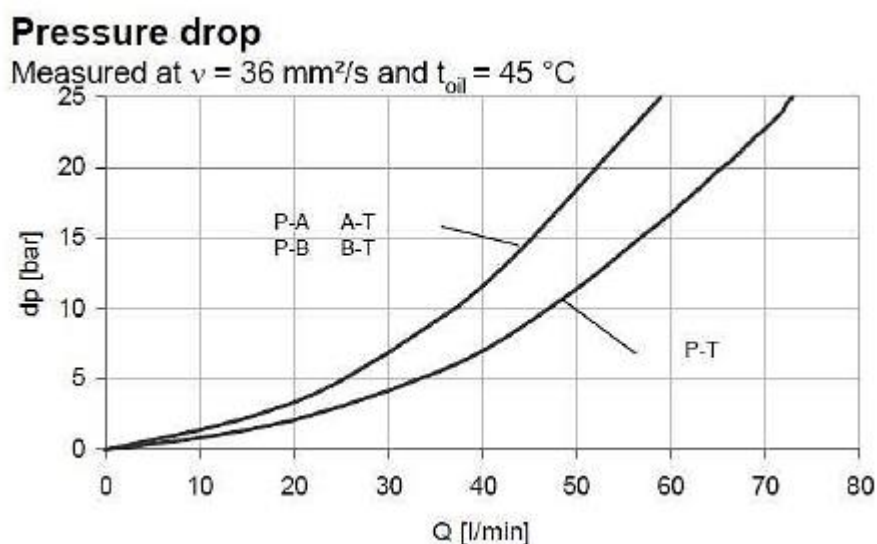


Figura 44 – Tabela de perda de carga de uma válvula centro E [35]

É importante obter o valor da soma de todas as perdas de carga geradas pelas válvulas do circuito hidráulico, pois utilizaremos esse valor posteriormente no cálculo de perda de carga total do circuito hidráulico.

- Acionamento proporcional:

Uma forma de acionamento elétrico muito utilizada nos sistemas hidráulicos, é o acionamento proporcional, por conta de se poder controlar a variação de caudal, pressão ou direção de uma forma gradual. Praticamente todas as válvulas de controlo direcional, pressão e caudal possuem uma opção com acionamento proporcional.

Como funciona o acionamento proporcional? Basicamente, é uma bobine que funciona como um íman, esse íman desloca o êmbolo da válvula. Contudo a diferença desta para uma bobine comum reside na possibilidade de variar a “força” desse íman. A variação da força, deve ser controlada por um sinal de 4 a 10 mA ou 0 a 10V gerado por um controlador.

3.5.4. Dimensionamento de tubagem e mangueiras

Em sistemas hidráulicos, o fluido flui por um sistema de distribuição constituído por tubos e mangueiras, que são elementos responsáveis por conduzir o fluido do tanque para os atuadores hidráulicos (rotativos ou lineares), e depois retornar novamente para o tanque.

Mesmo possuindo uma forma construtiva simples, as mangueiras e tubagens exercem um grande efeito na performance do sistema.

Tendo isso em mente, é importante dimensionar esses componentes para que não afetem a performance do sistema.

Os principais parâmetros que devem ser analisados quando se pretende calcular o diâmetro de tubagem e mangueiras são:

- O material da tubagem;
- As fixações;
- O diâmetro;
- O comprimento;
- Compatibilidade de fluidos;
- Temperatura;
- Pressão de trabalho;
- Design de instalação;

Os tubos hidráulicos de alta pressão são produzidos principalmente em aço carbono. Os fabricantes fazem uma ampla gama de dimensões de tubos e espessuras de parede para trabalhar com uma ampla gama de caudais e pressões.

O diâmetro adequado do tubo é determinado de acordo com o caudal máximo e a velocidade do fluido selecionado, através da formula simplificada da Equação (20) [42].

$$d = \sqrt{\frac{4 \times Q_{max}}{\pi \times v}} \quad (19)$$

Onde:

d = Diâmetro interno do tubo [m]

Q_{max} = Caudal máximo do sistema [m³/s]

v = Velocidade média do fluido [m/s]

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{Q_{max}}{v}} \quad (20)$$

Onde:

d = Diâmetro interno do tubo [mm]

Q_{max} = Caudal máximo do sistema [l/min]

v = Velocidade média do fluido [m/s]

A velocidade média recomendada do fluido em tubagem rígida é geralmente de 2 a 6 m/s para a linha de pressão e 0,6 a 1,6 m/s para as linhas de sucção, retorno e baixa pressão. O diâmetro interno de um tubo também pode ser calculado usando o nomograma dado na Figura 45, enquanto a espessura da parede do tubo é determinada de acordo com a pressão de operação, mediante as tabelas dos fabricantes de tubagem.

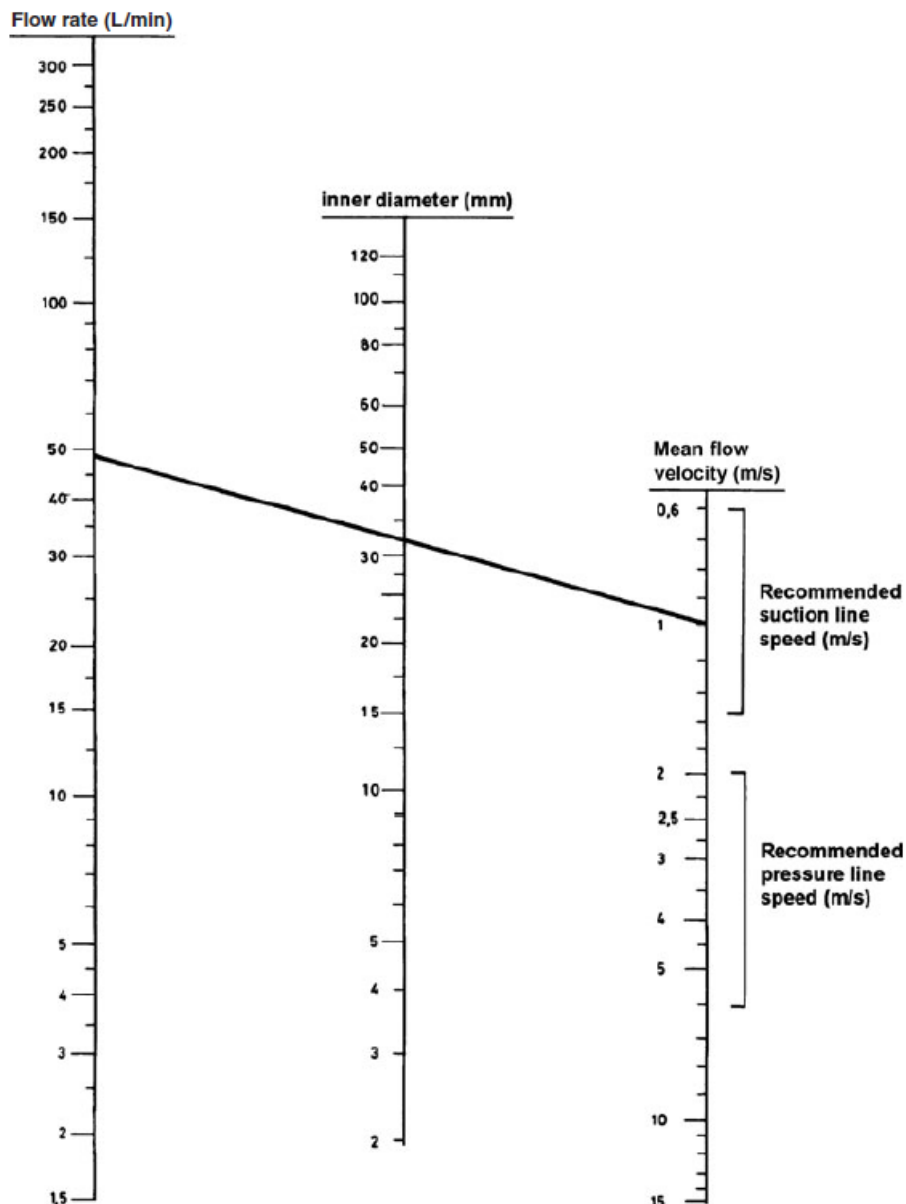


Figura 45 – Nomograma para cálculo do diâmetro interno de tubagens [42]

A seleção das conexões/acessórios das tubagens é essencial para a operação correta, bem como para o uso seguro de tubos e equipamentos relacionados. A seleção inadequada das conexões/acessórios pode resultar em fugas na tubagem, rebentamento ou outras falhas.

A instalação adequada da tubagem é essencial para o correto funcionamento e uso seguro da mesma. Os seguintes comentários devem ser considerados para a montagem de tubos hidráulicos, conforme ilustrado na Figura 46.

- A tubagem deve ser dobrada sempre que possível para reduzir o número de conexões/acessórios, e deve ser dobrada usando equipamento adequado para curvar tubo (conforme mostrado nas imagens 1, 2 e 3 da Figura 46).
- O desenho simétrico dos sistemas de tubagens facilita a sua instalação e apresenta um aspeto elegante (conforme ilustrado na Figura 46-1).

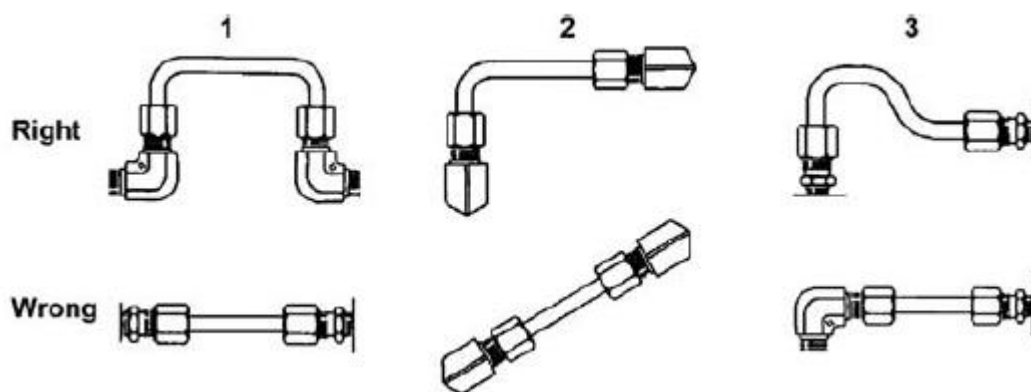


Figura 46 – Montagem correta e incorreta de tubagem [42]

As mangueiras são usadas para interligar elementos que vibram ou se movem em relação uns aos outros. Eles garantem a flexibilidade necessária e podem operar em altas pressões. O diâmetro adequado da mangueira é determinado de acordo com o caudal máximo e a velocidade do fluido selecionado, através da fórmula simplificada da Equação(20).

A velocidade média recomendada do fluido em mangueiras flexíveis é, na verdade, de 2,1 a 4,6 m/s para a linha de pressão e de 0,6 a 1,2 m/s para as linhas de sucção, retorno e baixa pressão.

O diâmetro da mangueira também pode ser calculado usando o nomograma mostrado na Figura 47.

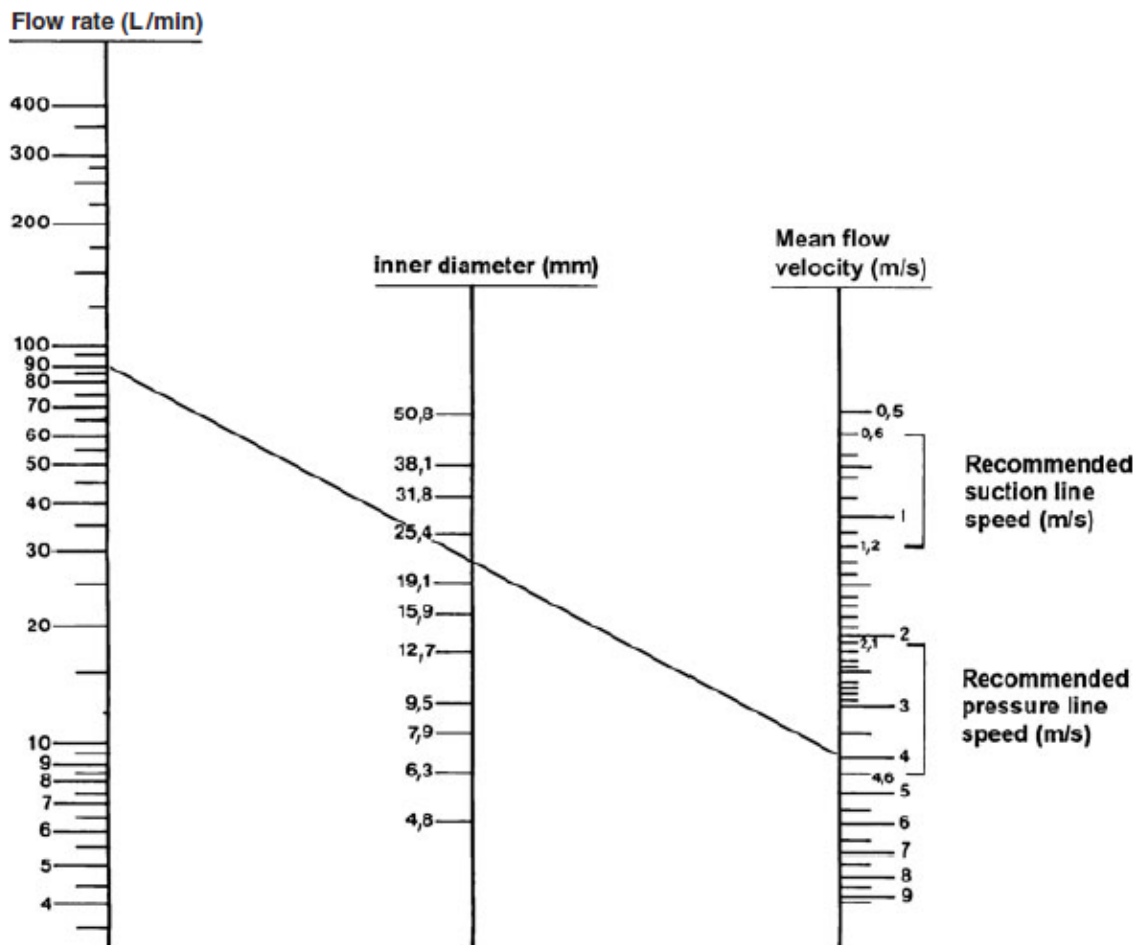


Figura 47 – Nomograma para calculo do diâmetro interno de mangueiras [42]

A Figura 48 fornece alguns conselhos e dicas sobre a montagem correta e incorreta da mangueira.

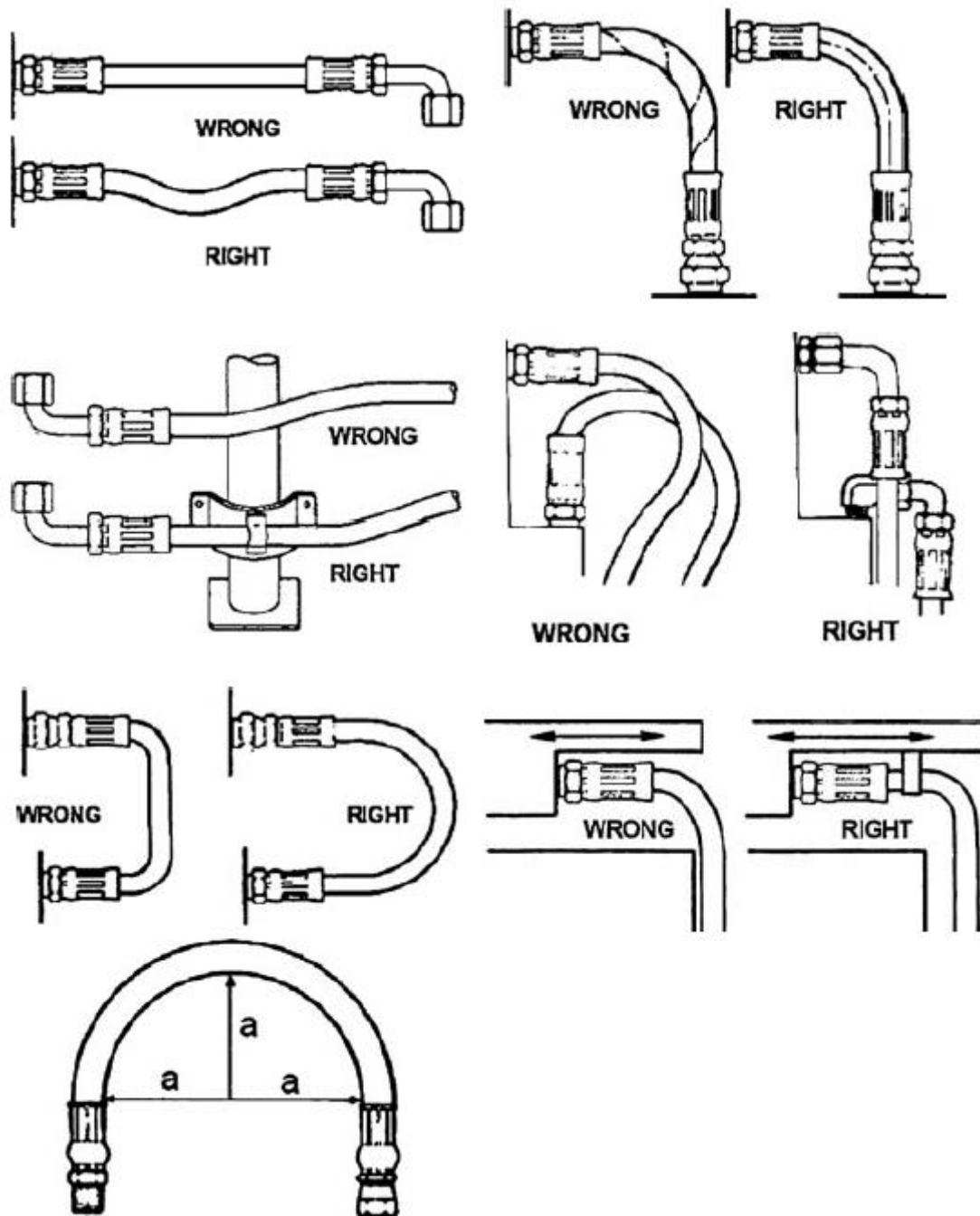


Figura 48 – Montagem correta e incorreta de mangueira flexível [42]

Lembrando que devem ser calculadas as velocidades para todas as linhas que possuem caudais diferentes.

Assim que forem obtidos os valores dos diâmetros internos, é necessário calcular a perda de pressão resultante das tubagens rígidas e das mangueiras flexíveis, com base no seu número de Reynolds e seu comprimento.

O número de Reynolds determina os limites de escoamento laminar ($Re < 2300$) e turbulento ($Re \geq 2300$). Num sistema hidráulico é muito importante que as tubagens favoreçam a formação do regime de escoamento laminar do fluido hidráulico, isso porque o regime laminar é o que oferece a menor perda de carga.

O processo de transição é consequência da instabilidade do escoamento laminar. A incerteza do valor crítico deve-se ao facto dos processos, perto dos seus limites de estabilidade, serem facilmente desestabilizados mesmo por efeitos de perturbações mínimas (como o ruído da bomba).

Para calcular o número de Reynolds utilizamos a Equação (22).

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_{int}^2} \quad (21)$$

Onde:

ν = Viscosidade cinemática [m^2/s];

Q = Caudal [l/min];

D_{int} = Diâmetro interno [m].

$$Re = \frac{v \times D_{int}}{\nu} \quad (22)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds [adimensional];

D_{int} = Diâmetro interno [m];

v = Velocidade média do fluido [m/s];

ν = Viscosidade cinemática [m^2/s];

Depois de encontrar o número de Reynolds deve verificar-se se este ficou dentro da faixa de escoamento laminar, se sim, podemos então calcular a perda de carga do circuito, por meio da Equação (23).

$$\Delta P = \lambda \frac{L \times \rho \times v^2}{D \times 2} \quad (23)$$

Onde:

ΔP = Perda de pressão [bar]

λ = Fator de atrito [adimensional], pode ser obtido com análise à Tabela 5.

L = Comprimento total da linha [m]

D = Diâmetro interno da tubagem [mm]

v_{rec} = Velocidade do fluxo recomendado na linha [m/s]

ρ = Densidade = 0,89 [kg/dm^3]

Para determinar o coeficiente de atrito das tubagens, é possível utilizar as fórmulas da Tabela 5, mediante o tipo de tubo utilizado, ou através do diagrama de Moody's conforme Figura 49.

Tabela 5 – Determinação do Coeficiente de Atrito da Tubagem [42]

Fluxo laminar	$\lambda = \frac{64}{Re}$	$Re < 2300$	Lei Hagen-Poiseuille's, 1856
Fluxo turbulento, tubo liso	$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$	$2300 < Re < 10^5$	Lei Blasius's, 1915
	$\lambda = 0,0054 + 0,396(Re)^{-0,3}$	$10^5 < Re < 0,2 \times 10^6$	Lei Herman's, 1930
Fluxo turbulento, tubo áspero	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right)$	$0,2 - 2,000$	Colebrook e White, 1939
	Utilizar o Diagrama de Moody's		

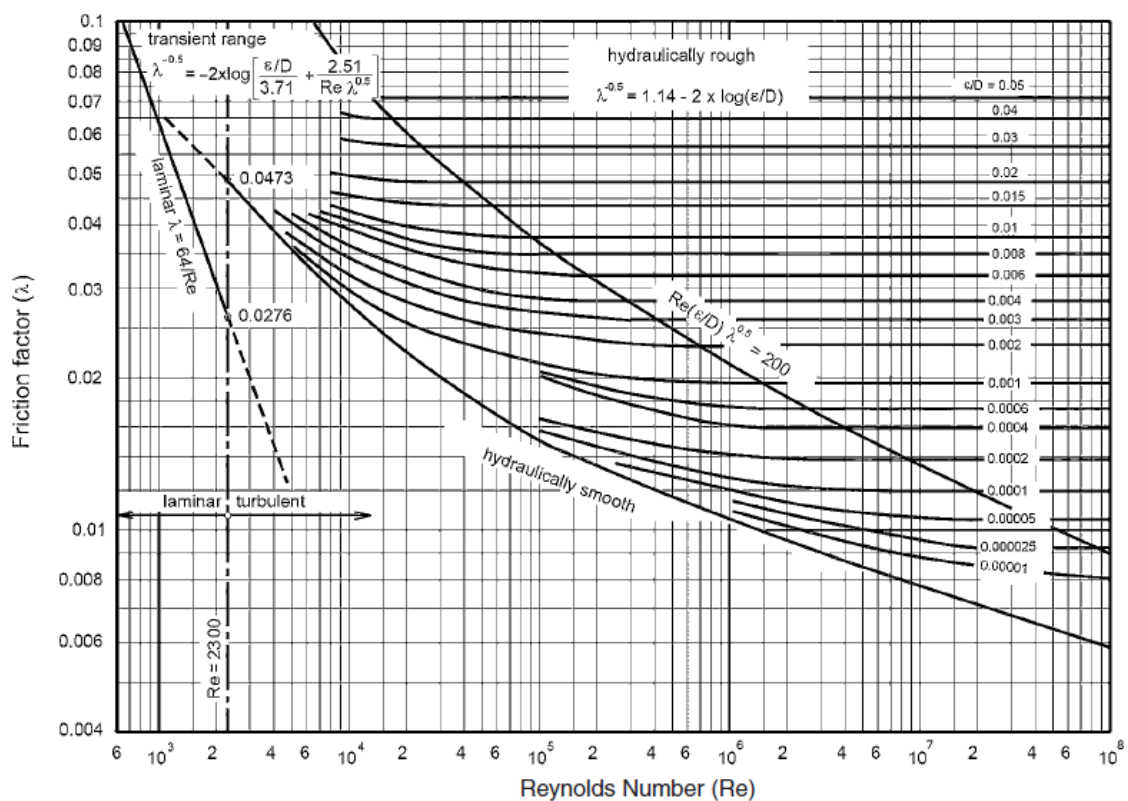


Figura 49 – Diagrama de Moody's [42]

3.5.5. Dimensionamento do depósito

Em primeira análise, pode considerar-se o reservatório de óleo hidráulico como o componente mais básico de um sistema hidráulico. No entanto, a sua importância vai muito além disso, desempenhando funções essenciais como, o armazenamento do fluido hidráulico e sua contribuição para o processo de refrigeração. Além disso, é crucial compreender quais componentes e acessórios devem ser instalados no depósito, assim como a posição ideal para a sua disposição.

