

# Atualização do sistema de comando de uma prensa hidráulica de triplo efeito

*Ana Luísa Viana Mesquita Louro*

**Dissertação de Mestrado**



Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica  
Ramo de Automação

Orientador: Prof. Fernando Gomes de Almeida  
Co-orientador: Prof. João Falcão Carneiro

2016



## Resumo

Os processos de conformação plástica de chapa são hoje em dia comumente utilizados em diversas áreas de produção. Exemplos dessas áreas são a indústria aeronáutica e a automóvel. Estas indústrias requerem frequentemente peças de grande complexidade geométrica que não são possíveis de obter numa máquina comum. O recurso a uma prensa hidráulica fornece controlo de força e curso enquanto a complexidade geométrica é obtida através do maior número de movimentos independentes. A máquina que compila estes dois fatores é a prensa hidráulica de triplo efeito.

A presente dissertação pretende contribuir para a atualização do sistema de comando hidráulico de uma prensa hidráulica de triplo efeito existente no Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI). Para tal, foi realizada uma pesquisa acerca do processo de embutidura e do funcionamento das prensas para, perante o circuito hidráulico existente e tendo em conta as limitações da máquina, ser feita uma análise crítica do funcionamento atual. O levantamento e análise crítica do circuito hidráulico existente conduziu a diversas propostas de alterações. Foram tidas em conta as opiniões e sugestões dos seus utilizadores mais frequentes, que apontaram defeitos e melhorias que gostariam de ver implementadas, assim como as informações contidas na documentação facultada pela empresa fornecedora da prensa, a ADIRA. Nessa documentação encontra-se o circuito hidráulico atualmente em funcionamento, assim como as características da prensa.



## Abstract

Nowadays, the sheet forming processes are commonly used in various production areas. Some examples of these areas are the aircraft and the automobile industries. These industries often require components with high geometry complexity which are not possible to obtain with a common machine. The use of hydraulic presses provides force and course control while the geometric complexity is obtained through the highest number of independent movements. The machine that compiles these two factors is a triple action hydraulic press.

This dissertation aims to contribute to the updating of the current hydraulic command system of a triple action hydraulic press located at the Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI). For this end, it was performed a survey about the deep drawing process and the functioning of presses. Towards the hydraulic circuit currently in use and taking into account the limitations of the machine it was made a critical analysis of the present working method. The survey and the analysis of the hydraulic circuit led to several updating proposals. The most frequent users views and suggestions, who pointed out current defects and improvements they would like to see implemented, as well as the information contained in the documentation provided by the press supplier ADIRA have been taken into account. The provided documentation contains the hydraulic circuit now in use as well as the press characteristics.



## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar aos meus orientadores Fernando Gomes de Almeida e João Falcão Carneiro pelo acompanhamento, disponibilidade e profissionalismo que prestaram.

Sou grata ao professor José António de Bessa Pacheco, pelo acompanhamento e disponibilidade que apresentou.

Aos professores Abel Dias dos Santos, Augusto Barata da Rocha e José Ferreira Duarte pela disponibilidade e ajuda que prestaram.

Dirijo ainda a minha gratidão a todos os meus amigos e colegas que me apoiaram ao longo do desenvolvimento deste trabalho, em especial à Rita Afonso, Cátia Batalha, Mário Silva, Vítor Veiga e Ivo Cordeiro.

Por fim, um agradecimento especial à minha família, que sempre me apoiou incondicionalmente, aos meus pais por tudo o que me ensinaram e fizeram por mim e à minha irmã, que sempre esteve presente.



# Índice

<b>Resumo .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimentos .....</b>	<b>vii</b>
<b>Índice.....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>xi</b>
<b>Lista de tabelas .....</b>	<b>xv</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Prensa hidráulica de triplo efeito.....	1
1.2. Objetivos da dissertação .....	2
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
<b>2. Fundamentos de conformação plástica .....</b>	<b>3</b>
2.1. Introdução.....	3
2.2. Embutidura.....	4
2.2.1. Classificação das ferramentas.....	4
2.2.2. Componentes normalizados.....	6
2.2.3. Deformação na embutidura.....	8
2.2.4. Descrição do processo de embutidura .....	10
2.3. Caracterização de prensas utilizadas em embutidura.....	12
2.3.1. Classificação das prensas .....	12
2.3.2. Prensas hidráulicas de triplo efeito .....	14
<b>3. Alguns elementos de comandos hidráulicos.....</b>	<b>17</b>
3.1. Elementos lógicos.....	17
3.2. Válvulas Proporcionais .....	21
3.3. Load-Sensing .....	22
<b>4. Sistema de Comando de uma Prensa Hidráulica de Triplo Efeito .....</b>	<b>25</b>
4.1. Introdução.....	25
4.2. Circuito Hidráulico.....	25
4.2.1. Ação individual dos efeitos da prensa .....	29
4.2.2. Ação solidária dos efeitos da prensa .....	58
4.2.1. Tabelas de fases .....	73
4.3. Normalização aplicável .....	75
4.3.1. Diretiva Máquinas.....	75

4.3.2. Diretiva Equipamentos de trabalho .....	79
<b>5. Conclusões .....</b>	<b>81</b>
5.1. Trabalhos futuros.....	82
<b>Referências .....</b>	<b>83</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>85</b>
Anexo A - Componentes de uma prensa em C (a) e em arcada (b).....	85
Anexo B - Referências das válvulas do circuito hidráulico .....	87

## Lista de figuras

Figura 2.1 - Ferramenta de simples efeito (A-Punção; B-Matriz). .....	5
Figura 2.2 - Ferramenta de duplo efeito (A-Punção; B-Matriz; C-Cerra-chapas). .....	5
Figura 2.3 - Ferramenta de triplo efeito .....	5
Figura 2.4 - Estrutura com colunas (Fibro, 2015) .....	6
Figura 2.5 - Casquilhos e colunas de guiamento (Fibro, 2015). .....	7
Figura 2.6 - Molas helicoidais (Fibro, 2015) .....	7
Figura 2.7 - Molas a gás (Fibro, 2015) .....	7
Figura 2.8 - Embutidura por extensão (lado esquerdo) e expansão (lado direito) (Santos, Duarte, & Rocha, 2005). .....	8
Figura 2.9 - Freios (Santos, Duarte, & Rocha, 2005). .....	9
Figura 2.10 - Ferramenta mista de corte e embutidura (Santos, Duarte, & Rocha, 2005). .....	9
Figura 2.11 - Embutidura em ferramentas de simples e duplo efeitos (Santos, Duarte, & Rocha, 2005). .....	10
Figura 2.12 - Embutidura em ferramenta de duplo efeito (Mori, 2015). .....	11
Figura 2.13 - Embutidura em ferramentas de triplo efeito (Santos, Duarte, & Rocha, 2005) .	11
Figura 2.14 - Componentes de uma prensa mecânica .....	12
Figura 2.15 - Prensa de corpo em C (à esquerda) e de arcada (à direita) (Santos A. , 2013) ..	14
Figura 2.16 - Representação dos três efeitos de uma prensa (DEES HYDRAULIC INDUSTRIAL CO., 2014) .....	14
Figura 2.17 - Fotografia da prensa hidráulica de triplo efeito. ....	15
Figura 3.1 - Elemento lógico de áreas diferentes .....	17
Figura 3.2 - Elementos lógicos de áreas iguais (Secção de Automação Instrumentação e Controlo, 2014) .....	18
Figura 3.3 - Válvula proporcional .....	21

Figura 3.4 - Válvula limitadora de pressão proporcional .....	21
Figura 3.5 - Bomba em load-sensing (Parker, 2015).....	22
Figura 3.6 - Bomba em load-sensing após variação na queda de pressão (Parker, 2015) .....	23
Figura 4.1 - Circuito hidráulico da prensa hidráulica de triplo efeito (ADIRA, 1994) .....	26
Figura 4.2 - Bomba B8.1.....	27
Figura 4.3 - Pilotagem da bomba B8.1.....	28
Figura 4.4 - Pressostato e válvula limitadora de pressão .....	28
Figura 4.5 - Bomba B8.4 e permutador .....	28
Figura 4.6 - Exemplo de sequência para embutidura com a almofada como extrator .....	30
Figura 4.7 - Circuito hidráulico na descida do cerra-chapas.....	32
Figura 4.8 - Circuito hidráulico na descida gravítica do embutidor .....	33
Figura 4.9 - Circuito hidráulico com controlo de posição na descida do cerra-chapas .....	35
Figura 4.10 - Circuito hidráulico do cerra-chapas em pressurização.....	36
Figura 4.11 - Circuito hidráulico do cerra-chapas após ação do pressostato .....	38
Figura 4.12 - Circuito hidráulico na descida do embutidor com controlo de posição .....	39
Figura 4.13 - Circuito hidráulico na embutidura .....	40
Figura 4.14 - Simbologia da válvula VP1 (Rexroth, 2015) .....	41
Figura 4.15 - Curva característica de VP1 (Rexroth, 2015) .....	41
Figura 4.16 - Circuito hidráulico com acréscimo da válvula VDB2 .....	42
Figura 4.17 - Circuito hidráulico com atualizações na descompressão do embutidor com controlo de caudal.....	43
Figura 4.18 - Circuito hidráulico na subida do embutidor.....	45
Figura 4.19 - Circuito hidráulico com as atualizações na subida forçada do embutidor.....	46
Figura 4.20 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão do cerra-chapas .....	47
Figura 4.21 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão do cerra-chapas com controlo de caudal.....	48
Figura 4.22 - Circuito hidráulico na subida do cerra-chapas .....	50
Figura 4.23 - Circuito hidráulico na subida do cerra-chapas com controlo de caudal .....	51
Figura 4.24 - Circuito hidráulico na subida da almofada .....	52
Figura 4.25 - Circuito hidráulico na paragem da almofada .....	53
Figura 4.26 - Circuito hidráulico na descida gravítica da almofada .....	54

Figura 4.27 - Exemplo de sequência para embutidura com a almofada como punção .....	56
Figura 4.28 - Circuito hidráulico na descida forçada da almofada .....	57
Figura 4.29 - Exemplo de sequência para movimento do cerra-chapas e do embutidor em simultâneo e uso da almofada como extrator .....	59
Figura 4.30 - Implementação das válvulas VDS1 e VDS2 no circuito hidráulico .....	62
Figura 4.31 - Circuito hidráulico da descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor .....	63
Figura 4.32 - Circuito hidráulico proposto para a descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor .....	64
Figura 4.33 - Circuito hidráulico na embutidura com cerra-chapas e embutidor .....	65
Figura 4.34 - Circuito hidráulico proposto para a embutidura com cerra-chapas e embutidor .....	66
Figura 4.35 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão simultânea do cerra-chapas e do embutidor .....	67
Figura 4.36 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão simultânea com controlo de caudal .....	68
<b>Figura 4.37 - Circuito hidráulico da subida simultânea do cerra-chapas e embutidor .....</b>	<b>70</b>
Figura 4.38 - Circuito hidráulico proposto para a subida simultânea de cerra-chapas e embutidor .....	71
Figura 4.39 - Circuito hidráulico atualizado .....	72



## Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Distinção entre prensas mecânicas e hidráulicas (ASM, 1988). .....	13
Tabela 2.2 - Propriedades da prensa hidráulica de triplo efeito .....	15
Tabela 3.1 - Exemplos de funcionamento de elementos lógicos .....	19
Tabela 4.1 - Estado dos solenóides na descida do cerra-chapas .....	31
Tabela 4.2 - Novo estado dos solenóides na descida do cerra-chapas .....	31
Tabela 4.3 - Estado dos solenóides na descida gravítica do embutidor .....	33
Tabela 4.4 - Novo estado dos solenóides na descida gravítica do embutidor .....	34
Tabela 4.5 - Novo estado dos solenóides na descida controlada do cerra-chapas .....	34
Tabela 4.6 - Estado dos solenóides no repouso do embutidor. ....	35
Tabela 4.7 - Estado dos solenóides na pressurização do cerra-chapas.....	36
Tabela 4.8 - Novo estado dos solenóides na pressurização do cerra-chapas.....	37
Tabela 4.9 - Estado dos solenóides após ação do pressostato .....	37
Tabela 4.10 - Novo estado dos solenóides na descida controlada do embutidor .....	38
Tabela 4.11 - Estado dos solenoides na embutidura.....	39
Tabela 4.12 - Estado dos solenoides na descompressão do embutidor .....	40
Tabela 4.13 - Novo estado dos solenóides para a descompressão do embutidor .....	42
Tabela 4.14 - Estado dos solenóides para a descompressão do embutidor com controlo de caudal .....	43
Tabela 4.15 - Estado dos solenóides na subida do embutidor .....	44
Tabela 4.16 - Novo estado dos solenóides para a subida do embutidor com controlo de caudal .....	45
Tabela 4.17 - Estado dos solenoides para a descompressão do cerra-chapas.....	46

Tabela 4.18 - Novo estado dos solenóides para a descompressão do cerra-chapas .....	47
Tabela 4.19 - Estado dos solenóides para a descompressão do cerra-chapas com controlo de caudal .....	48
Tabela 4.20 - Estado dos solenóides na subida do cerra-chapas .....	49
Tabela 4.21 - Novo estado dos solenóides para a subida do cerra-chapas com controlo de caudal .....	51
Tabela 4.22 - Estado dos solenóides na subida da almofada .....	52
Tabela 4.23 - Estado dos solenóides na paragem da almofada .....	53
Tabela 4.24 - Estado dos solenóides na descida gravítica da almofada .....	54
Tabela 4.25 - Estado dos solenóides na descida forçada da almofada .....	57
Tabela 4.26 - Estado dos solenóides na descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor .	62
Tabela 4.27 - Novo estado dos solenóides para a descida simultânea .....	64
Tabela 4.28 - Estado dos solenóides na embutidura com cerra-chapas e embutidor .....	65
Tabela 4.29 - Novo estado dos solenóides para a embutidura simultânea .....	66
Tabela 4.30 - Novo estado dos solenóides para a descompressão simultânea .....	67
Tabela 4.31 - Novo estado dos solenóides para a descompressão simultânea com controlo de caudal .....	68
Tabela 4.32 - Estado dos solenóides na subida simultânea do cerra-chapas e do embutidor .	69
Tabela 4.33- Novo estado dos solenóides para subida simultânea do cerra-chapas e do embutidor .....	71
Tabela 4.34 - Tabela de fases da prensa de triplo efeito (ADIRA, 1994) .....	73
Tabela 4.35 - Tabela de fases modificada .....	74
Tabela 4.36 - Normas da Diretiva Máquinas (CE, 2015) .....	76

# 1. Introdução

## 1.1. Prensa hidráulica de triplo efeito

A prensa hidráulica alvo de análise nesta dissertação encontra-se no INEGI (Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial) e surgiu de uma ideia de inovação na indústria portuguesa. Não existia em Portugal nenhuma prensa hidráulica de triplo efeito de comando numérico na altura (início dos anos 90) e, em detrimento de uma importação, foi lançado à ADIRA o desafio de a construir. A ADIRA aceitou a proposta e foram produzidos dois exemplares: um para o INEGI e outro para o IST (Instituto Superior Técnico) em Lisboa.

A encomenda desta prensa surgiu num contexto experimental, tendo como objetivo a realização de testes e simulações na embutidura de chapas, mais especificamente na obtenção de peças para a indústria automóvel. Esta indústria requer constantemente geometrias complexas e é de grande interesse conseguir compreender melhor o comportamento dos materiais e prever eventuais roturas e zonas de maior fragilidade.

Embora existisse uma prensa mecânica no INEGI, esta não permitia o controlo da velocidade de descida nem da força, condição fundamental para o tipo de trabalho pretendido. A solução passava por uma prensa hidráulica. As prensas hidráulicas possibilitam impor, com alguma facilidade, diversos parâmetros como, por exemplo, forças máximas, velocidades, etc. O seu controlo permite a adaptação às diferentes condições de funcionamento o que leva a um maior aproveitamento das características da prensa.

Assim como as prensas de simples efeito, que quando usadas com as ferramentas corretas conseguem ter dois ou mesmo três efeitos, às prensas de triplo efeito também se podem acrescentar ferramentas abrindo um grande leque de possibilidades de trabalho.

A necessidade de controlo e de obter um número de efeitos que permitisse flexibilidade de trabalho levaram assim à escolha de uma prensa hidráulica de triplo efeito com comando numérico.

## 1.2. *Objetivos da dissertação*

Atualmente o sistema de comando numérico empregue na prensa de triplo efeito encontra-se desatualizado. Pretende-se com esta dissertação fazer um primeiro estudo da máquina e propor algumas modificações ao comando hidráulico atual para um melhor aproveitamento das suas capacidades.

Esta dissertação tem assim como principal objetivo a realização de um estudo crítico do sistema de comando hidráulico da prensa de triplo efeito que se encontra no INEGI. Este estudo está enquadrado num outro mais lato, a prosseguir posteriormente, cujo objetivo é a reformulação total do sistema de comando da prensa.

## 1.3. *Estrutura da dissertação*

Este documento encontra-se dividido em 5 capítulos.

O primeiro capítulo consiste na apresentação do projeto e do âmbito em que surgiu.

No capítulo seguinte, são abordados alguns conceitos básicos da conformação plástica, nomeadamente o processo de embutidura e os tipos de prensas. São apresentados os tipos de embutidura, as ferramentas normalizadas às quais se recorre frequentemente, e é feita a caracterização da prensa hidráulica de triplo efeito alvo de estudo nesta dissertação.

No terceiro capítulo faz-se uma introdução a alguns elementos de comandos hidráulicos, com o objetivo de facilitar a interpretação do circuito hidráulico de comando da prensa, nomeadamente as válvulas proporcionais, os elementos lógicos e o controlo em *load-sensing*.

No quarto capítulo é efetuada a análise detalhada do circuito hidráulico da prensa hidráulica de triplo efeito. Nesta análise comenta-se, de forma crítica, o funcionamento atual da prensa e são propostas alterações ao circuito hidráulico de comando. Estas alterações têm como objetivo melhorar o funcionamento atual mas também acrescentar novas funcionalidades de trabalho à prensa. É ainda assegurada a identificação do enquadramento normativo aplicável de acordo com as obrigações estabelecidas em diretivas europeias e na sua transposição para a legislação nacional.

Por fim, no último e quinto capítulo, são apresentadas as conclusões do trabalho assim como a sugestão para trabalhos futuros de continuação deste projeto.

## 2. Fundamentos de conformação plástica

### 2.1. Introdução

A conformação plástica de um material consiste num processo com uma ou várias operações, nas quais uma chapa metálica é submetida a uma ou mais transformações com o objetivo de se obter uma peça com determinada forma geométrica. As formas geométricas podem ser mais ou menos complexas.

A conformação plástica de uma peça depende de alguns fatores como:

- Forma da peça a obter
- Dimensões da peça
- Qualidade do material

O processo de conformação plástica com maior interesse para esta dissertação é a embutidura, que irá ser abordada com maior detalhe de seguida.

## 2.2. *Embutidura*

A embutidura é um processo tecnológico que tem como objetivo a obtenção de peças ocas através da deformação plástica de chapas planas. Os produtos obtidos por este processo não apresentam superfícies planificáveis. Esta característica torna a embutidura diferente de outros processos de conformação plástica. Um bom exemplo que se pode colocar para se perceber melhor o que significa não ser planificável consiste no uso de uma folha de papel para se obter diversas formas geométricas. A folha pode ser dobrada mais do que uma vez e ainda formar cones sem que haja necessidade de a romper. Mas, se se pretender uma forma geométrica mais complexa, como um copo cilíndrico com fundo, tal já não é possível sem que ocorra diminuição da área em certas zonas (compressão) e aumento em outras (estiramento) (Santos, Duarte, & Rocha, 2005).

Uma outra característica da embutidura é a formação de pregas. As pregas consistem num “encurrilhamento” nos bordos da peça devido ao excesso de material da chapa inicial. A formação das pregas é tanto mais provável quanto maior for a redução de diâmetro imposta. Evita-se a formação destas usando um elemento da ferramenta designado por cerra-chapas.

Os principais elementos da ferramenta são:

- Punção – também conhecido por embutidor, provoca a entrada de material do esboço/chapa na matriz;
- Matriz – apoia a chapa (também designada de esboço);
- Cerra-chapas – comprime e planifica os bordos do esboço e impede a formação de rugas.

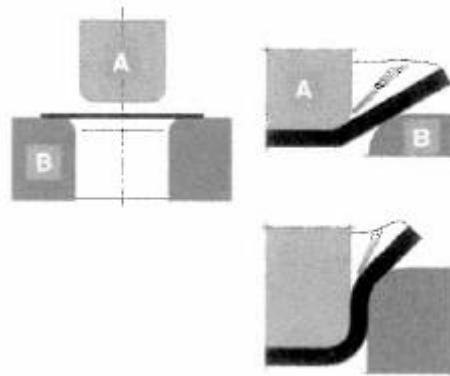
Estes elementos encontram-se identificados na Figura 2.1 e na Figura 2.2.

### 2.2.1. *Classificação das ferramentas*

As ferramentas a utilizar apresentam diversas configurações sendo classificadas, por exemplo, da seguinte forma (Santos, Duarte, & Rocha, 2005):

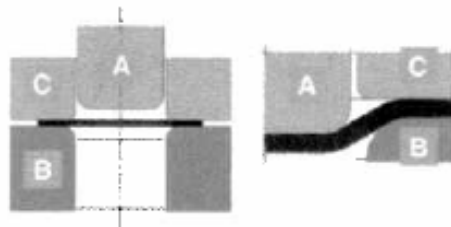
- Quanto ao número de efeitos
  - Simples efeito;
  - Duplo efeito;
  - Triplo efeito.

A ferramenta de simples efeito é composta por um punção e uma matriz como ilustrado na Figura 2.1.



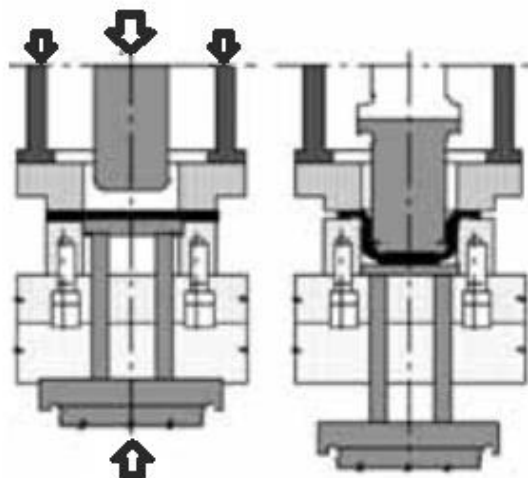
**Figura 2.1 - Ferramenta de simples efeito (A-Punção; B-Matriz).**

A ferramenta de duplo efeito acrescenta um cerra-chapas, como se pode observar na Figura 2.2



**Figura 2.2 - Ferramenta de duplo efeito (A-Punção; B-Matriz; C-Cerra-chapas).**

Uma ferramenta de triplo efeito tem a capacidade de desenvolver três forças distintas sobre uma chapa (Figura 2.3), o que permite embutir peças de maior complexidade e que não se conseguem obter nas de duplo efeito. O terceiro efeito é conseguido com o acréscimo da almofada, que se encontra representada na parte inferior da ferramenta.



**Figura 2.3 - Ferramenta de triplo efeito**

- Quanto ao tipo de embutidura:
  - A frio;
  - A quente;
  - Com estiramento;
  - Inversa.
- Quanto ao material:
  - Ferramentas metálicas;
  - Ferramentas poliméricas;
  - Ferramentas mistas metálicas e poliméricas.

### 2.2.2. Componentes normalizados

Numa ferramenta, para além dos punções e das matrizes, que são em função da geometria que se pretende obter na peça, e dos elementos de ligação mecânicos (parafusos, anilhas, etc.), também existem outros componentes normalizados, nomeadamente:

- Estruturas

Podem-se adquirir placas de estrutura com geometrias normalizadas, havendo diferentes larguras, comprimentos e espessuras. Estas incluem placas de guiamento dos punções e distintos tipos e quantidades de elementos de guiamento, dependendo da dimensão e tipo de trabalho a realizar (Figura 2.4).

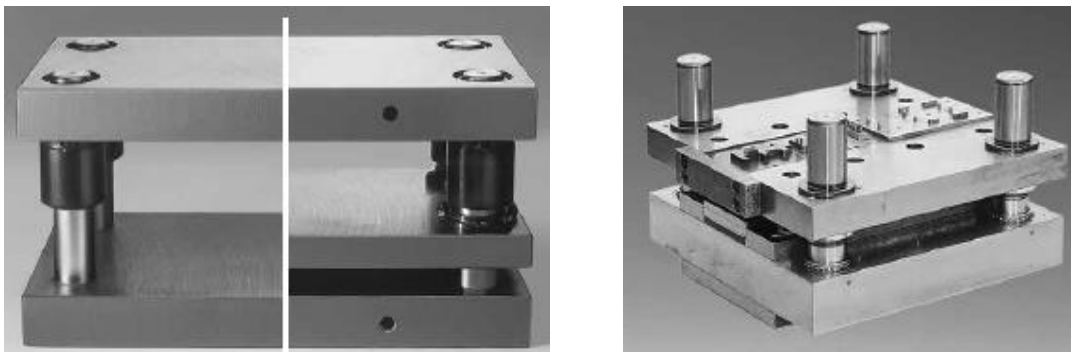


Figura 2.4 - Estrutura com colunas (Fibro, 2015)

- Casquilhos e colunas de guiamento

Os casquilhos e as colunas de guiamento (Figura 2.5) são de grande importância pois contribuem para o alinhamento entre a matriz e o punção.



Figura 2.5 - Casquilhos e colunas de guiamento (Fibro, 2015)

- Molas helicoidais

As molas helicoidais, que se podem ver na Figura 2.6, são de uso muito recorrente quando se pretende introduzir mais um efeito na prensa, ou seja, permitem construir ferramentas de duplo ou mesmo triplo efeito para trabalharem em prensas de simples efeito.



Figura 2.6 - Molas helicoidais (Fibro, 2015)

- Molas a gás

As molas a gás consistem em recipientes, normalmente cilíndricos, com nitrogénio pressurizado no seu interior (Figura 2.7).

Estas molas permitem atingir forças mais elevadas e cursos maiores que as molas helicoidais.



Figura 2.7 - Molas a gás (Fibro, 2015)

### 2.2.3. Deformação na embutidura

O recurso a um cerra-chapas além de evitar a formação de pregas também afeta a espessura da chapa durante a deformação. Se a força de aperto for muito alta não vai permitir à chapa deslizar e alimentar a parte que se encontra a ser estirada pelo punção. Neste caso a espessura final vai ser inferior à inicial. Caso a força de aperto seja baixa já há deslizamento das bordas da chapa e alimentação das zonas comprimidas. A espessura final da peça vai ser igual à inicial.

Há portanto dois tipos de deformação na embutidura (Figura 2.8):

- Embutidura por extensão – a chapa sofre um alongamento positivo (tração e aumento de comprimento) numa direção do plano e um alongamento negativo (compressão e diminuição do comprimento) na direção perpendicular à anterior.
- Embutidura por expansão – a chapa sofre alongamentos positivos em todas as direções do plano.