Os depósitos de óleo hidráulico consistem basicamente em:

- Quatro paredes e pés de fixação, pode ser em aço ou alumínio;
- Fundo com leve inclinação, de forma a concentrar as partículas solidas;
- Tampa que permite a fixação dos componentes e impeça a entrada de contaminação;
- Filtro de ar e bocal de enchimento que permita a entrada de ar filtrado para dentro do depósito, ajudando a impedir que contaminantes externos entrem no sistema;
- Tampa de visita, de forma a ser possível efetuar uma inspeção interna para facilitar a manutenção;
- Divisão interna do depósito, impedindo que o fluido de retorno seja aspirado, diretamente, pela linha de aspiração da bomba. Permite que impurezas se sedimentem no fundo do depósito, facilitando a troca térmica, libertar as bolhas de ar para a superfície, prevenindo a cavitação da bomba.
- Indicador de nível, que facilita a identificação do nível do fluido hidráulico presente no depósito.
- Bujão de dreno, para drenar o óleo de dentro do tanque quando necessário.

Para dimensionar o volume do depósito, existe uma regra prática, que diz para multiplicarmos o caudal da bomba por três, permitindo que mesmo sem retorno de óleo para o depósito, o sistema possua três minutos de serviço.

$$CR = (3 \times QB) \quad (24)$$

Contudo, prensas para forjamento, geralmente utilizam cilindros hidráulicos com grandes dimensões, que podem por sua vez utilizar volumes elevados de óleo hidráulico. Sem falar no ambiente adverso, que apresenta temperaturas acima dos 30°C.

Desta forma, é considerado ideal multiplicarmos o caudal da bomba por um número entre três a cinco, e a este valor encontrado, somarmos o maior volume de retorno, conforme Equação (25), podendo dizer-se que é uma equação mais conservadora para dimensionamento do volume do depósito [35].

$$CR = (3 \sim 5 \times QB) + V \quad (25)$$

Onde:

- CR = Volume do depósito [l];
- QB = Caudal da bomba [l/min];
- V = Maior volume de retorno (l).

Tendo o valor do depósito, deve definir-se o formato e as medidas básicas que o depósito deve ter para atender à solicitação do volume.

Um formato bastante utilizado é o formato prismático, conforme demonstrado na Figura 50.

Exemplo de uma aplicação da regra prática, supondo que é necessário dimensionar um reservatório para um sistema com os seguintes dados: $QB=55$ l/min, aplicando a equação (24), a fim de estabelecer o volume mínimo de fluido necessário no depósito, neste caso 165 litros, que é equivalente a $0,165$ m³.

Considerando as dimensões do depósito como prismático Figura 50 e com a mesma relação dimensional (3L; 2L; L), então o volume do depósito é de $6L^3$, assim:

$$Vol. Dep. = 0,165 = (3L * 2L * L) = 6L^3$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{0,165m^3}{6}} \Rightarrow L = 0,302 m = 30,2 cm$$

As restantes dimensões (internas), respetivamente, são, (2L) 60,4 cm e (3L) 84,6 cm.

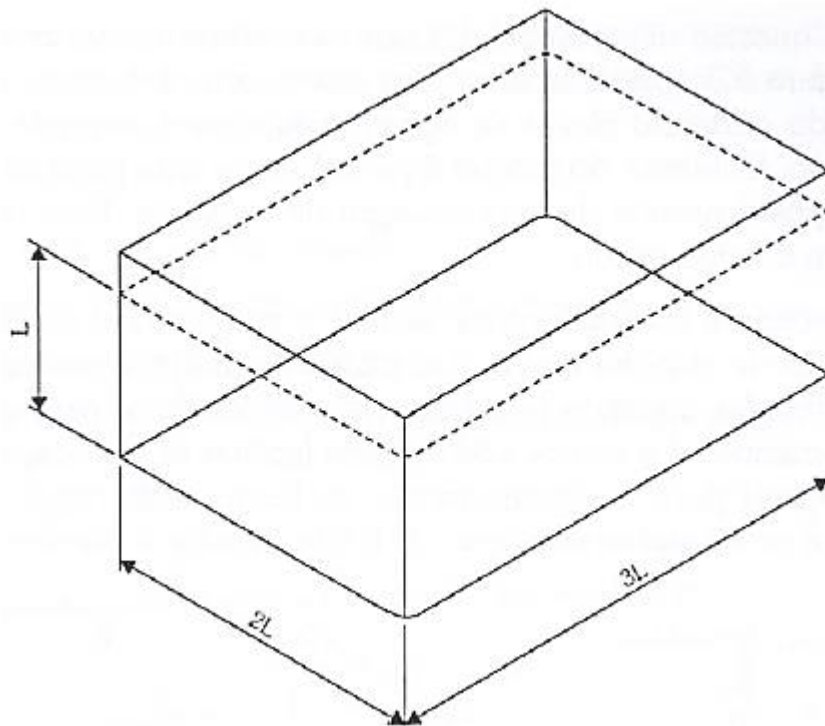


Figura 50 – Depósito prismático com dimensões (3L; 2L; L) [42]

Constata-se que, na maioria dos casos, o tanque isoladamente não é suficiente para efetuar a transferência de calor do circuito hidráulico. Portanto, conclui-se que é impraticável dimensionar o tamanho do tanque de forma a permitir a permutação de calor gerada pelo circuito, uma vez que seria necessário ter um tanque com dimensões significativamente maiores do que o volume de óleo utilizado no sistema hidráulico. Essa abordagem torna-se comercialmente inviável.

3.5.6. Permutador de calor

Um permutador de calor é um dispositivo projetado para facilitar a transferência de calor entre dois fluidos, geralmente de temperaturas diferentes, sem que os fluidos se misturem. Ele consiste em um conjunto de tubos ou canais por onde os fluidos fluem, permitindo a troca térmica entre eles.

O permutador de calor, opera com base no princípio da condução térmica, onde o calor flui naturalmente de uma região de maior temperatura para uma região de menor temperatura. Os fluidos a serem aquecidos ou arrefecidos passam por esses tubos em direções opostas ou em contracorrente, maximizando a eficiência da transferência de calor.

Existem diferentes tipos de permutadores de calor, como os de placas, tubulares, de alhetas, entre outros. Cada tipo tem suas características e aplicações específicas. Além disso, os permutadores de calor, podem ser encontrados em diversos setores industriais, como em sistemas de refrigeração, aquecimento de fluidos, processos químicos e petroquímicos, entre outros.

Esses dispositivos desempenham um papel crucial na otimização da eficiência energética e na conservação de recursos, permitindo o reaproveitamento do calor residual de um fluido para aquecer outro, reduzindo o consumo de energia e os custos operacionais.

O calor excessivo em sistemas hidráulicos faz com que o óleo reduza as suas propriedades de viscosidade, lubrificação, além de fazer com que oxide mais rapidamente. Quando o óleo perde essas propriedades, podem ocorrer problemas de desgaste prematuro de todos os componentes.

- Permutador ar/óleo

Este tipo de permutador também pode ser chamado de radiador, geralmente são utilizados quando não existe água disponível, ou a unidade hidráulica é móvel, como no caso de máquinas móveis, Figura 51.



Figura 52 – Permutador ar/óleo [3]

O permutador a ar é um meio simples de dissipar o calor, um subproduto das perdas de eficiência, dentro de máquinas industriais e móveis. O fluido, geralmente óleo ou água-glicol, flui através de um permutador. Um ventilador puxa o ar conduzindo-o através das alhetas de refrigeração.

Assim, há uma diferença de temperatura e ocorre a troca de calor resultando em um aumento da temperatura do ar que é então liberado no ambiente. Este processo reduz a temperatura média do fluido até alguns graus Celsius acima da temperatura ambiente real. É possível instalar um permutador a ar em quase todas as situações, com um impacto mínimo no layout existente.

Os custos operacionais são correspondentemente baixos e podem ser reduzidos ainda mais usando um ventilador de velocidade controlada. Os novos designs, usando ventiladores especiais de baixo ruído e otimizados para a canalização do ar, são um contributo preponderante para esta diminuição dos custos. Estes podem ser encontrados numa ampla gama de resfriadores, com designs de ventiladores axiais e radiais. Os acionamentos elétricos AC, DC e motores hidráulicos garantem a versatilidade para atender a uma variedade de aplicações e condições ambientais.

O tamanho do permutador depende de vários fatores:

- a diferença de temperatura entre o fluido e o ar ambiente;
- o caudal do fluido através das condutas do permutador;
- o caudal do ar através dos elementos do permutador (velocidade do ventilador);
- o design dos favos e da tubagem.

Os dados seguintes são necessários para selecionar o permutador correto:

- a capacidade de refrigeração necessária (dissipação de energia do sistema);
- o fluido a ser arrefecido;
- caudal do fluido a ser arrefecido;
- temperatura média máxima de entrada no permutador;
- temperatura máxima do ar ambiente (temperatura do ar no permutador);
- altitude e condições ambientais.

Para dimensionamento destes tipos de permutadores, deve-se procurar catálogos de fabricantes, onde apresentam os gráficos de troca térmica x caudal, Figura 53.

Selecting the Correct Size

This heat load must be dissipated by an air cooler. The suitable size can now be selected in the diagram.

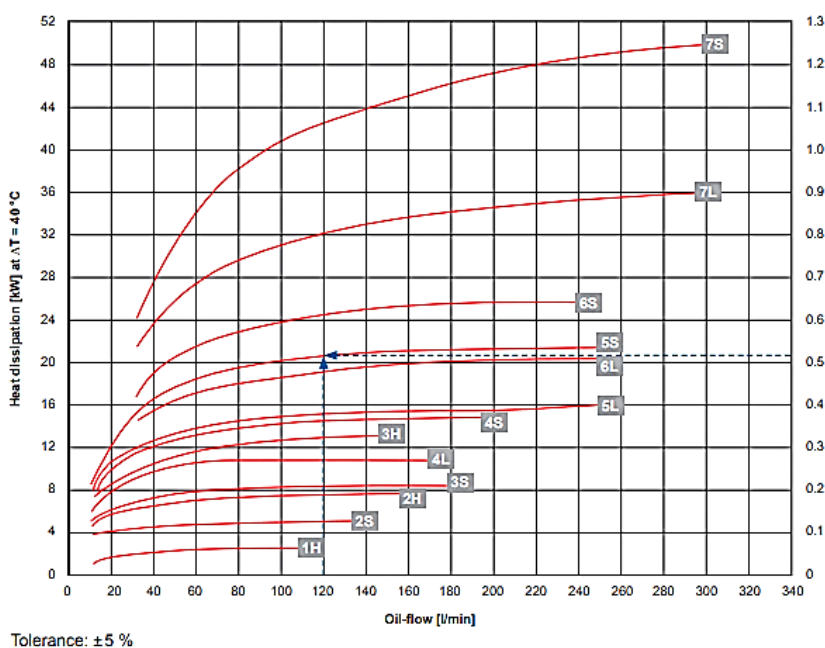


Figura 53 – Gráfico troca térmica x caudal [3]

Se a capacidade de refrigeração necessária não for conhecida, ela pode ser calculada a partir da carga de calor do tanque ou estimada a partir da energia elétrica instalada. Para demonstrar como realizar o dimensionamento foi retirado um exemplo do catálogo dos permutadores da HYDAC [3].

Neste caso, a dissipação necessária é determinada para sistemas e máquinas que já estão em operação medindo primeiro o aumento de temperatura no fluido durante um período definido (mas antes que a temperatura se estabilize). A carga de calor do sistema pode ser determinada a partir dos dados disponíveis.

Exemplo:

A temperatura do óleo num sistema aumenta de 20 °C para 60 °C em um período de 30 minutos, o volume do tanque é de 400 l, a temperatura de óleo necessária é de 60 °C e a temperatura ambiente do ar é de 30 °C.

$$\Delta T = 60 - 20 = 40 \quad (26)$$

$$P_V = \frac{\Delta T \times CP_{oil} \times \delta_{oil} \times V_{oil}}{t_{op} \times 60} = \frac{40 \times 1.88 \times 0.915 \times 400}{30 \times 60} = 15.30 \quad (27)$$

$$P_{01} = \frac{P_V}{T_1 - T_2} = \frac{15.3}{60 - 30} = 0.51 \quad (28)$$

Colocamos uma margem de segurança de 5% (para prevenir a contaminação), a capacidade específica de refrigeração.

$$P_{01} \times 1.05 = 0.53 \quad (29)$$

Onde:

P_V = Dissipação necessária, capacidade de refrigeração [kW]

P_{01} = Capacidade de refrigeração específica [kW/K]

V_{dep} = Volume do depósito [l]

δ_{oil} = Densidade para o óleo mineral: 0,915 [kg/l]

CP_{oil} = Capacidade de calor específico para o óleo mineral: 1,88 [kJ/kgK]

ΔT = Aumento de temperatura no sistema [°C]

t_{op} = Tempo de operação [min]

T_1 = Temperatura do óleo necessária [°C]

T_2 = Temperatura ambiente do ar [°C]

Uma forma de calcular a capacidade de refrigeração com base na potência elétrica instalada é estimar a carga de calor esperada. Caso a instalação ainda não esteja em operação, essa carga pode ser estimada da seguinte forma: sem restrições, espera-se cerca de 15 a 20% da potência de acionamento como carga de calor, enquanto com restrições, a carga pode chegar a até 30% da potência de acionamento.

- Permutador de calor água/óleo

Este tipo de permutador é constituído basicamente de duas formas, uma a montagem de um conjunto de tubos montados numa carcaça metálica, onde o óleo quente passa pelos tubos, dissipando o calor gerado pelo sistema, essa forma é construtiva é chamada de permutador tubular, Figura 54.

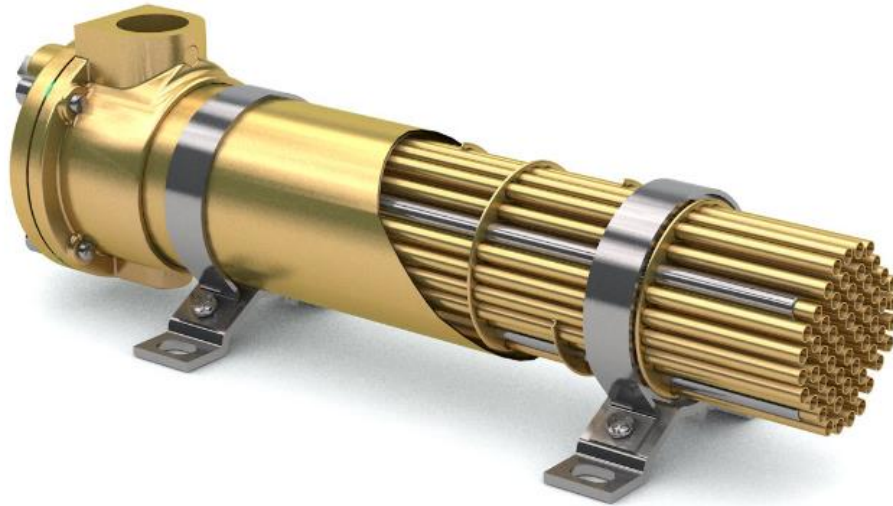


Figura 54 – Permutador tubular [44]

Outra forma construtiva de um permutador de calor água/óleo é com placas soldadas ou c/ juntas, Figura 55, Figura 56 e Figura 57.



Figura 55 – Permutador placas soldadas [3]



Figura 56 – Permutador placas soldadas c/vista em corte [3]



Figura 57 – Permutador placas c/ juntas [3]

Este tipo de permutador permite manter a temperatura de um fluido num nível bastante baixo, dependendo da temperatura que a água circula por entre as placas.

Uma característica geral para estes dois tipos de modelos de permutadores água/óleo seria que, ambos permitem a troca de imensas quantidades de calor, permitindo deixar a temperatura de um fluido constantemente baixa.

O dimensionamento do permutador de calor tubular por meio da interpretação de catálogos é realizado basicamente da mesma forma que foi realizado o dimensionamento do permutador ar/óleo, utilizando inclusive as mesmas equações, (26) (27) (28) (29), e depois, fazendo a análise do gráfico de capacidade de refrigeração como o da Figura 53.

Contudo, para estes dois modelos, o mais recomendado é entrar em contato com o fabricante ou utilizar softwares disponibilizados pelos fabricantes, pois os catálogos apresentam certa limitação quanto ao dimensionamento caudal x capacidade de refrigeração.

Vantagens dos permutadores de calor água/óleo são:

- Tamanho muito reduzido em comparação com os permutadores ar/óleo;
- Permite a troca de maiores quantidades de calor;
- Também pode ser utilizado para aquecimento de fluidos.

Contudo, também podemos mencionar algumas desvantagens:

- Em caso de rotura ou fissuramento, pode contaminar o sistema com água;

- Exige circulação de água constante, e depois essa deve ser refrigerada novamente por outro meio;
- Para os modelos que não são em inox, pode vir a ocorrer oxidação.

Também temos de ter em consideração outros fatores importantes no momento do dimensionamento de permutadores de calor, as perdas de carga, que podem ser facilmente encontradas em gráficos dos catálogos dos fabricantes.

Também é importante a escolha do posicionamento do permutador no sistema hidráulico. Os permutadores podem ser instalados nas linhas de retorno conforme Figura 58 (deixando o permutador vulnerável a picos de pressão), ou em sistemas de circulação que funcionam paralelos ao sistema hidráulico, chamados de off-line Figura 59, para todos os casos inclusive podem ser adicionados filtros em linha.

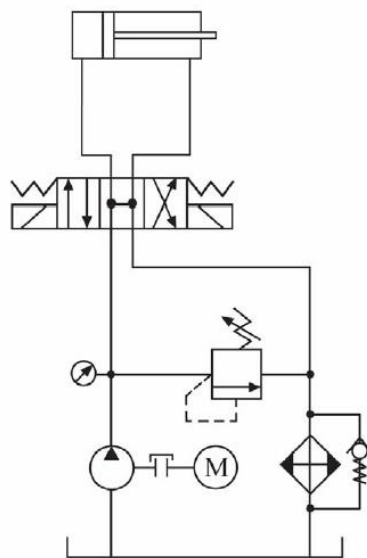


Figura 58 – Sistema de refrigeração instalado na linha de retorno [3]

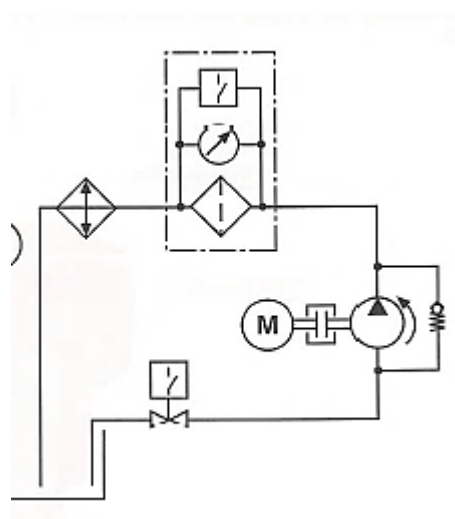


Figura 59 – Sistema de refrigeração off-line [3]

3.5.7. Filtragem do sistema e nível de contaminação

Todos os sistemas hidráulicos necessitam de algum tipo de filtro. Isto deve-se ao facto de que constantemente, o sistema está recebendo partículas provenientes de vários tipos de contaminação:

- Contaminação interna - desgaste dos componentes integrados (por exemplo, válvulas, cilindros, bombas, tanques, motores hidráulicos, mangueiras, tubos, etc.). Por sua vez, essa contaminação criada pelos componentes, podem vir a proporcionar desgaste noutros componentes. Desta forma, temos um ciclo de contaminação;
- Contaminação produzida durante a montagem do sistema – pela abertura do sistema, durante a operação do sistema e durante a falha do sistema relacionada com o fluido;
- Contaminação que entra de fora do sistema – através do filtro de ar, cilindros e vedantes;
- Contaminação que entra no sistema durante os procedimentos de manutenção – montagem/desmontagem do sistema, abertura do sistema e enchimento de óleo.

Conforme pode ser visualizado na Figura 60, as possíveis causas de contaminação.

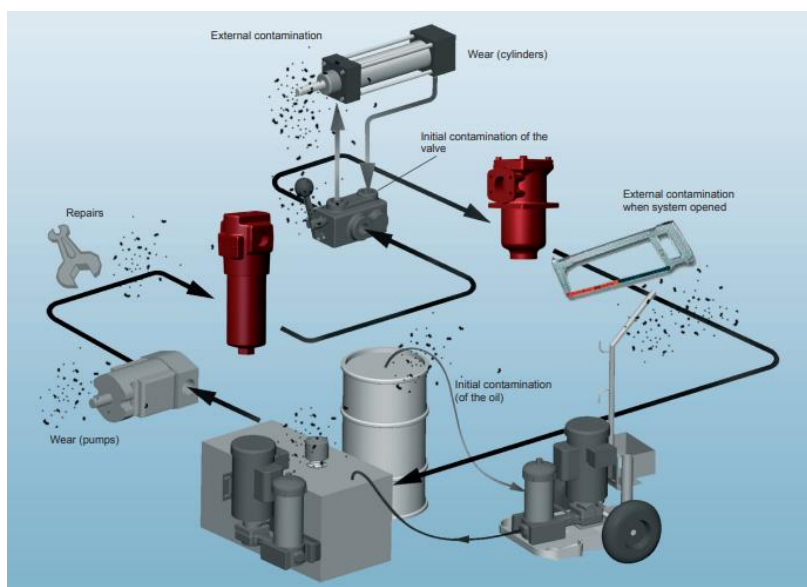


Figura 60 – Causas de contaminação [3]

Caso esses componentes, que geralmente possuem alto valor, sofram danos devido à presença de partículas sólidas nos fluidos hidráulicos e lubrificantes, podem ocorrer falhas no sistema, incluindo paragens não planeadas. A gravidade do dano nos componentes, depende do tipo de material contaminante, da pressão de operação, da forma (arredondada ou pontiaguda), do tamanho e da quantidade de partículas. Como regra geral, quanto mais duras forem as partículas, maior será o dano causado aos componentes, e quanto maior a pressão de operação, maior será a tendência das partículas se alojarem nas folgas de lubrificação. Muitas vezes, não se reconhece que a maioria dessas partículas sólidas possui tamanho inferior a 30 μm e, por isso, não são visíveis a olho nu. Isso significa que um fluido aparentemente limpo pode, na verdade, estar altamente contaminado [3], conforme podemos verificar na Figura 61, a possibilidade de verificar a olho nu a contaminação de um fluido.

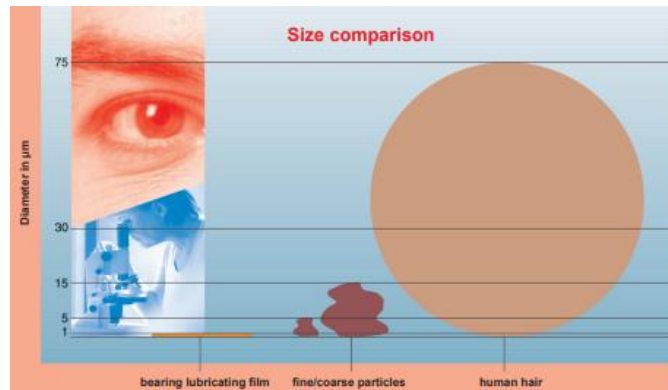


Figura 61 – Comparação/Visualização de tamanhos [3]

O funcionamento dos filtros consiste em forçar a passagem do fluido por entre um elemento filtrante, onde retêm a contaminação.

O elemento filtrante, que constitui o núcleo do filtro, é responsável pela efetivação da filtragem real e/ou pela função de desidratação no compartimento. Estes elementos são compostos por várias camadas de filtração e suporte, dispostas em forma de cilindro ao redor ou dentro do tubo de suporte estabilizador, Figura 62. Esses conjuntos de malha são hermeticamente selados pelas tampas nas extremidades. Dependendo do tipo de filtro, o fluxo atravessa os elementos filtrantes de fora para dentro ou de dentro para fora. Em relação ao material do filtro, o conjunto de malha é envolvido por uma cobertura externa adicional, geralmente em plástico.



Figura 62 – Composição do elemento filtrante [3]

Os elementos filtrantes têm a capacidade de reter uma quantidade específica de partículas. Portanto, quando o elemento fica saturado de partículas, o fluido encontra maior resistência ao passar pelo meio filtrante, resultando em uma queda na pressão do sistema, Figura 63. Muitos filtros são equipados com indicadores de colmatagem, que sinalizam quando o elemento filtrante está colmatado e requer substituição.

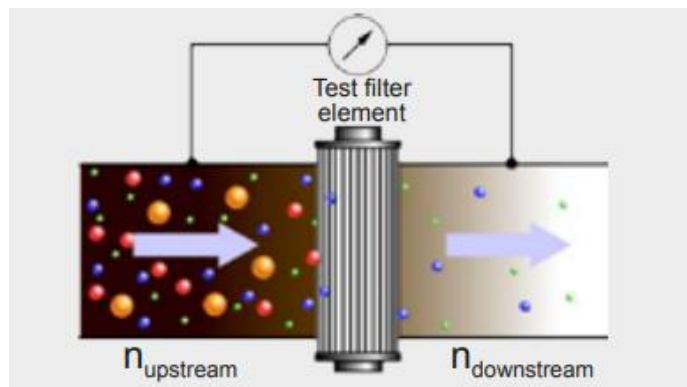


Figura 63 – Diferencial de pressão [3]

Não é necessário substituir todo o filtro (cabeça, copo, elemento filtrante) quando o elemento filtrante fica saturado. Basta trocar o elemento e continuar utilizando o filtro normalmente.

A instalação dos filtros pode ser realizada em diferentes áreas do sistema hidráulico, sendo que cada uma apresenta características específicas:

- Filtros de aspiração

Estes filtros são instalados entre o reservatório e a bomba, com o objetivo de proteger a bomba contra contaminação grosseira que pode causar um alto desgaste da mesma. Podem ser colocados em linha, na entrada do reservatório ou abaixo deste, Figura 64. Para evitar condições de operação perigosas para a bomba, é recomendado o uso de um indicador de vácuo entre o filtro e a bomba. Devido ao risco de cavitação da bomba, são utilizados materiais de filtro relativamente grosseiros, com uma taxa de filtração acima de 25 μm . Por essa razão, os filtros de aspiração não são adequados para garantir a proteção necessária dos componentes para uma operação econômica do sistema.

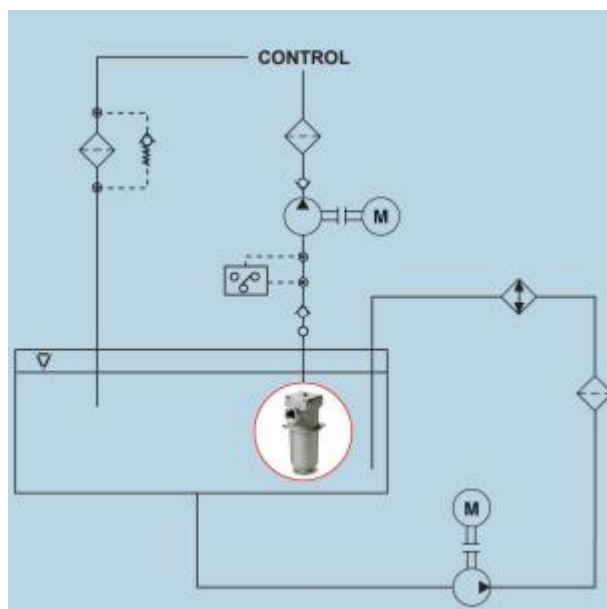


Figura 64 – Instalação do filtro de aspiração [3]

A vantagem oferecida por este filtro é somente proteger a bomba da contaminação mais grosseira do depósito. Contudo é necessário ter atenção que com este tipo de filtro não é possível uma

filtragem fina, a bomba deve ser protegida contra a cavitação (indicador de vácuo) e o risco de cavitação é muito elevada, especialmente em baixas temperaturas.

- Filtros de pressão

Este tipo de filtro é definido pela norma DIN 24550 como um filtro em linha projetado para uma pressão nominal específica. Pode ser instalado tanto antes como depois da bomba, mas também na linha de retorno entre os componentes e o depósito, Figura 65. Independentemente da localização da instalação, a carcaça do filtro deve ser dimensionada de acordo com a pressão do sistema, as pulsações de pressão e o caudal.

Com o objetivo de aumentar a confiabilidade de todo o sistema hidráulico e de lubrificação, as carcaças dos filtros são projetadas com alta resistência à fadiga. As carcaças são otimizadas para o caudal, visando obter uma queda de pressão baixa e um design compacto que economize espaço.

Dessa forma, contribuem significativamente para a economia do sistema como um todo. Em máquinas móveis que atendem aos regulamentos mais recentes, o conceito de carcaça com economia de espaço oferece vantagens consideráveis. Para minimizar o risco de fugas indesejadas do filtro em linha durante a operação, eles podem ser integrados num bloco hidráulico ou de lubrificação.

Para proteger componentes especialmente sensíveis, como servo-válvulas e válvulas proporcionais, é recomendada a instalação deste tipo de filtro imediatamente antes do componente. No entanto, a alta dinâmica nos circuitos de controlo deve ser levada em consideração nesses casos. Filtros em linha equipados com elementos filtrantes em que o caudal é de fora para dentro devem ser preferencialmente instalados em sistemas que apresentem pulsações de alta pressão e cuja carcaça do filtro não possua uma válvula bypass.

Em sistemas com alto nível de contaminação, como no caso de lubrificantes refrigerantes, nos quais é necessária uma filtragem adicional e eficaz de partículas metálicas, é recomendado a instalação de um filtro em que o caudal passe pelos elementos filtrantes de dentro para fora.

Dependendo da localização do filtro em linha na máquina, esse tipo de carcaça oferece vantagens na substituição do elemento. Os filtros de pressão, devem sempre estar equipados com um indicador de colmatagem.

Somente filtros em linha, sem válvula bypass, devem ser utilizados antes de componentes particularmente críticos. Esses filtros devem ser equipados com um elemento filtrante capaz de suportar pressões diferenciais mais altas (pressão de colapso) sem sofrer danos.

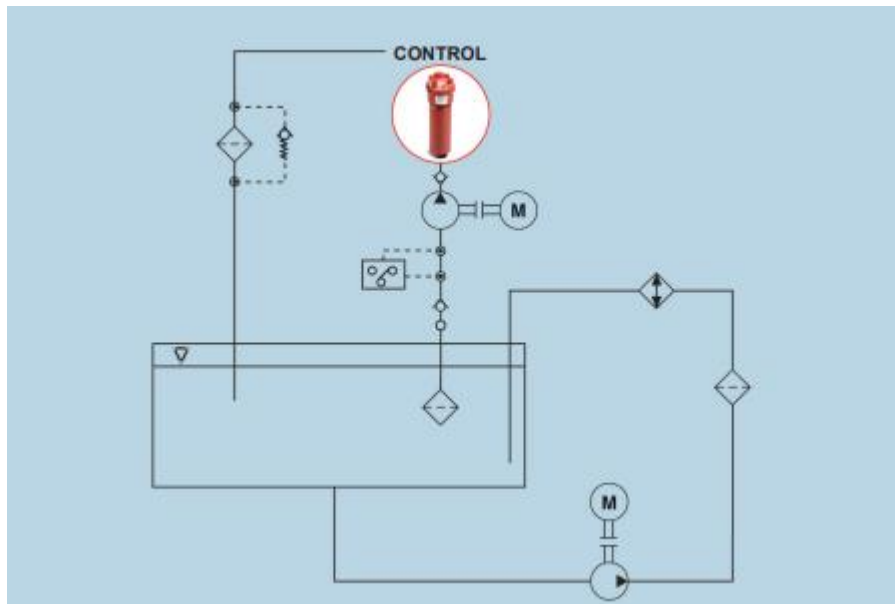


Figura 65 – Instalação do filtro de pressão [3]

A vantagem oferecida por este filtro é que o nível de limpeza exigido é garantido e a filtragem é feita diretamente antes dos componentes que necessitam de proteção. Contudo não é tudo vantagens, a carcaça e o elemento são mais caros devido à carga de pressão, a construção do elemento é complexo como resultado da necessidade da resistência à pressão diferencial, a bomba não se encontra protegida e no caso de filtros individuais, o sistema tem de ser desligado para se poder trocar o elemento.

- Filtro de retorno

Este tipo de filtro pode ser instalado na linha de retorno do depósito ou montado na parte superior do depósito, Figura 66.

Para evitar mau funcionamento em componentes hidráulicos, como resultado de contrapressão excessiva na linha de retorno, os elementos são equipados com uma válvula bypass. Para sistemas que funcionam 24 horas por dia, a carcaça do filtro deve ser do tipo comutável (duplo) para que o sistema não necessite de ser desligado para manutenção do filtro.

Para que o caudal de óleo não seja interrompido durante o processo de comutação, causando falta de lubrificação, a válvula de comutação é projetada com sobreposição negativa.

Ao selecionar o tamanho correto do filtro, o caudal máximo possível deve ser levado em consideração. Isso corresponde à relação de área de pistão para pistão, menos a haste dos cilindros hidráulicos e pode ser maior que o caudal gerado pelas bombas.

Para evitar a possível formação de espuma do fluido no tanque, certificamo-nos de que a saída do fluido do filtro esteja sempre abaixo do nível do fluido em todas as condições de operação. Pode ser necessário instalar um tubo ou difusor de caudal na saída do filtro. É importante, que a distância entre o fundo do tanque e a extremidade do tubo não seja inferior a duas a três vezes o diâmetro do tubo.

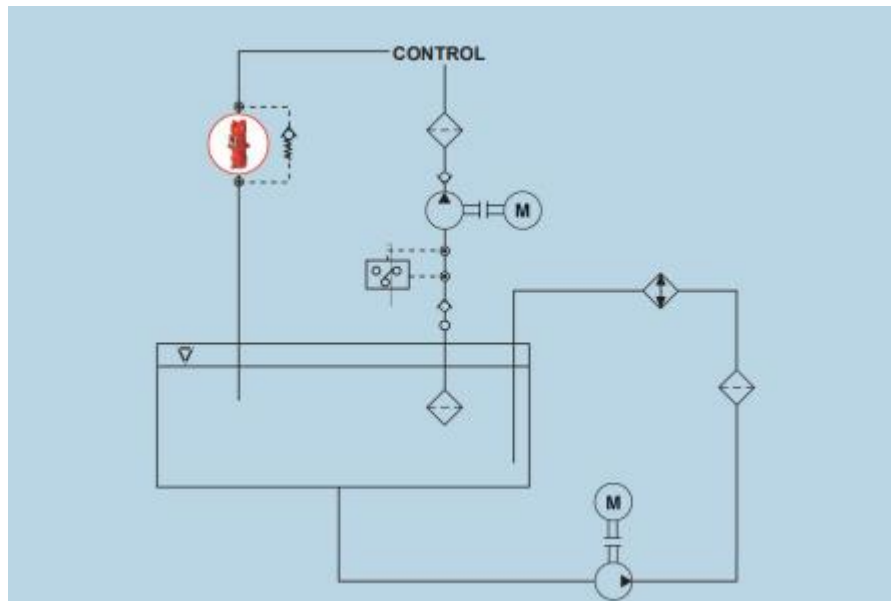


Figura 66 – Instalação do filtro de retorno [3]

A vantagem oferecida por este filtro é que todo o fluido que retorna ao depósito é filtrado e as contaminações geradas pelo desgaste de componentes não cheguem ao depósito.

- Filtros *off-line*

Nos sistemas hidráulicos sujeitos a cargas pesadas, é cada vez mais comum a utilização de filtros *off-line* adicionais para evitar o acumular de partículas finas, Figura 67.

Ao contrário dos filtros principais, apenas uma parte do fluxo total do sistema passa pela filtragem dos filtros *off-line*. Isso permite alcançar níveis excelentes de limpeza do óleo por meio de uma filtragem contínua, independentemente do ciclo operacional da máquina.

Além disso, os filtros principais não têm a necessidade de ser sobrecarregados, o que significa que os intervalos de substituição dos elementos filtrantes podem ser prolongados. Os sistemas de filtro *off-line*, devem ser utilizados em conjunto com os filtros principais. Nesse caso, o filtro principal deve ser dimensionado como um filtro de proteção, ou seja, com uma filtração menos fina e sem válvula bypass.

O caudal do sistema *off-line* deve ser, no mínimo, 10% do volume do depósito.

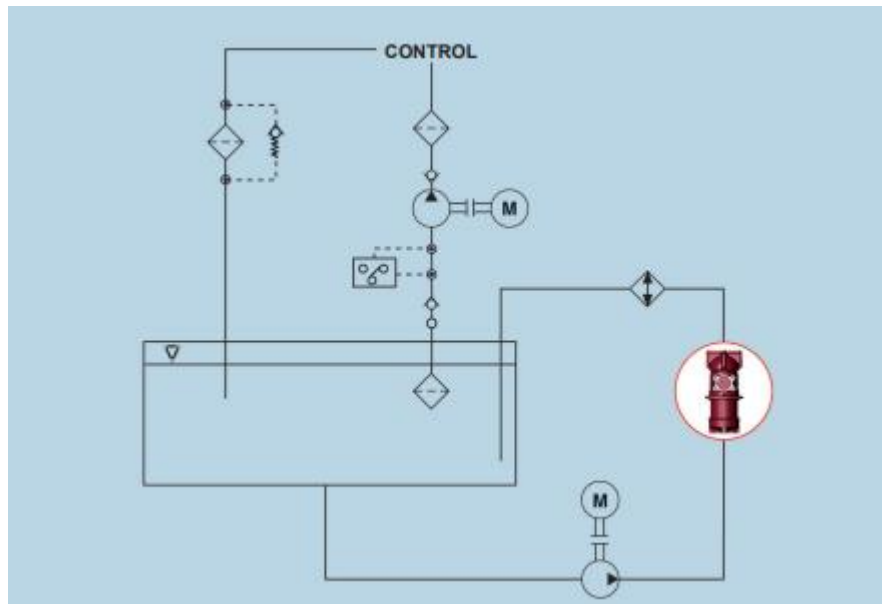


Figura 67 – Instalação do filtro off-line [3]

Os filtros *off-line*, garantem uma série de vantagens para o sistema hidráulico em que se encontram instalados e garantem excelentes classes de pureza. Permitem a retenção de um grande número de partículas sendo possível trocar o elemento filtrante sem desligar o sistema principal, exigindo menos tempo de manutenção. A vida útil do fluido é estendida, permitindo a instalação de filtros capazes de reter água, que podem ser instalados em sistemas existentes, podem realizar a filtragem do fluido do depósito, mesmo quando o sistema principal está parado e permutadores podem ser facilmente incorporados nos circuitos *off-line*. As únicas desvantagens é que têm um custo adicional ao sistema, requerem um espaço adicional e não fornecem uma proteção direta aos componentes.

- Filtro de ar

Os filtros de ar são componentes extremamente importantes, embora muitas vezes não sejam considerados prioritários durante o projeto de uma unidade. Na realidade, esses filtros são considerados essenciais num sistema hidráulico.

Devido às variações de temperatura e ao uso de cilindros ou acumuladores, o nível de óleo nos reservatórios dos sistemas hidráulicos e de lubrificação estão sujeitos a constantes oscilações. Essas flutuações resultam em uma diferença de pressão em relação ao ambiente, o que permite a entrada de contaminação nos reservatórios.

Os filtros de ar têm a função de impedir a entrada de contaminantes, Figura 68. É ideal que possuam uma classificação de filtragem pelo menos equivalente à do filtro principal do circuito hidráulico. Ao utilizar filtros de ar com válvulas de retenção dupla, é possível reduzir significativamente a troca de ar entre o reservatório e o ambiente, minimizando a quantidade de contaminação e poeira que penetra no reservatório e prolongar a vida útil do filtro de ar.

Em locais com grandes variações de temperatura e alta humidade, a entrada de água também é um problema. Os filtros de sílica impedem a entrada de água e assim, melhoram o desempenho do fluido.

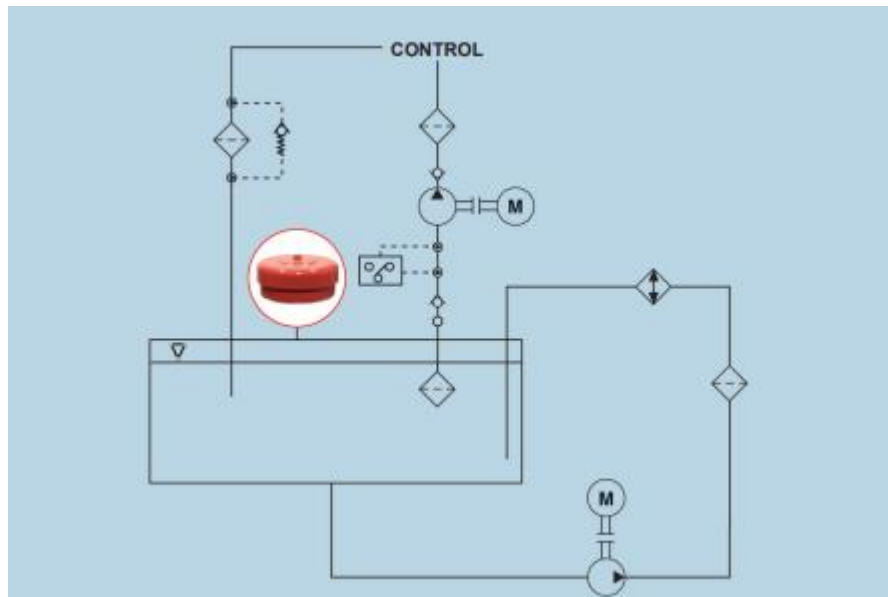


Figura 68 – Instalação do filtro de ar [3]

As vantagens deste filtro são, aliviar a carga nos filtros do sistema hidráulico, prevenindo a entrada de partículas no depósito, permitir realizar o enchimento de óleo do depósito, possuindo uma peneira no bocal de enchimento de forma que as partículas grandes, provenientes do óleo armazenado de forma inadequada, não entrem no mesmo. Existem também modelos capazes de reter a humidade do ar que entra no depósito.

3.6. Norma ISO 4406:1999

Após a exposição das principais características dos filtros disponíveis para a proteção de circuitos hidráulicos, é necessário dimensionar o tamanho da malha de filtragem e da carcaça. Além da malha de filtragem, é igualmente importante determinar o nível de limpeza de acordo com a norma ISO 4406:1999. Essas informações podem ser obtidas por meio da consulta da Tabela 6.

Segundo a Figura 69 é possível determinar a classificação de limpeza ISO recomendada para diferentes componentes de sistemas hidráulicos, de acordo com suas condições de operação. Para obter essas informações, é necessário ter uma compreensão prévia dos componentes que serão instalados na unidade hidráulica.

Na norma ISO 4406, as contagens de partículas são determinadas conjuntamente, ou seja, $> 4 \mu\text{m}$ (c), $> 6 \mu\text{m}$ (c) e $> 14 \mu\text{m}$ (c) (manualmente, filtrando o fluido através de uma membrana de análise ou automaticamente usando contadores de partículas) e alocadas para números-chave (Tabela 6).