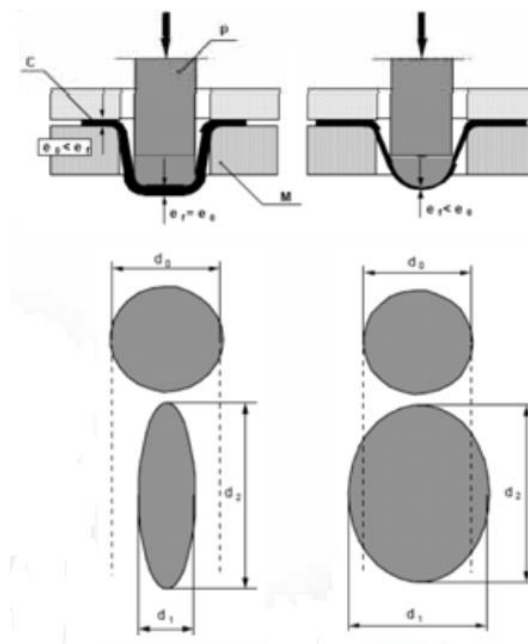


Figura 2.8 - Embutidura por extensão (lado esquerdo) e expansão (lado direito) (Santos, Duarte, & Rocha, 2005).

Uma forma comum de conseguir bloquear a chapa é, para além de ter o cerra-chapas a trabalhar a uma pressão elevada, o uso de freios. Os freios, como se pode ver na Figura 2.9, são umas saliências na matriz ou cerra-chapas que restringem ou impedem o deslizamento da chapa.

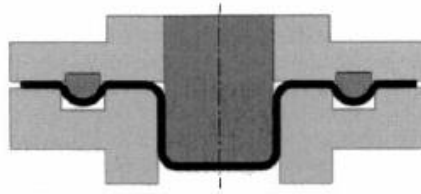


Figura 2.9 - Freios (Santos, Duarte, & Rocha, 2005).

Para além da embutidura, também é possível fazer corte da chapa num mesmo movimento. A Figura 2.10 ilustra esse processo numa ferramenta de simples efeito, onde a matriz de embutidura é solidária com a base superior móvel e na fase inicial corta o esboço a embutir. O cerra-chapas e o punção encontram-se na base inferior.

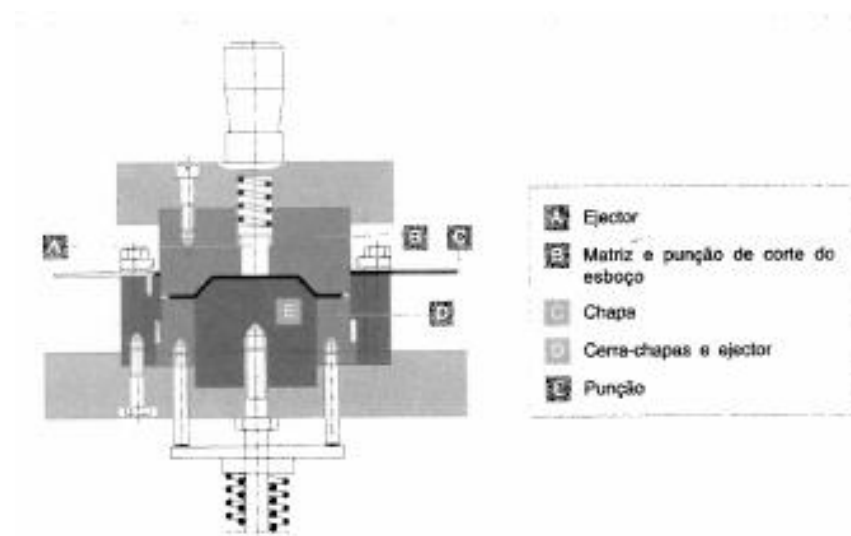


Figura 2.10 - Ferramenta mista de corte e embutidura (Santos, Duarte, & Rocha, 2005).

A obtenção de peças profundas feita através da embutidura requer grandes deformações plásticas e forças muito elevadas. A aplicação de tais forças durante um longo período de tempo, na tentativa de se chegar à profundidade pretendida, pode fazer com que seja ultrapassada a tensão de rotura da chapa e ocorram roturas (no fundo ou nas paredes). A solução passa por embutir em várias etapas. Desta forma obtém-se a peça final sem que se ultrapasse a relação limite de embutidura. Porém, quanto maior o número de etapas maior será o número de ferramentas e o tempo necessário para todo o processo, o que leva a um aumento dos custos de produção.

#### 2.2.4. Descrição do processo de embutidura

Com base nas figuras seguintes faz-se uma pequena descrição do processo de embutidura de quatro peças em três tipos de ferramenta diferentes (simples, duplo e triplo efeitos).

##### Simples efeito

No caso de uma embutidura numa ferramenta de simples efeito como a ilustrada na Figura 2.11 temos apenas o movimento da base superior, onde se encontra o punção. A chapa é colocada na base inferior e de seguida o punção desce, forçando a chapa para dentro da matriz, contra as suas paredes e fundo. Depois de recuado o punção tem-se uma peça final com rugas nas bordas.

##### Duplo efeito

A diferença da ferramenta de duplo para a de simples efeito consiste na existência do cerra-chapas.

Como se pode ver na imagem à direita da Figura 2.11, após a colocação do esboço na base inferior o primeiro movimento é feito pelo cerra-chapas. Este desce até estar em contacto com o esboço, pressionando-o. De seguida ocorre a descida do embutidor, que assim como no caso anterior, irá pressionar o esboço para dentro da matriz. O material ficará no espaço entre o punção e a matriz durante um período de tempo determinado. Terminado esse tempo termina a deformação e o punção e o cerra-chapas voltam à sua posição inicial de recuada.

No final tem-se uma peça sem rugas devido à ação do cerra-chapas.

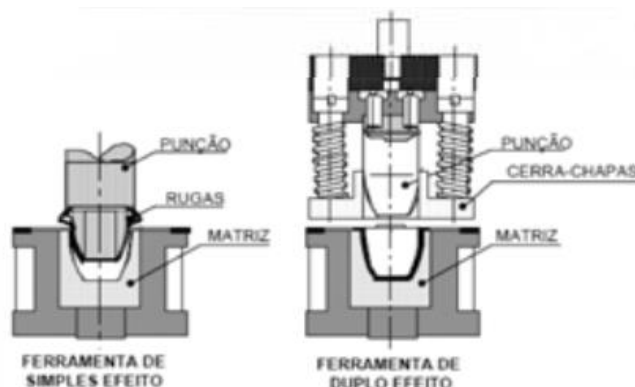


Figura 2.11 - Embutidura em ferramentas de simples e duplo efeitos (Santos, Duarte, & Rocha, 2005).

Uma alternativa à ferramenta de duplo efeito apresentada na figura anterior é a ilustrada na Figura 2.12. Nesta situação, não se tem os dois efeitos situados na parte superior da máquina mas sim na parte inferior. A matriz (Die) está na parte superior e realiza o movimento de descida provocando o encosto do esboço (Blank) ao embutidor (Punch) e cerra-chapas (Blankholder).

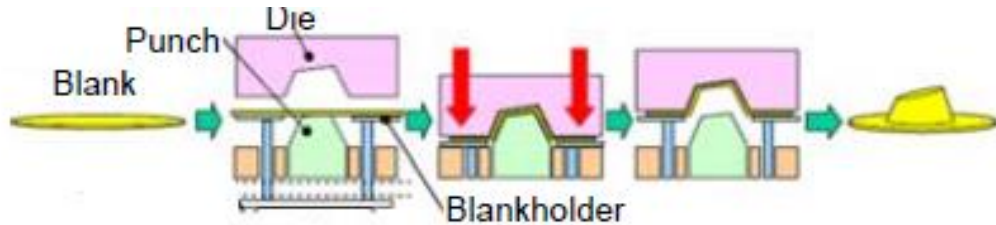


Figura 2.12 - Embutidura em ferramenta de duplo efeito (Mori, 2015)

### Triplo efeito

No caso de uma embutidura numa ferramenta de triplo efeito, além das características anteriores, tem-se ainda movimento de um componente situado na parte inferior denominado de almofada.

Neste tipo de embutidura, ilustrada na Figura 2.13, temos quatro etapas: colocação do esboço na base inferior e subida da almofada; descida do cerra-chapas e pressurização do esboço; descida do punção e introdução do esboço na matriz; recuo do cerra-chapas e do punção e extração da peça da matriz através da subida da almofada.

A almofada poderia também comprimir a chapa, deformando-a, em vez de atuar como extrator.

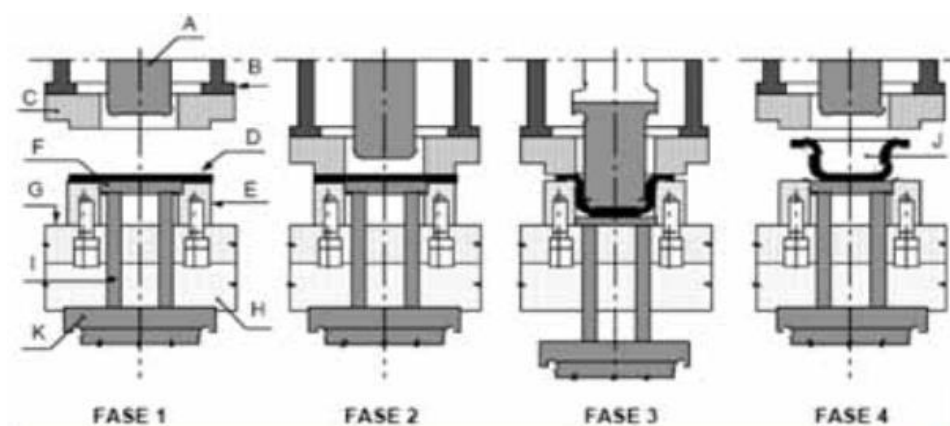


Figura 2.13 - Embutidura em ferramentas de triplo efeito (Santos, Duarte, & Rocha, 2005)

### 2.3. Caracterização de prensas utilizadas em embutidura

A prensa é uma máquina-ferramenta com capacidade de fornecimento de força e energia necessárias para a conformação plástica de uma chapa a uma ferramenta de modo a obter-se uma peça com determinadas forma e dimensão.

#### 2.3.1. Classificação das prensas

Quanto à classificação das prensas temos:

- Quanto à natureza do agente motor:
  - Prensas mecânicas:  
O movimento da corredeira é conseguido por um sistema biela-manivela (Figura 2.14).

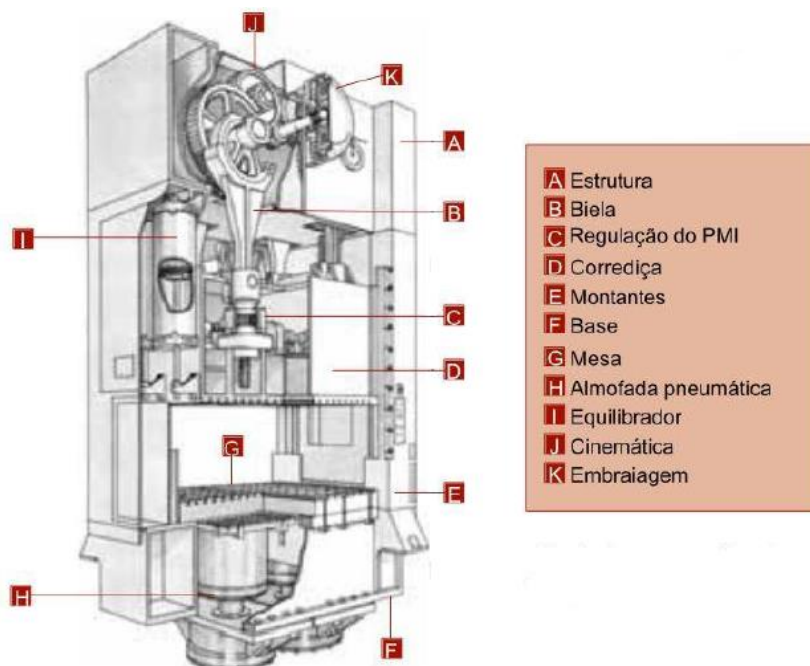


Figura 2.14 - Componentes de uma prensa mecânica

- Prensas hidráulicas:  
Motor aciona uma bomba hidráulica que alimenta um ou mais cilindros que provocam os movimentos de subida e descida.

Na Tabela 2.1 podem-se ver algumas das distinções entre prensas mecânicas e hidráulicas.

**Tabela 2.1 - Distinção entre prensas mecânicas e hidráulicas (ASM, 1988).**

	<i>Mecânica</i>	<i>Hidráulica</i>
<b>Força</b>	Varia de acordo com a posição	Relativamente constante (não depende da posição da corredeja)
<b>Capacidade</b>	Máximo praticável 54MN (6000 tonf)	445 MN (50000 tonf) ou mais
<b>Curso</b>	Limitado	Capacidade para longos cursos (2.5m)
<b>Velocidade de Corredeja</b>	Maior que na prensa hidráulica e pode variar. Máxima a meio curso	Velocidades de trabalho baixas, com avanço e recuo rápidos. Velocidade constante ao longo do curso
<b>Controlo</b>	Normalmente é necessário terminar o curso antes de recuar	Ajustável. O recuo pode ser efetuado em qualquer posição
<b>Usos preferenciais</b>	Operações que requerem máxima pressão junto da posição de fim de curso. Operações de corte e embutidura pouco profunda. Usada em produção em massa com ferramentas progressivas e de transferência	Operações que exijam pressões constantes ao longo de todo o curso. Embutidura profunda. Operações que requerem forças elevadas e variáveis. Operações de cursos variáveis

- Quanto à forma da estrutura (Figura 2.15):
  - Prensa de arcada ou prensa de montantes;
  - Prensa de corpo em C ou de colo de cisne.

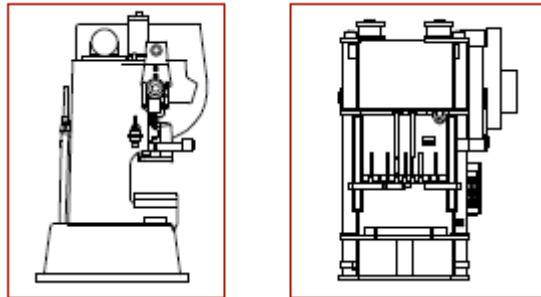


Figura 2.15 - Prensa de corpo em C (à esquerda) e de arcada (à direita) (Santos A. , 2013)

- Quanto ao número de corrediças:
  - Simples efeito
  - Duplo efeito
  - Triplo efeito

A seleção de uma prensa depende das ferramentas disponíveis e do tipo de trabalho que se pretende realizar.

### 2.3.2. *Prensas hidráulicas de triplo efeito*

As prensas de triplo efeito apresentam três movimentos independentes e são particularmente úteis em casos em que é necessária a aplicação de forças em dois sentidos. Ou seja, a terceira ação da prensa pode ser inversa à do cerra-chapas e do embutidor, como a que se pode ver na Figura 2.16.

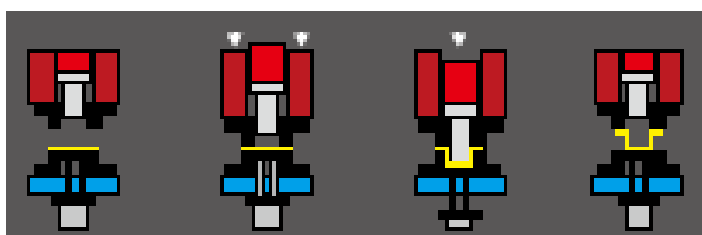


Figura 2.16 - Representação dos três efeitos de uma prensa (DEES HYDRAULIC INDUSTRIAL CO., 2014)

A prensa alvo de estudo nesta dissertação está representada na Figura 2.17 e é uma prensa hidráulica de triplo efeito construída pela ADIRA e entregue ao INEGI em 1994. A prensa, que foi concebida para realizar trabalhos de embutidura de peças complexas e estudar o comportamento dos materiais face à conformação plástica, tem uma capacidade máxima de 1630kN e uma pressão hidráulica máxima de 280bar.



Figura 2.17 - Fotografia da prensa hidráulica de triplo efeito

A Tabela 2.2 resume algumas das características desta prensa.

Tabela 2.2 - Propriedades da prensa hidráulica de triplo efeito

	Pressão	Capacidade	Curso máximo
Embutidor	280 bar	100 ton	630 mm
Cerra-chapas	275 bar	80 ton	400 mm
Almofada	315 bar	63 ton	250 mm

Ao ser uma máquina hidráulica é possível efetuar o controlo de força e curso. A força (constante) controla-se com a pressão e o curso é variável podendo ser feita a paragem do cilindro em qualquer ponto.

Tendo ainda um controlador associado a todo este processo é possível obter diversos comportamentos (velocidade, força, curso) num mesmo movimento. A força corresponde ao produto da pressão pela área em que é aplicada. O curso é registado com recurso a transdutores de posição, existentes nos três efeitos da prensa. Os transdutores utilizados

nesta prensa são do tipo *wire-actuated encoders* (encoders de atuação por cabo) da SIKO. Estes, consistem em um cabo enrolado num tambor que, quando tracionado, provoca a rotação do tambor e um sensor angular regista essa rotação gerando um sinal proporcional ao movimento. O cabo retrocede com recurso a uma mola ligada ao tambor. A velocidade é ajustada com a regulação do caudal.

Apesar das suas aparentes potencialidades este tipo de máquina não é encontrado com facilidade no mercado. São maioritariamente feitas por encomenda especial, não havendo tantas opções de escolha quanto a fornecedores como para uma de duplo ou de simples efeito.

Recorre-se a este tipo de prensas quando se pretende a produção de algo específico. Exemplos de indústrias que procuram estas máquinas são a aeronáutica, a aeroespacial e a automóvel.

No que diz respeito à oferta de prensas hidráulicas de triplo efeito, assim como das características que estas apresentam, foi feita uma pesquisa sobre marcas que as produzem. Desta pesquisa surgiram alguns nomes como Greenerd e WISMA. Algumas das características que se encontram nas prensas destes fabricantes são as seguintes:

WISMA	Embutidor com capacidade de 500 a 1500 toneladas e velocidades de embutidura de: 23-11mm/s, 30-15mm/s, 48-24 e 32-16mm/s. Cerra-chapas com capacidades entre 300 e 750 toneladas. Almofada com capacidades de 200 a 500 toneladas.
GREENERD	Capacidade do punção: 120-600 ton. Capacidade do cerra-chapas: 60-300 ton. Capacidade da almofada: 25-125 ton. Painel com capacidade de controlo de: pressão dos cilindros, distância, velocidade e paragem. Possibilidade de definir posições de Top Stop, abrandamento e Bottom Stop para o punção, cerra-chapas e almofada.

Estes dois exemplos permitem obter uma perspetiva geral do que as prensas de triplo efeito podem oferecer para também se perceber e situar a prensa em estudo nesta dissertação face à concorrência.

### 3. Alguns elementos de comandos hidráulicos

Antes de se passar para a análise do circuito hidráulico é feita uma pequena descrição de dois componentes hidráulicos de grande importância, utilizados nesta prensa: elementos lógicos e válvulas proporcionais. Além destes componentes também se aborda o conceito de funcionamento em *load-sensing*.

#### 3.1. Elementos lógicos

Os elementos lógicos podem realizar funções variadas visto serem uma solução compacta com grande capacidade de resposta, funcionamento de baixo ruído e praticamente isenta de fugas. Além de possuírem as características anteriores os elementos lógicos também permitem lidar com elevados caudais, sendo por isso frequentemente utilizados em circuitos de grande dimensão como, por exemplo, o circuito hidráulico da prensa hidráulica de triplo efeito (ver capítulo 4).

Com base na Figura 3.1 passamos a uma explicação resumida do funcionamento de um elemento lógico de áreas diferentes.

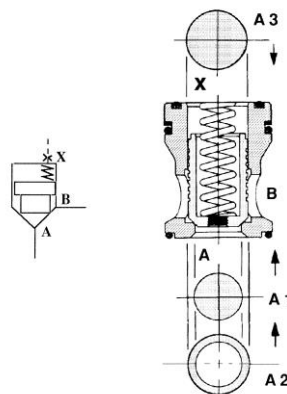


Figura 3.1 - Elemento lógico de áreas diferentes

Se a pressão de pilotagem ( $p_x$ ) for nula, para que haja escoamento de A para B apenas é necessário que  $p_A \cdot A_1$  seja superior à pré-carga da mola (admitindo que B está ligada ao tanque). Para uma circulação no sentido inverso (B para A) a situação é análoga, mas agora  $A_1$  está ligada ao tanque e a pressão em causa será  $p_B$ , que se exerce em  $A_2$ .

Os elementos lógicos de áreas iguais (Figura 3.2) têm um comportamento semelhante, diferenciando-se no facto de não ser possível o escoamento de B para A porque  $A_2$  é inexistente.

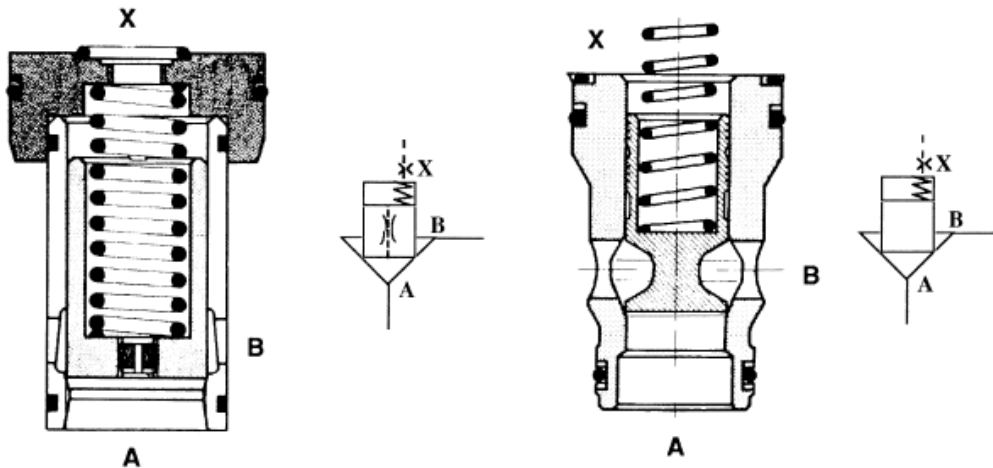


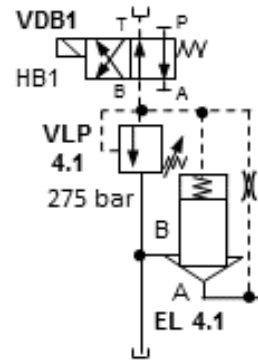
Figura 3.2 - Elementos lógicos de áreas iguais (Secção de Automação Instrumentação e Controlo, 2014)

Para explicar o funcionamento deste tipo de elementos a Tabela 3.1 apresenta alguns exemplos de elementos lógicos implementados no circuito hidráulico da prensa em estudo e, quando pertinente, são também apresentadas as suas válvulas equivalentes.

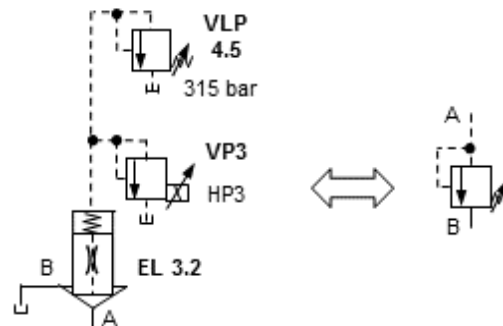
Tabela 3.1 - Exemplos de funcionamento de elementos lógicos

Descrição	Representação
<p>No caso representado ao lado, quando não se tem a válvula direcional (VDE3) atuada o elemento lógico funciona como uma válvula de retenção e permite o escoamento de A para B. Para que haja passagem de B para A é necessária a atuação da válvula direcional (VDE3) de modo a colocar linha de pilotagem do elemento lógico ligada ao reservatório.</p> <p>Quando a saída de A é bloqueada o fecho do elemento lógico é garantido pela existência da válvula de retenção e do estrangulador.</p>	
<p>Este elemento lógico de áreas diferentes de assento axial comporta-se como uma válvula direcional 2/2.</p> <p>A não atuação da electroválvula leva a uma pressão de pilotagem nula e o elemento lógico abre (circulação de A para B). Caso a electroválvula seja atuada o elemento fecha.</p>	

Ao lado temos um elemento lógico de assento axial e áreas iguais que, dependendo da pilotagem, permite ou não circulação de A para B. Se a electroválvula não estiver atuada a pressão de pilotagem é nula e o elemento abre, permitindo a passagem de A para B. Caso a electroválvula esteja atuada o elemento permanece fechado até que seja atingida a pressão da válvula limitadora de pressão (275 bar). Atingida a pressão de 275 bar a válvula limitadora de pressão abre provocando uma queda de pressão na linha de pilotagem do elemento lógico. A existência do estrangulador nessa linha de pilotagem permite que se crie um  $\Delta p$  suficiente para que ocorra a abertura do elemento lógico e conseqüentemente a circulação de fluido de A para B.



Este exemplo corresponde a um elemento lógico de assento axial com áreas iguais que, dependendo da pilotagem, permite ou não a circulação de fluido de A para B. Este tipo de elemento não permite circulação no sentido de B para A. Quando é atingida uma das pressões das válvulas limitadoras (315 bar ou HP3 da válvula proporcional) há uma queda de pressão na linha de pilotagem do elemento lógico. A existência do estrangulador na linha de pilotagem cria um  $\Delta p$  suficiente para que ocorra a abertura do elemento lógico e a circulação de fluido de A para B.



### 3.2. Válvulas Proporcionais

As válvulas proporcionais de caudal combinam hidráulica com controlo elétrico, simplificam os circuitos hidráulicos com uma redução significativa de componentes e aumentam a eficiência do sistema.

Ao contrário de outro tipo de válvulas que só podem assumir certas posições fixas, têm infinitas posições entre a posição totalmente aberta e a totalmente fechada. A abertura vai ser definida pela grandeza da corrente fornecida ao solenóide. Tal permite o controlo de caudal, proporcional à corrente, e consequentemente da velocidade dos atuadores. A corrente a fornecer pode ser consultada na ficha técnica das válvulas.

Na Figura 3.3 temos a simbologia de uma válvula direcional proporcional em que se duplica a capacidade desta fazendo a ligação do orifício A com o P e do B com o T. Isto é, quando se abre a válvula o caudal total que passa por esta é o correspondente ao que segue de P para B mais o de A para T.

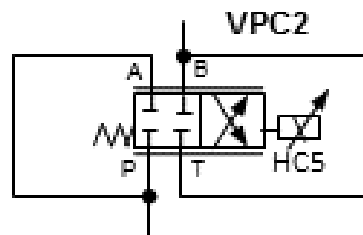


Figura 3.3 - Válvula proporcional

Considerando-se uma aplicação onde a pressão do sistema tem que ser ajustável surge o uso de uma outra válvula proporcional, a limitadora de pressão, representada na Figura 3.4. Para abrir a válvula limitadora, e ocorrer a passagem de fluido, a pressão no orifício P deve aumentar o suficiente para vencer a força do eletroímã.

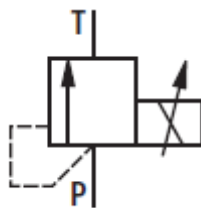


Figura 3.4 - Válvula limitadora de pressão proporcional

A capacidade das válvulas proporcionais de determinarem a pressão do sistema e a velocidade dos atuadores por meios eletrónicos é, sem dúvida, uma vantagem em aplicações em que estes parâmetros têm de ser alterados frequentemente. Além disso, a flexibilidade de comando que as válvulas proporcionais oferecem pode simplificar circuitos hidráulicos,

resultando um circuito com menos componentes hidráulicos e com conseqüente diminuição de espaço e, por vezes, de custos (Skinner, 1998).

### 3.3. Load-Sensing

*Load-sensing* é um termo usado para descrever um tipo de controlo de bombas. A bomba sente a pressão num determinado orifício de uma válvula e ajusta o caudal que debita de modo a manter a queda de pressão nessa mesma válvula constante. Desta forma confere-se ao sistema o caudal que este necessita. Normalmente as válvulas onde se faz a leitura da pressão são válvulas proporcionais. As bombas são de cilindrada variável, sendo comuns para este funcionamento as de pistões axiais e prato inclinado. De forma a se perceber melhor o funcionamento em *load-sensing* atente-se à Figura 3.5 e à Figura 3.6.

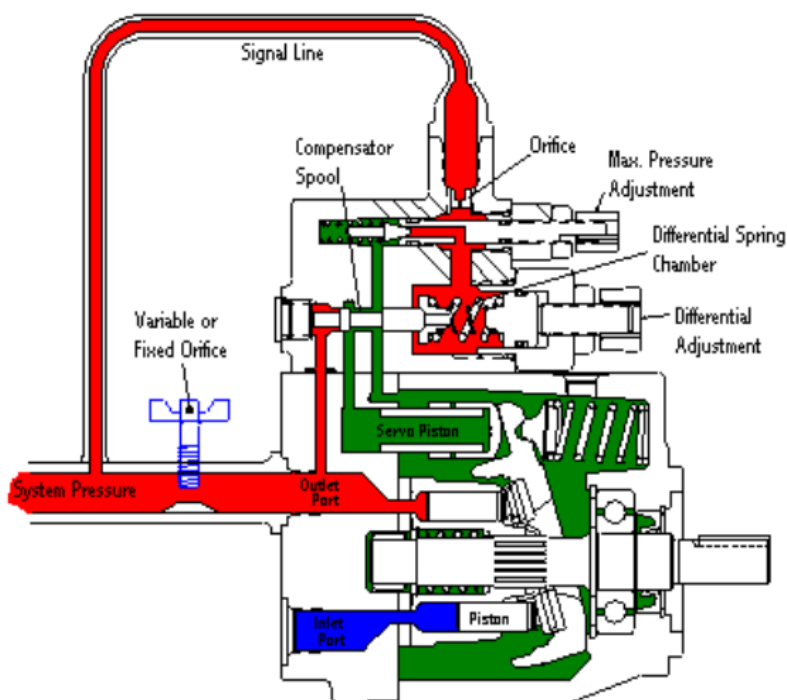


Figura 3.5 - Bomba em *load-sensing* (Parker, 2015)

Na figura acima temos ilustrada uma bomba de êmbolos axiais e prato inclinado, sendo neste caso a variação do caudal devida à variação do ângulo do prato. Este ângulo varia por ação de forças e pressões do sistema que contrariam a força da mola, que se encontra no lado oposto do prato. Um compensador (*Compensator Spool*) reagirá à queda de pressão no orifício externo (*Variable or Fixed Orifice*) ajustando a pressão de saída da bomba de forma a provocar uma queda de pressão constante nesse orifício.

Na situação representada na Figura 3.5 o orifício (*Variable or Fixed Orifice*) está totalmente aberto, não restringindo o fluxo de caudal. A pressão de saída da bomba e a

pressão do sistema são iguais. Esta situação leva a que as pressões em ambos os lados do êmbolo do compensador (*Compensator Spool*) sejam iguais e, a mola diferencial (*Differential Spring*) mantém o êmbolo posicionado à esquerda. Não há controlo de pressão do pistão do prato inclinado (*Servo Piston*) e a bomba fornece caudal máximo.

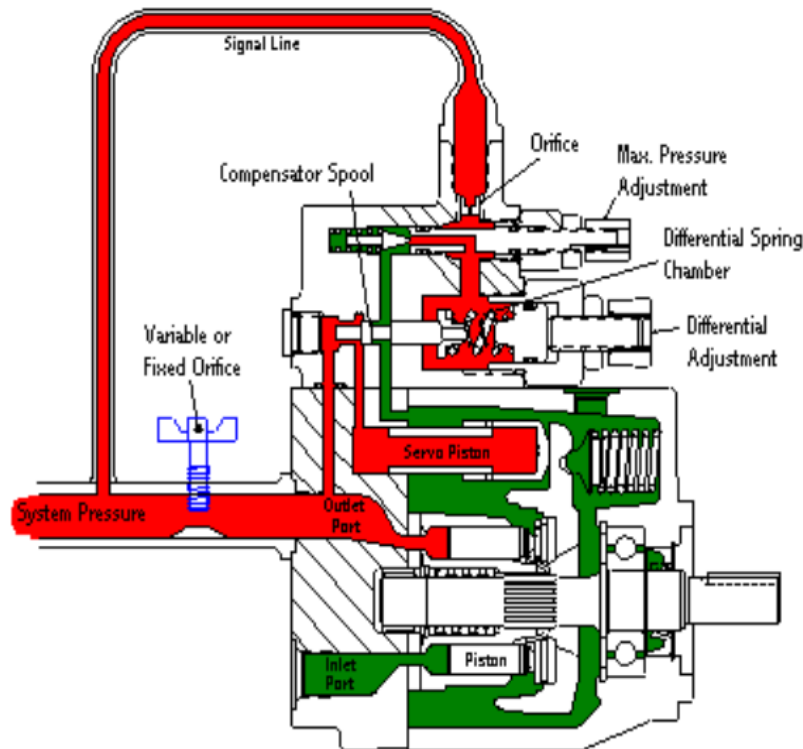


Figura 3.6 - Bomba em *load-sensing* após variação na queda de pressão (Parker, 2015)

Na Figura 3.6 é considerada uma restrição no orifício (*Variable or fixed Orifice*), o que provoca um aumento da pressão à saída da bomba e cria uma queda de pressão nesse mesmo orifício. A pressão irá aumentar até que seja ultrapassada a força da mola diferencial (*Differential Spring*) provocando a deslocação do êmbolo do compensador (*Compensator Spool*) para a direita. O pistão do prato inclinado (*Servo Piston*) passa a receber caudal proveniente da saída da bomba e diminui o ângulo do prato inclinado, diminuindo também o caudal debitado pela bomba. Quanto maior a queda de pressão maior a diminuição do ângulo.

A bomba vai manter um caudal de modo a manter a queda de pressão no orifício constante (equivalente ao ajuste da mola diferencial).

O comando em *load-sensing* é caracterizado por uma alta eficiência energética, apresentando reduzidas perdas devido a desperdícios de caudal.



## 4. Sistema de Comando de uma Prensa Hidráulica de Triplo Efeito

### 4.1. *Introdução*

Este capítulo tem como objetivo a explicação do funcionamento da prensa e das partes que a constituem, nomeadamente a hidráulica, para, posteriormente, se propor uma solução de comando alternativa à atual. Essa solução alternativa deve ser capaz de englobar todas as necessidades atuais tirando o maior partido das potencialidades desta prensa.

### 4.2. *Circuito Hidráulico*

Nesta secção é feita a análise do circuito hidráulico que se pode ver representado na Figura 4.1.

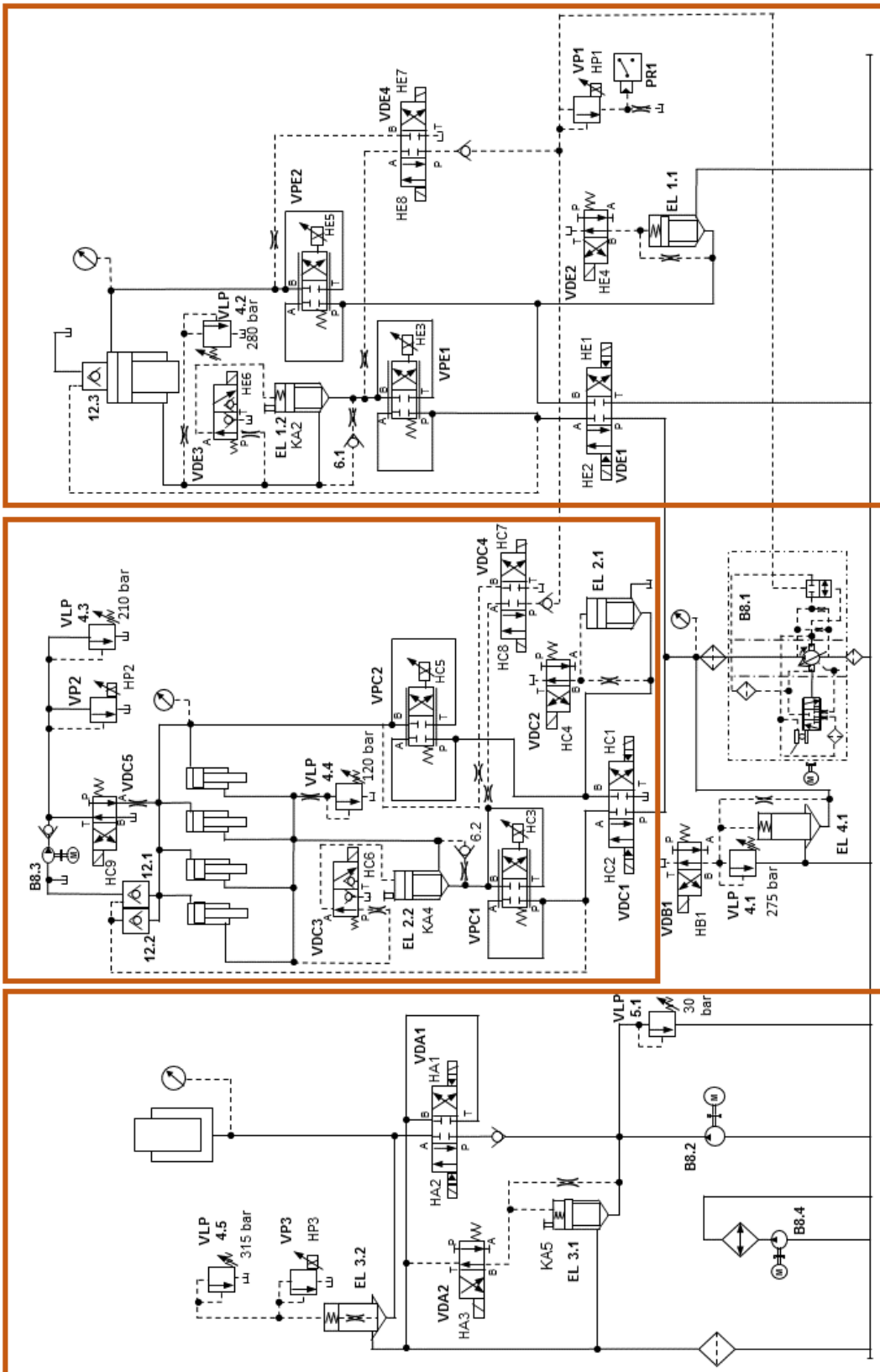


Figura 4.1 - Circuito hidráulico da prensa hidráulica de triplo efeito (ADIRA, 1994)

Na Figura 4.1 podem-se identificar, da esquerda para a direita, os três “subcircuitos” correspondentes aos três efeitos da prensa: almofada, cerra-chapas e embutidor. Após uma análise geral do circuito, estes três “subcircuitos” irão ser individualmente comentados.

No que diz respeito ao número de bombas, estas são num total quatro: uma para movimentar a almofada (B8.2), uma comum para o cerra-chapas e embutidor (B8.1), uma apenas para pressurizar o cerra-chapas (B8.3) e, por último, uma com a única função de provocar a circulação do óleo pelo permutador de calor (B8.4).

Para a descarga da bomba B8.1 para o reservatório temos o conjunto de válvulas que se pode ver na Figura 4.2 e que é formado por uma válvula direcional 4/2 (VDB1) e por um elemento lógico de áreas iguais (EL 4.1). Estando o comando de VDB1 (HB1) desligado a descarga é feita pelo elemento lógico. Para que a bomba passe a fornecer caudal ao circuito o EL 4.1 tem fechar, ou seja, HB1 ligado (ver secção 3.1). A partir deste momento, a válvula 4.1 tem a função de fazer a descarga (através da abertura do elemento lógico) caso seja ultrapassada a pressão de 275 bar.

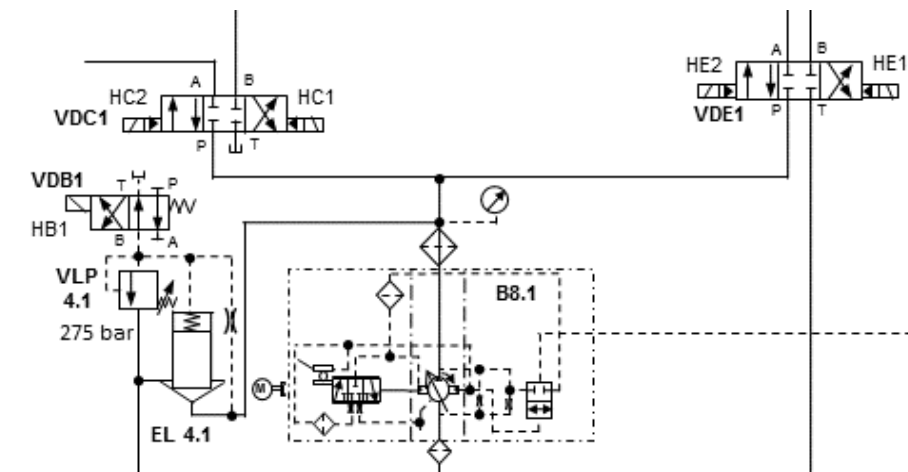


Figura 4.2 - Bomba B8.1

A bomba B8.1 é de cilindrada variável e funciona em *load-sensing*. Conforme a queda de pressão que se registre nas válvulas proporcionais (VPC1, VPC2, VPE1 ou VPE2) a bomba vai variar o caudal que debita.

Na Figura 4.3 podem-se ver a vermelho duas válvulas de retenção nas linhas de pilotagem de VDC4 e VDE4 que trabalham como uma válvula “OU”, permitindo a pilotagem da bomba pelas linhas de pressão associadas às válvulas proporcionais do cerra-chapas (VPC1 e VPC2) ou do embutidor (VPE1 e VPE2).

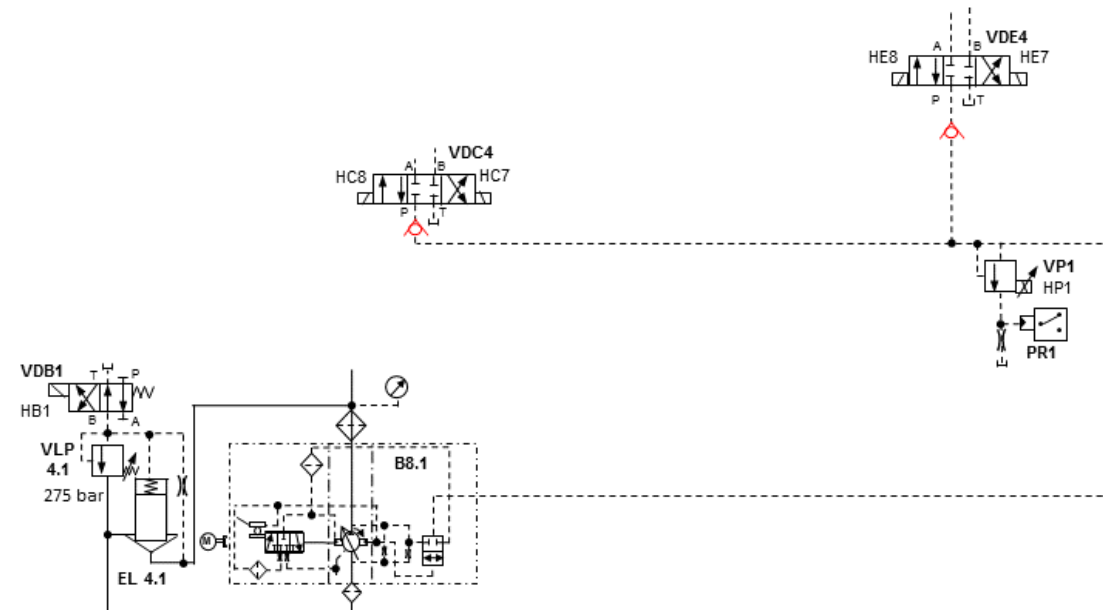


Figura 4.3 - Pilotagem da bomba B8.1

No circuito hidráulico (Figura 4.1) existe ainda um pressostato na linha de pilotagem da bomba que tem a função de provocar uma ação quando atuado (Figura 4.4). Essa ação será a de atuar ou de desatuar determinadas válvulas, como se verá na secção 4.2.1. A pressão para a qual a válvula limitadora de pressão proporcional abre é regulada por HP1. Sendo ultrapassada essa pressão, o pressostato deteta a presença de fluído e aciona um ou diversos contactos.

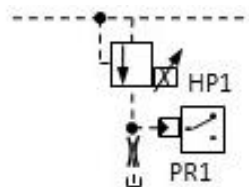


Figura 4.4 - Pressostato e válvula limitadora de pressão

A bomba B8.4 apresentada em detalhe na Figura 4.5 tem apenas a função de bombear um caudal significativo de óleo, fazendo-o passar por um permutador de calor e consequentemente manter a sua temperatura controlada.

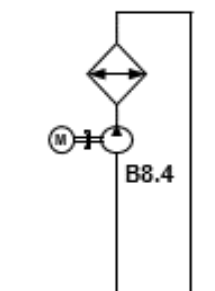


Figura 4.5 - Bomba B8.4 e permutador

Feitos os primeiros comentários acerca do circuito passamos para uma análise mais detalhada do seu funcionamento.

As descrições que se seguem sobre os movimentos realizados têm como base a documentação da prensa fornecida pela ADIRA para a realização desta dissertação. Ao longo da análise desta documentação surgiram algumas situações que levaram ao questionamento do funcionamento atual da prensa. De modo a no final se obter uma prensa com melhor desempenho e onde se tire o maior proveito das suas características, são feitas algumas sugestões de alterações ao circuito hidráulico.

De forma a tornar mais perceptível a interpretação dos circuitos hidráulicos as linhas de pressão foram coloridas da seguinte forma: a vermelho temos as linhas de alta pressão e a azul as linhas de baixa pressão.

#### 4.2.1. *Ação individual dos efeitos da prensa*

Na primeira sequência de movimentos, representada na Figura 4.6, o cerra-chapas, o embutidor e a almofada realizam movimentos independentes, sendo a função da almofada a de extrair a peça final. A sequência inicia-se com o comando de descida gravítica do cerra-chapas e do embutidor. A descida controlada e posterior embutidura apenas é possível após se verificar a pressurização da chapa pelo cerra-chapas. A ação denominada de embutidura corresponde ao movimento de descida do embutidor, e conseqüente deformação da chapa, e termina quando o embutidor atinge uma determinada cota. De seguida faz-se a pressurização do embutidor, na qual este permanece, durante um certo período de tempo ( $t_1$ ), na cota anteriormente definida.

Terminada a pressurização procede-se à descompressão do embutidor e provoca-se a sua subida até à sua posição de recuado. Atingida essa posição procede-se da mesma forma com o cerra-chapas, com a descompressão e subida deste, atingindo também a posição de recuado. A extração da peça faz-se com auxílio da almofada.

A descida controlada em posição, que se encontra assinalada na Figura 4.6, é uma ação que não se encontra atualmente disponível nos comandos da prensa. O objetivo passa por acrescentar esta funcionalidade, como se poderá ver mais à frente nas secções correspondentes às descidas controladas do cerra-chapas e do embutidor.

Os tempos de descompressão do cerra-chapas e do embutidor apresentados na figura seguinte ( $t_2$  e  $t_3$ ) foram obtidos experimentalmente e devem variar entre os valores de 0.25 e 0.50s (ADIRA, 1995).

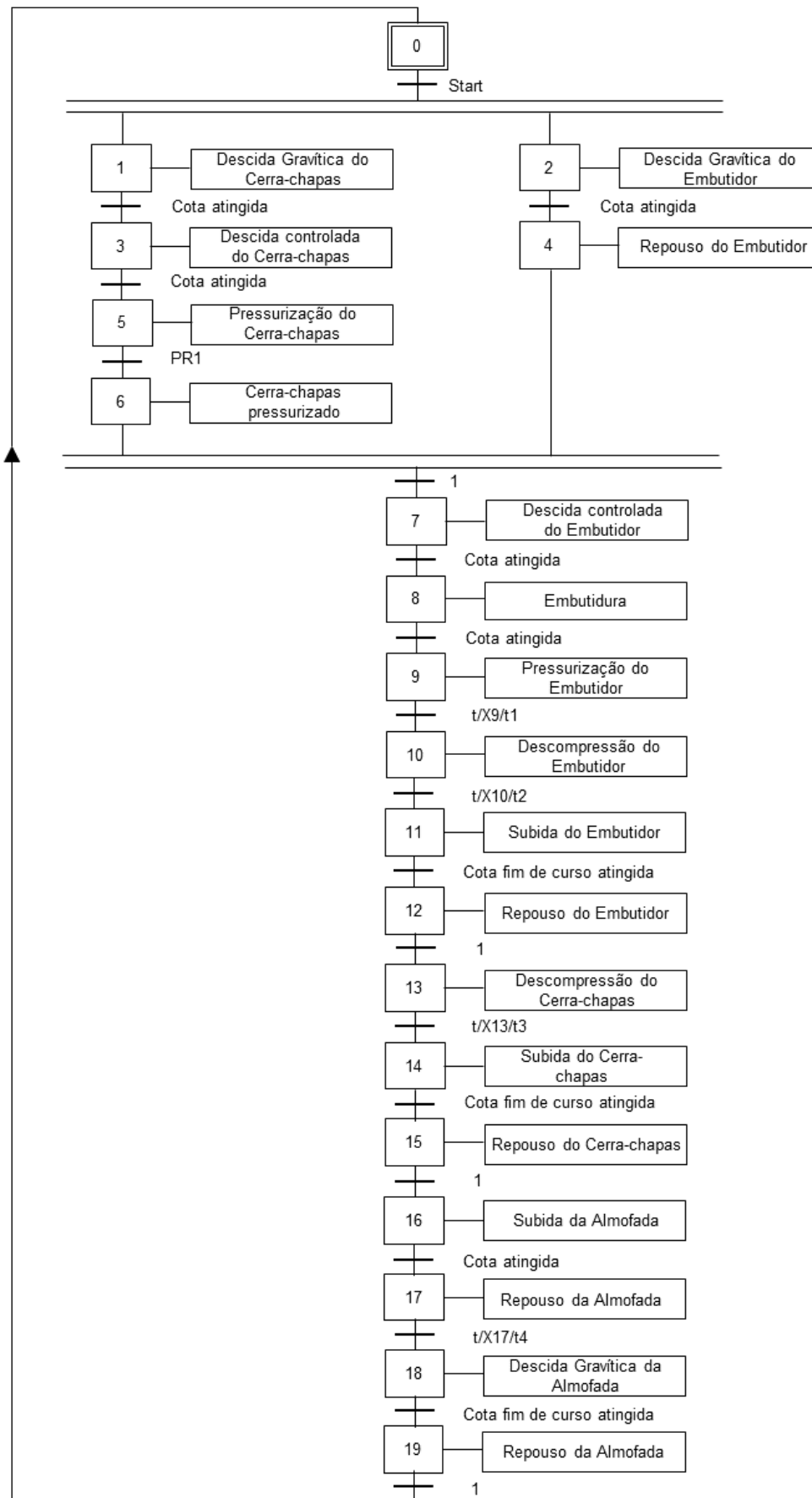


Figura 4.6 - Exemplo de sequência para embutidura com a almofada como extrator

Etapa 1 - Descida gravítica do cerra-chapas

Após se dar o sinal de *Start* é iniciado o movimento de descida do cerra-chapas, atuado por 4 cilindros. A descida, cujo circuito hidráulico ativo se pode ver na Figura 4.7, é feita graviticamente aproveitando o peso dos êmbolos, hastes, mesa superior e ferramenta e com recurso a válvulas de pré-enchimento (12.1 e 12.2). Para que o óleo saia dos cilindros é feita a ligação ao reservatório através da válvula direcional VDC1 (HC1 atuado) e do elemento lógico 2.2 (EL 2.2). Com a atuação de HC6, ocorre a abertura do EL 2.2 iniciando-se a descida. A regulação da velocidade é feita com o estrangulamento ou abertura de VPC1. A bomba 8.1, quando se tem HC4 atuado e o elemento lógico 2.1 fechado, está ligada aos cilindros por VPC2 (totalmente aberta) para adicionar caudal às câmaras primárias (além do proveniente das válvulas de retenção 12.1 e 12.2) e auxiliar a descida gravítica. A bomba 8.3 está em descarga (HC9 desatuado).

As atuações para este movimento podem-se ver na Tabela 4.1.

**Tabela 4.1 - Estado dos solenóides na descida do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	1	0	↓	1	1	1	0	0	0

Com a configuração de válvulas atual a descida gravítica é feita sem uma pilotagem definida da bomba 8.1. De modo a evitar esta situação sugere-se a atuação de HC7 promovendo a ligação desta pilotagem à saída da válvula proporcional VPC2. A nova tabela de fases passará a ser a Tabela 4.2.

**Tabela 4.2 - Novo estado dos solenóides na descida do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	1	0	↓	1	1	1	1	0	0

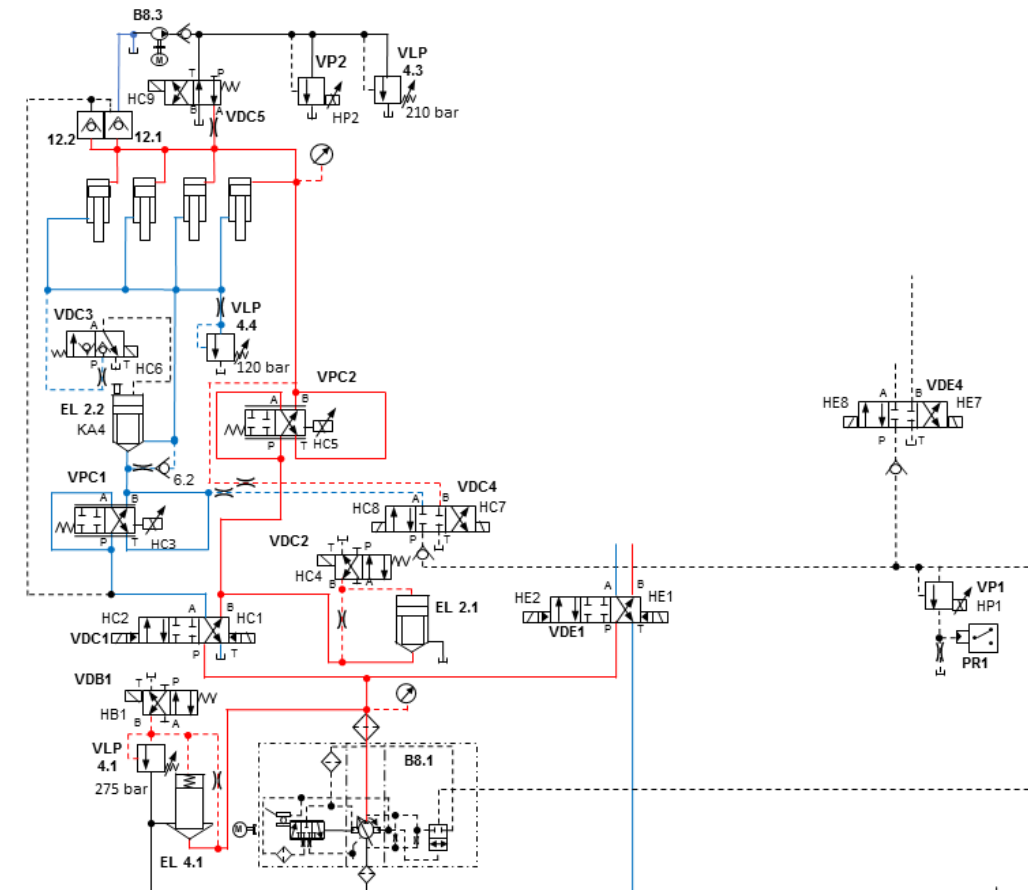


Figura 4.7 - Circuito hidráulico na descida do cerra-chapas

Etapa 2 - Descida gravítica do embutidor

A descida rápida do embutidor corresponde a uma descida gravítica. A Figura 4.8 representa a configuração atual do circuito hidráulico do embutidor durante essa descida e a Tabela 4.3 a configuração dos solenóides.