	Low/medium pressure <140 bar (Moderate conditions)		High pressure 140 to 200 bar (Low/medium under bad conditions ¹)		Very high pressure >200 bar (High pressure under bad conditions ¹)	
	ISO 4406 Target cleanliness class	Filtration rating μm	ISO 4406 target cleanliness class	Filtration rating μm	ISO 4406 Target cleanliness class	Filtration rating μm
Pumps/motors						
Gear or vane	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Piston	19/17/14	10	18/16/13	5	17/15/12	3
Variable vane	18/16/13	5	17/15/12	3	not required	not required
Variable piston	18/16/13	5	17/15/12	3	16/14/11	3 ²⁾
Drives						
Cylinder	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Hydrostatic drives	16/15/12	3	16/14/11	3 ²⁾	15/13/10	3 ²⁾
Test benches	15/13/10	3 ²⁾	15/13/10	3 ²⁾	15/13/10	3 ²⁾
Valves						
Non-return valve	20/18/15	20	20/18/15	20	19/17/14	10
Directional valve	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Standard flow control valve	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Poppet valve	19/17/14	10	18/16/13	5	17/15/12	3
Proportional valve	17/15/12	3	17/15/12	3	16/14/11	3 ²⁾
Servo valve	16/14/12	3 ²⁾	16/14/11	3 ²⁾	15/13/10	3 ²⁾
Bearing						
Plain bearing ³⁾	18/15/12	10	not required	not required	not required	not required
Gears ³⁾	17/15/12	10	not required	not required	not required	not required
Ball bearing ³⁾	15/13/10	3 ²⁾	not required	not required	not required	not required
Roller bearing ³⁾	16/14/11	5	not required	not required	not required	not required

Figura 69 – Tabela para selecção de níveis de pureza ISO e malha de filtragem [3]

Tabela 6 – Tabela determinação da classe da norma ISO 4406:1999 [3]

Código ISO	Partículas/100 ml		Código ISO	Partículas/100 ml		Código ISO	Partículas/100 ml	
	Mais de	até e incluindo		Mais de	até e incluindo		Mais de	até e incluindo
0	0,5	1	10	500	1000	20	500000	1000000
1	1	2	11	1000	2000	21	1000000	2000000
2	2	4	12	2000	4000	22	2000000	4000000
3	4	8	13	4000	8000	23	4000000	8000000
4	8	16	14	8000	16000	24	8000000	16000000
5	16	32	15	16000	32000	25	16000000	32000000
6	32	64	16	32000	64000	26	32000000	64000000
7	64	130	17	64000	130000	27	64000000	130000000
8	130	250	18	130000	250000	28	130000000	250000000
9	250	500	19	250000	500000	>28	250000000	

Para obter uma compreensão mais clara de como a classificação do nível de pureza do óleo é determinada, podemos consultar a Figura 70. Nessa figura, temos um exemplo de classificação ISO 21/18/15. Conforme ilustrado, o primeiro número representa as partículas com diâmetro superior a 4 μm , o segundo número refere-se às partículas com diâmetro superior a 6 μm e o terceiro número refere-se às partículas com diâmetro de 14 μm . Esses valores são baseados em uma análise de 100 ml de óleo.

ISO Code (to ISO 4406)	Particle quantity/100ml		Determined using...
	from	to	
5	16	32	...electronic particle counter
6	32	64	21 / 18 / 15 >4 μm_c >6 μm_c 14 μm_c
7	64	130	
8	130	250	...microscopic counting
9	250	500	- / 18 / 15 >5 μm_c 15 μm_c
10	500	1000	
11	1000	2000	
12	2000	4000	
13	4000	8000	
14	8000	16000	
15	16000	32000	
16	32000	64000	
17	64000	130000	
18	130000	260000	
19	260000	500000	
20	500000	1000000	
21	1000000	2000000	
22	2000000	4000000	
23	4000000	8000000	
24	8000000	16000000	
25	16000000	32000000	
26	32000000	64000000	
27	64000000	130000000	
28	130000000	250000000	

Figura 70 – Classificação de níveis de pureza conforme ISO 4406:1999 [3]

Agora que temos conhecimento da classe de pureza que precisamos alcançar e do tamanho da malha do elemento filtrante, devemos dimensionar o tamanho da carcaça do filtro de modo a permitir que o fluido passe pelo filtro sem gerar uma perda excessiva de carga.

É aconselhável que as perdas de carga iniciais nos filtros (com o elemento filtrante limpo) estejam em conformidade com as informações fornecidas na Figura 71.

Use as	Filter type	Total initial differential pressure (with new filter element)
Working filter	Return line filter, Pressure filter with bypass valve	0.15 to 0.2 • Pressure setting of clogging indicator ($P_{\text{indicator}}$)
	Offline filter, Inline filter, Separate units	0.15 to 0.2 bar
Protective filter	Pressure filters without bypass valve	0.3 • P_{display}
	Suction filter	0.04 bar

Figura 71 – Perdas de carga inicial recomendada para filtros limpos [3]

Ao longo do tempo, o elemento filtrante de um filtro tende a ficar contaminado. Quando o elemento atinge sua capacidade máxima de retenção de contaminantes e não é substituído, o sistema pode perder eficiência.

Para evitar esse problema, muitos filtros são equipados com uma válvula de alívio conhecida como "válvula bypass". Essa válvula desvia o caudal de óleo do elemento filtrante, permitindo que o óleo passe diretamente pela carcaça do filtro. No entanto, essa medida resulta na inclusão de óleo contaminado no sistema.

Uma solução disponível para determinar o momento adequado de substituir o elemento filtrante são os indicadores de colmatagem. Esses indicadores podem ser visuais, Figura 72 ou elétricos, Figura 73. Na Figura 74, podemos observar um filtro em corte, para entender o funcionamento de um indicador de colmatagem.

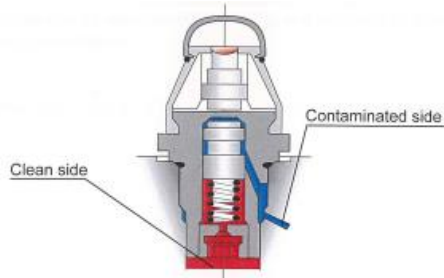


Figura 72 – Indicador de colmatagem visual [3]

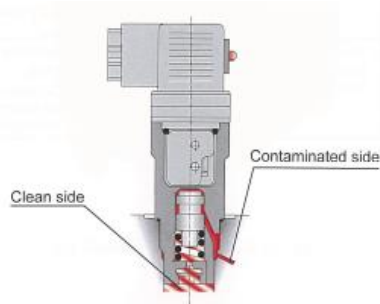


Figura 73 – Indicador de colmatagem elétrico [3]

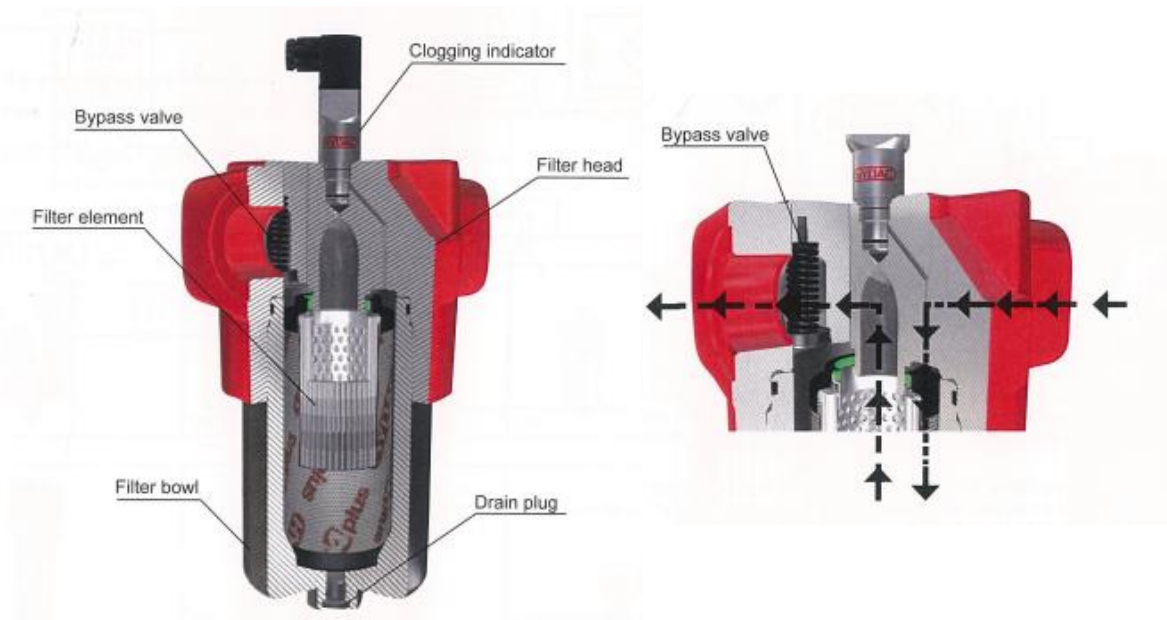


Figura 74 – Filtro em corte [3]

Ao conhecer as perdas de carga iniciais recomendadas para os diferentes modelos de filtros, é importante analisar-se os gráficos de perdas de carga disponíveis nos catálogos de filtros. É necessário somar a perda de carga da carcaça do filtro com a perda de carga do elemento filtrante, a fim de obter a perda de carga total gerada pelo filtro. Um exemplo ilustrativo pode ser encontrado na Figura 75.

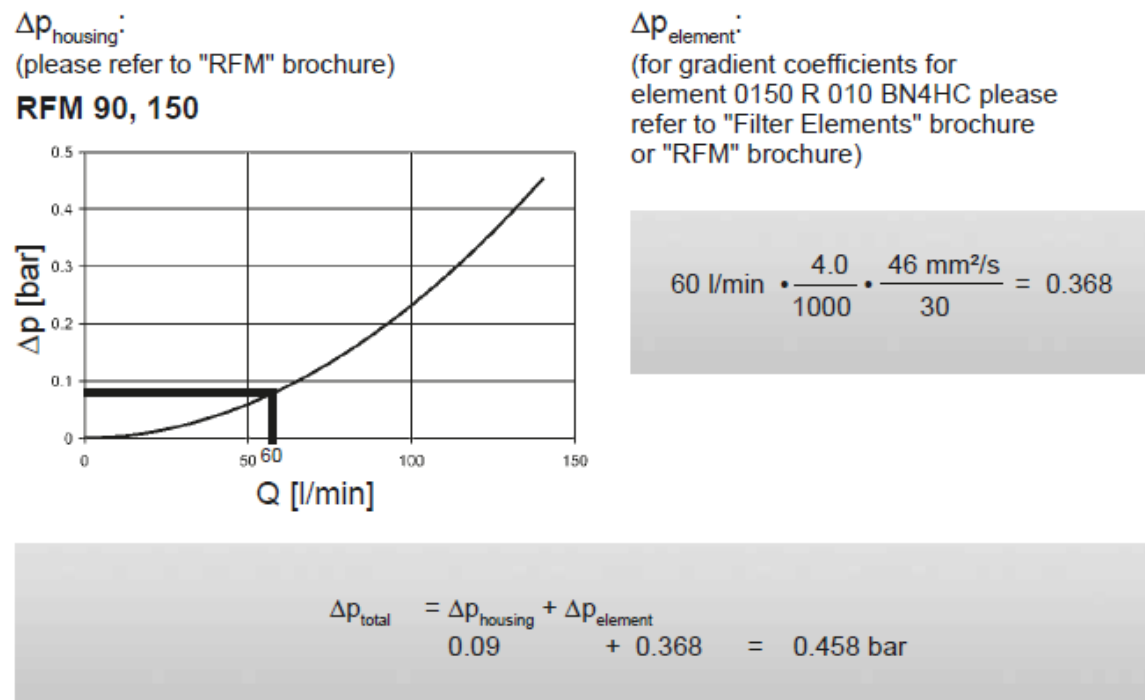


Figura 75 – Exemplo de cálculo de perda de pressão inicial para um elemento de retorno, de 10 μm , com coeficiente de gradiente =4.0 [3]

A abordagem utilizada de forma a otimizar a produtividade e o custo-benefício deste sistema, foi a utilização de uma solução composta por produtos de monitorização (I4.0), que podemos identificar como engenharia de fluidos, que integra:

- Otimização do processo/sistema de produção;
- Condicionamento do fluido para confiabilidade do processo e aumento da vida útil;
- Minimização da contaminação inicial de peças e sistemas para reduzir o tempo de inatividade;
- Digitalização de sistemas e processos como base para monitorização de condições e manutenção preditiva;

O recurso a este sistema, é uma forma de tornar o processo de produção confiável e a qualidade do produto final, onde é criada uma produção tranquila. Envolvendo tanto a produção confiável dos dispositivos com qualidade consistente quanto a confiabilidade funcional do sistema.

Com a monitorização dos dados fornecidos pelo equipamento, é possível reduzir de forma sustentável as falhas do sistema em seus processos de produção, aumentando a eficiência do sistema e ao mesmo tempo, evitar danos inesperados.

A monitorização da condição em conjunto com a manutenção preditiva, das possíveis falhas da máquina e das falhas de produção associadas são antecipadas.

O uso ideal de fluidos não é apenas crucial do ponto de vista ambiental, mas também pode economizar custos, na redução de materiais consumíveis e na economia de fluidos operacionais.

O Sensor de Contaminação Metálica MCS (Monitoring Contamination Sensor), Figura 76 é usado para registrar partículas de desgaste em fluidos. Um método de medição indutivo é usado para detetar e contar as partículas e classificá-las de acordo com seu tamanho e propriedades metalúrgicas (metálicas “Fe” e não metálicas “nFe”).



Figura 76 – Sensor MCS [3]

O MCS é, portanto, uma ferramenta ideal para monitorização contínua da condição das caixas reductoras, bombas ou sistemas de rolamentos e fornece informações antecipadas sobre qualquer dano em estágio inicial. O sensor pode ser usado sozinho ou em combinação com outros dispositivos de monitorização de condição, como sistemas de monitorização de vibração.

O MCS 1000 pode, portanto, ser facilmente integrado em abordagens de manutenção preditiva ou com base em condição, conforme esquema hidráulico da Figura 77, e também ajuda a reduzir paragens não programadas do sistema.

Vantagens

- Detecção precoce de danos iminentes;
- Prevenção de paragens do sistema dispendiosas e não programadas;
- Determinação do grau de desgaste e localização de fontes de desgaste com base na classificação das partículas de desgaste medidas em relação ao seu tamanho e tipo de partícula (metálica ou não metálica);
- Fácil integração em sistemas e instalações devido a interfaces de dados padronizadas e uma ampla gama de acessórios hidráulicos;
- Uma ferramenta ideal para a implementação de estratégias de manutenção modernas e como uma extensão para dispositivos de monitorização baseada na condição de máquinas existentes, como sistemas de monitoramento de vibração.

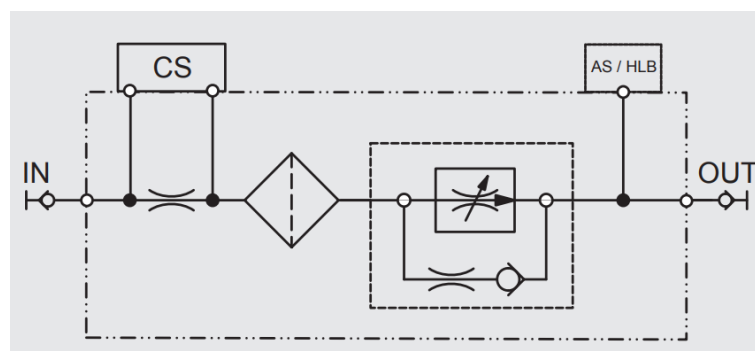


Figura 77 – Esquema hidráulico FMM [3]

O módulo de monitorização de fluidos FMM (Fluid Monitoring Module), Figura 78, combina dois sensores HYDAC, o ContaminationSensor CS 1000 e o AquaSensor AS 1000 ou HYDACLab 1400.



Figura 78 – Módulo monitorização FMM [3]

É um sistema robusto e estacionário para medição de:

- Contaminação de partículas sólidas (Norma ISO 4406);
- Conteúdo de água (por exemplo, para detetar fugas) em sistemas hidráulicos e de lubrificação.
- Condição do óleo (por exemplo, mudança relativa na condutividade elétrica e constante dielétrica).

Vantagens:

- Solução de instalação com custo baixo;
- Detecção precoce de condições críticas da máquina;
- Monitorização contínua das condições do óleo;
- Manutenção programada baseada na condição.

3.7. Diretiva Europeia 2006/42/EG

A Diretiva Europeia 2006/42/EG, relativa à Segurança de Máquinas, é uma diretiva importante que estabelece diretrizes para garantir a segurança de máquinas fabricadas e utilizadas na União Europeia. Essa diretiva impõe responsabilidades aos fabricantes de máquinas e visa proteger trabalhadores e utilizadores finais, bem como promover a conformidade das normas de segurança em toda a UE [45].

A diretiva tem como objetivo principal garantir a segurança das máquinas, minimizando os riscos associados à sua fabricação, instalação e uso.

Os fabricantes são responsáveis por projetar, fabricar e fornecer máquinas que correspondam aos requisitos de segurança estabelecidos na diretiva. Eles devem realizar uma avaliação de riscos completa e aplicar medidas de segurança adequadas durante o processo de design e produção. Também devem preparar a documentação técnica abrangente que descreva o projeto, os riscos identificados e as medidas de segurança adotadas. Essa documentação deve estar disponível para inspeção e deve acompanhar a máquina ao longo de sua vida útil.

O fabricante deve emitir uma declaração de conformidade, atestando que a máquina está em conformidade com os requisitos da diretiva e pode ser colocada no mercado da UE.

As máquinas que cumpram com os requisitos da diretiva recebem a marca CE, indicando que estão em conformidade com as regulamentações da UE.

A diretiva destaca a importância da avaliação de riscos, identificando potenciais perigos, estimando os riscos e implementando medidas de segurança para reduzi-los a níveis aceitáveis.

A segurança da máquina deve ser considerada em todas as fases do seu ciclo de vida, desde o projeto e fabricação até à instalação, operação, manutenção e desativação.

A diretiva promove a conformidade das normas de segurança em toda a UE, facilitando o comércio de máquinas entre os Estados membros.

A principal preocupação da diretiva é proteger a saúde e a segurança dos trabalhadores que operam as máquinas, bem como dos utilizadores finais.

A diretiva está sujeita a atualizações e revisões para acompanhar os avanços tecnológicos e as mudanças nas práticas de segurança [45].

3.8. Norma DIN EN ISO 13849 e DIN EN ISO 16093-3

As normas como a DIN EN ISO 13849 e a DIN EN ISO 16093-3 são normas técnicas que fornecem orientações detalhadas sobre aspetos específicos da segurança de máquinas, como sistemas de comando para máquinas (DIN EN ISO 13849) e a interação entre o operador e a máquina (DIN EN ISO 16093-3).

Os blocos PSBH (a sigla advém da palavra alemã *Pressensteuerblock hydraulisch* que significa Bloco de controlo da prensa hidráulica), Figura 79, são uma solução específica oferecida pela HYDAC, que visa atender aos requisitos de segurança das normas DIN EN ISO 13849 e DIN EN ISO 16092-3 em prensas hidráulicas. Esses blocos são uma abordagem para a implementação de medidas de segurança em sistemas hidráulicos de prensas.

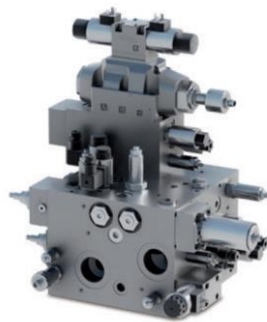


Figura 79 – Bloco de segurança PSBH [3]

A norma DIN EN ISO 13849 e a norma DIN EN ISO 16092-3 são duas normas distintas, mas complementares, que podem ser aplicadas em conjunto para garantir a segurança adequada nas prensas hidráulicas conforme podemos verificar na Figura 80.

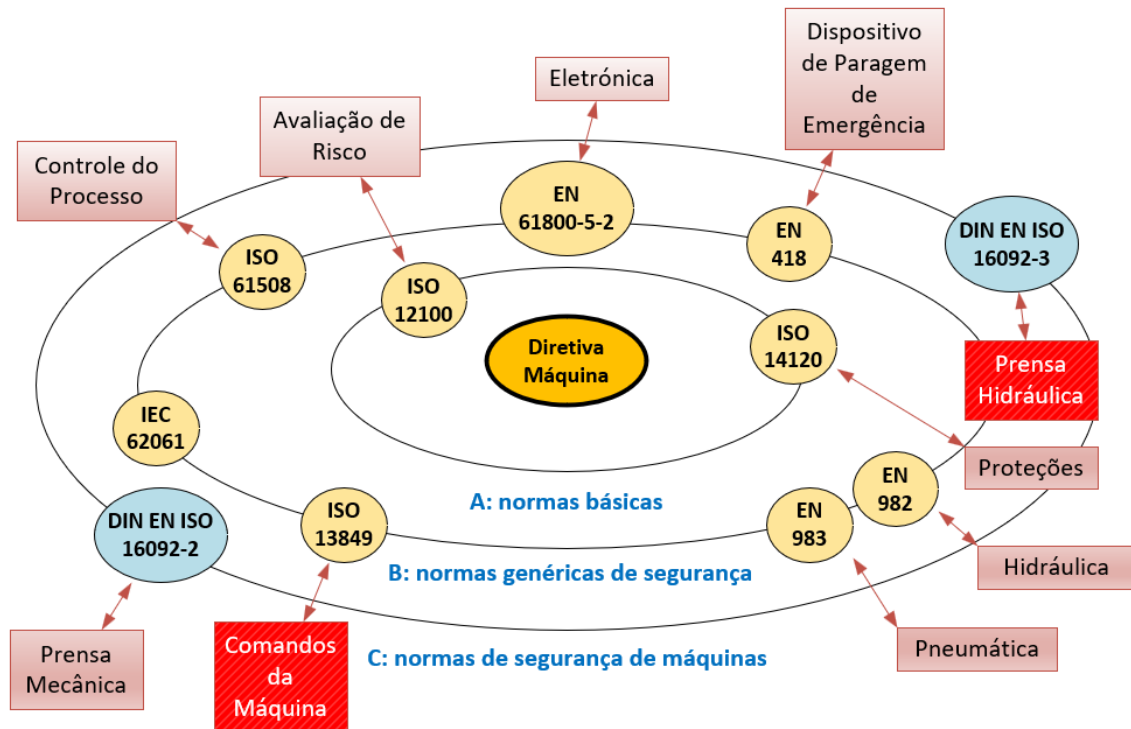


Figura 80 – Normas Harmonizadas na União Europeia “Sistema Planetário” [3]

A norma DIN EN ISO 13849 é focada na segurança de sistemas de controlo relacionados com a segurança em máquinas. Ela fornece diretrizes e requisitos específicos para avaliar e determinar o desempenho dos sistemas de controlo eletrónico em relação à segurança [2].

Por outro lado, a norma DIN EN ISO 16092-3, estabelece os requisitos técnicos para a fabricação e instalação de sistemas como as prensas hidráulicas. Ela aborda aspetos como projeto, fabricação, instalação, operação, manutenção e segurança desses sistemas, garantindo que as interfaces das máquinas sejam projetadas de forma a serem seguras, eficazes e adequadas para o operador [46].