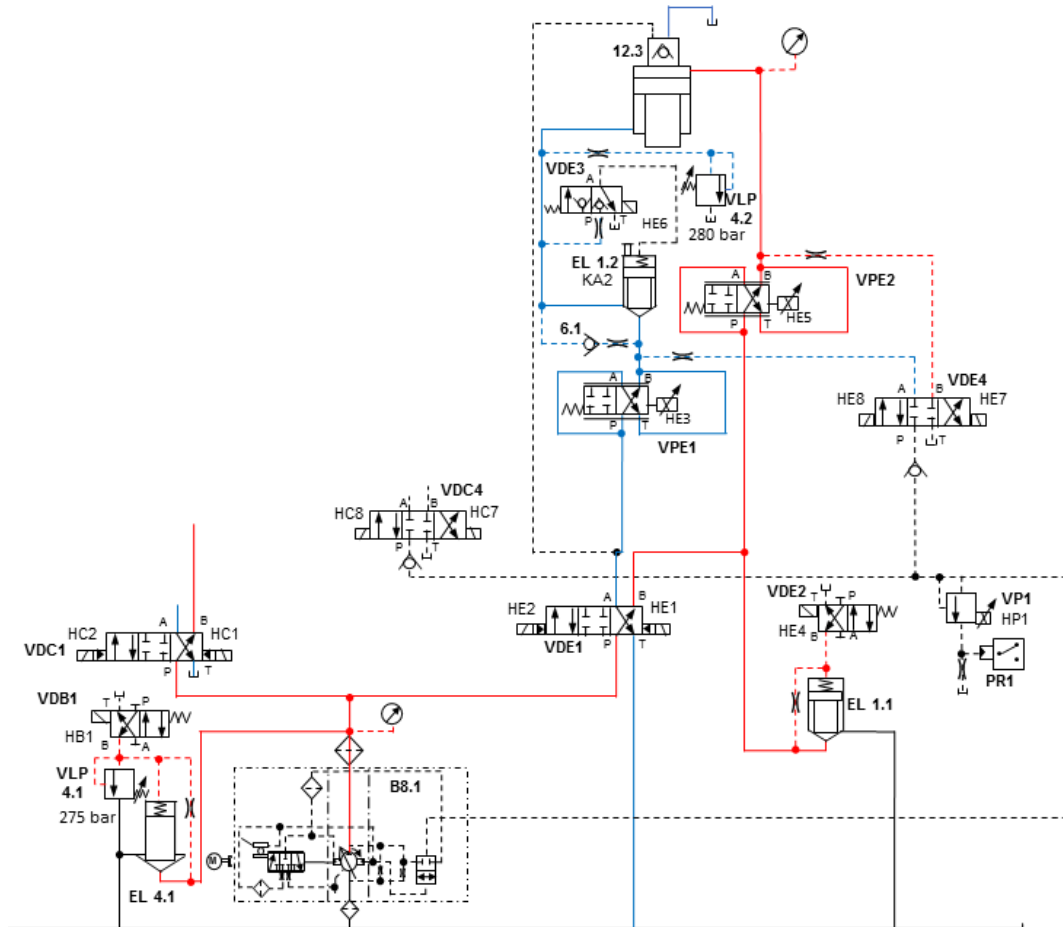
Através da atuação de HE6 provoca-se a abertura do elemento lógico 1.2 permitindo a saída do óleo do cilindro. Com a válvula VPE1 controla-se a passagem de caudal e com a atuação de HE1 direciona-se o óleo para o reservatório. O controlo da velocidade de descida é portanto responsabilidade da válvula proporcional VPE1. O caudal passa do reservatório para o cilindro pela válvula de retenção pilotada 12.3, também chamada de válvula de pré-enchimento. Fecha-se o elemento lógico 1.1 acionando HE4 e abre-se completamente VPE2 para que também haja passagem de caudal da bomba 8.1 para a câmara principal do cilindro com o objetivo de auxiliar o movimento de descida.

Se HE6 estiver desligado não há abertura de EL 1.2 e a descida não se realiza. Se HE1 não for ligado, e a válvula direcional VDE1 se mantiver na posição central, ou se VPE1 for

estrangulado até que feche, também não se verifica a descida. Estes comportamentos conferem segurança ao movimento de descida.

**Tabela 4.3 - Estado dos solenóides na descida gravítica do embutidor**

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	1	0	1	1	1	0	0	0



**Figura 4.8 - Circuito hidráulico na descida gravítica do embutidor**

A passagem de uma velocidade rápida para uma velocidade lenta é conseguida através do estrangulamento da válvula proporcional VPE1, o que acontecerá antes da próxima etapa, a descida com controlo de posição.

Atualmente a válvula direcional de pilotagem (VDE4) encontra-se na posição central durante todo o movimento e a bomba 8.1 não tem uma pilotagem definida. De forma a corrigir esta situação sugere-se a atuação de HE7, ficando o movimento caracterizado pela Tabela 4.4.

**Tabela 4.4 - Novo estado dos solenóides na descida gravítica do embutidor**

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	1	0	1	1	1	1	1	0

Nas etapas 1 e 2 acima descritas são propostas as atuações de HC7 e HE7 para as descidas gravíticas do cerra-chapas e do embutidor e, como visto na sequência apresentada na Figura 4.6, estes movimentos são iniciados em simultâneo. Ou seja, a pilotagem da bomba vai ser feita recorrendo à válvula “OU” referida no início do capítulo (Figura 4.3).

*Etapla 3 - Descida com controlo de posição do cerra-chapas*

De momento, o cerra-chapas após efetuar a descida gravítica encosta-se à chapa e inicia a pressurização com as bombas 8.3 e 8.1 a fornecerem caudal aos cilindros. A sugestão de modificação do circuito passa por criar uma descida com controlo de posição, pois esta permite uma descida mais suave atingindo as cotas desejadas com uma maior precisão. Esta situação seria obtida através do fecho, em rampa, da válvula proporcional VPC1 e em certo ponto dessa mesma rampa, provocar a desatuação de HC6 levando ao fecho do elemento lógico 2.2. A bomba 8.3 não seria utilizada e por isso mesmo HC9 estaria desatuado (bomba em descarga). Com estas alterações o óleo seria todo proveniente da bomba 8.1 e a sua entrada nos cilindros manipulada pelo comando da válvula VPC2. Com a pressurização da câmara superior as válvulas de pré-enchimento 12.1 e 12.2 fecham e a saída do óleo da câmara inferior seria feita pela válvula VLP 4.4. O circuito passaria a ser o da Figura 4.9 e a nova tabela caracterizadora do estado das válvulas a Tabela 4.5.

**Tabela 4.5 - Novo estado dos solenóides na descida controlada do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0

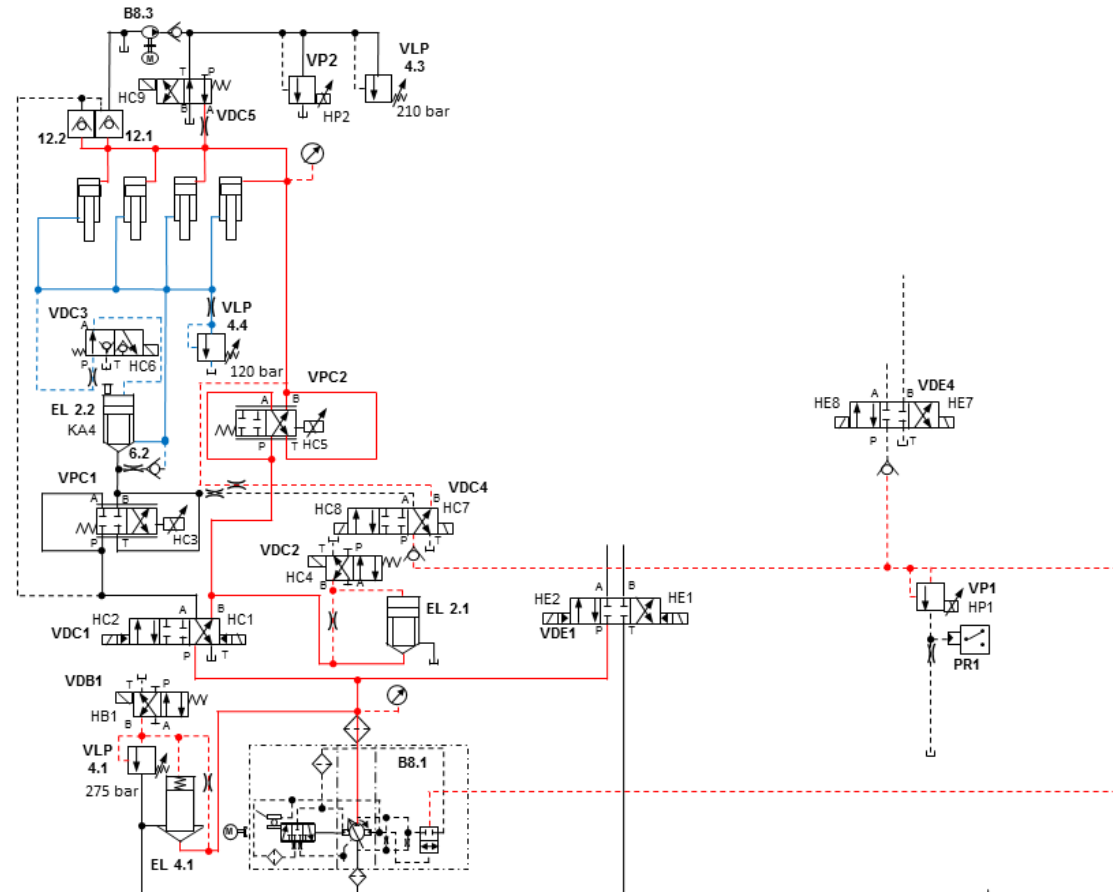


Figura 4.9 - Circuito hidráulico com controle de posição na descida do cerra-chapas

Etapa 4 - Embutidor em repouso

A paragem, ou repouso, do embutidor caracteriza-se pelo retorno de todas as suas válvulas às suas posições de repouso, como se pode ver na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Estado dos solenóides no repouso do embutidor.

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Etapa 5 - Pressurização do cerra-chapas

A descida com controlo de posição ocorre até determinada cota (cota de encontro do cerra-chapas com a chapa) seguindo-se a pressurização dos cilindros (Figura 4.10) e consequente imobilização da chapa.

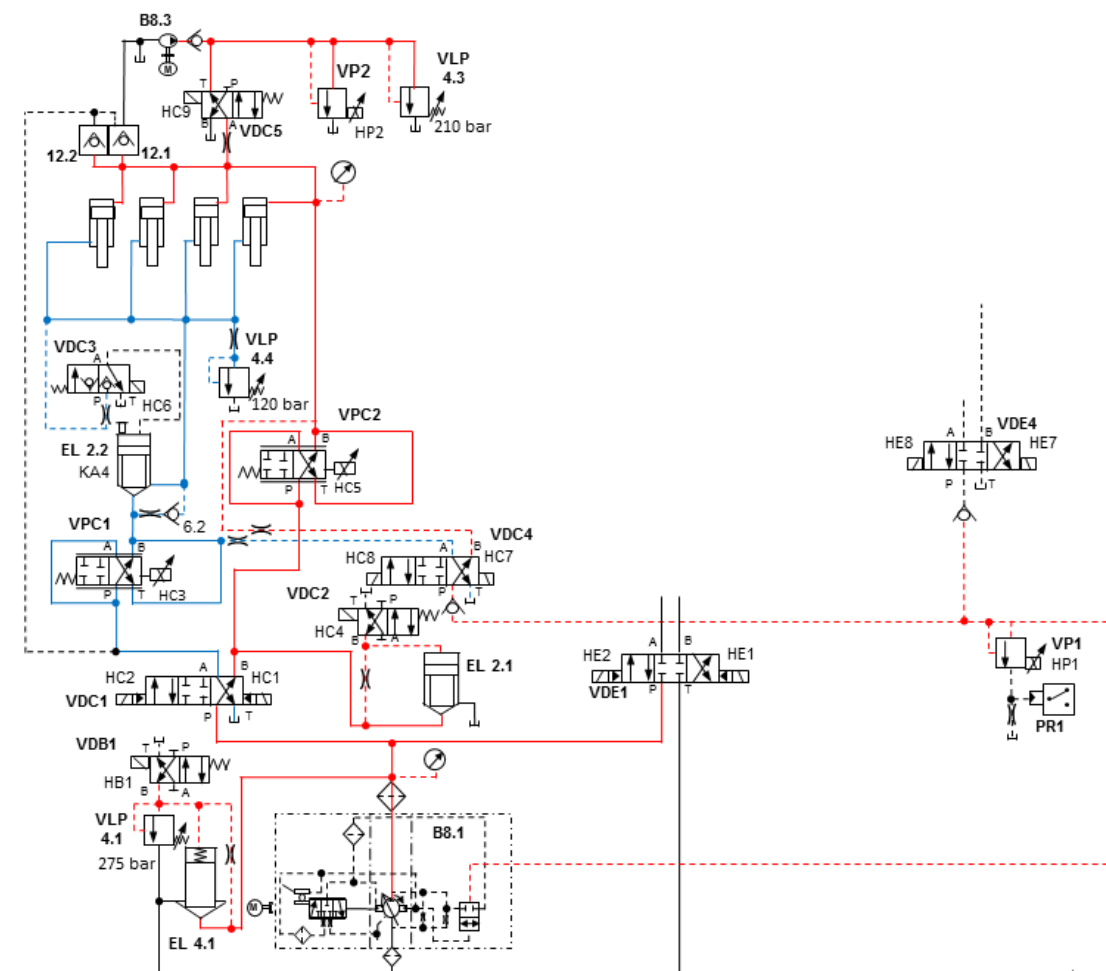
Atualmente, para a pressurização, colocam-se as bombas 8.1 e 8.3 (com a atuação de HC9) a bombear caudal para os 4 cilindros. Atuando HC1 e HC4 direciona-se o caudal da

bomba 8.1 para as câmaras superiores e com VPC2 regula-se a passagem desse caudal. A saída do óleo que se encontra das câmaras inferiores, e consequente descida do cerra-chapas, é obtida através da atuação de HC6 e abertura do elemento lógico EL 2.2 e da válvula VPC1, sendo a ligação ao reservatório feita com o acionamento de HC1. Caso ocorra uma falha e HC6 não esteja atuado a saída de óleo far-se-á apenas pela válvula VLP 4.4, à pressão de 120 bar. A válvula direcional VDC4 estará com HC7 acionado. Quando atingida a pressão de abertura de VP1 no orifício B de VPC2 o pressostato (PR1) deteta a passagem de óleo.

A Tabela 4.7 resume as atuações descritas anteriormente.

**Tabela 4.7 - Estado dos solenóides na pressurização do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1



**Figura 4.10 - Circuito hidráulico do cerra-chapas em pressurização**

Após a análise do circuito hidráulico da pressurização do cerra-chapas sugere-se a desatuação de HC9. Com esta desatuação pretende-se ter unicamente a bomba 8.1 ligada aos cilindros e conseqüentemente apenas um caudal alvo de controlo, tornando a etapa de pressurização mais simples. A bomba 8.3 entra em descarga pela válvula VP2 ou VLP 4.3. A atuação de HC9 passará a ser realizada na fase seguinte, com a ação do pressostato PR1.

**Tabela 4.8 - Novo estado dos solenóides na pressurização do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Comando do cerra-chapas pós ação do pressostato

O pressostato promove a ação de desatuação das válvulas HC5, HC4, HC1 e HC7. Após esta ação, e visto apenas ser necessário um pequeno caudal para manter a pressão, a única bomba ligada aos cilindros do cerra-chapas é a 8.3. O circuito hidráulico e a tabela de estados dos solenóides podem-se ver na Tabela 4.9 e na Figura 4.11.

Nesta fase, visto que ambas as válvulas direcionais (VDC1 e VDE1) estão na sua posição de repouso, a bomba 8.1 encontra-se em descarga pelo elemento lógico 4.1, que permite a passagem de fluido quando atingidos os 275 bar da válvula VLP 4.1. Caso se pretenda evitar a descarga da bomba 8.1 apenas quando atingida a pressão de 275 bar pode-se abrir o EL 4.1 através da desatuação de HB1.

**Tabela 4.9 - Estado dos solenóides após ação do pressostato**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

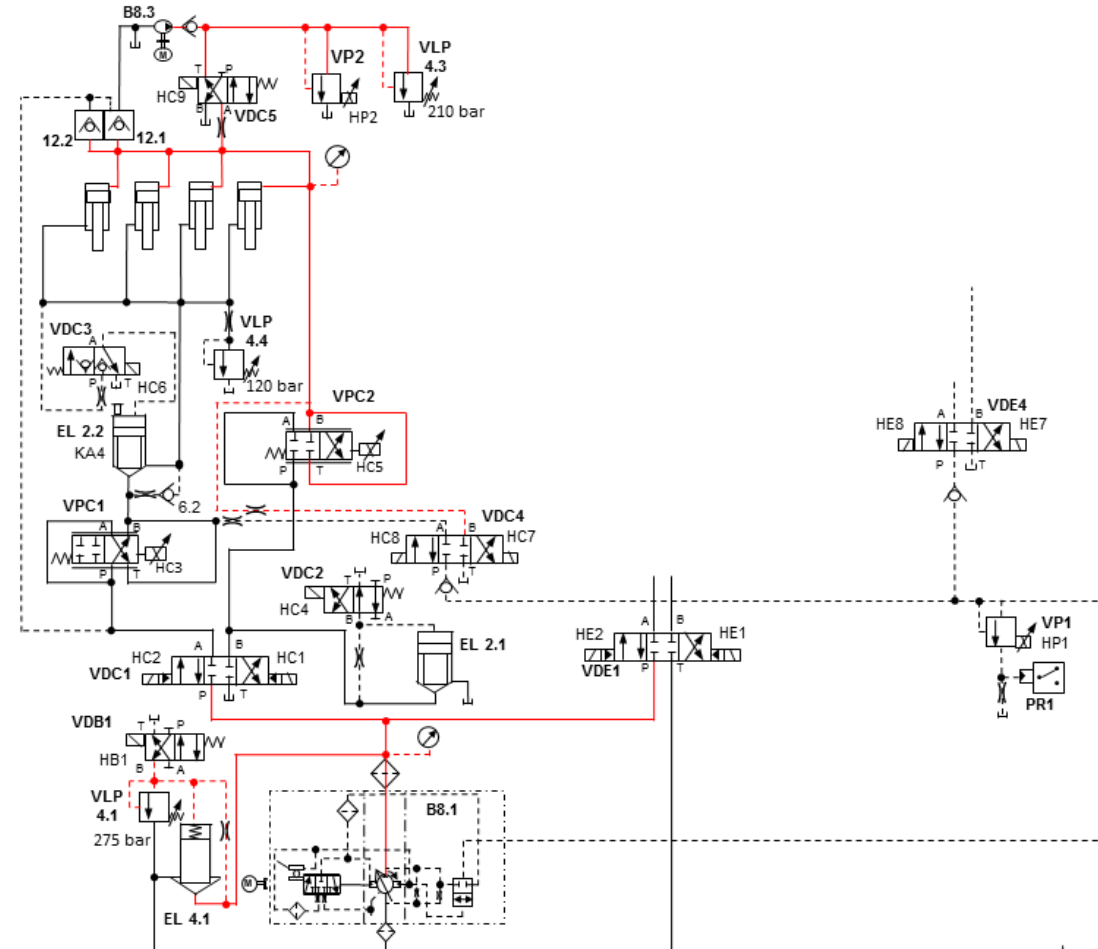


Figura 4.11 - Circuito hidráulico do cerra-chapas após ação do pressostato

Etapa 7 - Descida com controlo de posição do embutidor

A descida do embutidor com controlo de posição, assim como no caso do cerra-chapas, não se encontra atualmente implementada na prensa. No embutidor o controlo de posição é conseguido com o fecho em rampa da válvula VPE1, com a desatuação HE6 em certo ponto dessa rampa e, com a saída do óleo pela válvula VLP 4.2 (Tabela 4.10 e Figura 4.12). Visto que a saída do óleo é realizada pela válvula limitadora de pressão VLP 4.2 a descida depende do caudal que entra na câmara principal do cilindro do embutidor.

Tabela 4.10 - Novo estado dos solenóides na descida controlada do embutidor

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	1	0	0	1	0	1	0	0

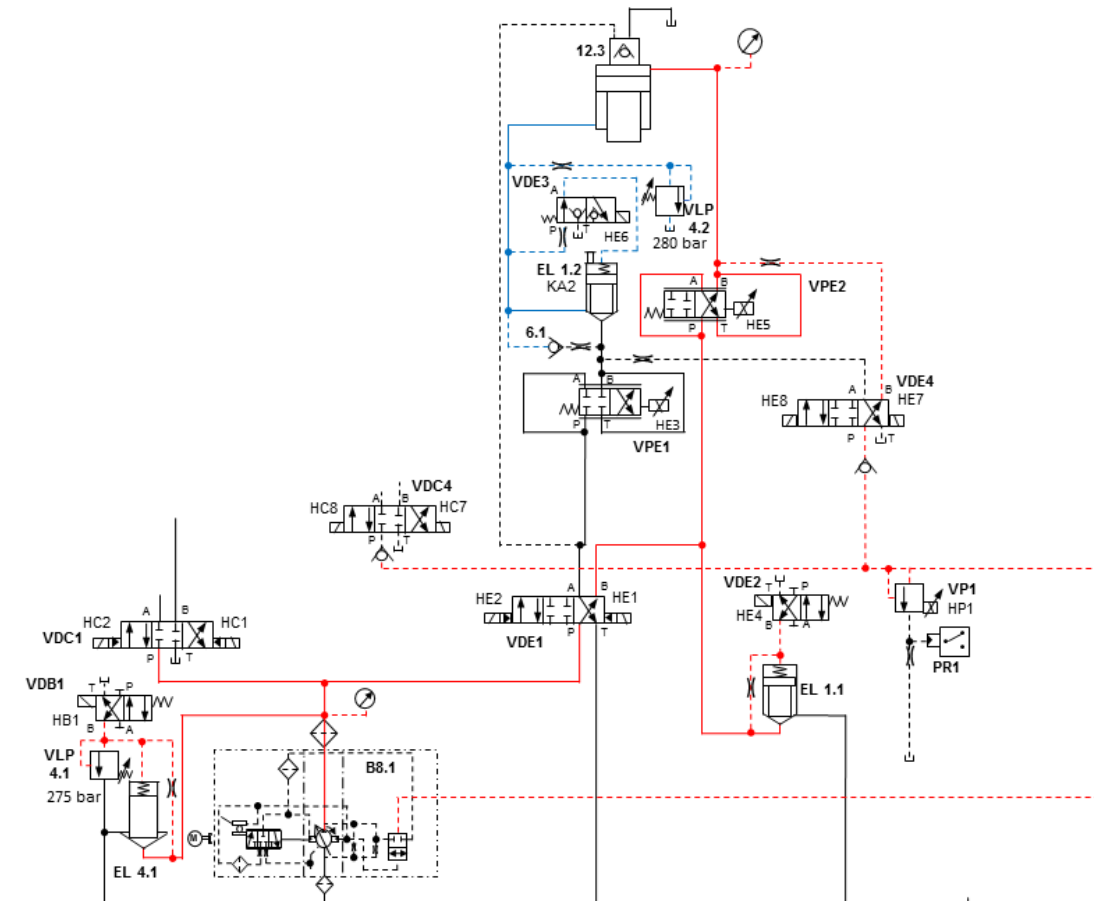


Figura 4.12 - Circuito hidráulico na descida do embutidor com controle de posição

Etapa 8 - Embutidura

Esta etapa sucede à descida controlada do embutidor e é caracterizada por uma velocidade lenta. Como se pode ver na Figura 4.13 e na Tabela 4.11, há 7 atuações a caracterizar o movimento: HE1, HE3, HE4, HE5, HE6 e HE7. Com HE4 atuado, o elemento lógico 1.1 fecha e o óleo é direcionado pela válvula VDE1 (HE1 atuado) até à válvula proporcional VPE2, seguindo depois até à câmara superior do cilindro. O elemento lógico 1.2 abre-se devido à atuação de HE6 e deixa que o óleo siga até à válvula VPE1, passando depois pela válvula direcional até ao reservatório. Com a válvula proporcional VPE2 controla-se o caudal proveniente da bomba 8.1 que entra no cilindro. A pilotagem da bomba é feita pelo orifício B da válvula VPE2, por atuação de HE7.

Tabela 4.11 - Estado dos solenóides na embutidura

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	1	0	1	1	↘	1	1	0

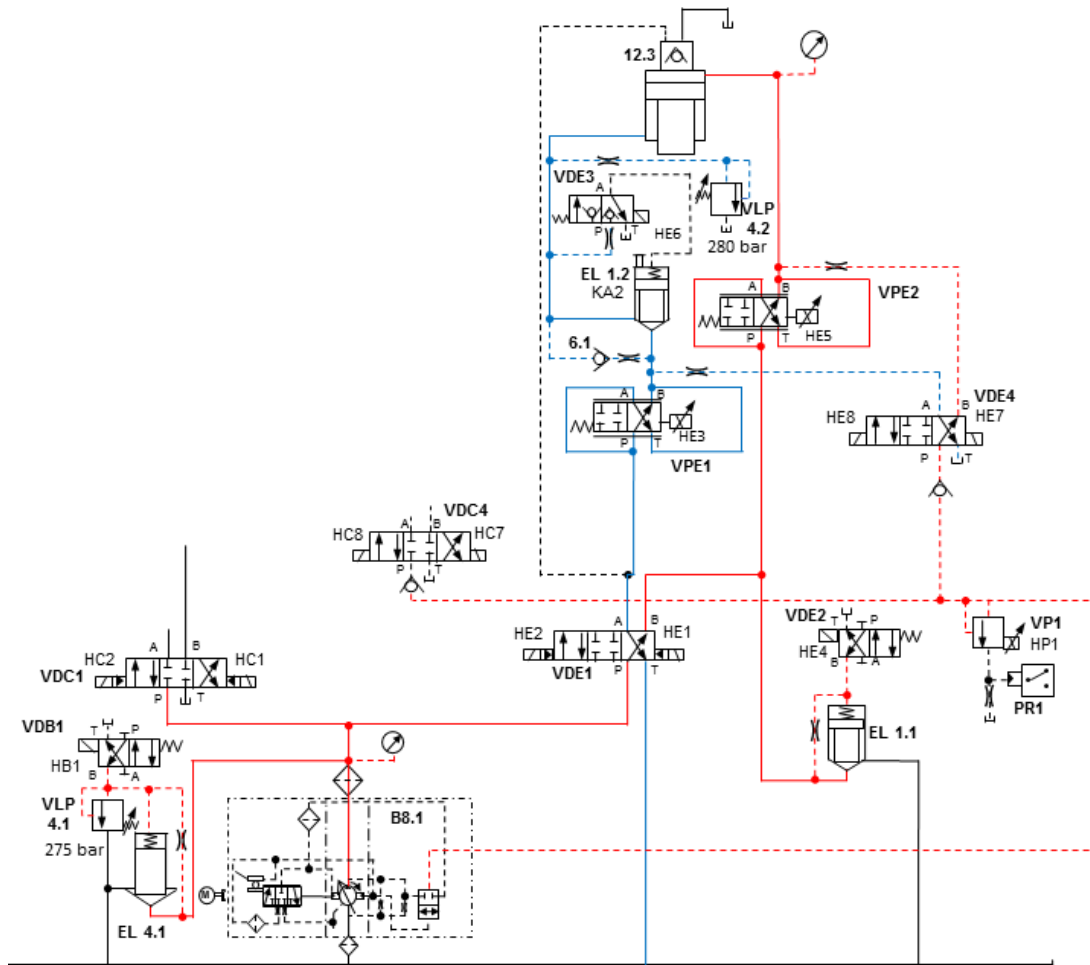


Figura 4.13 - Circuito hidráulico na embutidura

Etapa 10 - Descompressão do embutidor

Antes da subida do embutidor é essencial realizar a sua descompressão. Atualmente a prensa hidráulica realiza a descompressão através das válvulas VPE2 e VDE2 e do elemento lógico 1.1. É atuado HE4 da válvula VDE2 de modo a fechar o EL 1.1 e através da válvula proporcional VPE2 controla-se a passagem de caudal e conseqüentemente a descompressão. A válvula direcional VDE1 é colocada na posição central (HE1 desatuado).

**Tabela 4.12 - Estado dos solenóides na descompressão do embutidor**

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	0	0	1	0	↘	0	0	0

Como se pode ver na Tabela 4.12, HE7 e HE8 encontram-se desatuados (VDE4 na posição central) e portanto a pilotagem da bomba 8.1 está indefinida. Esta desatuação ocorre pois

pretende-se que a bomba 8.1 se encontre a bombear o menor caudal possível e não com a sua linha de pilotagem ligada às válvulas proporcionais VPE1 ou VPE2. O objetivo é então encontrar uma alternativa que ligue a linha de pilotagem da bomba 8.1 ao reservatório.

A primeira solução pensada para a resolução deste problema consistiu ser a válvula VP1 (Figura 4.14) a fazer a ligação da linha de pilotagem ao reservatório, e deste modo ter a pressão do reservatório como referência para a bomba. Para tal foi feita uma pesquisa sobre a referência da válvula VP1, que é uma válvula limitadora de pressão proporcional com uma pressão máxima de trabalho de 315 bar (pressure stage 315 bar), e obteve-se a curva característica da Figura 4.15.

Type DBE 6...

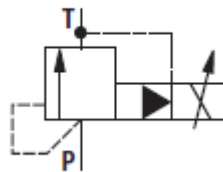


Figura 4.14 - Simbologia da válvula VP1 (Rexroth, 2015)

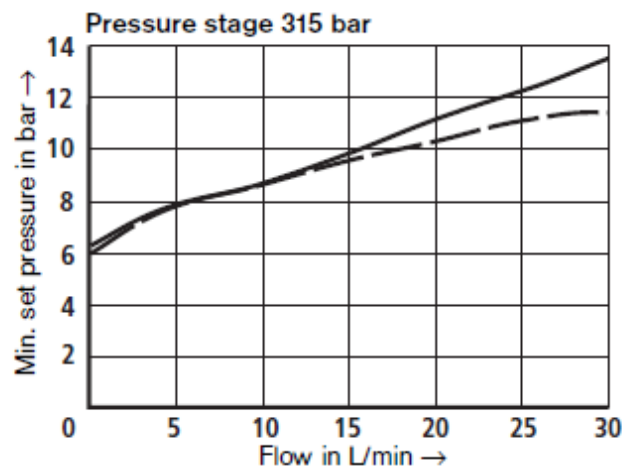


Figura 4.15 - Curva característica de VP1 (Rexroth, 2015)

Na figura acima temos duas linhas: uma a tracejado e outra a cheio. A primeira refere-se à pressão da pilotagem externa enquanto a segunda se refere à pressão da pilotagem interna. A válvula VP1 tem apenas pilotagem interna sendo por isso caracterizada pela linha a cheio.

Da análise desta curva chega-se a uma pressão mínima de abertura de cerca de 7 bar. Este valor corresponde a uma pressão alta para que a ligação ao reservatório da linha de pilotagem da bomba 8.1 seja conseguida através da válvula VP1.

Uma alternativa à solução anterior passa pelo acréscimo de uma electroválvula direcional 4/2 de retorno por mola, denominada de VDB2 (em destaque no circuito da Figura 4.16). Esta válvula estará atuada durante todas as etapas da prensa exceto naquelas em que nenhum dos

solenóides das válvulas de pilotagem (HC7, HE7, HC8 ou HE8) estejam atuados. A nova tabela de estados passará a ser a Tabela 4.13.

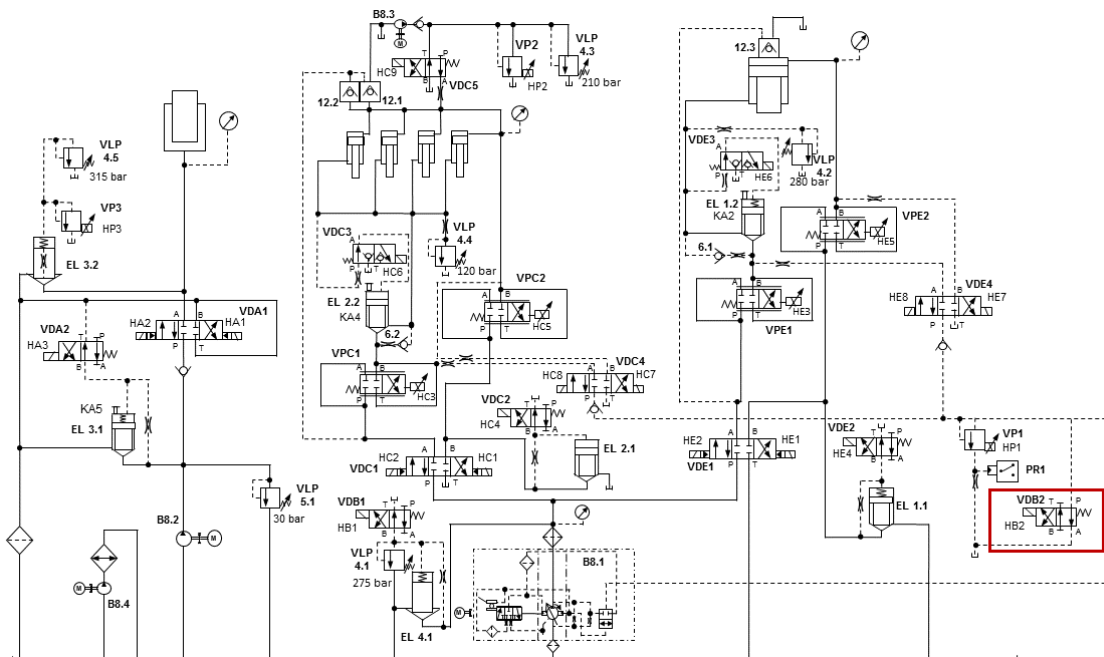


Figura 4.16 - Circuito hidráulico com acréscimo da válvula VDB2

Tabela 4.13 - Novo estado dos solenóides para a decompressão do embutidor

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Descompressão do embutidor com controlo de caudal

Através dos utilizadores da prensa, tomou-se conhecimento da situação que ocorre aquando da utilização de ferramentas contendo molas a gás. As molas, ao comprimirem, armazenam energia que, quando se coloca o circuito na fase de decompressão, é transmitida aos cilindros fazendo-os subir de forma repentina e mais rápida que o desejado. Não havendo tempo para que se encham as câmaras secundárias com o óleo necessário para essa velocidade, ocorre cavitação. A cavitação tem como consequência a descida dos cilindros após estes terem efetuado a subida por efeito da impulsão das molas. Esta situação é de todo indesejada. Visto isto, foi necessário encontrar uma alternativa para a realização da decompressão em trabalhos de embutidura que englobem ferramentas que provocam situações semelhantes à descrita.

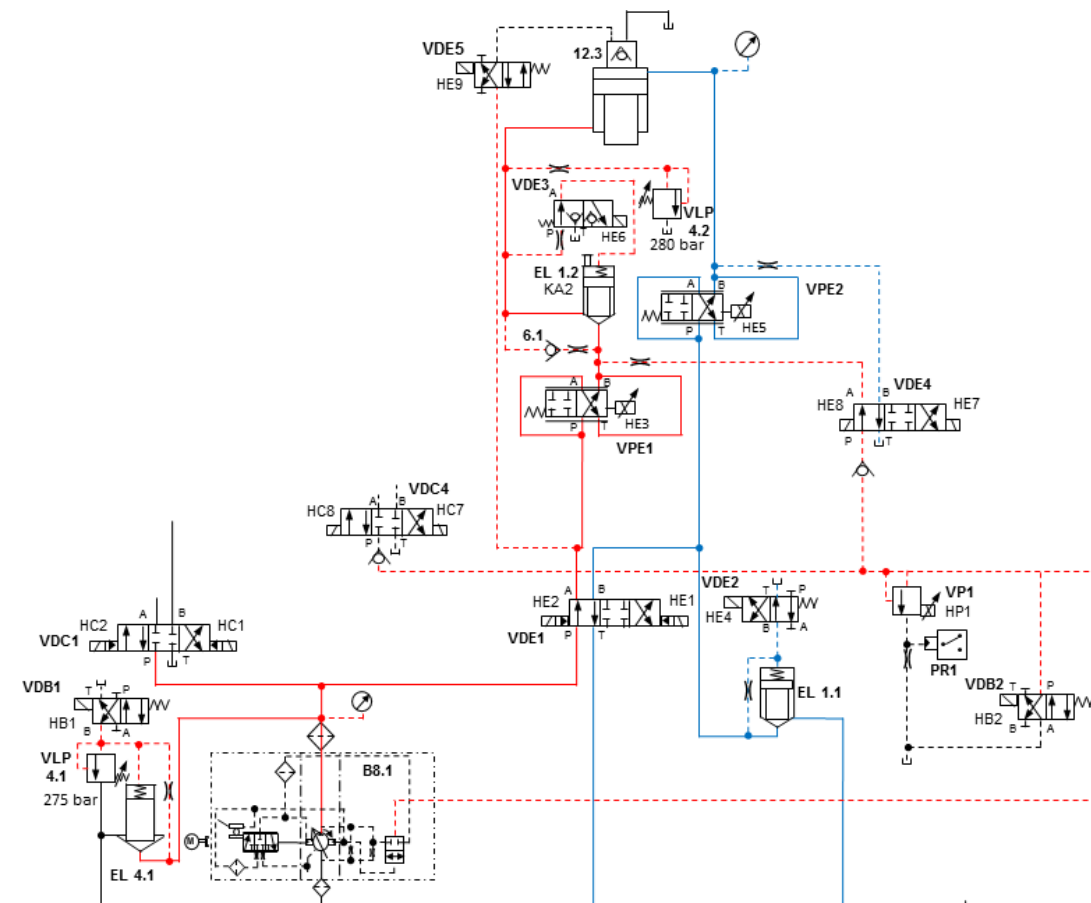
Para que não ocorra cavitação no cilindro do embutidor temos de assegurar o enchimento da câmara secundária e o controlo do caudal que sai da câmara principal. O enchimento do cilindro é feito atuando HE2 e abrindo totalmente a válvula proporcional VPE1. Para evitar a

pilotagem da válvula de retenção 12.3 (devido à atuação de HE2) e a descarga de óleo da câmara principal por esta, é acrescentada uma válvula denominada VDE5. A válvula VDE5 situa-se na linha de pilotagem da válvula de retenção 12.3 e tem a função de fechar essa pilotagem quando atuada (Figura 4.17). A descarga do óleo que sai do cilindro é feita pela válvula direcional VDE1 e pelo elemento lógico EL 1.1. A válvula proporcional VPE2 estrangula a descarga, controlando a velocidade de modo a que não se crie cavitação.

Na Tabela 4.14 representa-se a configuração de atuações feita nesta descompressão.

**Tabela 4.14 - Estado dos solenóides para a descompressão do embutidor com controlo de caudal**

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9
Estado	1	1	0	1	1	0	↘	0	0	1	1



**Figura 4.17 - Circuito hidráulico com atualizações na descompressão do embutidor com controlo de caudal**

Assim como na descompressão, em que são descritas duas opções para o movimento, a subida do embutidor também apresentará essa estrutura.

Etapa 11 - Subida do embutidor

Estando as câmaras despressurizadas têm-se as condições necessárias para a fase seguinte: a subida. A subida, como se pode ver na Figura 4.18, encontra-se a ser feita por atuação de HE2, que direciona o óleo para VPE1 e faz a pilotagem da válvula 12.3. O controlo da velocidade de subida é feito por VPE1 e sem que HE6 esteja atuado o elemento lógico 1.2 vai funcionar como uma válvula de retenção, permitindo a passagem de caudal. A pilotagem da bomba 8.1 é feita à saída da válvula VPE1 por atuação de HE8. A válvula proporcional VPE2 está totalmente aberta. Não se atua HE4 e portanto o elemento lógico 1.1 abre para descarga. Na Tabela 4.15 não é considerando o solenoide HB2 pois esta corresponde às atuações segundo a documentação da ADIRA.

**Tabela 4.15 - Estado dos solenóides na subida do embutidor**

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	0	1	0	0	1	0	0	1

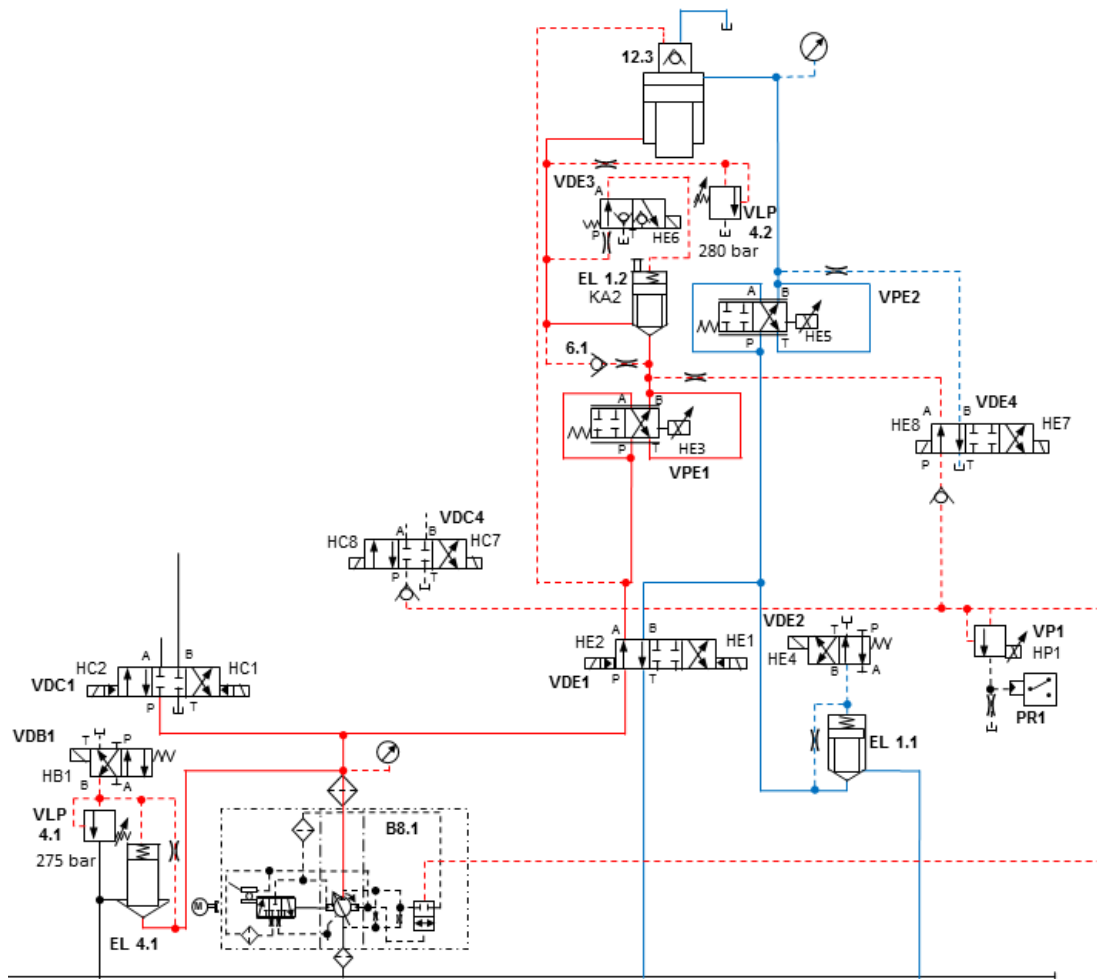


Figura 4.18 - Circuito hidráulico na subida do embutidor

Subida do embutidor com controlo de caudal

Na subida com controlo de caudal pretender-se-á controlar a saída de caudal da câmara principal do cilindro do embutidor. Com a solução descrita anteriormente a válvula de retenção 12.3 é pilotada devido à atuação de HE2 havendo uma saída não controlada de fluido para o reservatório. De forma de impedir a pilotagem e consequentemente a abertura da válvula de retenção propõe-se a atuação da válvula VDE5 (Figura 4.19), já referida na descompressão do embutidor com controlo de caudal. Desta forma a saída de caudal efetuar-se-á apenas pela válvula proporcional VPE2 permitindo o controlo do movimento de subida do embutidor. Passaremos a ter uma nova tabela de fases, a Tabela 4.16.

Tabela 4.16 - Novo estado dos solenóides para a subida do embutidor com controlo de caudal

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9
Estado	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1

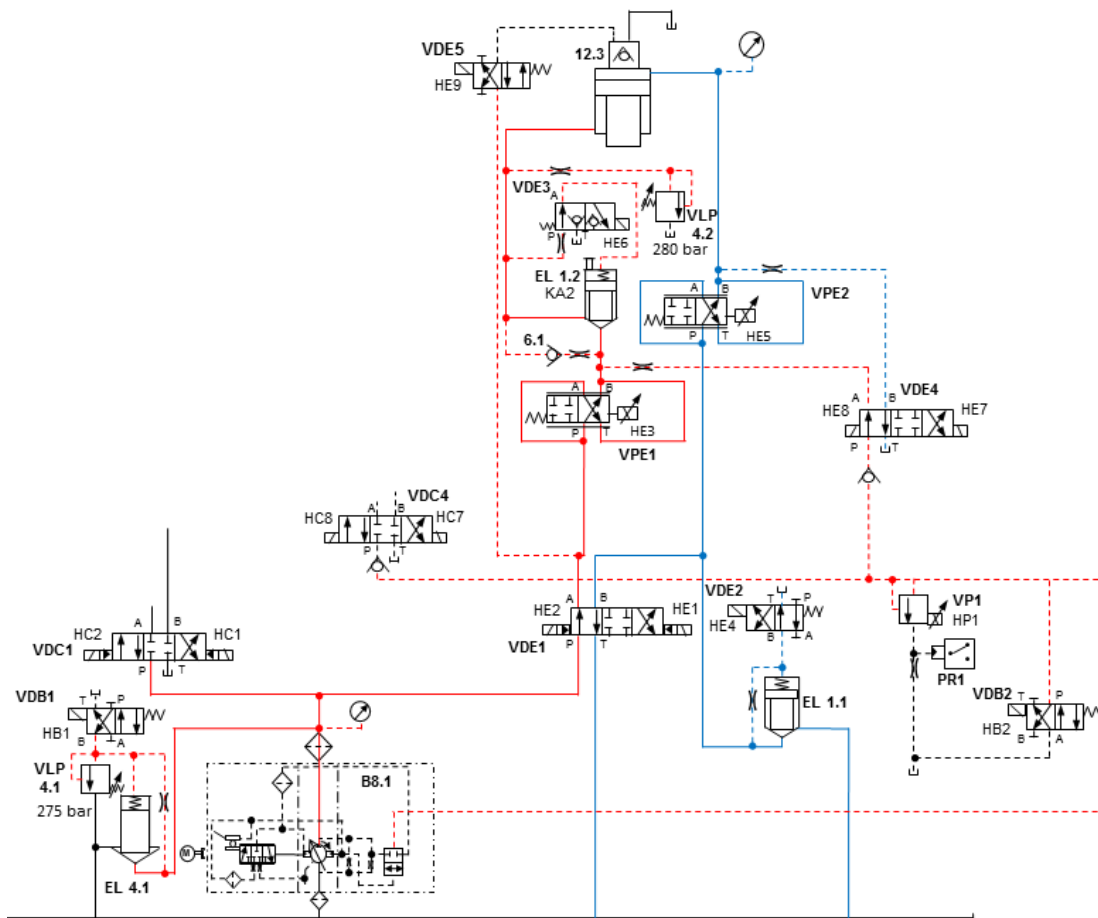


Figura 4.19 - Circuito hidráulico com as atualizações na subida forçada do embutidor

Etapa 13 - Descompressão do cerra-chapas

A descompressão é realizada quando se pretende terminar a pressurização e preparar a subida. Atualmente a descompressão do cerra-chapas é feita através da válvula VP2, ajustando HP2, com uma trajetória em rampa, para o valor de pressão pretendido. As outras válvulas mantêm-se nas posições em que se encontravam após a ação do pressostato e que se podem ver na Tabela 4.17. Até que se atinja determinada pressão na câmara principal, a válvula VP2 faz a descarga.

**Tabela 4.17 - Estado dos solenoides para a descompressão do cerra-chapas**

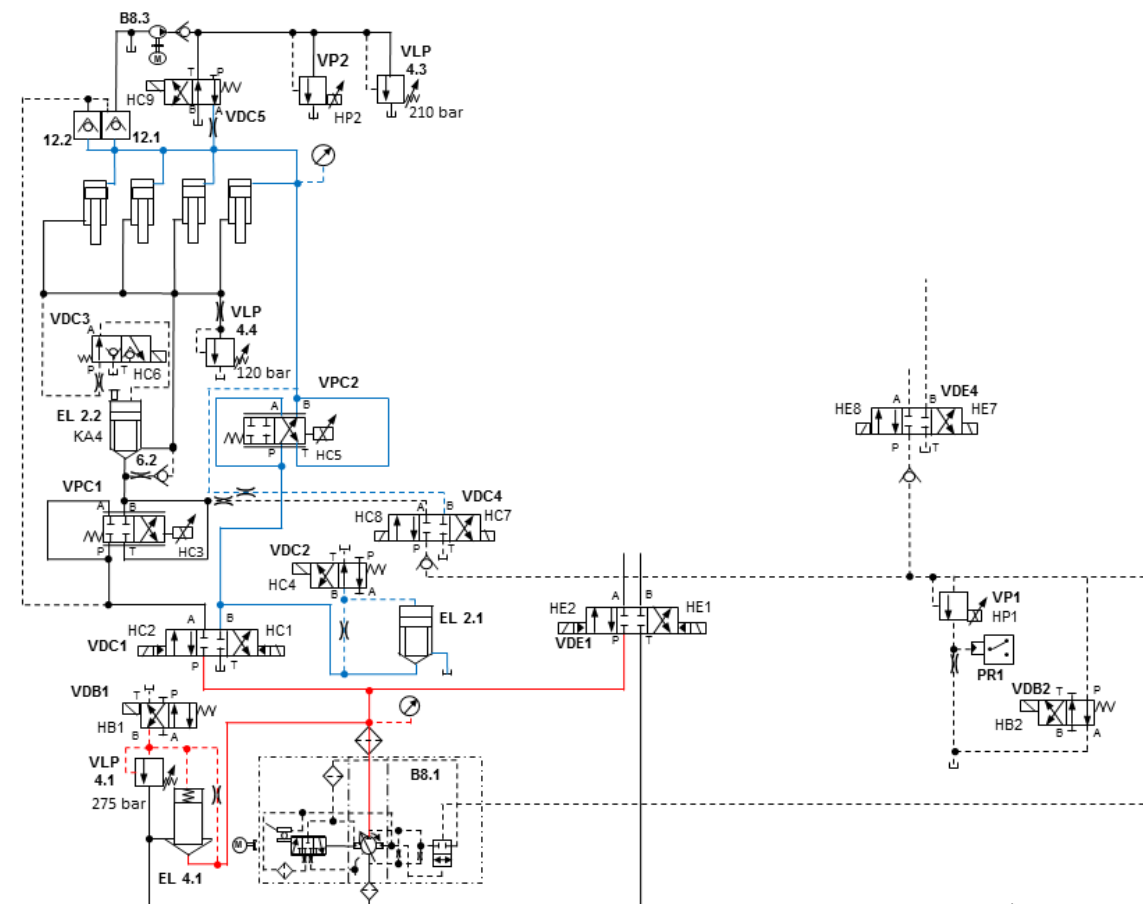
Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1

Em relação à descompressão descrita acima, o primeiro ponto a referir é o posicionamento da válvula VDC4 na sua posição central, que é feito pelas razões já referidas

na descompressão do embutidor, e que leva à necessidade de desatuação de HB2. O segundo ponto refere-se à atuação de HC9 para uma descompressão pela válvula VP2, que provoca também a ligação da bomba 8.3 às câmaras dos cilindros e atrasa o processo de descompressão através do acréscimo do caudal por ela bombeado. Em alternativa à válvula VP2 pode-se usar a válvula proporcional VPC2. A descompressão passa assim a ser controlada em tempo (o necessário para que determinado volume de óleo saia dos cilindros) em vez de ser controlada em pressão. Na Tabela 4.18 e na Figura 4.20 pode-se ver a nova configuração de atuações.

**Tabela 4.18 - Novo estado dos solenóides para a descompressão do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HB2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	0	0	0	0	0	↘	0	0	0	0



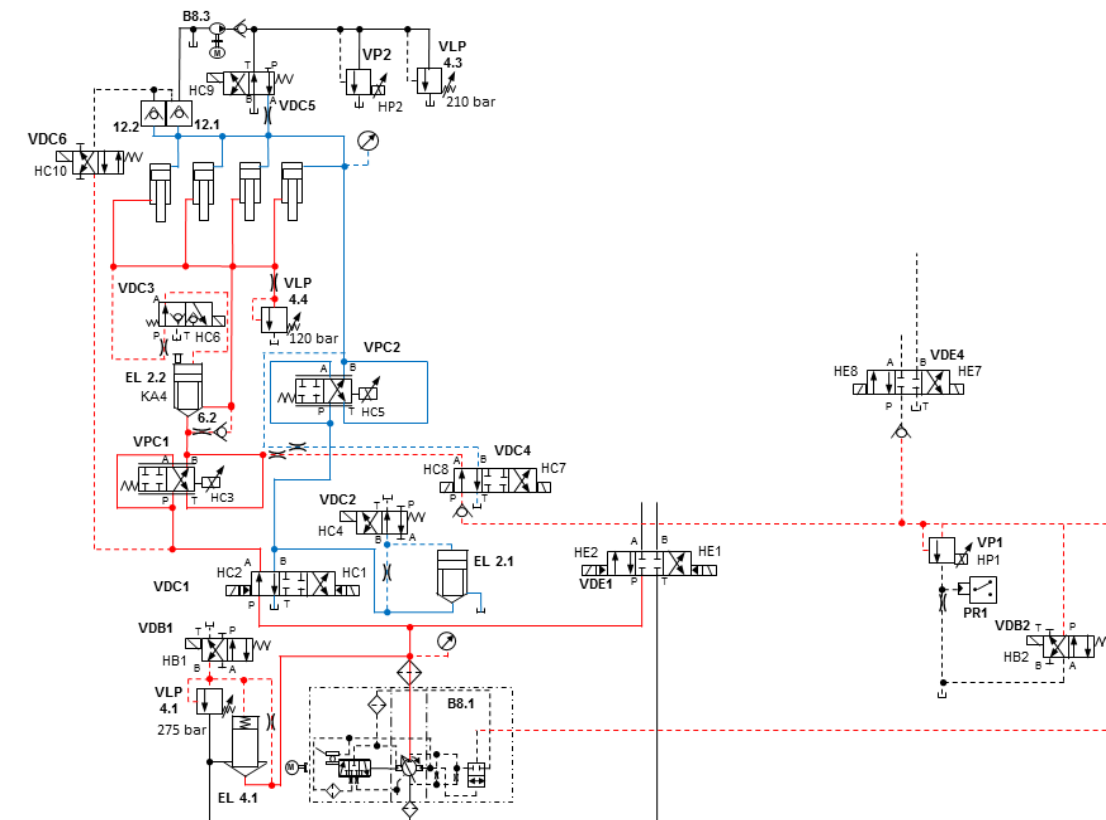
**Figura 4.20 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão do cerra-chapas**

Descompressão do cerra-chapas com controlo de caudal

Quando se está perante um caso de uso de ferramentas semelhante ao descrito na descompressão do embutidor com controlo de caudal é necessário fazer duas alterações no funcionamento da descompressão do cerra-chapas. A primeira alteração consiste em bombear óleo para as câmaras secundárias dos cilindros do cerra-chapas através da atuação de HC2 e da abertura da válvula proporcional VPC1. A segunda alteração é a colocação de uma válvula (VDC6) na linha de pilotagem das válvulas de retenção 12.1 e 12.2 com o objetivo de termos uma descarga de óleo feita apenas pela válvula direcional VDC1 e pelo elemento lógico 2.1 (Figura 4.21). Na Tabela 4.19 apresenta-se a configuração de atuações nesta descompressão.