Ao complementar a norma DIN EN ISO 13849 com a norma DIN EN ISO 16092-3 nas prensas hidráulicas, podem seguir-se as seguintes etapas:

- **Análise de riscos:** Realize uma análise detalhada de riscos, conforme exigido pela norma DIN EN ISO 16092-3, para identificar os perigos associados às prensas hidráulicas. Isso ajudará a determinar os requisitos de segurança necessários.
- **Projeto seguro:** Utilização das diretrizes da norma DIN EN ISO 16092-3 para projetar e fabricar as prensas hidráulicas, levando em consideração os aspetos relacionados à segurança, como geometria, fixação e sistemas de controlo.
- **Seleção de componentes:** Escolha componentes apropriados que atendam aos requisitos da norma DIN EN ISO 13849 em relação ao desempenho e à confiabilidade do sistema de controlo da prensa hidráulica. Considere as características dos componentes em relação ao Performance Level (PL) necessário para garantir a segurança adequada.
- **Avaliação do PL (Performance Level):** Realização da determinação do PL, conforme especificado na norma DIN EN ISO 13849, para o sistema de controlo da prensa hidráulica, considerando a arquitetura do sistema, a probabilidade de falha dos componentes e as

medidas de segurança implementadas. O PL é uma medida do desempenho de um sistema de controlo em relação à sua capacidade de fornecer segurança em relação a riscos específicos. Ele é baseado na probabilidade de falha de um sistema de controlo em atender aos requisitos de segurança estabelecidos. Quanto maior o PL, maior é o nível de confiabilidade e menor é a probabilidade de falha do sistema.

- Implementação de medidas de segurança: Com base na avaliação do PL e nos requisitos de segurança identificados na análise de riscos, implementa-se as medidas de segurança apropriadas para a prensa hidráulica, incluindo a classificação dos sistemas de controlo em níveis de “a” a “e”, sendo “a” o nível mais baixo e “e” o nível mais alto. Cada nível corresponde a uma faixa de probabilidade de falha do sistema e requer diferentes medidas de segurança para atender aos requisitos de segurança. Isso pode incluir dispositivos de proteção, sistemas de monitorização, paragens de emergência, entre outros.

Ao combinar as diretrizes e os requisitos das normas DIN EN ISO 16092-3 e DIN EN ISO 13849, estamos a abordar aspetos técnicos, requisitos de segurança e confiabilidade do projeto, fabricação e sistema de controlo das prensas hidráulicas. Essa abordagem abrangente ajudará a garantir um ambiente de trabalho seguro e a minimizar os riscos associados ao uso das prensas hidráulicas.

- PLa (Performance Level a): Este é o nível mais baixo do desempenho em termos de segurança funcional. As máquinas com PLa dependem principalmente de precauções do operador para evitar acidente. Não possuem características de segurança significativas além de avisos de operação.
- PLb (Performance Level b): As máquinas com PLb têm algumas características de segurança básicas. Isso pode incluir paragens de emergência e sistemas simples de prevenção de movimento inesperado. No entanto, ainda há uma dependência considerável na atenção do operador para evitar situações de risco, Figura 81.

- Movimento controlado por uma válvula direcional, que é bem testada no que diz respeito à segurança.
- A falha da válvula pode levar à perda da função de segurança.

Aplicação: No caso de riscos baixos, por ex. máquinas funcionando em modo automático com áreas de trabalho fechadas.

- PLc (Performance Level c): Os sistemas com PLc são mais avançados em termos de segurança funcional. Eles incluem características como monitorização de velocidade e direção do movimento, bem como a capacidade de detetar algumas falhas. Em caso de perigo, esses sistemas podem tomar medidas para interromper a operação de forma segura, Figura 81.

- Movimento controlado por uma válvula direcional.
- Monitorização de deteção de falhas do processo.
- A falha da válvula entre os testes funcionais pode levar à perda da função de segurança.

Aplicação: Em caso de riscos baixos, entrada pouco frequente na área de perigo, possibilidade de evitar o perigo através de outras medidas.

- PLd (Performance Level d): Este nível de desempenho representa um nível alto de segurança funcional. As máquinas com PLd são equipadas com sistemas de controlo sofisticados que são capazes de detetar e mitigar riscos significativos. Eles podem incluir redundância e monitorização avançada de falhas, Figura 81.
 - Movimento controlado por duas válvulas direcionais.
 - Ambas as válvulas são acionadas após cada ciclo e deteção de falha monitorizando o processo.
 - A falha de uma das válvulas não leva à perda da função de segurança.

Aplicação: No caso de riscos médios a altos, por ex. a zona de perigo com acesso regular sendo possível evitar o perigo através de outras medidas.

- PLe (Performance Level e): PL e é o mais alto nível de desempenho em termos de segurança funcional. Esses sistemas são altamente sofisticados e são projetados para minimizar o risco de acidentes, mesmo em situações de falha crítica. Eles incorporam redundância, autoteste e medidas avançadas de segurança, Figura 81.
 - Movimento controlado por duas válvulas direcionais com monitoramento elétrico de posição
 - Ambas as válvulas são acionadas após cada ciclo
 - A falha de uma das válvulas não leva à perda da função de segurança, impedindo o início dos próximos movimentos

Aplicação: No caso de riscos elevados, por ex. a zona de perigo com acesso regular não sendo possível evitar o perigo através de outras medidas.

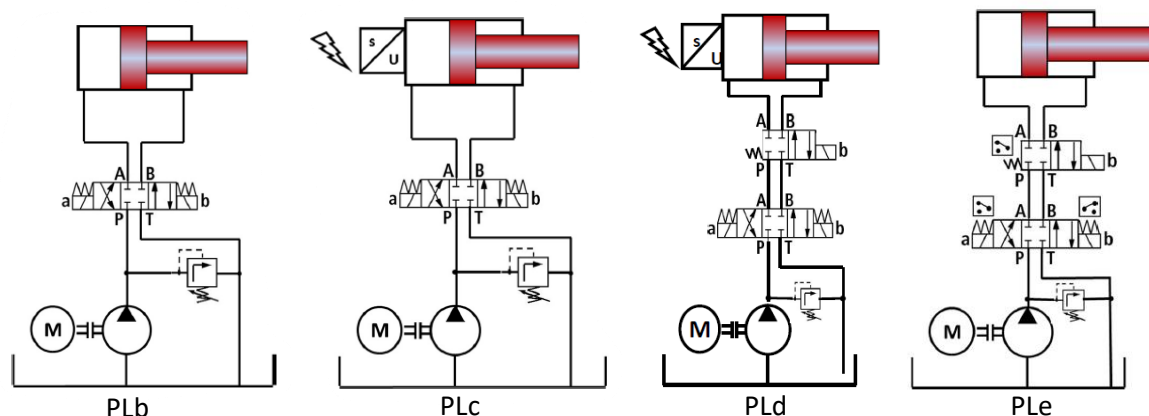


Figura 81 – Esquema simplificado de níveis de desempenho [3]

Os blocos de controlo da prensa estão em conformidade com PLe de acordo com a norma EN ISO 13849-2. Combinados com um comando elétrico ou eletrónico correspondente, cumprem os requisitos da norma DIN EN ISO 16092-3. As mais importantes são:

- Os blocos de comando da prensa só devem ser utilizados para prensas com dispositivos de segurança eficazes e comandos de segurança elétricos/eletrónicos.
- Se forem utilizados "sistemas elétricos programáveis" (PES "programmable electric systems"), deve ser cumprido o requisito de segurança especificado.

- Nas prensas controladas por CNC, as funções de segurança não devem ser suportadas exclusivamente pelo PES.
- Os circuitos de corrente de segurança devem estar ligados por fios.
- Quando a conexão de ligação do manómetro do lado da câmara anelar é aberta, a velocidade da rampa da prensa não deve exceder um valor de 5 mm/s. A restrição do orifício 210 não deve ser removida! conforme Figura 86.
- Deve existir uma válvula limitadora de pressão para manter a pressão de funcionamento dentro de um intervalo admissível.
- Se ocorrer um erro, deve assegurar-se de que a prensa não inicia ou continua a funcionar. Quando a prensa é ligada, ou após um curso interrompido, a posição do elemento da válvula, quer das válvulas de direção ou de retenção, deve ser verificado antes que um (novo) movimento de fecho ou inversão possa ser iniciado.
- Em caso de paragem por pressão, todas as válvulas relevantes para a segurança devem ser comutadas para a posição inicial segura e monitorizada.
- A pressão da câmara anelar do cilindro da prensa deve ser fixada com uma válvula limitadora de pressão de ação direta. A pressão deve ser regulada e selada com chumbo até 10% acima da pressão máxima de funcionamento durante o arranque inicial.
- Quando a prensa estiver montada sem medidas de proteção adicionais, não deve ser excedida uma velocidade de fecho de 10 mm/s. Devem ser tomadas as medidas adequadas, conforme necessário.
- Durante o movimento inverso com o dispositivo de segurança desligado, a posição de comutação da válvula direcional deve ser monitorizada continuamente. Em caso de inversão inesperada da direção resultante de uma comutação defeituosa, o movimento da prensa deve ser imediatamente desativado.

3.9. Sensores IO-Link

No contexto da pesquisa realizada neste estudo, é fundamental destacar que todos os sensores integrados no Bloco (PSBH) são unicamente sensores IO-Link. Essa escolha intencional, de utilizar sensores IO-Link, desempenha um papel crucial não apenas na eficácia da implementação das proteções de segurança, mas também na otimização da gestão e na melhoria da qualidade do produto final em prensas hidráulicas.

A tecnologia IO-Link é uma solução de comunicação altamente versátil e eficiente que proporciona uma série de benefícios significativos. Esses benefícios, são especialmente relevantes quando se trata de gestão eficaz e na produção de produtos de alta qualidade.

Em primeiro lugar, a comunicação IO-Link é bidirecional, permitindo que os sensores transmitam informações precisas e detalhadas para o sistema de controlo da prensa. Essa capacidade de comunicação em tempo real garante que todas as variáveis críticas sejam monitorizadas e controladas de forma precisa. Isso não melhora apenas a segurança dos operadores, mas também contribui para a gestão eficiente dos processos de produção.

A capacidade de configuração remota dos sensores IO-Link, é outra vantagem importante em termos de gestão. As configurações dos sensores no Bloco PSBH podem ser ajustadas e personalizadas, de forma eficiente para atender às necessidades específicas da aplicação, e às mudanças nos pedidos de produção. Isso permite uma maior flexibilidade operacional e facilita a adaptação às diferentes etapas de produção.

Além disso, os sensores IO-Link oferecem diagnósticos avançados que proporcionam um alto nível de visibilidade sobre o estado de funcionamento das prensas hidráulicas. Esses diagnósticos contribuem para a gestão proativa, permitindo que as equipes de manutenção identifiquem rapidamente potenciais problemas ou falhas iminentes. Isso, não reduz apenas custos de manutenção, mas também minimiza o tempo de inatividade não planeada, mantendo a produção em andamento de maneira eficiente, Figura 82.

A integração de sensores IO-Link no Bloco PSBH, não melhora apenas a gestão dos processos de produção, mas também contribui para a qualidade do produto final. A capacidade de monitorizar e controlar com precisão variáveis críticas, como pressão, temperatura e desempenho da bomba hidráulica, garante que cada produto fabricado cumpra os padrões de qualidade especificados. Isso resulta em produtos finais mais consistentes e confiáveis, o que é fundamental para a satisfação do cliente e para a reputação da empresa.

Em resumo, a escolha estratégica de utilizar sensores IO-Link no Bloco PSBH de prensas hidráulicas não aperfeiçoa apenas a eficácia das operações e a segurança dos operadores, mas também tem um impacto positivo na gestão eficiente dos processos de produção e na qualidade do produto final, Figura 83. Essa integração contribui para uma produção mais eficaz e consistente, promovendo uma gestão de alto desempenho e fortalecendo a posição competitiva da empresa no mercado.



Figura 82 – Esquema de comunicação de recolha e tratamento de dados [3]



Figura 83 – Verificação/recolha de dados “Imagem do autor”

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da aplicação da tecnologia da Indústria 4.0 no acionamento hidráulico de uma prensa, com um foco particular na gestão dos processos e recursos.

4.1. Conformidade com a norma DIN EN ISO 16092-3

Os blocos PSBH, Figura 84, oferecem um conjunto amplo de medidas de segurança, onde se inclui a "Proteção da bomba", "1ª válvula de segurança contra o aumento de pressão" e "2ª válvula de segurança contra o aumento de pressão", ver Figura 85 e Figura 86, bem como a "Proteção contra intensificação de pressão", "1ª válvula de segurança da câmara anelar" e "2ª válvula de segurança da câmara anelar", ver Figura 87. Essas características cruciais tornam o Bloco PSBH altamente compatível com a norma DIN EN ISO 16092-3, assegurando que as prensas hidráulicas cumpram os mais altos padrões de segurança durante a sua operação nas indústrias, promovendo a proteção dos operadores e a integridade das máquinas, Figura 88.

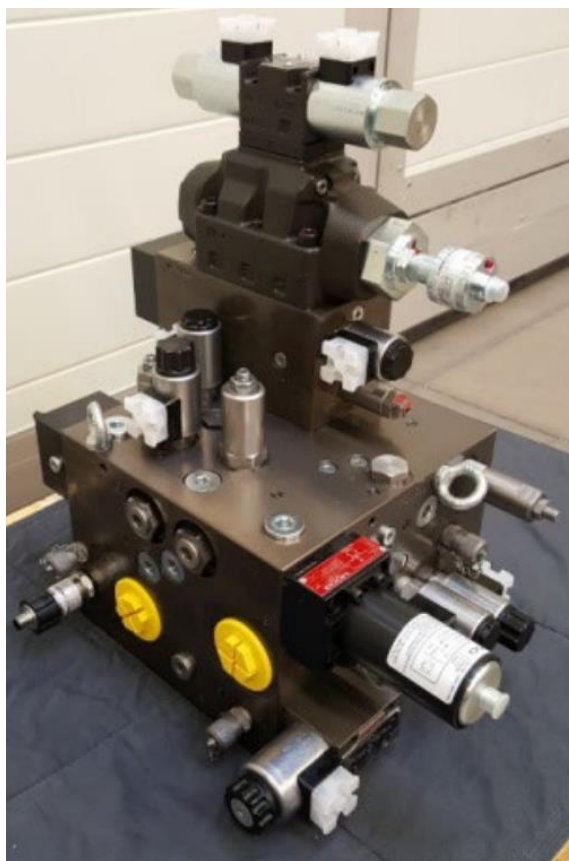


Figura 84 – Bloco PSBH [3]

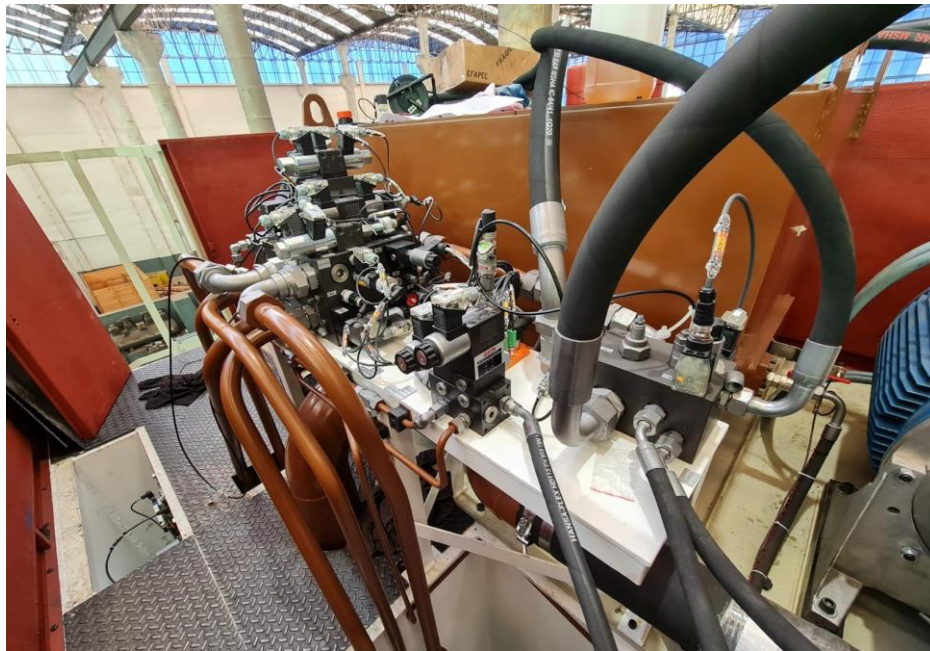


Figura 85 – Unidade Hidraulica UH [Imagem do autor]

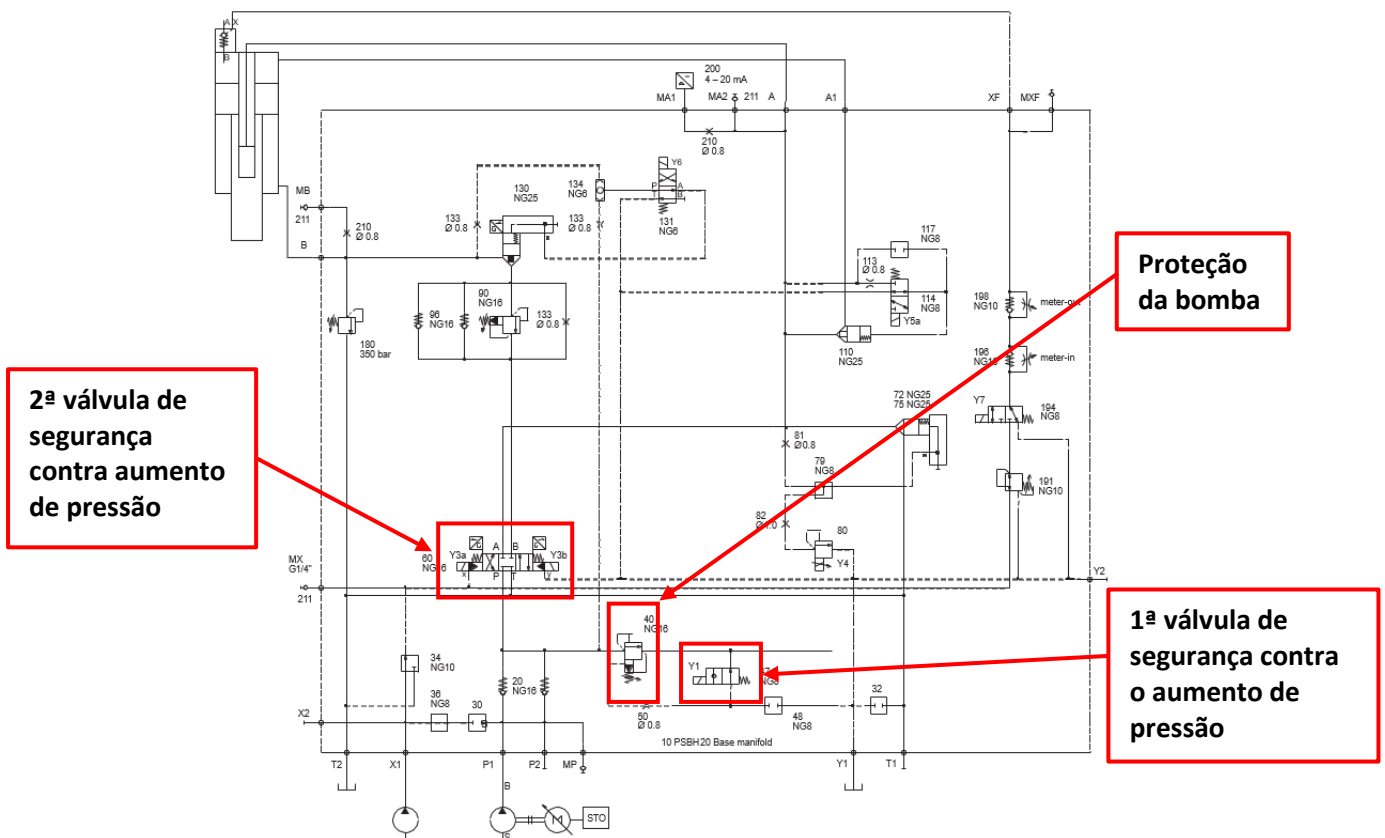


Figura 86 – Identificação de válvulas principais do bloco PSBH (1) [3]

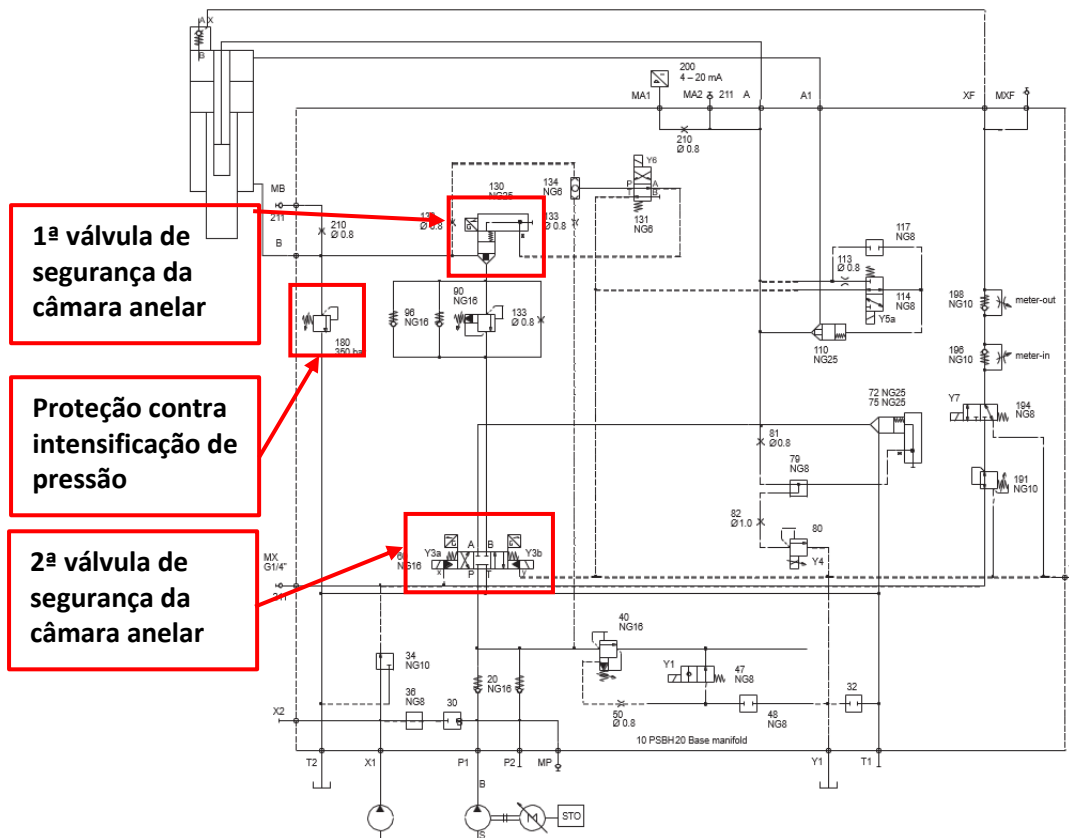


Figura 87 – Identificação de válvulas principais do bloco PSBH (2) [3]

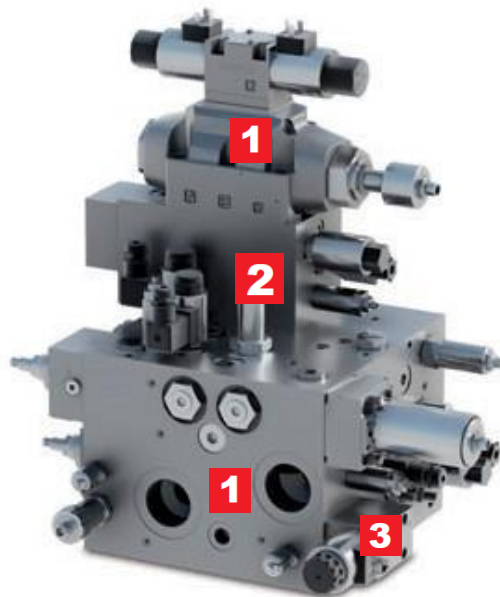


Figura 88 – Bloco PSBH e identificação das subplacas [3]

4.1.1. Exemplo1: Cilindro diferencial

Neste primeiro exemplo, é apresentada uma configuração básica do bloco tamanho 16, utilizado em conjunto com uma bomba de caudal fixo. A regulação da pressão é efetuada internamente.