**Tabela 4.19 - Estado dos solenóides para a descompressão do cerra-chapas com controlo de caudal**

Solenóide	HB1	HB2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1



**Figura 4.21 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão do cerra-chapas com controlo de caudal**

Assim como na descompressão, em que são descritas duas opções para o movimento, a subida do cerra-chapas também apresentará essa estrutura.

Etapa 14 - Subida do cerra-chapas

Terminada a descompressão pode-se iniciar a subida, ilustrada na Figura 4.22. Esta fase encontra-se de momento caracterizada por três atuações (Tabela 4.20): HC2, HC3 e HC8. Com a atuação de HC2 direciona-se o caudal para a válvula VPC1 e faz-se a pilotagem das válvulas de retenção 12.1 e 12.2. Estas válvulas serão o ponto de saída do óleo das câmaras superiores. Estrangulando ou abrindo a válvula VPC1 varia-se a velocidade de subida. Com HC6 desatuado, o elemento lógico 2.2 comporta-se como uma válvula de retenção, permitindo a passagem do óleo de VPC1 até aos cilindros mas não no sentido inverso. Desta forma impede-se uma descida indesejada dos cilindros. A válvula direcional de pilotagem VDC4 encontra-se com HC8 atuado de modo a ter o orifício B de VPC1 a fazer a pilotagem da bomba 8.1. A bomba 8.3 encontra-se em descarga devido à desatuação de HC9.

**Tabela 4.20 - Estado dos solenóides na subida do cerra-chapas**

Solenóide	HB1	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0

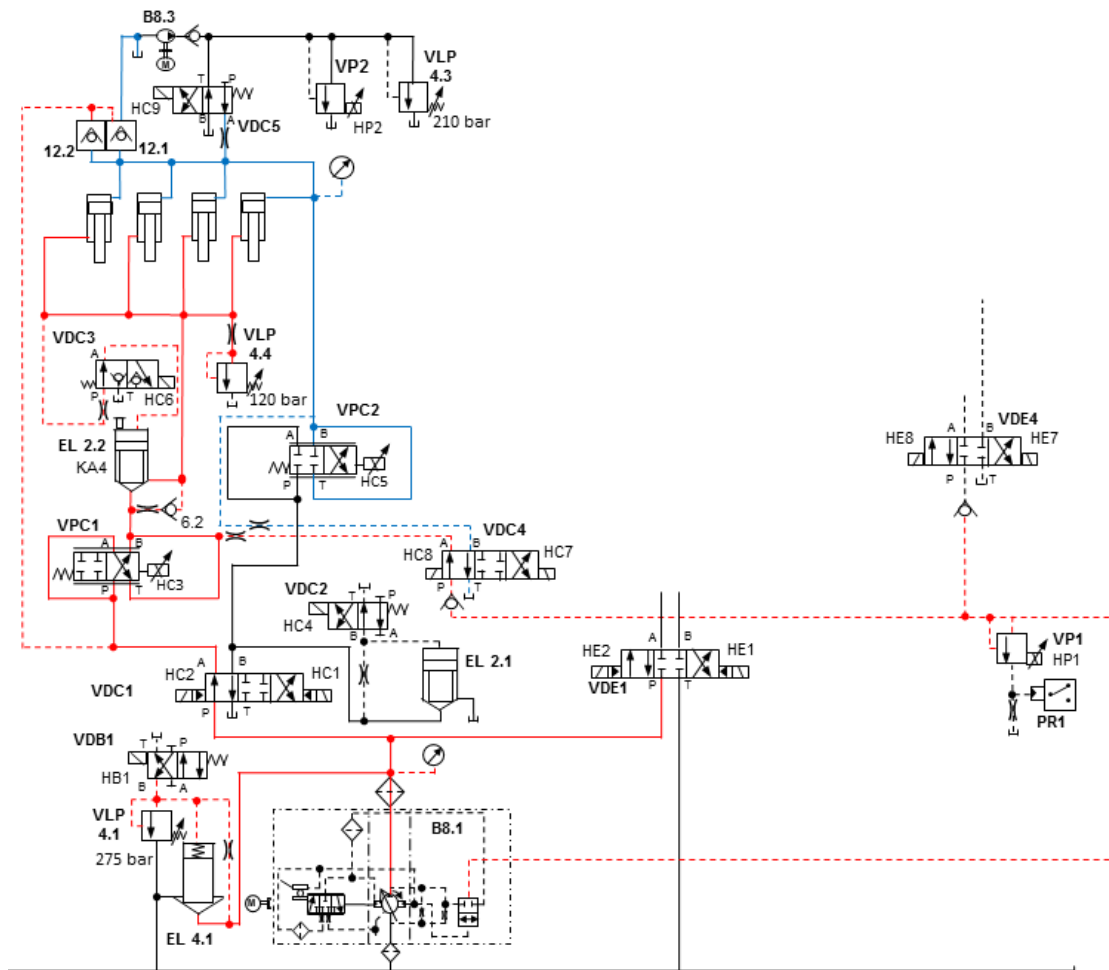


Figura 4.22 - Circuito hidráulico na subida do cerra-chapas

Subida do cerra-chapas com controlo de caudal

Na subida com controlo de caudal pretende-se-á controlar a saída de caudal das câmaras principais dos cilindros do cerra-chapas. Tal não é atualmente conseguido com o circuito hidráulico da Figura 4.22 visto que há uma saída incontrollada de óleo pelas válvulas de retenção. Sem o controlo de caudal não se consegue regular devidamente a velocidade de subida. Para se conseguir regular a velocidade fecham-se as válvulas de retenção ligando HC10 e abre-se VPC2, provocando-se a saída de óleo pelo elemento lógico 2.1 e pela válvula VDC1 (Figura 4.23).

Tabela 4.21 - Novo estado dos solenóides para a subida do cerra-chapas com controle de caudal

Solenóide	HB1	HB2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1

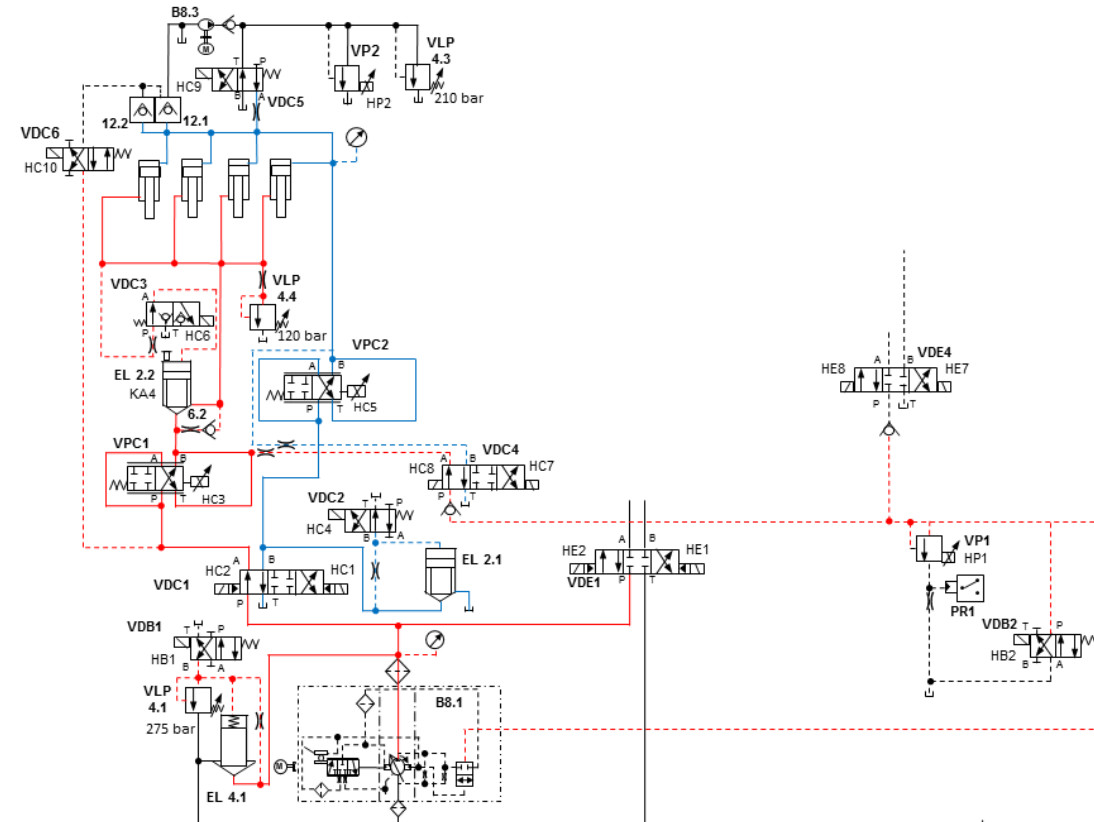


Figura 4.23 - Circuito hidráulico na subida do cerra-chapas com controle de caudal

Etapa 16 - Subida da Almofada

A almofada é correntemente utilizada como extrator da peça final após a embutidura através da sua subida.

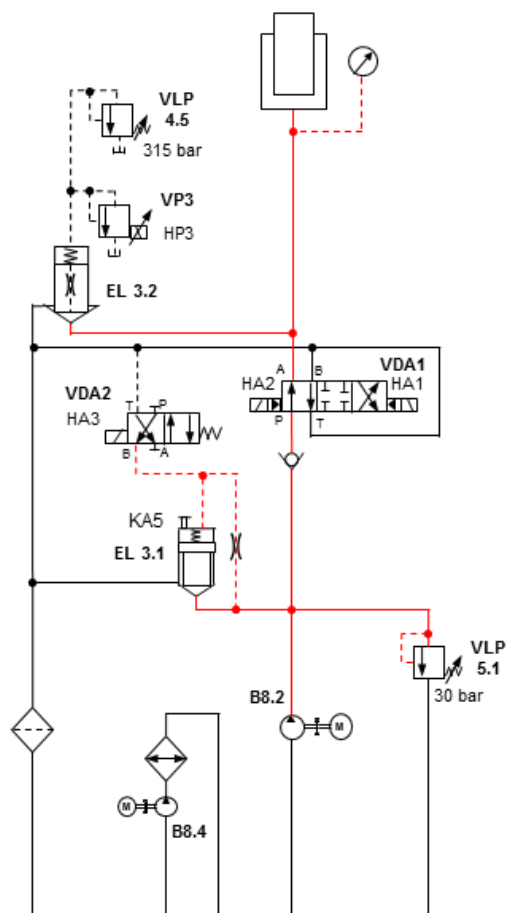
A subida da almofada (Figura 4.24) é considerada um movimento perigoso visto que põe em causa a segurança do utilizador e, por isso, para que se realize com segurança necessita de duas atuações: HA2 e HA3 (Tabela 4.22). A atuação de HA3 fecha o elemento lógico 3.1 desviando o fluido para a válvula direcional (VDA1). Com o elemento lógico fechado a atuação de HA2 faz a ligação até à câmara do cilindro, provocando a subida. Assim, se por algum motivo não se atuar HA3 a bomba 8.1 entra em descarga por EL 3.1 e se for HA2 a não ser atuada a válvula continua na posição central e portanto a bomba fica ligada ao reservatório.

A válvula limitadora de pressão proporcional VP3 e a válvula VLP 4.5 encontram-se reguladas para uma pressão superior a 30 bar sendo portanto a válvula VLP 5.1 a limitar a pressão durante o movimento. Se a pressão passar o valor de VP3 ou de VLP 4.5 o elemento lógico 3.2 abrirá e será feita uma descarga de óleo.

Existe ainda uma válvula de retenção à entrada da válvula direcional VDA1 (orifício P). Esta tem a função de não deixar passar óleo no sentido da bomba, impedindo uma descida indesejada do cilindro em caso de falha. Por exemplo, se quando é dada a ordem de paragem da subida (desatuação de HA2 e HA3) e devido a uma falha a válvula direcional encravar na posição HA2, a desatuação de HA3 permite a abertura de EL 3.1, fazendo a descarga da bomba e a válvula de retenção atrás referida impede a descida.

**Tabela 4.22 - Estado dos solenóides na subida da almofada**

Solenóide	HA1	HA2	HA3
Estado	0	1	1



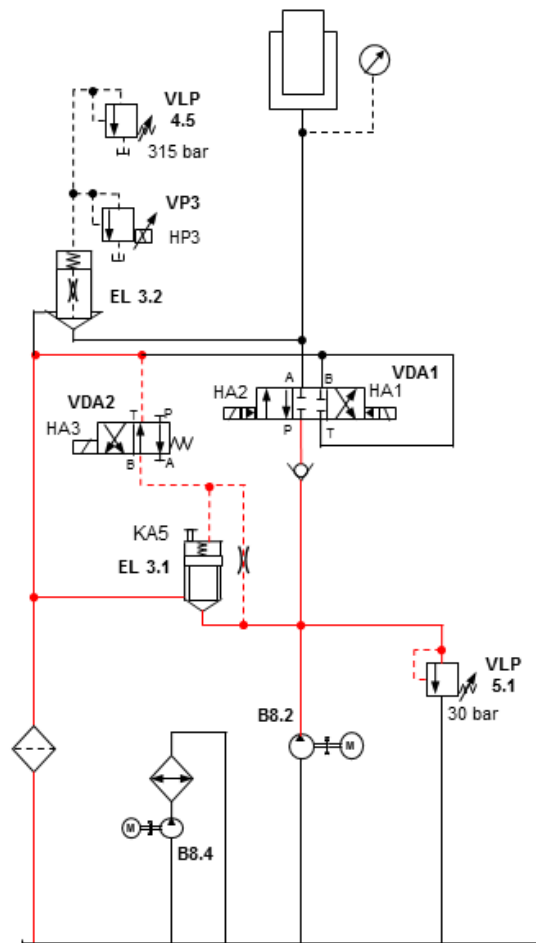
**Figura 4.24 - Circuito hidráulico na subida da almofada**

Etapa 17 - Repouso da almofada

A paragem, ou repouso, da almofada é obtida com a colocação da válvula direcional VDA1 na sua posição central e desatuação de HA3 (Tabela 4.23). A bomba encontra-se a descarregar para o reservatório pela válvula direcional e pelo elemento lógico 3.1 (Figura 4.25). O movimento é caracterizado por duas desatuações mas, como visto na descrição da subida, basta que apenas uma delas ocorra para que o cilindro da almofada pare.

**Tabela 4.23 - Estado dos solenóides na paragem da almofada**

Solenóide	HA1	HA2	HA3
Estado	0	0	0



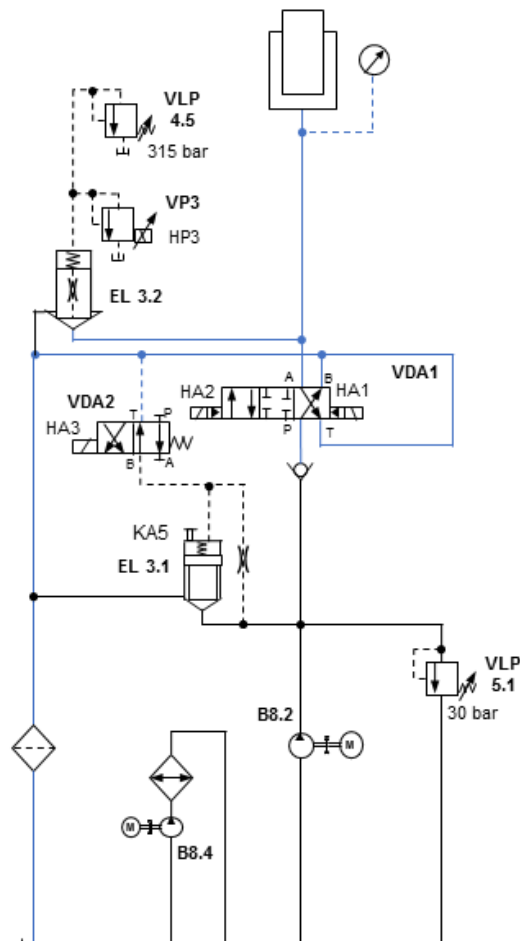
**Figura 4.25 - Circuito hidráulico na paragem da almofada**

Etapa 18 - Descida gravítica da almofada

A descida da almofada faz-se por gravidade tirando partido do seu peso. A descarga da bomba, como HA3 não se encontra atuado, faz-se por EL 3.1. Também pela válvula direcional VDA1 é feita a ligação de caudal da bomba ao tanque. Com HA1 atuado liga-se a câmara do cilindro ao reservatório e provoca-se a descida (Figura 4.26). Na Tabela 4.24 resumem-se as atuações que caracterizam o movimento de descida gravítica da almofada.

**Tabela 4.24 - Estado dos solenóides na descida gravítica da almofada**

Solenóide	HA1	HA2	HA3
Estado	1	0	0



**Figura 4.26 - Circuito hidráulico na descida gravítica da almofada**

Terminado o movimento de descida da almofada até à sua posição de recuada é dada como terminada a sequência da Figura 4.6.

No entanto, a almofada tem mais funcionalidades para além da de extrator. Na sequência de movimentos ilustrada na Figura 4.27, tanto o embutidor como a almofada têm a função de dar forma à chapa. Neste caso o primeiro movimento é o de subida da almofada, seguindo-se as descidas gravíticas do cerra-chapas e do embutidor. A descida com controlo de posição do embutidor é iniciada apenas após a pressurização da chapa.

Também neste caso, a ação denominada de embutidura corresponde ao movimento de descida do embutidor, com conseqüente deformação da chapa, e termina quando o embutidor atinge uma determinada cota. A esta ação segue-se a pressurização do embutidor, na qual este permanece, durante um certo período de tempo ( $t_1$ ), na cota anteriormente definida. Terminada a pressurização é realizada a descompressão e subida do embutidor e do cerra-chapas. A descida da almofada é o último dos movimentos.

Durante a embutidura e a pressurização do embutidor ocorre o encontro deste com a almofada. O embutidor vai provocar o aparecimento de uma força na almofada no sentido do seu movimento de descida. Esta força pode provocar o que se chama de descida forçada da almofada.

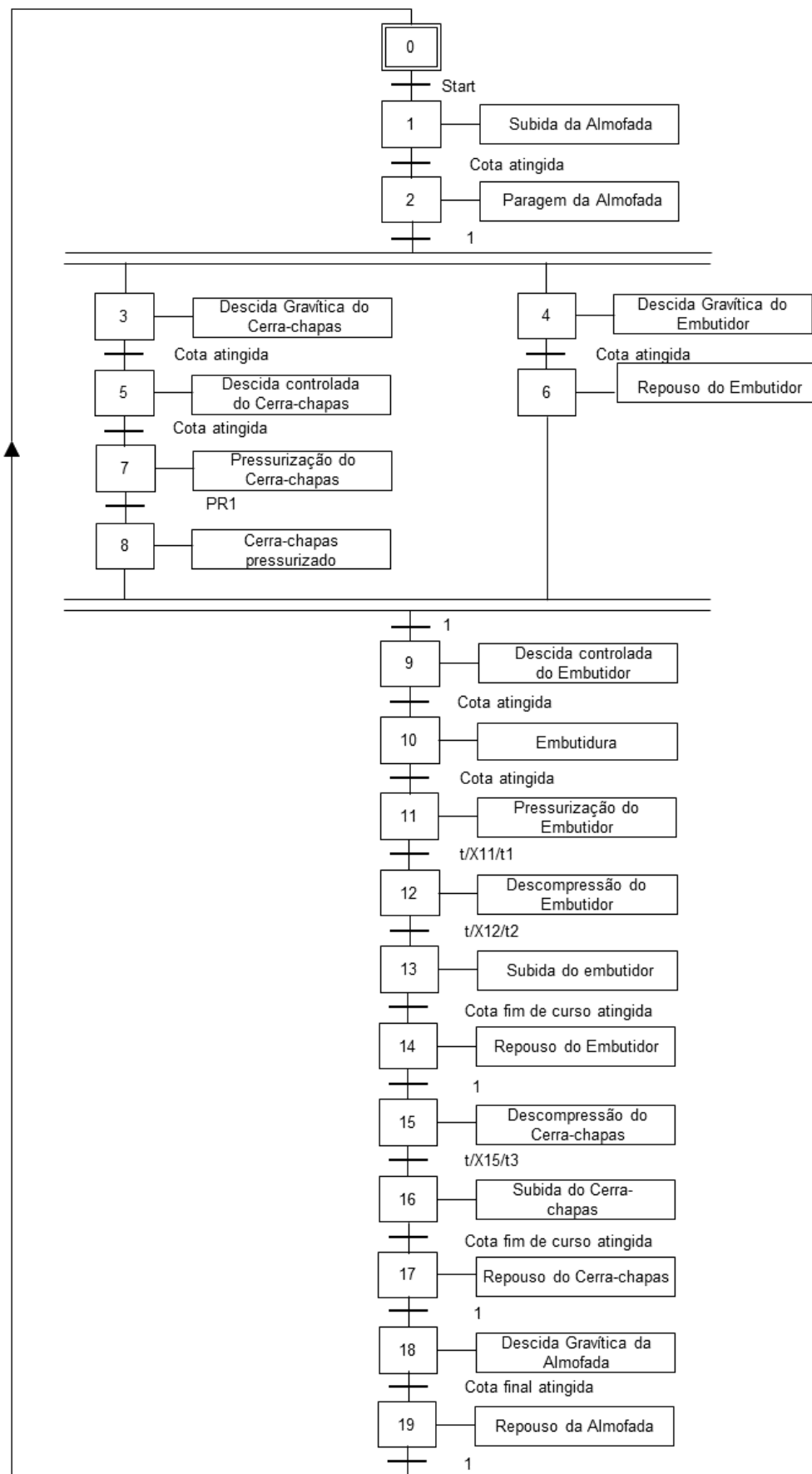


Figura 4.27 - Exemplo de sequência para embutidura com a almofada como punção

Descida forçada da almofada

Assim como na paragem, a válvula direcional encontra-se na posição central, HA3 desligado e a bomba em descarga para o reservatório (Figura 4.28).

O conjunto formado pelo elemento lógico 3.2 e as válvulas limitadoras de pressão VP3 e VLP 4.5 impedem ou permitem a descida da almofada. Quando o embutidor desce e aplica uma força na almofada a pressão na câmara do cilindro aumenta. Ao ser atingida a pressão para a qual a válvula VP3 está regulada (ou os 315 bar da VLP 4.5), esta abre provocando uma pressão de pilotagem no elemento lógico 3.2 inferior à pressão na sua entrada. O elemento abre, há passagem do óleo para o reservatório e a almofada desce. O estado de cada solenóide durante o movimento de descida forçada da almofada pode-se ver na Tabela 4.25.

O elemento lógico 3.2 é de áreas iguais para que não haja histerese entre a abertura e o fecho.

Tabela 4.25 - Estado dos solenóides na descida forçada da almofada

Solenóide	HA1	HA2	HA3
Estado	0	0	0

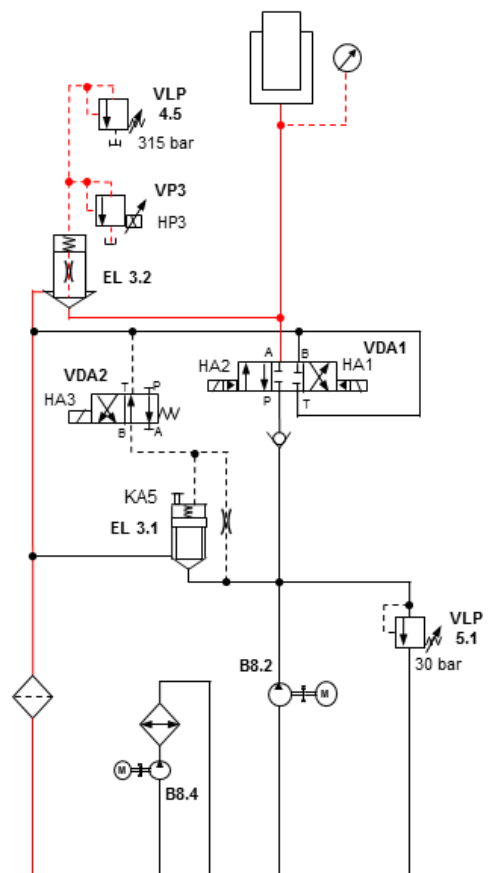


Figura 4.28 - Circuito hidráulico na descida forçada da almofada

#### 4.2.2. *Ação solidária dos efeitos da prensa*

Embora não se encontre em funcionamento, a prensa também tem a capacidade de realizar embutiduras em que o cerra-chapas e o embutidor trabalham como um só, isto é, atuam em simultâneo. Nesta situação existirá uma ligação mecânica entre eles, sendo a ferramenta partilhada.

Na sequência ilustrada na Figura 4.29 o embutidor e cerra-chapas executam movimentos simultâneos e a almofada tem a função de extrair a peça final obtida. Esta sequência é iniciada com a descida do cerra-chapas e do embutidor até ao encontro com a chapa seguindo-se a deformação desta. A deformação realiza-se na ação “embutidura” e ocorre até que seja atingida uma determinada cota. A pressurização segue-se à embutidura e consiste em manter a cota anteriormente atingida durante um determinado intervalo de tempo ( $t_5$ ). Terminada a pressurização faz-se a descompressão dos cilindros. A extração da peça final é conseguida com a subida da almofada.

O tempo de descompressão do cerra-chapas e do embutidor apresentado na figura seguinte ( $t_6$ ) é obtido experimentalmente e deve variar entre os valores de 0.25 e 0.50s (ADIRA, 1995).

Sobre esta sequência de embutidura abordar-se-ão apenas os movimentos simultâneos visto que a almofada comporta-se de forma idêntica à descrita na embutidura da Figura 4.6.