Neste caso específico, a pressão máxima da bomba excede os 210 bar, portanto, o circuito de pilotagem é equipado com a válvula redutora de pressão. A drenagem da pilotagem é interna. A velocidade do movimento do cilindro da prensa depende do tamanho da bomba, não sendo possível uma mudança de avanço rápido e velocidade de prensagem. A pressão do sistema só pode ser limitada manualmente.

Para o curso de retorno com a máxima velocidade, o conjunto está equipado com uma válvula de depressurização localizada no lado do pistão do cilindro. As posições 46, 60 e 130 das válvulas monitorizadas são responsáveis por bloquear movimentos perigosos e prevenir arranques indesejados. A posição 40 da válvula de alívio de pressão deve ser ajustada para ficar 10% acima da pressão máxima da bomba. O mesmo critério aplica-se à posição da válvula 180, que, adicionalmente tem de estar selada, Figura 89.

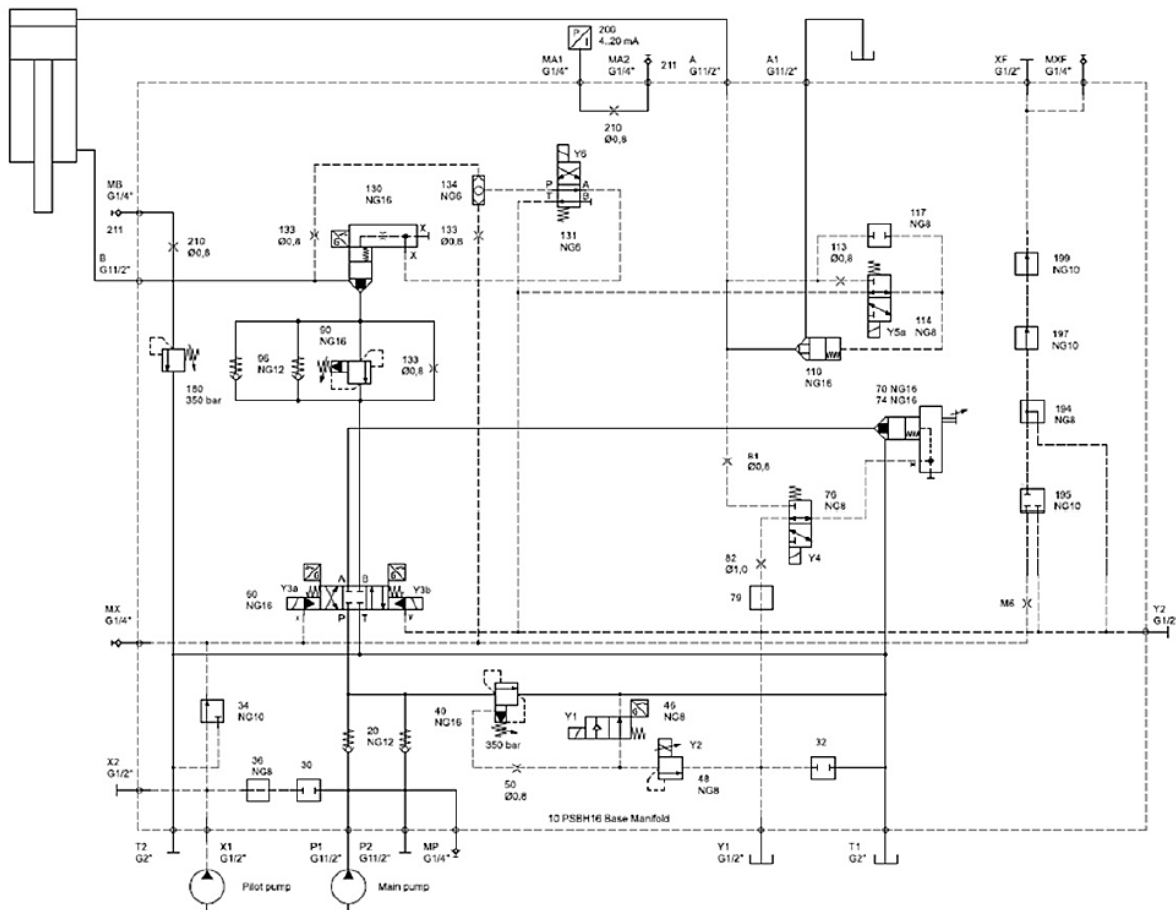


Figura 89 – Exemplo circuito hidráulico 1 [3]

Repouso

As válvulas direcionais 46, 60 e 131 são desligadas e estão na posição inicial. As válvulas 46, 60 e 130 impedem redundantemente que a pressão se acumule no lado do pistão e impedem que o cilindro da prensa se mova para baixo. Os interruptores de fim de curso S46, S60 e S130 comunicam ao controlo que

as válvulas acima mencionadas se encontram na posição inicial segura. A posição 40 da válvula de alívio de pressão é descarregada e o caudal da bomba é assim direcionado para o tanque, Figura 90.

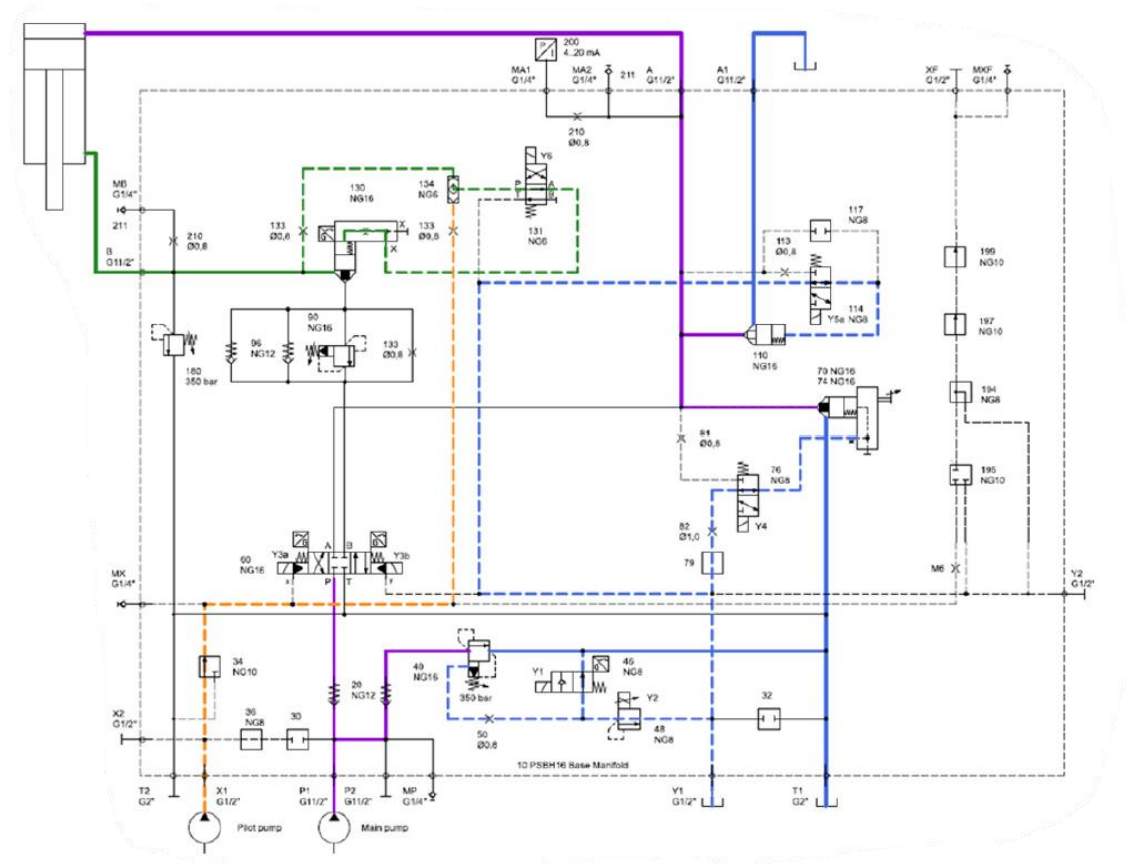


Figura 90 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Repouso” [3]

Prensar

O movimento descendente do cilindro só deve ser iniciado pelo comando se as válvulas 46, 60 e 130 estiverem na posição inicial segura. A primeira posição da válvula de descompressão 70 é fechada pelo solenoide Y4 e a válvula de descarga é fechada por Y5a. Em seguida, os solenoides Y3b da válvula direcional 60 e Y6 da posição 131 da válvula piloto do elemento lógico 130 são acionados simultaneamente. O interruptor de limite S60 informa que a válvula direcional 60 está na posição de comutação paralela. Com um atraso de tempo, o solenoide Y1 é acionado e a bomba é carregada. O interruptor de limite S130 informa ao controlo que a posição 130 do elemento lógico abriu. O cilindro desloca-se para baixo. Enquanto isso, o caudal da bomba flui através da posição 20 das válvulas de não-retorno, da posição 60 da válvula direcional para o lado do pistão do cilindro da prensa. O óleo da câmara anelar flui de volta para o tanque, através do elemento lógico da posição 130, da posição 90 da válvula de contrapeso e da posição 60 da válvula direcional. A posição 90 da válvula de contrapeso deve ser ajustada 10% acima da pressão real do contrapeso. Uma vez atingida a pressão desejada, os solenoides Y3b e Y6 são desligados. Ao mesmo tempo, a bomba é descarregada através da posição 40 da válvula, pois o solenoide Y1 é desligado, Figura 91.

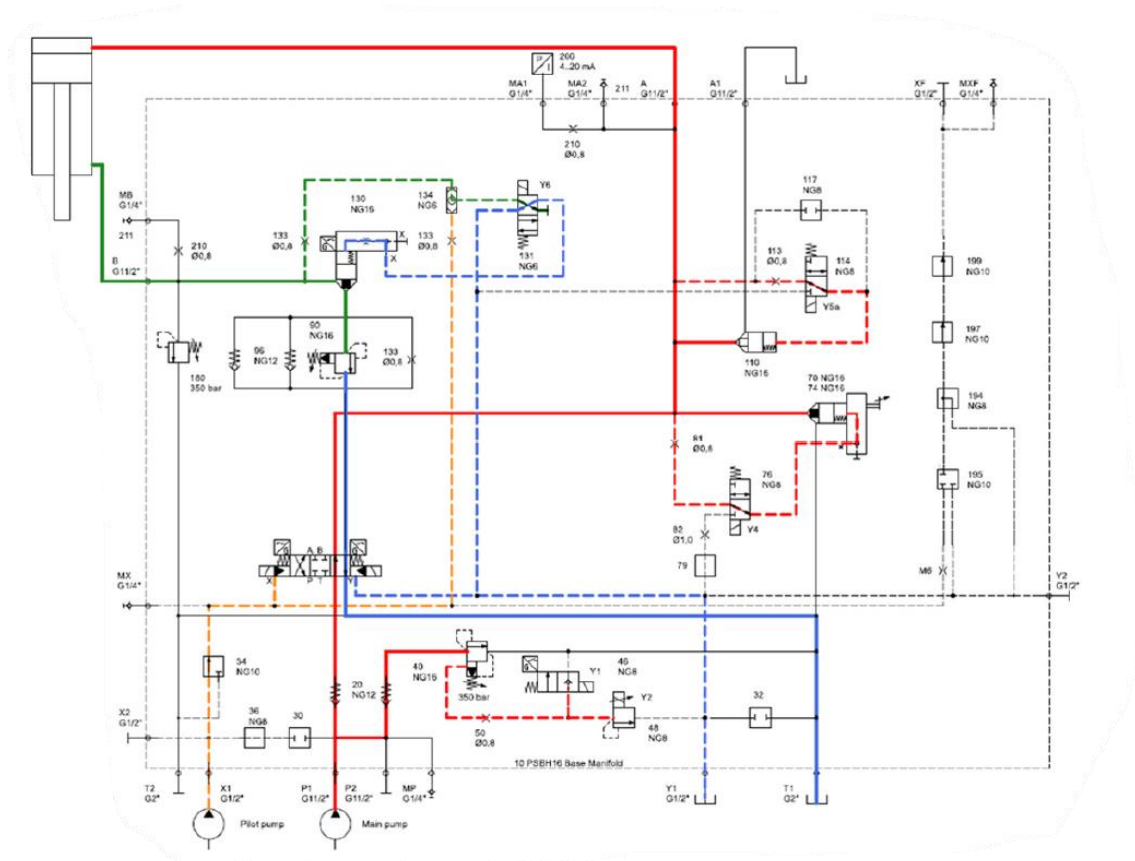


Figura 91 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Prensar” [3]

Descompressão

O solenoide Y4 desliga, o que faz com que a válvula direcional 70 liberte a pressão para o tanque. O tempo de descompressão é ajustado pelo limitador de curso da posição de cobertura da válvula 74. Uma vez que a pressão tenha caído para o nível desejado, o movimento de retorno pode ser iniciado, Figura 92.

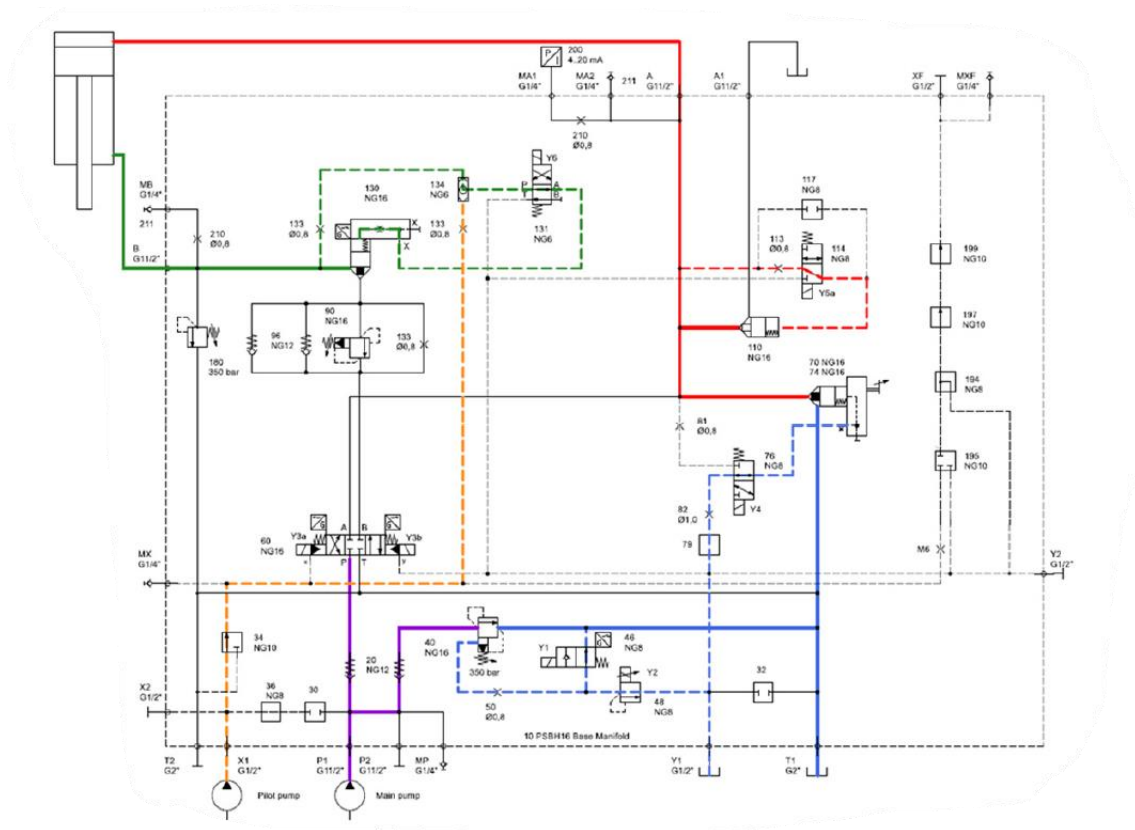


Figura 92 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Descompressão” [3]

Retorno

Para o movimento de retorno, o solenoide Y3a é acionado e a posição 60 da válvula direcional entra na posição de comutação cruzada. O solenoide Y5a para a válvula de descarga deve ser desligado. O interruptor de limite S60 informa que a posição 60 da válvula de direção está na posição de comutação cruzada. Com um atraso de tempo, os solenoides Y1 e Y6 são então acionados e a bomba é conectada. O interruptor de limite S46 informa ao controle que a posição 46 da válvula está fechada. O cilindro desloca-se para cima. Enquanto isso, o caudal da bomba flui através das válvulas antirretorno posição 20, da válvula direcional 60 e das válvulas antirretorno posição 96 e da válvula de retenção posição 130 para a câmara anelar do cilindro de pressão. O óleo no lado do pistão empurra a posição 110 da válvula de escape para abrir, o óleo é encaminhado para o tanque através desta válvula de escape, a válvula de retenção de pressão 161 e a posição 60 da válvula direcional. Uma vez atingido o curso de retorno definido, os solenoides Y3a e Y6 são desligados e a prensa fica imóvel. O solenoide Y1 desliga-se, o que faz com que a bomba seja descarregada, Figura 93.

Nesta variante de circuito com válvula de escape, a porta A1 tem sempre de ser ligada ao tanque por tubo ou mangueira, independentemente da ligação do tanque T1 ou T2 utilizada!

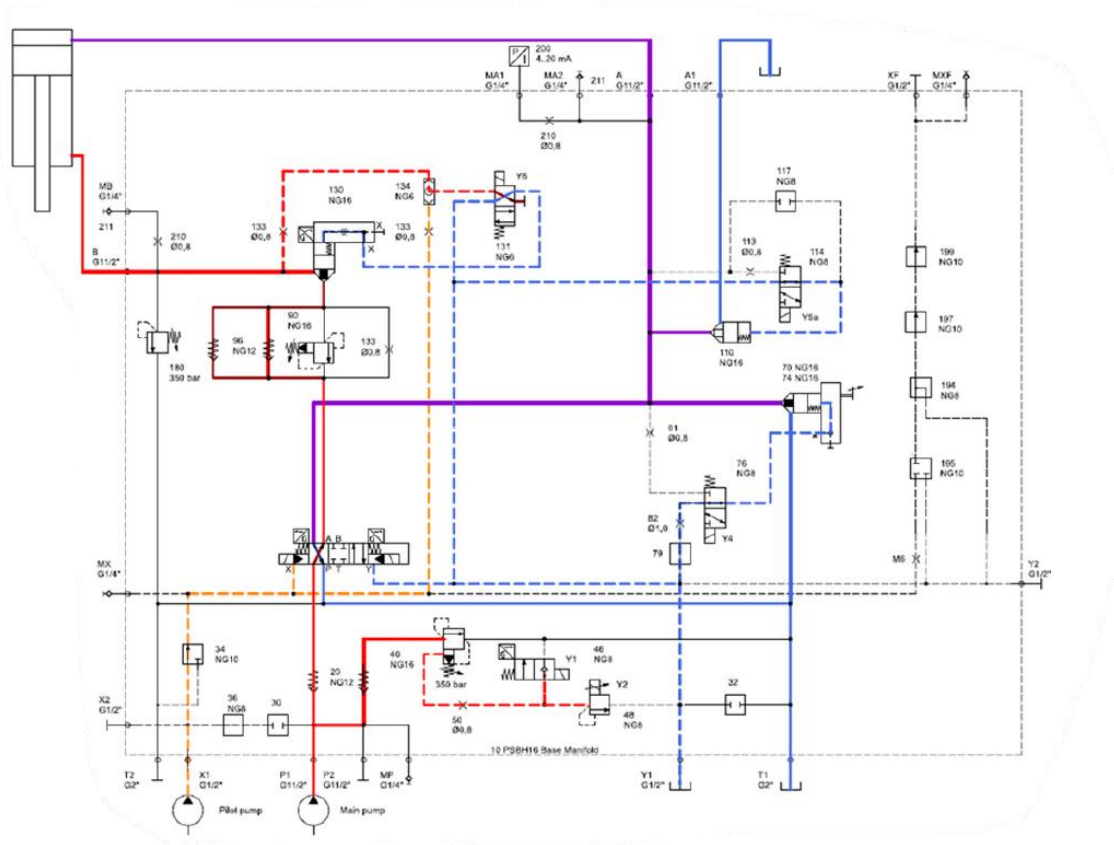


Figura 93 – Exemplo circuito hidráulico 1 “Retorno” [3]

Na Figura 94 é apresentado o gráfico de acionamento do exemplo 1.

Posição	Descrição	Repouso	Prensagem	Descompressão	Retorno
46	Y1	0	1	1	1
		1	0	0	0
60	Y3	b	1	1	1
		a	0	0	0
77	Y4	0	1	1	1
		1	0	0	0
114	Y5a	0	1	1	1
		1	0	0	0
131	Y6	0	1	1	1
		1	0	0	0

Figura 94 – Gráfico acionamento “exemplo 1” “Imagem do autor”

4.1.2. Exemplo 2: Cilindro diferencial, função de retenção de pressão

Neste segundo exemplo, é apresentada uma configuração parecida com o primeiro exemplo, mas com uma função adicional de retenção de pressão e onde a pilotagem não é efetuada por uma bomba, mas sim por um acumulador, onde este é carregado durante os períodos de inatividade através do solenoide Y9.