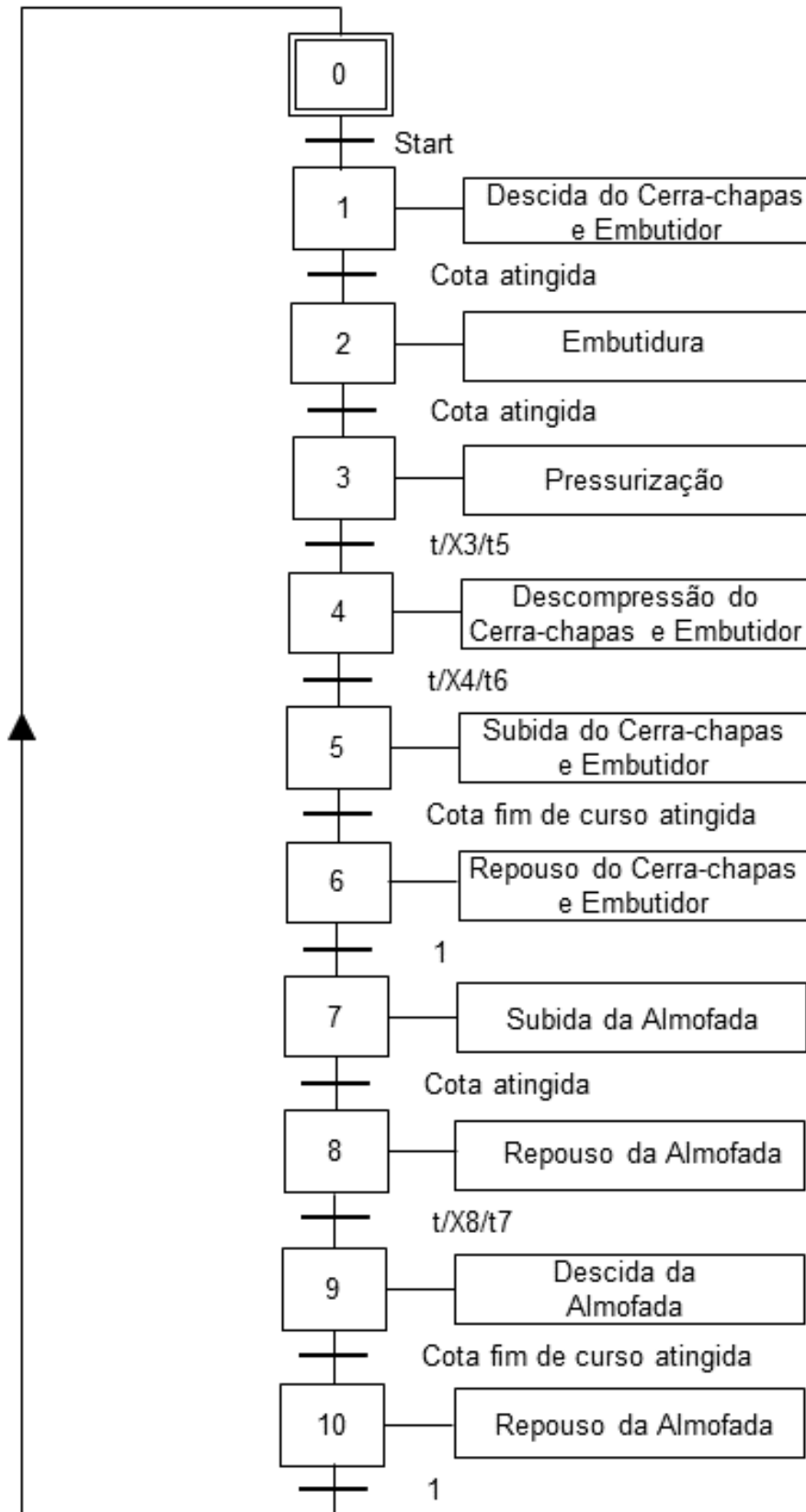


Figura 4.29 - Exemplo de seqüência para movimento do cerra-chapas e do embutidor em simultâneo e uso da almofada como extrator

Visto que nesta situação existe uma ligação mecânica entre o cerra-chapas e o embutidor, os movimentos simultâneos devem ser feitos com cuidado e elevada sincronização. Caso contrário danifica-se a ferramenta.

Numa primeira fase, pensou-se em assegurar o sincronismo recorrendo ao uso de transdutores de pressão nos cilindros do cerra-chapas e do embutidor e fazer um controlo de pressão em malha fechada. No entanto, este tipo de controlo apresenta uma margem de erro significativa para esta situação e poder-se-ia provocar a quebra da ligação mecânica.

Após descartar a primeira hipótese, surgiu a possibilidade de se acrescentar duas válvulas, denominadas de VDS1 e VDS2 (ver Figura 4.30), que quando atuadas ligassem as saídas de VPE1 e VPE2 e as saídas de VPC1 e VPC2 respetivamente. Com esta solução mantém-se a estrutura do circuito, não acrescentado nenhum controlo em malha fechada. Também se teria a bomba 8.3 em descarga e HC9 desativado. Porém, para se poder implementar a descida com as 5 câmaras secundárias ligadas entre si, nenhuma das pressões das válvulas limitadoras de pressão (VLP 4.4 e VLP 4.2) pode ser atingida. Caso contrário ocorreria a queda gravítica dos cilindros e das ferramentas a eles associadas.

Foram recolhidos alguns dados para o posterior cálculo da pressão atingida nas câmaras secundárias dos cilindros quando lhes é acoplada uma ferramenta com a maior massa permitida de ser utilizada na prensa, ou seja, 7500Kg. Este valor encontra-se referenciado na lista de características da prensa que se pode consultar na própria máquina.

**Dados:**

Massa do cerra-chapas e do embutidor  $M_{\text{cerra-chapas+embutidor}} = 1100 + 3100 = 4200\text{kg}$

Massa máxima da ferramenta  $M_{\text{máx. ferramenta}} = 7500\text{kg}$

**Embutidor:**

Pressão máxima na câmara secundária do embutidor  $p_{e2} = 280\text{bar}$

Diâmetro do êmbolo do embutidor  $D_{e1} = 0.220\text{m}$

Diâmetro da haste do embutidor  $D_{e2} = 0.210\text{m}$

**Cerra-chapas:**

Pressão máxima na câmara secundária do cerra-chapas  $p_{c2} = 120\text{bar}$

Diâmetro do êmbolo do cerra-chapas  $D_{c1} = 0.100\text{m}$

Diâmetro da haste do cerra-chapas  $D_{c2} = 0.090\text{m}$

Segundo os dados acima indicados não se deve ultrapassar os 120 bar, que é a menor das pressões máximas secundárias. Para o cálculo da pressão temos as seguintes equações:

$$F = p * A \quad (1)$$

$$F = M * g \quad (2)$$

$$A = 4 * A_{c2} + A_{e2} \quad (3)$$

$$A_{c2} = \pi \frac{D_{c1}^2 - D_{c2}^2}{4} \quad (4)$$

$$A_{e2} = \pi \frac{D_{e1}^2 - D_{e2}^2}{4} \quad (5)$$

$$M = M_{máx.ferramenta} + M_{cerra-chapas+embutidor} \quad (6)$$

Sendo:

$F$  Força aplicada nos 5 cilindros

$P$  pressão provocada pela aplicação da força  $F$

$A$  Área total das câmaras secundárias dos 5 cilindros

$M$  Soma das massas que provocam a pressurização das câmaras secundárias

$A_{c2}$  Área da câmara secundária do cerra-chapas

$A_{e2}$  Área da câmara secundária do embutidor

$$g = 9.8m/s^2$$

Com as equações (3), (4) e (5) conseguimos calcular a área total das 5 câmaras dos cilindros e com as equações (2) e (6) temos a força que as massas provocam nessas mesmas câmaras. Tendo a força e a área recorreremos à equação (1) para calcular a pressão:

$$p = 122.7bar$$

Apesar do valor obtido ser superior aos 120 bar não é um valor que impeça a implementação da solução anteriormente referida. Isto porque uma ferramenta com uma massa de 7500kg não é uma ferramenta que os utilizadores desta prensa usem ou pretendam usar. Além disso, as ferramentas podem ter o seu peso distribuído entre a parte superior e a inferior da prensa.

Terminados os cálculos passamos para a análise dos movimentos.

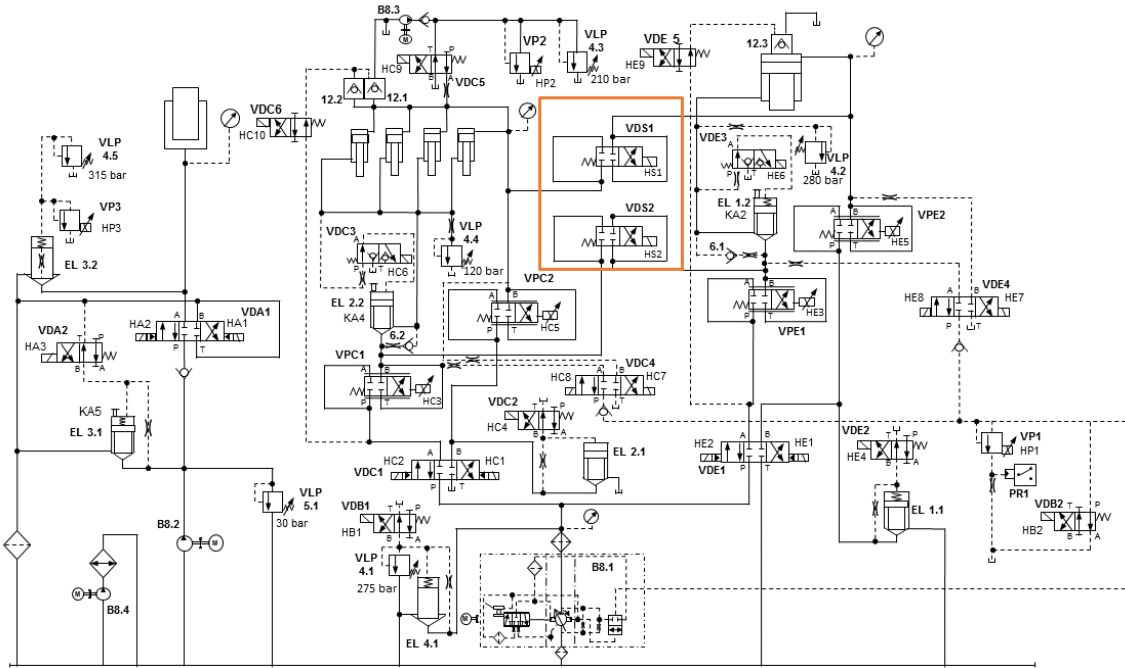


Figura 4.30 - Implementação das válvulas VDS1 e VDS2 no circuito hidráulico

Etapa 1 - Descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor

A descida dos 5 cilindros, representada na Figura 4.31, corresponde à solução apresentada na documentação fornecida pela ADIRA. Nesta solução a descida simultânea é conseguida atuando simultaneamente as válvulas necessárias para as descidas gravíticas individuais. Na Tabela 4.26 apresentam-se essas atuações.

Tabela 4.26 - Estado dos solenóides na descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	1	0	1	1	1	0	0	0
Solenóide	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	0	1	1	1	0	0	0	0

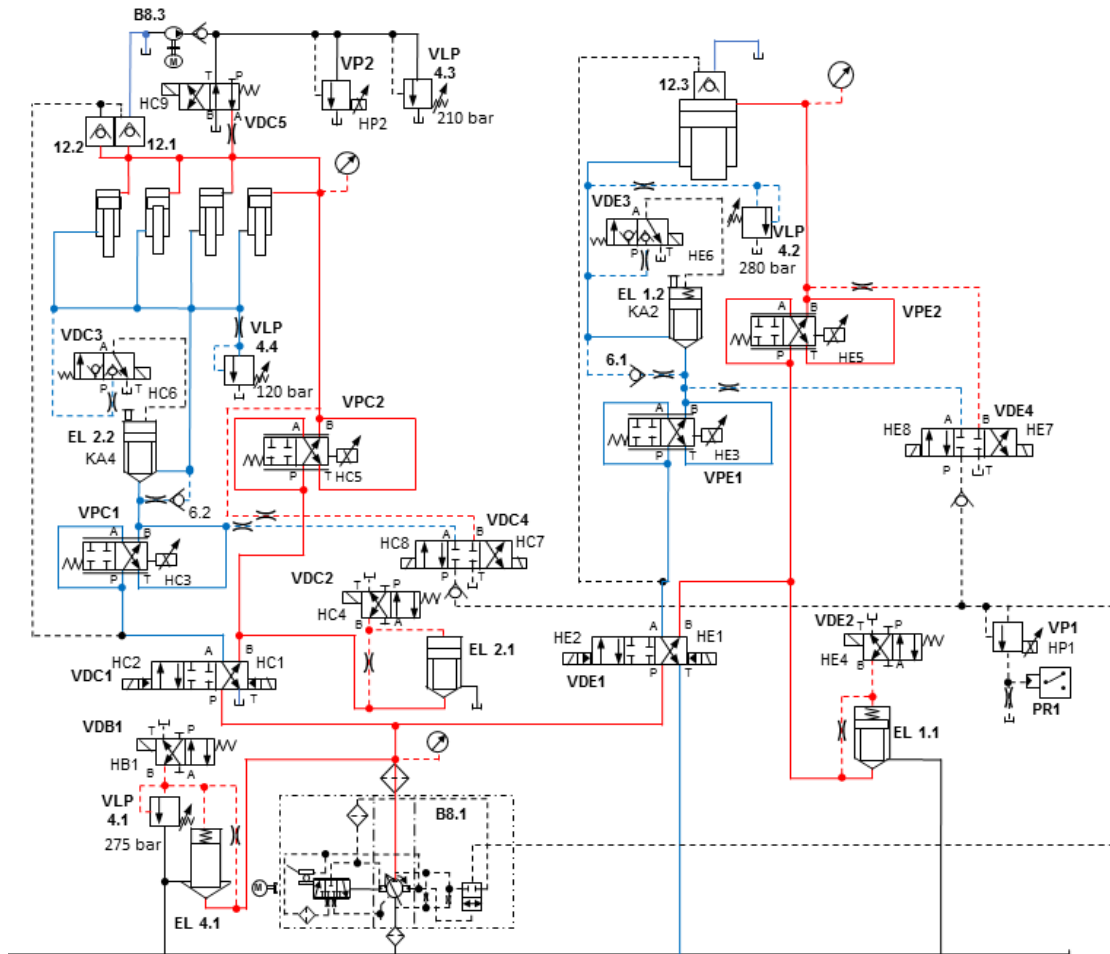


Figura 4.31 - Circuito hidráulico da descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor

Porém esta solução inicial não garante a sincronização do cerra-chapas e do embutidor sendo por isso proposta a introdução das novas válvulas (VDS1 e VDS2), acima referidas (Figura 4.32).

Na descida pretende-se controlar o caudal que sai das câmaras secundárias dos 5 cilindros de modo a definir a velocidade. Para tal recorre-se à válvula VDS2 que, juntamente com o fecho da válvula proporcional VPC1 e das atuações de HC6 e HE6, liga todas as câmaras à válvula proporcional VPE1. Será com esta válvula proporcional que se fará a regulação da velocidade. A entrada de óleo é feita pelas válvulas de retenção (12.1, 12.2 e 12.3). Com as atuações de HC1, HE1, HC4 e HE4 e com a abertura das válvulas VPC2 e VPE2 direciona-se o caudal da bomba 8.1 para as câmaras principais com o objetivo de auxiliar o movimento de descida.

Tabela 4.27 - Novo estado dos solenóides para a descida simultânea

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9
Estado	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0

Solenóide	HS1	HS2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0

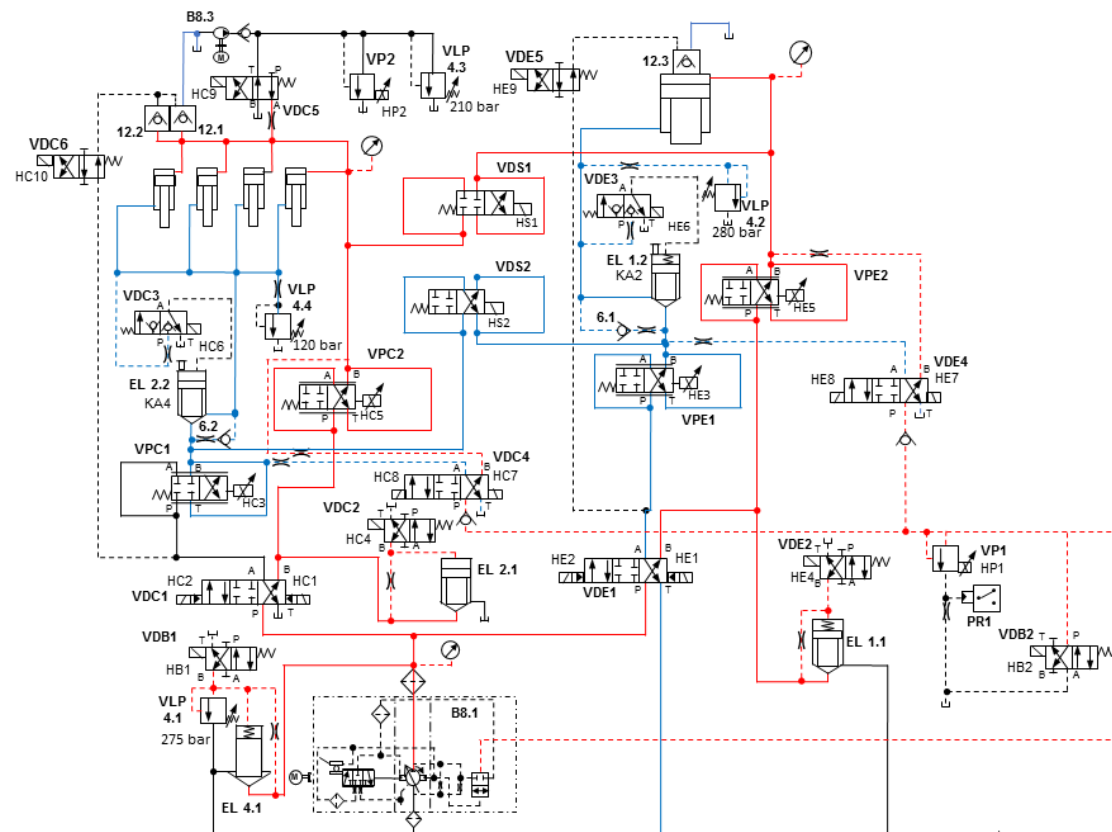


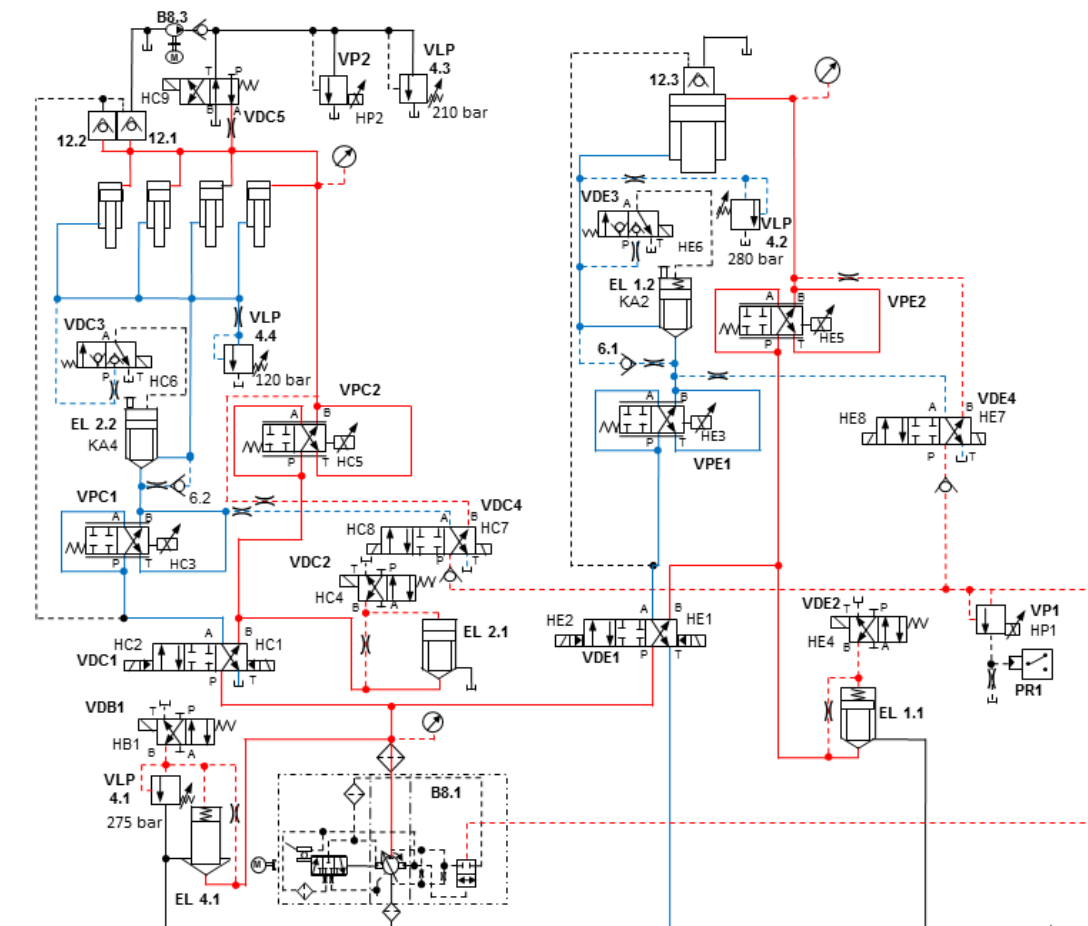
Figura 4.32 - Circuito hidráulico proposto para a descida simultânea do cerra-chapas e do embutidor

Etapa 2 - Embutidura

A informação atual acerca da embutidura indica que se deve ativar a pilotagem que define o *load-sensing* da bomba 8.1 atuando HC7 e HE7 (e recorrendo à válvula “OU” da Figura 4.3), abrir totalmente as válvulas proporcionais VPC1 e VPE1 e, controlar o caudal de entrada nos cilindros através das válvulas proporcionais VPC2 e VPE2 (Tabela 4.28 e Figura 4.33).

**Tabela 4.28 - Estado dos solenóides na embutidura com cerra-chapas e embutidor**

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	1	0	1	1	1	1	1	0
Solenóide	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	1	0	1	1	1	1	1	0	0



**Figura 4.33 - Circuito hidráulico na embutidura com cerra-chapas e embutidor**

O circuito hidráulico contendo as válvulas VDS1 e VDS2 permite que a embutidura seja realizada de forma mais eficaz (Figura 4.34). Ou seja, sendo o objetivo deste movimento o controlo do caudal que entra nos cilindros é vantajoso que esses mesmos cilindros tenham as suas câmaras principais interligadas, e por isso mesmo atua-se HS1. Todo o caudal da bomba (pilotada pela saída de VPE2 através da atuação de HE7) segue pela válvula direcional VDE1 para a válvula proporcional VPE2 sendo depois dividido pelos cilindros (válvula VPC2 fechada). Com a atuação de HC6, HE6, HC1 e HE1 e com a abertura das válvulas VPC1 e VPE1 é feita a descarga do óleo para o reservatório.

Tabela 4.29 - Novo estado dos solenóides para a embutidura simultânea

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9	
Estado	1	1	1	0	1	1		1	1	0	0	
Solenóide	HS1	HS2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0

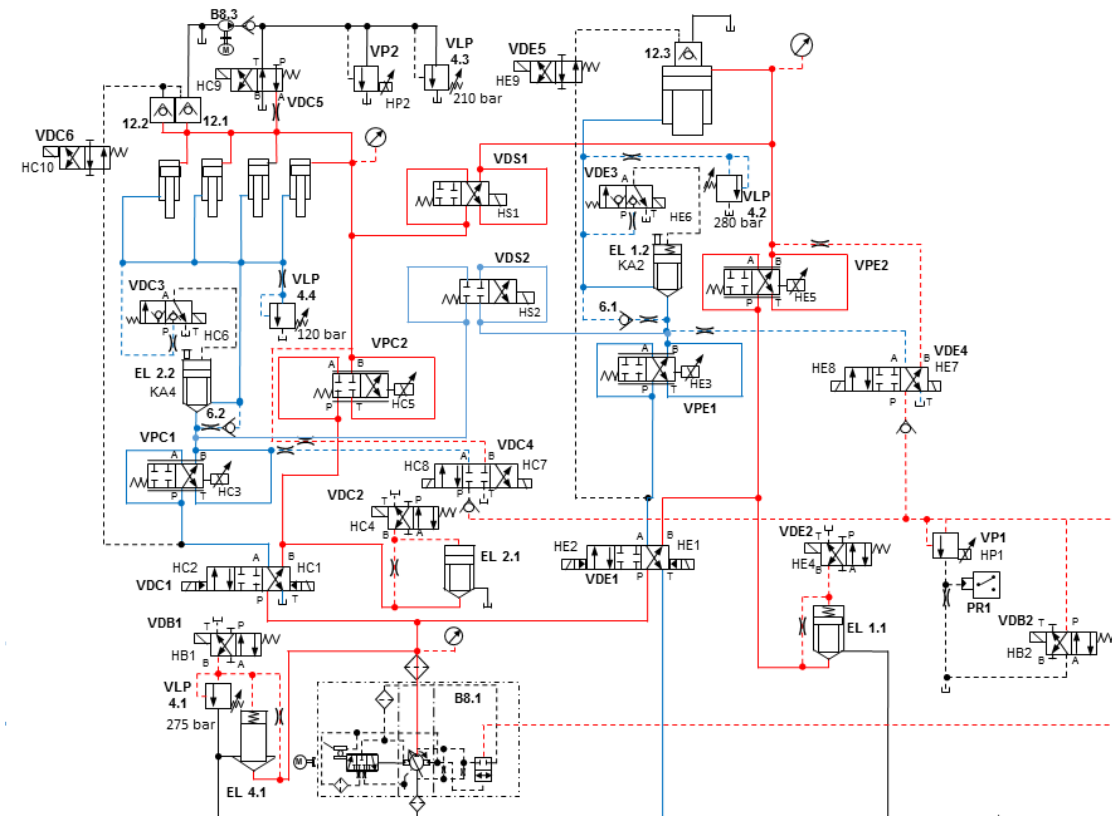


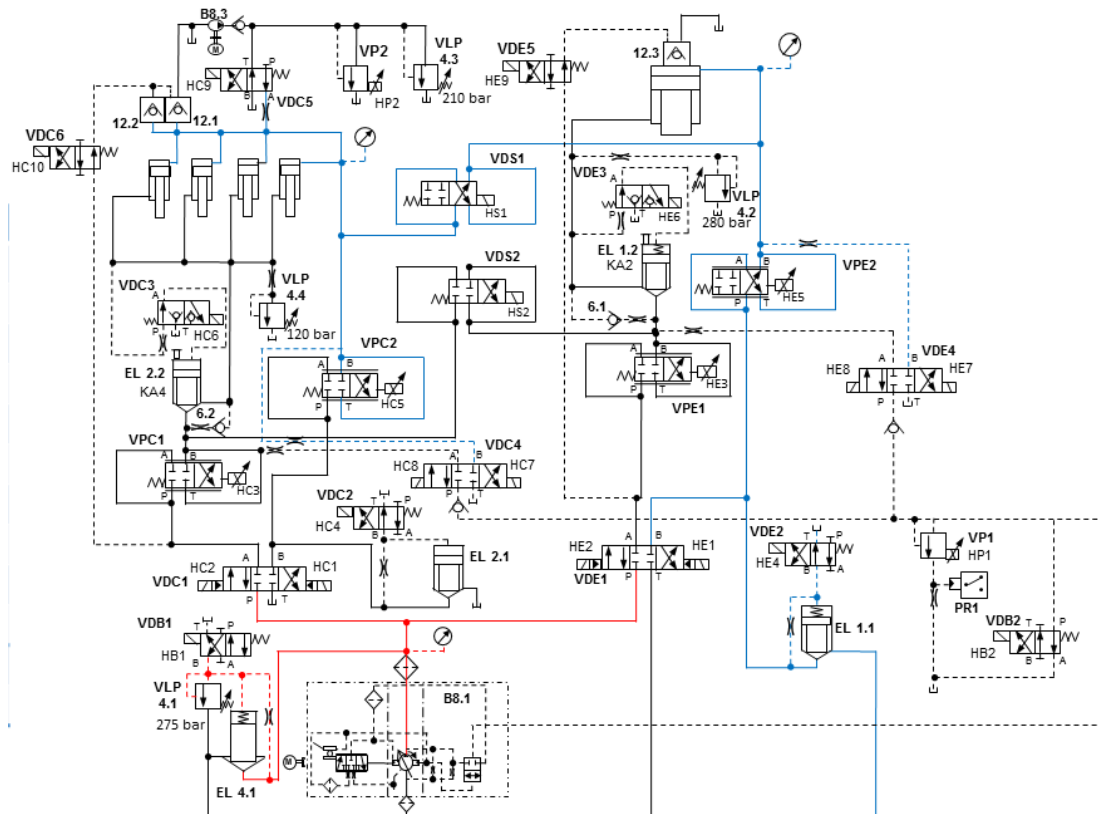
Figura 4.34 - Circuito hidráulico proposto para a embutidura com cerra-chapas e embutidor

Etapa 4 - Descompressão

Terminada a pressurização e antes de se iniciar a subida dos cilindros, faz-se a descompressão destes (Figura 4.35). Na descompressão usa-se a válvula VDS1 para interligar as câmaras dos cilindros e controlar a passagem do óleo para o tanque apenas pela válvula proporcional VPE2 (Tabela 4.30).