Neste caso específico, a pressão máxima da bomba excede os 210 bar, portanto, o circuito de pilotagem é equipado com a válvula redutora de pressão. A drenagem da pilotagem é interna. A velocidade do movimento do cilindro da prensa depende do tamanho da bomba, uma mudança de avanço rápido e velocidade de prensagem não é possível. A pressão do sistema só pode ser limitada manualmente. No ponto morto inferior, a pressão deve ser constante durante um longo período, pelo que a função de retenção de pressão é necessária e a pilotagem da válvula de descompressão é executado como uma válvula de cartucho.

Para o curso de retorno com a máxima velocidade, o conjunto está equipado com uma válvula de escape localizada no lado do pistão do cilindro. As posições 46, 60 e 130 das válvulas monitorizadas são responsáveis por bloquear movimentos perigosos e prevenir arranques indesejados. A posição 40 da válvula de alívio de pressão deve ser ajustada para ficar 10% acima da pressão máxima da bomba. O mesmo critério aplica-se à posição da válvula 180, que, adicionalmente tem de estar selada, Figura 95.

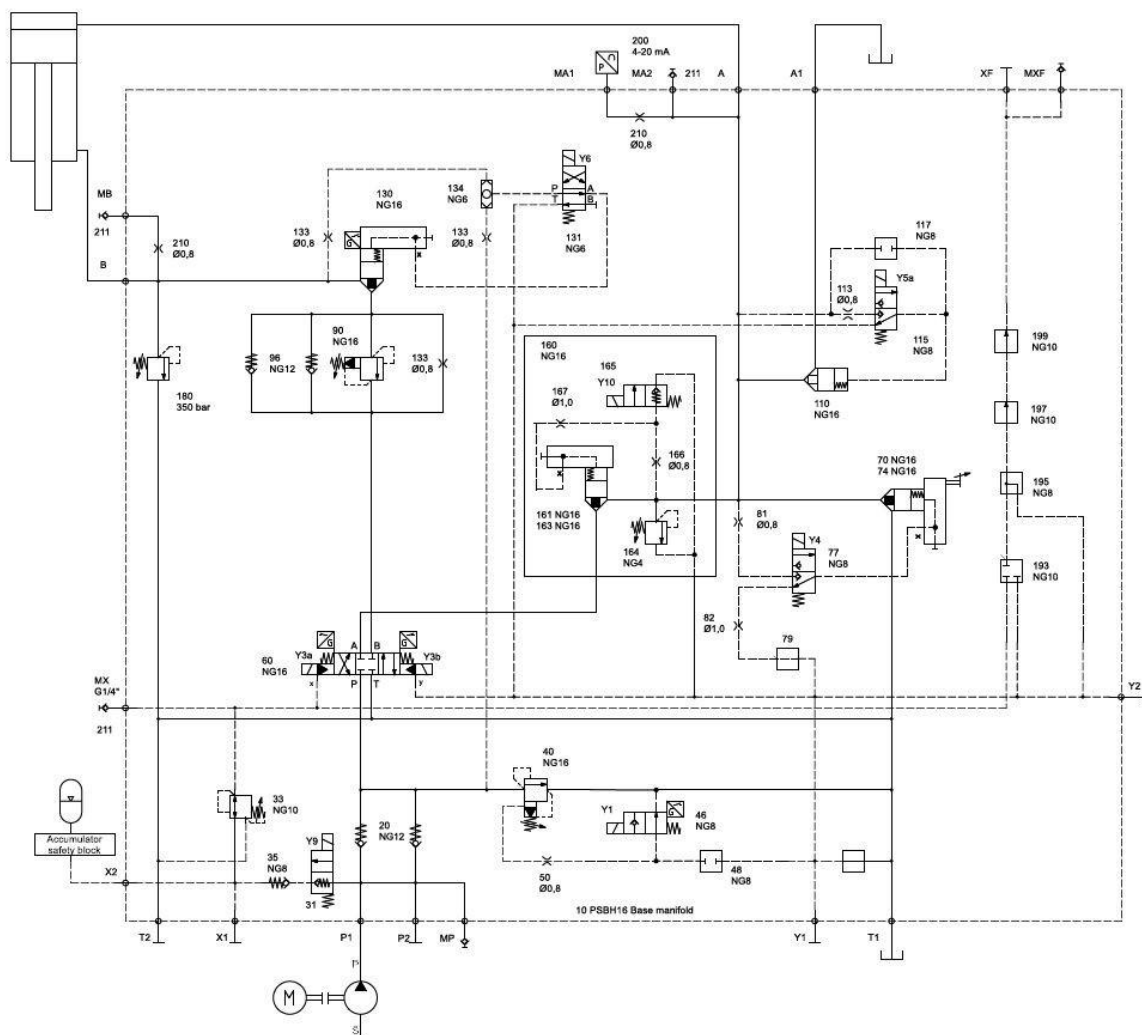


Figura 95 – Exemplo circuito hidráulico 2 [3]

Repouso

As válvulas direcionais 46, 60 e 131 são desligadas e estão na posição inicial. As válvulas 46, 60 e 130 impedem redundantemente que a pressão se acumule no lado do pistão e impedem que o cilindro da prensa se mova para baixo. Os interruptores de fim de curso S46, S60 e S130 comunicam ao controlo que as válvulas acima mencionadas se encontram na posição inicial segura. A posição 40 da válvula de alívio de pressão é descarregada e o caudal da bomba é assim direcionado para o tanque, ver Figura 95.

Prensar e segurar a pressão no ponto morto inferior

O movimento descendente do cilindro só deve ser iniciado pelo comando se as válvulas 46, 60 e 130 estiverem na posição inicial segura. A primeira posição da válvula de descompressão 70 é fechada pelo solenoide Y4 e a válvula de descarga é fechada por Y5a. Em seguida, os solenoides Y3b da válvula direcional 60 e Y6 da posição 131 da válvula piloto do elemento lógico 130 são acionados simultaneamente. O interruptor de limite S60 informa que a válvula direcional 60 está na posição de comutação paralela. Com um atraso de tempo, o solenoide Y1 é acionado e a bomba é carregada. O interruptor de limite S130 informa ao controlo que a posição 130 do elemento lógico abriu. O cilindro desloca-se para baixo. Enquanto isso, o caudal da bomba flui através da posição 20 das válvulas de não-retorno, da posição 60 da válvula direcional e da posição 161 da válvula de retenção de pressão para o lado do pistão do cilindro da prensa. O óleo da câmara anelar flui de volta para o tanque através do elemento lógico da posição 130, da posição 90 da válvula de contrapeso e da posição 60 da válvula direcional. A posição 90 da válvula de contrapeso deve ser ajustada 10% acima da pressão real do contrapeso. Uma vez atingida a pressão desejada, os solenoides Y3b e Y6 são desligados, a posição 161 da válvula de retenção de pressão fecha e a prensa fica imóvel e mantém a pressão. Ao mesmo tempo, a bomba é descarregada através da posição 40 da válvula, pois o solenoide Y1 é desligado. A posição 164 da válvula de alívio de pressão tem de definir 10% acima da pressão máxima da bomba, ver Figura 95.

Descompressão

O solenoide Y4 desliga, o que faz com que a válvula direcional 70 liberte a pressão para o tanque. O tempo de descompressão é ajustado pelo limitador de curso da posição de cobertura da válvula 74. Uma vez que a pressão tenha caído para o nível desejado, o movimento de retorno pode ser iniciado, ver Figura 95.

Retorno

Para o movimento de retorno, o solenoide Y3a é acionado e a posição 60 da válvula direcional entra na posição de comutação cruzada. O solenoide Y5a para a válvula de descarga deve ser desligado. O interruptor de limite S60 informa que a posição 60 da válvula de direção está na posição de comutação cruzada. Com um atraso de tempo, os solenoides Y1, Y6 e Y10 são então acionados e a bomba é conectada. O interruptor de limite S46 informa ao controlo que a posição 46 da válvula está fechada. O cilindro desloca-se para cima. Enquanto isso, o caudal da bomba flui através das válvulas antirretorno posição 20, da válvula direcional 60 e das válvulas antirretorno posição 96 e da válvula de retenção posição 130, para a câmara anelar do cilindro de pressão. O óleo no lado do pistão empurra a posição 110 da válvula de escape para abrir, o óleo é encaminhado para o tanque através desta válvula de escape, a válvula de retenção de pressão 161 e a posição 60 da válvula direcional. Uma vez atingido o curso de retorno definido, os solenoides Y3a,

Y6 e Y10 são desligados e a prensa fica imóvel. O solenoide Y1 desliga-se, o que faz com que a bomba seja descarregada, ver Figura 95.

Nesta variante de circuito com válvula de escape, a porta A1 tem sempre de ser ligada ao tanque por tubo ou mangueira, independentemente da ligação do tanque T1 ou T2 utilizada!

Acumulador

Para carregar o acumulador, os solenoides Y1 e Y9 são energizados. Uma vez carregada, a bomba é descarregada primeiro (Y1 desligada) e depois a válvula de carga do acumulador fechada. É obrigatório colocar um bloco de segurança para esta função!

Na Figura 96 é apresentado o gráfico de acionamento do exemplo 2.

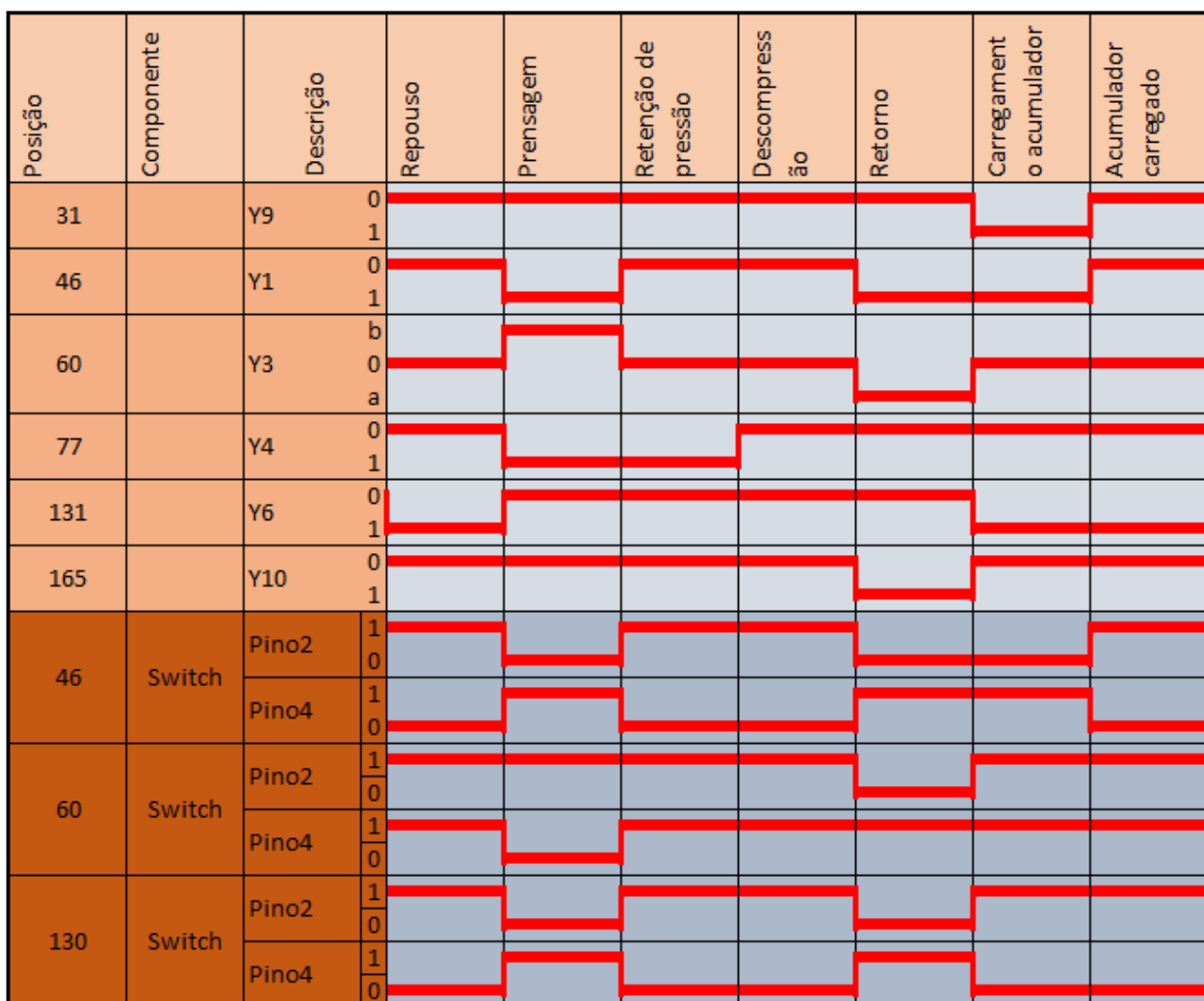


Figura 96 - Gráfico de acionamento “exemplo 2” “Imagem do autor”

4.1.3. Exemplo 3: Avanço rápido por gravidade, detecção de carga, ajuste da ferramenta com PLd e válvula direcional proporcional

Este exemplo, mostra um bloco de controlo de pressão no tamanho 25, com a função de avanço rápido por gravidade. É utilizada uma bomba de deslocamento variável. A velocidade do cilindro de pressão, deve ser variável nos três modos: avanço rápido, pressão e retorno. Assim, uma válvula proporcional (posição 61) é usada como válvula direcional. Para uma melhor eficiência, a subplaca de detecção de carga é montada por baixo da válvula direcional. A pressão piloto externa está disponível a 80 bar, o dreno da pilotagem é interno. A válvula de pré enchimento deve abrir com velocidade ajustável, o fecho deve ser o mais rápido possível. O coletor está equipado com a posição 140 da subplaca de ajuste da ferramenta. O lado da haste do cilindro deve ser hermeticamente fechado, portanto, a pilotagem da posição 132 da válvula de retenção é uma válvula do tipo cartucho. As posições 46, 61 e 130 das válvulas monitorizadas bloqueiam movimentos perigosos e evitam o arranque indesejável. A posição 45 da válvula de alívio de pressão tem que ser definida 10% acima da pressão máxima da bomba. O mesmo se aplica à posição da válvula 180, além disso a mesma tem de estar selada, Figura 97.

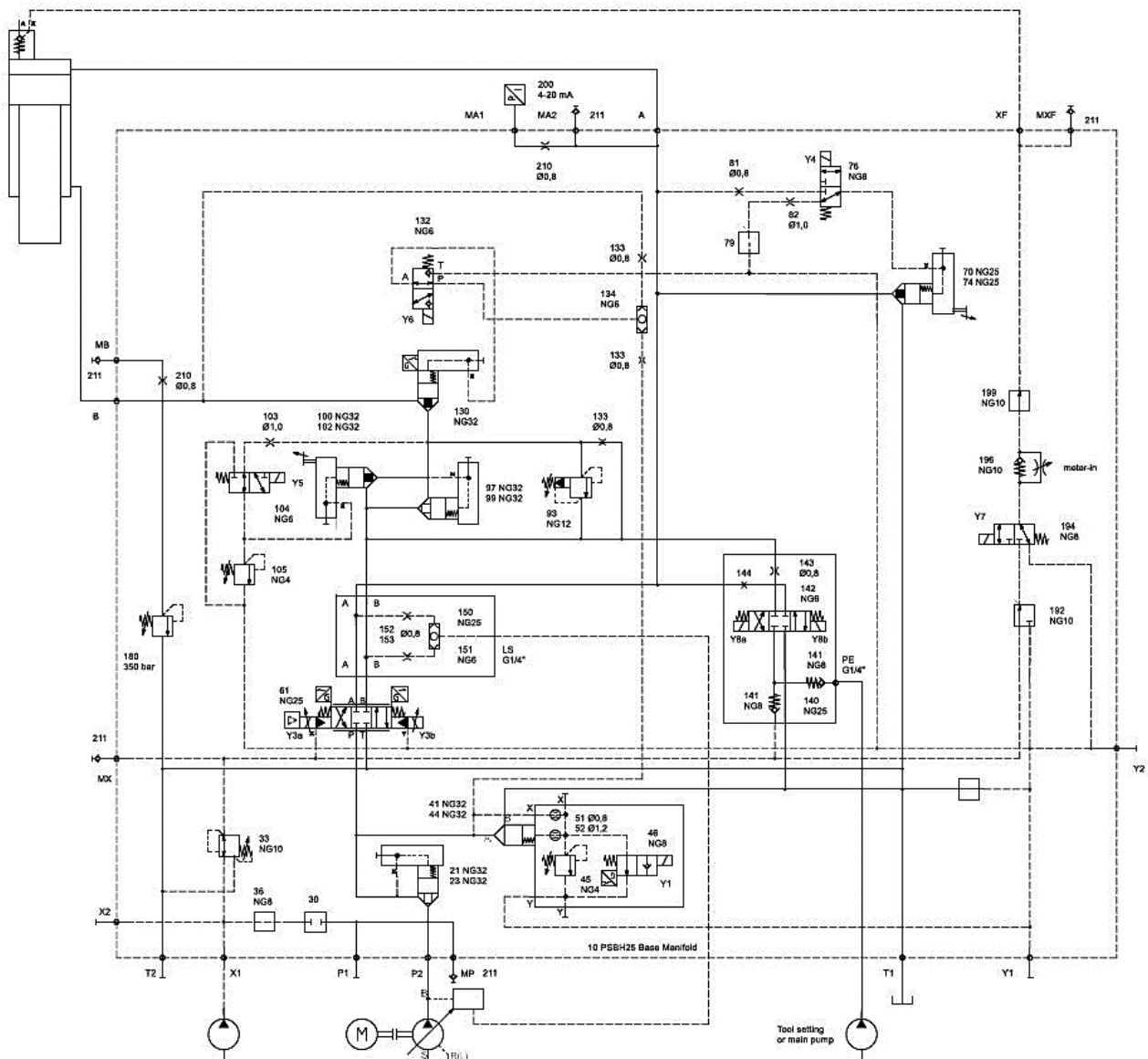


Figura 97 – Exemplo de circuito hidráulico 3 [3]

Repouso

As válvulas direcionais 46, 61 e 132 são desligadas e estão na posição inicial. As válvulas 46, 60 e 130 impedem redundantemente que a pressão se acumule no lado do pistão e impedem que o cilindro da prensa se mova para baixo. Os interruptores de fim de curso S46, S60 e S130 comunicam ao controlo que as válvulas acima mencionadas se encontram na posição inicial segura. A posição 40 da válvula de alívio de pressão é descarregada e o caudal da bomba é direcionado para o tanque, Figura 97.

Avanço rápido por gravidade

O movimento descendente do cilindro da prensa só deve ser iniciado pelo comando se as válvulas 46, 61 e 130 estiverem na posição inicial segura e se o acionamento estiver desligado em segurança. A primeira posição da válvula de descompressão 70, é mantida fechada pelo solenoide Y4. Em seguida, os solenoides Y3b da posição 61 da válvula direcional, Y5 da posição 104 da válvula piloto de avanço rápido e Y6 da posição 132 da válvula piloto de retenção são acionados simultaneamente. A válvula de pré enchimento é aberta ligando o solenoide Y7. O interruptor de limite S61 informa que a válvula direcional 61 se move em direção à posição paralela. Com um atraso de tempo, o solenoide Y1 é acionado e a bomba aumenta a pressão. A bomba fornece caudal para o pistão do cilindro, suportando a válvula de pré enchimento, o interruptor de limite S130 informa ao controlo que a posição 130 do elemento lógico se abre. O cilindro desloca-se para baixo em velocidade de avanço rápido. Enquanto isso, a bomba fornece caudal através da posição 21 da válvula antirretorno e da posição 61 da válvula direcional, para o lado do pistão do cilindro. Este último é alimentado pela válvula de pré enchimento. O óleo da câmara anelar retorna para o tanque através da posição 130 da válvula de retenção, da posição 100 da válvula de avanço rápido e da posição 61 da válvula direcional. A seção de abertura das válvulas proporcionais determina a velocidade de avanço rápido. Se não houver válvula proporcional, a velocidade de avanço rápido é definida pelo limitador de curso da posição 102 da tampa da válvula, Figura 97.

Prensar

A mudança para a velocidade de compressão é ativada, fechando a posição 100 da válvula de avanço rápido, o solenoide Y5 é desligado. A posição 105 da válvula limitadora é a válvula de travagem. A pressão de rutura deve ser regulada acima da pressão de contrapeso. Se a regulação for muito baixa, o cilindro desacelerará muito lentamente, se a regulação for muito alta, o cilindro irá parar com vibração. A válvula de pré enchimento deve ser fechada desligando o solenoide Y7. A bomba agora aumenta a pressão e o cilindro continuará o movimento descendente com velocidade de pressão. O óleo do lado da haste, flui através da posição 130 do elemento lógico, da posição 93 da válvula de contrapeso e da posição proporcional da válvula 61 para o tanque. A posição 93 da válvula de contrapeso deve ser ajustada 10% mais alta do que a pressão real do contrapeso. Uma vez atingida a força de compressão ou o curso desejado, os solenoides Y3b e Y6 são desligados. Ao mesmo tempo, a bomba é descarregada através da posição da válvula 40 desligando o solenoide Y1, Figura 97.

Descompressão

O solenoide Y4 desliga, o que faz com que a válvula direcional 70 liberte a pressão para o tanque. O tempo de descompressão é ajustado pelo limitador de curso da posição de cobertura da válvula 74. Uma vez que a pressão tenha caído para o nível desejado, o movimento de retorno pode ser iniciado, Figura 97.

Retorno

Para o movimento de retorno, o solenoide Y3a é acionado e a posição 61 da válvula direcional entra na posição de comutação cruzada. O interruptor de limite S61 informa que a posição 61 da válvula de direção está na posição de comutação cruzada. Com um atraso de tempo, os solenoides Y1, Y6 e Y7 são então acionados, a bomba aumenta a pressão. O cilindro desloca-se para cima. Enquanto isso, o caudal da bomba flui através da posição 21 das válvulas de não-retorno, da válvula direcional 61 e das válvulas de não-retorno posição 97 e da posição 130 do elemento lógico para a câmara anelar do cilindro de prensagem. O óleo no lado do pistão retorna através da válvula de pré enchimento aberta para o tanque. Uma vez atingido o curso de retorno definido, os solenoides Y3a, Y6 e Y7 são desligados e a prensa fica imóvel. O solenoide Y1 desliga-se, o que faz com que a bomba descarregue para o tanque, Figura 97.

Sensor de Carga

Uma posição de subplaca 150 é montada abaixo da posição 61 da válvula direcional (respetivamente 60). Durante o movimento do cilindro, um sinal de pressão do canal A ou B é levado através de orifícios para o controlador da bomba. Portanto, a bomba apenas fornece a pressão necessária para qualquer movimento, Figura 97.

Configuração de matrizes para cima/para baixo com PLd

Uma posição de subplaca 140 com uma posição de válvula direcional 4/3 142 é montada abaixo da posição 61 da válvula direcional principal. Ao ligar o solenoide Y8a, uma conexão entre a câmara anelar do cilindro e o tanque é aberta através de uma posição de orifício 143. O cilindro move-se lentamente para baixo. Por isso, o orifício não deve ser removido! Se o orifício deve ser mudado devido à pressão de contrapeso, ele deve ser seguro, e a velocidade do cilindro para baixo não pode exceder 10 mm/s. O *upstroke* é ativado ligando o solenoide Y8b. Uma bomba de configuração variável, ou bomba principal deve ser conectada à porta PE, como alternativa o óleo piloto pode ser utilizado. Caso o movimento ascendente também seja perigoso o orifício tem de ser trocado por causa da bomba, deve garantir-se que a velocidade ascendente do cilindro da prensa não exceda 10 mm/s, Figura 97.

Na Figura 98 é apresentado o gráfico de acionamento do exemplo 3.

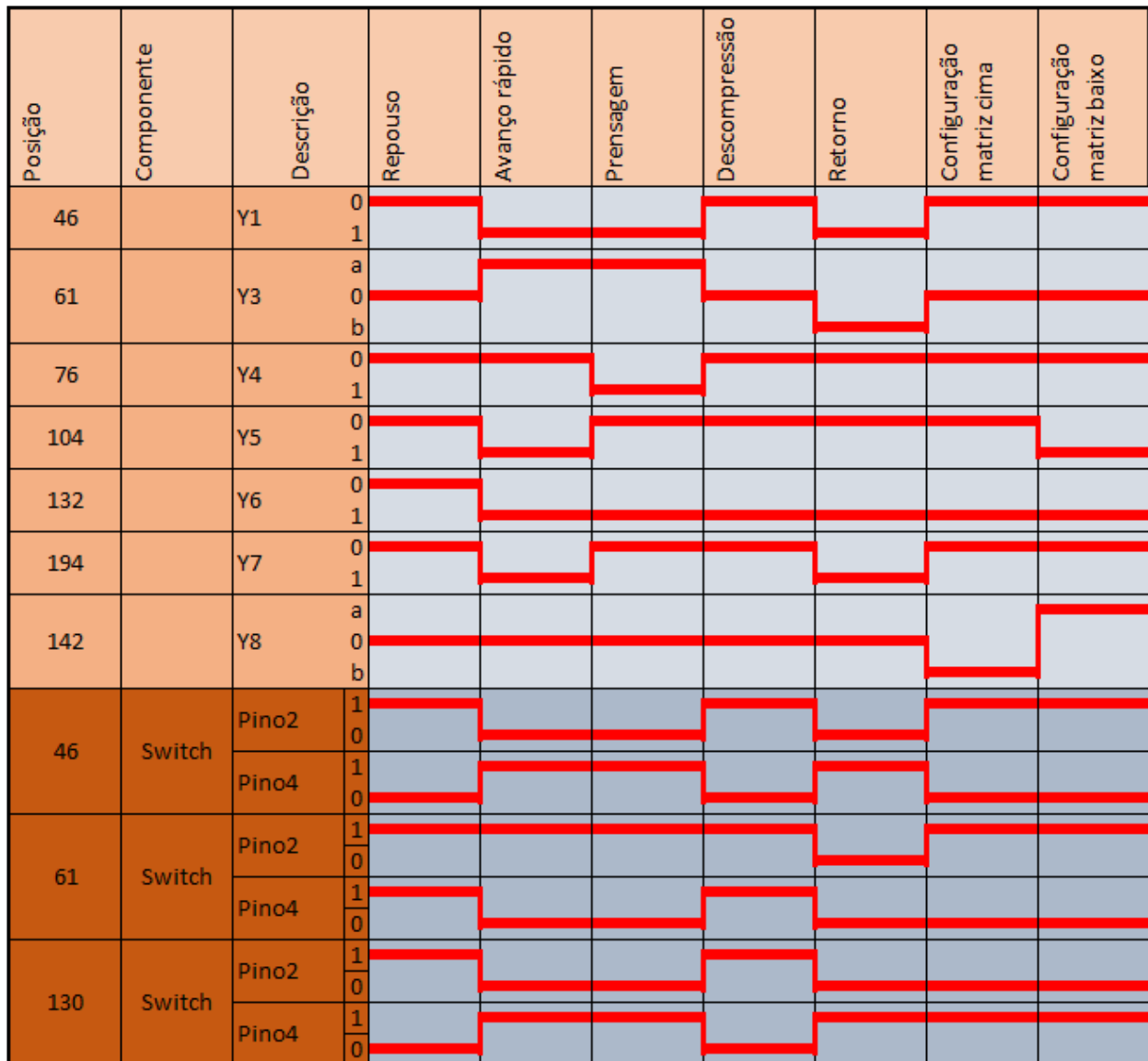


Figura 98 – Gráfico acionamento “exemplo 3” “Imagem do autor”

4.2. Desempenho Operacional

Nesta secção, serão apresentados os resultados relativos ao desempenho operacional da prensa após a implementação da tecnologia da Indústria 4.0. Os principais indicadores de desempenho incluem:

- Eficiência de produção

No âmbito da pesquisa sobre a implementação da tecnologia da Indústria 4.0 no acionamento hidráulico de prensas industriais, a avaliação da eficiência de produção revelou resultados notavelmente positivos. Essa análise concentrou-se principalmente na comparação do número de produtos fabricados por hora antes e depois da implementação das tecnologias 4.0. Os resultados desta avaliação demonstraram uma melhoria significativa na produtividade da operação de prensagem.

Após a integração das tecnologias da I4.0, verificou-se que existe um aumento notável na produtividade. Esses resultados altamente positivos são atribuíveis a várias melhorias implementadas com a adoção da Indústria 4.0.

- **Otimização de Processos**

Os sistemas de controlo em tempo real permitiram uma melhor coordenação de todas as etapas do processo. Isso incluiu o ajuste automático de parâmetros, como pressão e temperatura, de acordo com as condições de produção em tempo real, eliminou as variações imprevistas e resultou em ciclos mais eficientes.

- **Manutenção Preditiva**

A capacidade de monitorizar em tempo real o estado dos componentes da prensa permitiu identificar e corrigir proactivamente problemas potenciais. Reduzindo drasticamente os tempos de paralisação não planeados devido a avarias inesperadas.

- **Redução de Setup**

A capacidade de ajustar rapidamente a prensa para a produção de diferentes tipos de produtos também foi aprimorada. Isso inclui a reconfiguração automatizada de matrizes, que anteriormente era um processo moroso e sujeito a erros humanos.

- **Melhoria na Qualidade**

Com a automação e a análise em tempo real, a qualidade dos produtos fabricados aumentou substancialmente. Isso resultou em menos produtos defeituosos e, portanto, menor duplicação de trabalho.

Além disso, vale a pena destacar que esse aumento na produtividade não foi apenas um pico inicial. Ao longo do período de observação, a produção manteve-se consistente e dentro dos novos padrões de produtividade mais elevados.

Esses resultados comprovam de forma concreta, como a adoção da Indústria 4.0 no acionamento hidráulico de prensas industriais, pode trazer benefícios significativos para as empresas. A melhoria substancial na eficiência da produção, não apenas aumenta a capacidade de entrega, mas também contribui para uma vantagem competitiva, reduzindo os custos de produção por unidade e, ao mesmo tempo, elevando os padrões de qualidade. Essa demonstração bem-sucedida de aumento na produtividade é apenas um dos muitos indicadores positivos que esta pesquisa trará à luz, destacando o potencial transformador da Indústria 4.0 no setor industrial.

4.3. Considerações finais

Neste capítulo foi demonstrado que a aplicação da Indústria 4.0 no acionamento hidráulico de uma prensa resultou em melhorias significativas no desempenho operacional, na gestão de recursos, na eficiência dos sistemas de controlo e no impacto financeiro. Os resultados destacam a importância da adoção da Indústria 4.0 na otimização dos processos industriais e na gestão eficiente, proporcionando benefícios visíveis para a organização.

5. CONCLUSÃO

Neste capítulo serão apresentadas as conclusões finais da nossa investigação sobre o acionamento hidráulico de uma prensa com recurso à Indústria 4.0, abordando as limitações da pesquisa e delineando as possíveis direções para trabalhos futuros.

5.1. Conclusões finais

Ao longo desta dissertação, foram explorados os fundamentos do acionamento de prensas hidráulicas, incluído os componentes essenciais, o princípio de funcionamento e os diferentes tipos de sistemas de acionamento. Também foi examinada a importância da otimização do desempenho, destacando o controlo de velocidade e força, eficiência energética, sempre com recurso à Indústria 4.0. Esta, representa uma evolução fundamental nas operações industriais, impulsionada por tecnologias avançadas que transformam a forma como os produtos são produzidos, distribuídos e consumidos. A análise de dados está a criar oportunidades para uma maior eficiência, personalização e inovação.

A indústria 4.0 não é apenas uma mudança tecnológica, mas uma transformação que impacta a forma como vivemos, trabalhamos e interagimos com o mundo ao nosso redor. A capacidade de combinar tecnologias avançadas com estratégias, pode abrir caminhos para um futuro de produção mais eficiente e colaborativa.

Ficou claramente demonstrado que a implementação da tecnologia da Indústria 4.0 no acionamento hidráulico de prensas industriais pode resultar em melhorias significativas na eficiência, qualidade e sustentabilidade das operações. Eis as principais conclusões que podem ser retiradas:

- **Melhoria da eficiência**
A introdução de tecnologias 4.0 permitiu otimizar os processos de produção, resultando em um aumento substancial da eficiência operacional. Isso traduziu-se em maiores taxas de produção, menor tempo de paragem e uma utilização mais eficaz dos recursos.
- **Aumento da qualidade**
A análise em tempo real e o controlo automatizado melhoraram a qualidade dos produtos fabricados. Houve uma redução significativa na taxa de produtos defeituosos, levando à satisfação do cliente.
- **Sustentabilidade ambiental**
A eficiência energética melhorou substancialmente, resultando em reduções notáveis no consumo de energia. Além disso, a gestão mais eficaz da matéria-prima contribuiu para a redução do desperdício e, conseqüentemente, para uma pegada ambiental mais reduzida.

5.2. Limitações e trabalhos futuros

É importante reconhecer as limitações da pesquisa.

Deve ser considerado que a pesquisa foi conduzida num ambiente de estudo bastante específico. Embora tenha fornecido informações valiosas sobre a aplicação da Indústria 4.0 no acionamento hidráulico de prensas industriais, é importante salientar que os resultados obtidos podem não ser diretamente transferíveis para todas as configurações industriais. A particularidade das operações em cada contexto industrial pode influenciar a forma como as tecnologias 4.0 são implementadas e os resultados que podem ser alcançados.

Além disso, uma das limitações críticas do nosso estudo foi o período de observação relativamente curto. Dado o ritmo da evolução tecnológica e das mudanças nas operações industriais, o tempo limitado de observação pode não ter permitido a identificação de todos os efeitos a longo prazo da implementação da Indústria 4.0. Muitos dos benefícios e desafios associados à transformação digital podem manifestar-se e evoluir ao longo do tempo, o que significa que algumas conclusões sobre a sustentabilidade das melhorias podem requerer uma análise mais extensa.

A análise dos custos iniciais de implementação não foi abordada em detalhe, apesar de ser uma consideração importante para muitas empresas.

À medida que concluímos este trabalho, é imperativo destacar que as oportunidades para pesquisas futuras são vastas e abrangentes, oferecendo a perspectiva de expandir ainda mais o conhecimento e a compreensão do tema em questão. Algumas dessas áreas promissoras incluem:

- **Análise de custos benefícios**
Uma área que merece uma investigação mais aprofundada é a análise dos custos iniciais e dos benefícios financeiros a longo prazo, associados à implementação da Indústria 4.0. Compreender completamente os investimentos iniciais necessários e o retorno financeiro subsequente é crucial para que as empresas tomem decisões informadas.
- **Cyber segurança**
A crescente integração de sistemas digitais nas operações de prensas, levanta questões significativas de segurança cibernética. Estudos futuros podem explorar as implicações de segurança cibernética associadas a essas tecnologias, identificando vulnerabilidades potenciais e propondo medidas de proteção eficazes.
- **Impacto nas condições de trabalho**
A automação avançada, inerente à Indústria 4.0, pode ter um impacto substancial nas condições de trabalho e no bem-estar dos trabalhadores. Uma avaliação mais aprofundada é necessária para compreender como as mudanças nas operações afetam os trabalhadores e como esses impactos podem ser geridos de forma a promover um ambiente de trabalho seguro e saudável.
- **Sustentabilidade ambiental**
À medida que a preocupação com a sustentabilidade ambiental cresce, investigações adicionais podem concentrar-se no impacto ambiental da Indústria 4.0. Isso pode incluir estudos detalhados sobre a redução das emissões de carbono, resultantes da otimização energética e o uso eficiente de recursos naturais na produção industrial.

Em resumo, esta tese destaca claramente o potencial transformador da Indústria 4.0 no setor de acionamentos hidráulicos de prensas industriais. As conclusões enfatizam que a adoção de tecnologias 4.0, não só melhoram a eficiência, mas também impulsionam a qualidade, sustentabilidade e eficácia da gestão de recursos. As limitações identificadas fornecem oportunidades claras para futuras pesquisas, permitindo uma análise mais profunda e necessária do impacto da Indústria 4.0 na gestão industrial, não só em Portugal, mas também em contextos globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ISO 16093:2017(en), Machine tools — Safety — Sawing machines for cold metal». <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:16093:ed-1:v1:en> (acedido Jan. 09, 2023).
- [2] ISO 13849-1:2015(en), Safety of machinery — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design». <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:13849:-1:ed-3:v1:en> (acedido Jan. 09, 2023).
- [3] Hydraulics, electronics & filters since 1963 | HYDAC». <https://www.hydac.com/en/> (acedido Dez. 01, 2022).
- [4] DIRECTIVA 2006/42/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO», 17 maio 2006, Acedido: Nov. 04, 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042>.
- [5] A. A. Santos, «Controlo de Sistemas Pneumáticos», *Rev. Robótica*, vol. 94, pp. 4–6, 2014, doi: 10400.22/4319.
- [6] J. E. Huber, N. A. Fleck, e M. F. Ashby, «The selection of mechanical actuators based on performance indices», *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 453, n. 1965, pp. 2185–2205, 1997, doi: 10.1098/RSPA.1997.0117.
- [7] ARIVELTO BUSTAMANTE FIALHO, *Automação Pneumática Projetos, dimensionamento e análise de circuitos - ARIVELTO BUSTAMANTE FIALHO - Google Livros*, 7ª Edição. 2018.
- [8] M. S. Schlüter e E. A. Perondi, «Mathematical modeling of pneumatic semi-rotary actuator with friction», *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 40, n. 11, pp. 1–17, Nov. 2018, doi: 10.1007/S40430-018-1434-8/FIGURES/15.
- [9] J. De Santiago *et al.*, «Electrical motor drivelines in commercial all-electric vehicles: A review», *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, n. 2, pp. 475–484, Fev. 2012, doi: 10.1109/TVT.2011.2177873.
- [10] HYDAC Systems & Services GmbH, *Hydraulics-Basics and Components Introduction to Filter Technology*. 2019.
- [11] R. G. Budynas e J. K. Nisbett, «Shigley’s mechanical engineering design», *New York NY*, vol. 752, 2008.
- [12] A. M. G. Completo e F. Melo, «Introdução ao Projeto Mecânico». Porto: Booki, 2019.
- [13] L. K. Chan e M. L. Wu, «Quality function deployment: A literature review», *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 143, n. 3, pp. 463–497, Dez. 2002, doi: 10.1016/S0377-2217(02)00178-9.
- [14] Guias práticos Segurança de Máquinas e Equipamentos de Trabalho». https://portal.act.gov.pt/AnexosPDF/Dossiers temáticos/Máquinas e equipamentos de trabalho/Guia_Pratico_Seguranca de Maquinas e Equipamentos de Trabalho.pdf (acedido Jan. 01, 2023).
- [15] L. Da Xu, E. L. Xu, e L. Li, «Industry 4.0: State of the art and future trends», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 56, n. 8, pp. 2941–2962, 2018, doi: 10.1080/00207543.2018.1444806.
- [16] X. Xu, «Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing», doi: 10.1007/s00170-017-0300-7.
- [17] C. G. Machado, P. Winroth, E. Hans, D. Ribeiro Da Silva, e C. Gonçalves Machado, «Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda», *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, n. 5, pp. 1462–1484, 2020, doi: 10.1080/00207543.2019.1652777.

- [18] W. Shen, Q. Hao, S. Wang, Y. Li, e H. Ghenniwa, «An agent-based service-oriented integration architecture for collaborative intelligent manufacturing», *Robot. Comput. Integr. Manuf.*, vol. 23, n. 3, pp. 315–325, Jun. 2007, doi: 10.1016/J.RCIM.2006.02.009.
- [19] J. Rohland, F. Semmler, e P. Blau, «Sichererer Arbeitsplatz Presse DIN EN 16092-3», pp. 25–35, 2022, doi: 10.37307/B.978-3-503-20081-8.02.
- [20] K. Nagadi, «Development in Agent Based Systems for Intelligent Manufacturing; Development in Agent Based Systems for Intelligent Manufacturing», doi: 10.1145/3523132.3523141.
- [21] What is Industry 4.0? The Nine Pillars of Industry 4.0 | Circuit Digest». <https://circuitdigest.com/article/what-is-industry-4-and-its-nine-technology-pillars> (acedido Jan. 04, 2023).
- [22] I. D. L. Bogle, «A Perspective on Smart Process Manufacturing Research Challenges for Process Systems Engineers», *Engineering*, vol. 3, n. 2, pp. 161–165, Abr. 2017, doi: 10.1016/J.ENG.2017.02.003.
- [23] S. Wang, J. Wan, D. Li, e C. Zhang, «Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook», 2016, doi: 10.1155/2016/3159805.
- [24] R. Rosen, G. Von Wichert, G. Lo, e K. D. Bettenhausen, «About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing», *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, n. 3, pp. 567–572, Mai. 2015, doi: 10.1016/J.IFACOL.2015.06.141.
- [25] IEEE Xplore Full-Text PDF»: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6746014> (acedido Dez. 10, 2022).
- [26] I. M. Mal'ý, D. Sedláček, e P. Leitão, «Augmented Reality Experiments with Industrial Robot in Industry 4.0 Environment», 2016.
- [27] M. Lezzi, M. Lazoi, e A. Corallo, «Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework», *Comput. Ind.*, vol. 103, pp. 97–110, Dez. 2018, doi: 10.1016/J.COMPIND.2018.09.004.
- [28] U. M. Dilberoglu, B. Gharehpapagh, U. Yaman, e M. Dolen, «The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0», *Procedia Manuf.*, vol. 11, pp. 545–554, 2017, doi: 10.1016/J.PROMFG.2017.07.148.
- [29] S. Mei, M. Yuan, J. Cui, S. Dong, e J. Zhao, «Machinery condition monitoring in the era of industry 4.0: A relative degree of contribution feature selection and deep residual network combined approach», *Comput. Ind. Eng.*, vol. 168, Jun. 2022, doi: 10.1016/J.CIE.2022.108129.
- [30] S. S. V. Keshav Kolla, D. M. Lourenço, A. A. Kumar, e P. Plapper, «Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IIoT)», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 62–70, 2022, doi: 10.1016/J.PROCS.2022.01.205.
- [31] F. Wahl, M. Breslein, e B. Elser, «On-demand forklift hailing system for Intralogistics 4.0», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 878–886, 2022, doi: 10.1016/J.PROCS.2022.01.285.
- [32] A. Mon e H. R. Del Giorgio, «Analysis of Industry 4.0 Products in Small and Medium Enterprises», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 914–923, 2022, doi: 10.1016/J.PROCS.2022.01.289.
- [33] A. Mofolasayo, S. Young, P. Martinez, e R. Ahmad, «How to adapt lean practices in SMEs to support Industry 4.0 in manufacturing», *Procedia Comput. Sci.*, vol. 200, pp. 934–943, 2022, doi: 10.1016/J.PROCS.2022.01.291.

- [34] N. Zhang e Z. Chen, «Sustainability characteristics of China’s Poyang Lake Eco-Economics Zone in the big data environment», *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 642–653, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.02.052.
- [35] «The hydraulic trainer volume 1 (basic principles & components of fluid technology) by ahmad fikry - Issuu», *HYDAC*, 2019. .
- [36] «Mecânica Exacta». <https://www.mecanicaexacta.com/produtos.php> (acedido Mai. 07, 2023).
- [37] imagem abertura de comorta 180.jpg (imagem JPEG, 800 × 600 pixels)». <https://forum.outerspace.com.br/proxy.php?image=http%3A%2F%2Fwww.fotosdobrasil.fot.br%2FFotos%2FAlta%2FFoz%2520do%2520Iguacu%2FItaipu%2520Binacional%2Fimagem%2520180.jpg&hash=a062bfdac87c68780225f3305269dd4b> (acedido Mai. 07, 2023).
- [38] STET lança campanha “Agora é o momento” - Agriterra - Informação profissional para a agricultura portuguesa». <https://www.agriterra.pt/Artigos/344986-Stet-lanca-campanha-%27Agora-e-o-momento%27.html> (acedido Mai. 07, 2023).
- [39] Gruas Galeria – TCGL». <https://www.tcgl.pt/noticias/#galeria> (acedido Mai. 07, 2023).
- [40] HOME - Hycom». <https://hycom.nl/> (acedido Mai. 07, 2023).
- [41] Elevador hidráulico 3500 Kg de 2 colunas | Cetrus». <https://www.cetrus.pt/elevador-hidraulico-de-2-colunas-de-3500kg> (acedido Mai. 07, 2023).
- [42] M. G. Rabie, «Fluid power engineering/M. Galal Rabie.» New York: McGraw-Hill, 2009.
- [43] F. M. White, *Mecânica dos fluidos*. McGraw Hill Brasil, 2004.
- [44] FUNKE Heat Exchangers - Home». <https://www.funke.de/en-gb/> (acedido Jul. 06, 2023).
- [45] Directive 2006/42/EC - new machinery directive | Safety and health at work EU-OSHA». <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/directive-2006-42-ec-of-the-european-parliament-and-of-the-council> (acedido Set. 14, 2023).
- [46] ISO 16092-3:2017(en), Machine tools safety — Presses — Part 3: Safety requirements for hydraulic presses». <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:16092:-3:ed-1:v1:en> (acedido Jul. 11, 2023).