**Tabela 4.30 - Novo estado dos solenóides para a descompressão simultânea**

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9	
Estado	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Solenóide	HS1	HS2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

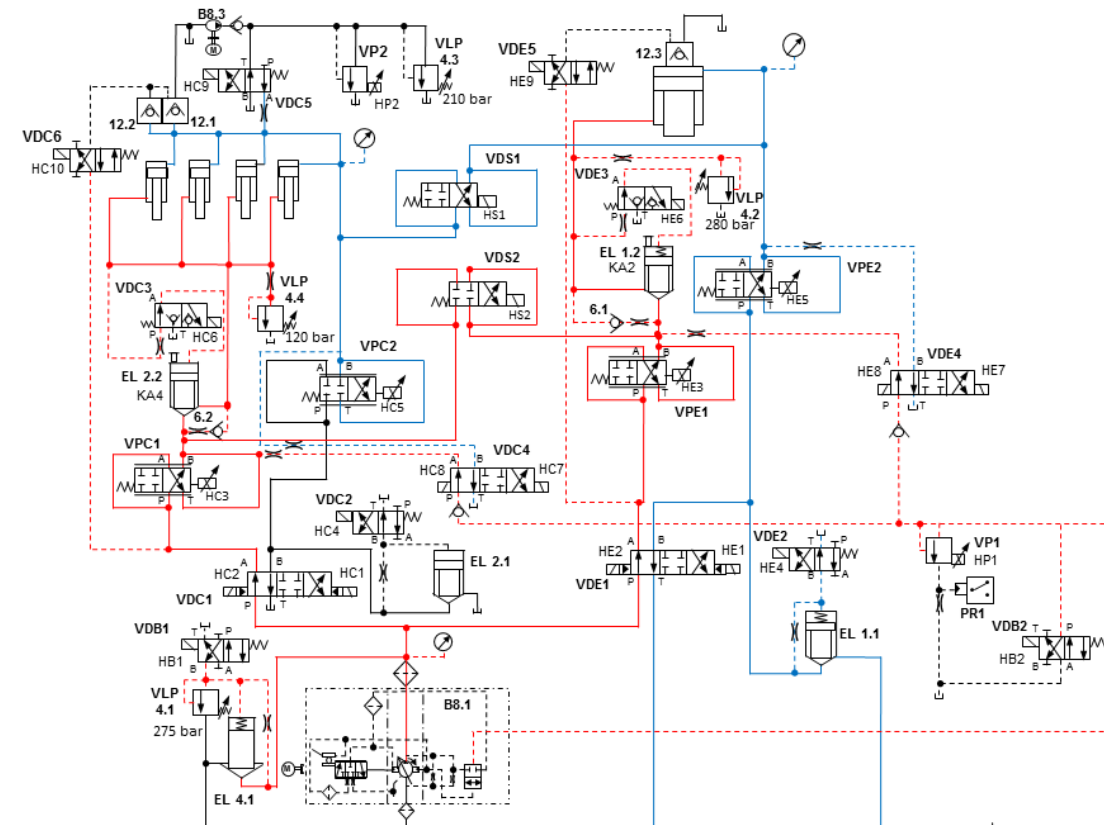


**Figura 4.35 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão simultânea do cerra-chapas e do embutidor**

Como visto anteriormente, caso se utilize uma ferramenta que imponha uma força de grandeza considerável contrária ao movimento de descida dos cilindros é necessário alterar a forma como é realizada a descompressão (Figura 4.36). Ou seja, faz-se o alívio da pressão dos 5 cilindros em simultâneo, atuando HS1, enquanto a bomba 8.1 bombeia caudal para as câmaras secundárias destes evitando a cavitação. Na Tabela 4.31 temos o estado de todos os solenóides durante esta fase.

**Tabela 4.31 - Novo estado dos solenóides para a descompressão simultânea com controle de caudal**

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9	
Estado	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1		
Solenóide	HS1	HS2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1



**Figura 4.36 - Circuito hidráulico proposto para a descompressão simultânea com controle de caudal**

Etapa 5 - Subida do cerra-chapas e embutidor

Após a descompressão pode-se passar para a subida, que deverá ser sincronizada, do cerra-chapas e do embutidor. A solução atual passa por colocar a bomba 8.1 a fornecer o caudal necessário enquanto as válvulas VDE1 e VDC1 (HE2 e HC2 atuados) direcionam esse caudal para os elementos lógicos EL 1.2 e EL 2.1, respetivamente, e provocam a pilotagem das válvulas de retenção 12.3, 12.2 e 12.1. A saída do óleo dos cilindros do cerra-chapas é feita pelas válvulas de retenção e a do embutidor pela válvula de retenção e pelo elemento lógico EL 1.1. As válvulas proporcionais VPE1 e VPC1 regulam a velocidade (através do caudal) do embutidor e cerra-chapas. A pilotagem da bomba 8.1 faz-se com a atuação de HC8 e HE8 (recorrendo à válvula “OU” da Figura 4.3 para que o caudal bombeado satisfaça as necessidades dos cilindros). Na Figura 4.37 pode-se ver as válvulas referidas acima nas suas posições de funcionamento e na Tabela 4.32 as atuações realizadas.

**Tabela 4.32 - Estado dos solenóides na subida simultânea do cerra-chapas e do embutidor**

Solenóide	HB1	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8
Estado	1	0	1	0	1	0	0	0	1
Solenóide	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9
Estado	0	1	0	0	0	0	0	1	0

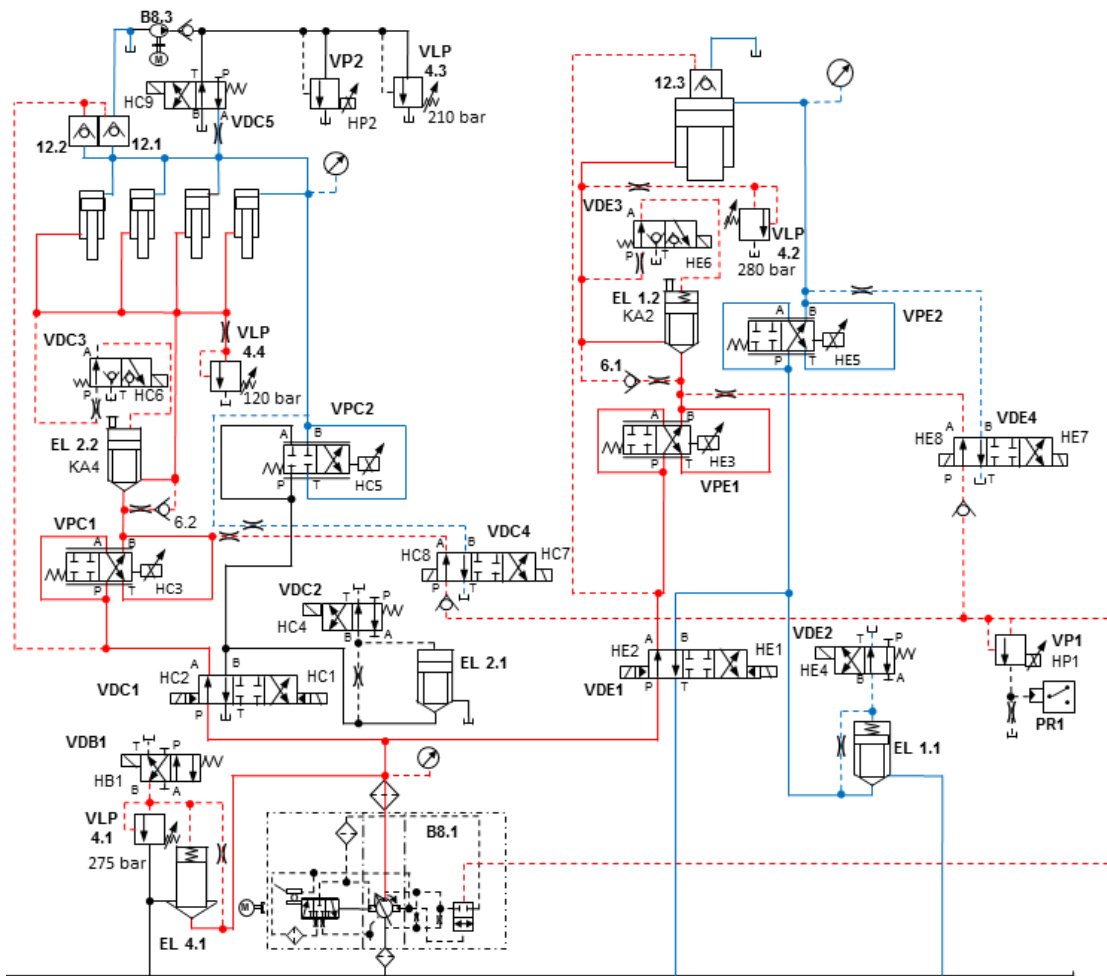


Figura 4.37 - Circuito hidráulico da subida simultânea do cerra-chapas e embutidor

No entanto a solução ilustrada na Figura 4.37 não garante o sincronismo do cerra-chapas e do embutidor. O sincronismo é conseguido com a ligação das câmaras secundárias dos cilindros e portanto com a atuação de HS2. Na solução apresentada na Figura 4.38 fecha-se a válvula proporcional VPC1, coloca-se a válvula VDC1 na posição central e atua-se a válvula VDS2 para que a única entrada de caudal nos cilindros do cerra-chapas seja proveniente da válvula proporcional do embutidor VPE1. Com esta válvula controlamos a velocidade de subida. A saída do óleo dos cilindros do cerra-chapas é feita através das válvulas VPC2 e do elemento lógico 2.1 enquanto a do cilindro do embutidor é feita pela válvula direcional VDE1 e pelo elemento lógico EL 1.1.

Tabela 4.33- Novo estado dos solenóides para subida simultânea do cerra-chapas e do embutidor

Solenóide	HB1	HB2	HE1	HE2	HE3	HE4	HE5	HE6	HE7	HE8	HE9	
Estado	1	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	
Solenóide	HS1	HS2	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5	HC6	HC7	HC8	HC9	HC10
Estado	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

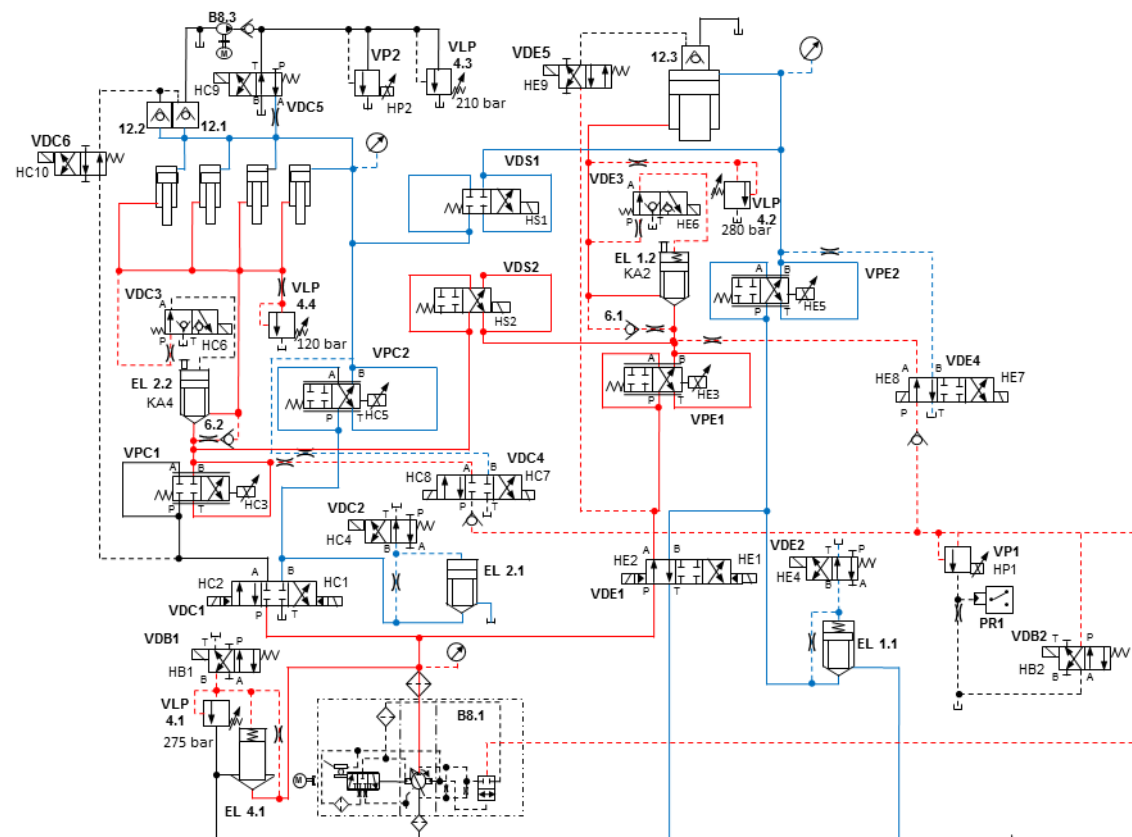


Figura 4.38 - Circuito hidráulico proposto para a subida simultânea de cerra-chapas e embutidor

O circuito hidráulico atualizado, que inclui todas as sugestões de modificações elaboradas anteriormente, pode ser consultado na Figura 4.39.

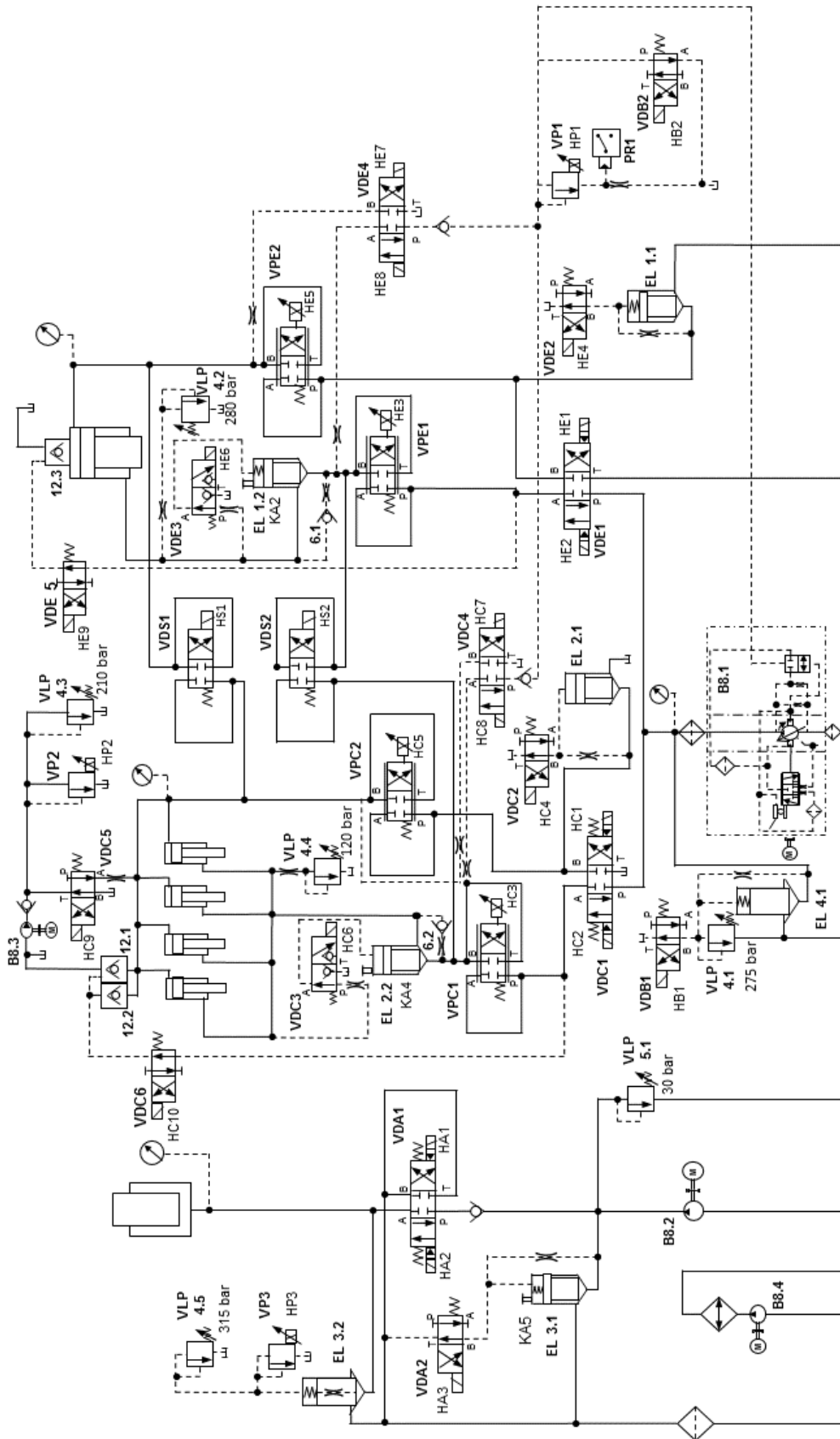


Figura 4.39 - Circuito hidráulico atualizado

4.2.1. Tabelas de fases

Na Tabela 4.34 é apresentada a tabela de fases inicial enquanto na Tabela 4.35 temos a tabela de fases final, onde estão incluídas as alterações sugeridas nas secções anteriores.

Tabela 4.34 -Tabela de fases da prensa de triplo efeito (ADIRA, 1994)

Solenóide	Repouso	Descida gravítica do cerra-chapas	Descida gravítica do embutidor	Pressurização do cerra-chapas	Cerra-chapas após ação de PR1	Pressurização do embutidor	Subida do embutidor	Subida do cerra-chapas	Subida da almofada	Descida gravítica da almofada	Descida do embutidor e cerra-chapas	Pressurização do embutidor e Cerra-chapas	Subida do embutidor e cerra-chapas
HB1	0	1	1	1	1	1	1	1			1	1	1
HE1	0		1			1	0				1	1	0
HE2	0		0			0	1				0	0	1
HE3	0		↙			1	↙				↙	1	↙
HE4	0		1			1	0				1	1	0
HE5	0		1			↙	1				1	↙	1
HE6	0		1			1	0				1	1	0
HE7	0		0			1	0				0	1	0
HE8	0		0			0	1				0	0	1
HC1	0	1		1	0			0			1	1	0
HC2	0	0		0	0			1			0	0	1
HC3	0	↙		1	1			↙			↙	1	↙
HC4	0	1		1	0			0			1	1	0
HC5	0	1		↙	0			0			1	↙	0
HC6	0	1		1	1			0			1	1	0
HC7	0	0		1	0			0			0	1	0
HC8	0	0		0	0			1			0	0	1
HC9	0	0		1	1			0			0	0	0
HA1	0								0	1			
HA2	0								1	0			
HA3	0								1	0			

Tabela 4.35 - Tabela de fases modificada

Válvulas/Etapas	Repouso	Descida gravítica do cerra-chapas	Descida gravítica do embutidor	Descida controlada do cerra-chapas	Pressurização do cerra-chapas	Após PR1	Descida controlada do embutidor	Pressurização do embutidor	Descarga do cerra-chapas	Descarga forçada do cerra-chapas	Descarga do embutidor	Descarga forçada do embutidor	Subida do cerra-chapas	Subida forçada do cerra-chapas	Subida do embutidor	Subida forçada do embutidor	Descida gravítica da almofada	Descida forçada da almofada	Subida da almofada	Paragem da almofada	Descida simultânea	Pressurização simultânea	Descarga simultânea	Descarga forçada simultânea	Subida simultânea
HB1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					1	1	1	1	1
HB2	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1					1	1	0	1	1
HS1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0	1	1	1	0
HS2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					1	0	0	0	1
HE1	0	1					1	1			0	0			0	0					1	1	0	0	0
HE2	0	0					0	0			0	1			1	1					0	0	0	1	1
HE3	0						0	1			0	1										1	0	1	
HE4	0	1					1	1			0	0			0	0					1	1	0	0	0
HE5	0	1													1	1					1				1
HE6	0	1					0	1			0	0			0	0					1	1	0	0	0
HE7	0	1					1	1			0	0			0	0					1	1	0	0	0
HE8	0	0					0	0			0	1			1	1					0	0	0	1	1
HE9	0	0					0	0			0	1			0	1					0	0	0	1	1
HC1	0	1	1	1	0				0	0			0	0							1	1	0	0	0
HC2	0	0	0	0	0				0	1			1	1							0	0	0	1	0
HC3	0		0	0	0				0	1											0	1	0	1	0
HC4	0	1	1	1	0				0	0			0	0							1	1	0	0	0
HC5	0	1			0								0	1							1	0	0	0	1
HC6	0	1	0	1	0				0	0			0	0							1	1	0	0	0
HC7	0	1	1	1	0				0	0			0	0							1	0	0	0	0
HC8	0	0	0	0	0				0	1			1	1							0	0	0	1	0
HC9	0	0	0	0	1				0	0			0	0							0	0	0	0	0
HC10	0	0	0	0	0				0	1			0	1							0	0	0	1	0
HA1	0																				1	0	0	0	
HA2	0																				0	0	1	0	
HA3	0																				0	0	1	0	

### 4.3. Normalização aplicável

Uma norma é uma regra para que um produto, um serviço ou um método seja corretamente concretizado enquanto uma diretiva corresponde a uma especificação de ações obrigatórias.

A implementação de segurança na concepção e fabrico das máquinas assim como na sua instalação e manutenção reduz significativamente o número de acidentes provocados pelas máquinas para além dos custos associados a tais acidentes. De modo a garantir a operação segura de uma máquina é necessária a utilização correta de normas e diretivas.

No âmbito do projeto de atualização da prensa hidráulica em análise nesta dissertação, também se deverá considerar a verificação do cumprimento dos devidos requisitos de segurança e, caso seja necessário, tomar as medidas necessárias que garantam esse cumprimento.

Atualmente, a segurança de máquinas é regulada pela Diretiva Máquinas e a segurança na utilização de equipamentos de trabalho é regulada pela Diretiva Equipamentos de Trabalho.

#### 4.3.1. Diretiva Máquinas

Em 2006 a União Europeia elaborou uma diretiva com o objetivo de ter os milhares de pessoas que operam diariamente máquinas na sua atividade profissional a exercerem as suas funções da forma mais segura possível. Esta diretiva é denominada de 2006/42/CE.

A Diretiva Máquinas define um conjunto de regras que têm como destinatários os fabricantes e comerciantes, privilegiando a integração de segurança no projeto e apoiando-se em especificações técnicas reconhecidas (normas harmonizadas). Estas regras estabelecem os requisitos fundamentais de segurança que devem ser respeitados nas legislações e práticas administrativas dos Estados membros e visam a livre circulação e comercialização de máquinas no espaço económico europeu (EEE). Esta área da legislação europeia é transposta para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 103/2008, de 24 de junho (Gomes, Moreira, Cavaca, & Pina, 2013).

A Diretiva Máquinas divide as normas de segurança em três tipos:

- Tipo A – “As normas de tipo A especificam os conceitos básicos, a terminologia e princípios de concepção aplicáveis a todas as categorias de máquinas. A aplicação exclusiva destas normas, apesar de propiciarem um quadro fundamental para a aplicação correta da Diretiva Máquinas, não é suficiente para garantir a conformidade com os requisitos essenciais relevantes de segurança e saúde da diretiva e, por conseguinte, não confere uma presunção completa de conformidade.” (CE, 2015)

- Tipo B – “As normas de tipo B abordam aspetos específicos de segurança das máquinas ou tipos específicos de meios de proteção que podem ser usados numa vasta gama de categorias de máquinas. A aplicação das especificações das normas de tipo B confere uma presunção de conformidade com os requisitos essenciais da Diretiva Máquinas abrangidos por estas especificações quando uma norma de tipo C ou a avaliação de riscos realizada pelo fabricante demonstrar que uma solução técnica especificada pela norma de tipo B é adequada para a categoria ou modelo da máquina em questão.” (CE, 2015)
- Tipo C – “As normas de tipo C podem referir-se a normas de tipo A ou B e indicam quais as especificações da norma de tipo A ou B se aplicam à categoria de máquina em questão. Quando, em relação a um dado aspeto da segurança da máquina, a norma de tipo C se afasta das especificações de uma norma de tipo A ou B, as especificações da norma de tipo C prevalecem sobre as especificações da norma de tipo A ou B.” (CE, 2015)

Normas aplicáveis a prensas hidráulicas

Antes de se fazer uma enumeração de normas aplicáveis a uma prensa hidráulica, através da Tabela 4.36, é importante referir que estas são constantemente alvo de revisões, podendo a qualquer momento sofrer alterações.

**Tabela 4.36 - Normas da Diretiva Máquinas (CE, 2015)**

Tipo A	EN ISO 12100:2010 Segurança de máquinas — Princípios gerais de conceção — Avaliação e redução de riscos
Tipo B	EN 349:1993+A1:2008 Segurança de máquinas — Distâncias mínimas para evitar o esmagamento de partes do corpo humano
	EN 547-1:1996+A1:2008 Segurança de máquinas – Medidas do corpo humano – Parte 1: Princípios para a determinação das dimensões requeridas para as aberturas destinadas à passagem do corpo nas máquinas
	EN 547-2:1996+A1:2008 Segurança de máquinas – Medidas do corpo humano – Parte 2: Princípios para a determinação das dimensões requeridas para as aberturas de acesso

EN 547-3:1996+A1:2008 Segurança de máquinas – Medidas do corpo humano – Parte 3: Dados antropométricos
EN 574:1996+A1:2008 Segurança de máquinas – Dispositivos de comando bimanual – Aspectos funcionais – Princípios de concepção
EN 614-1:2006+A1:2009 Segurança de máquinas – Princípios de concepção ergonómica – Parte 1: Terminologia e princípios gerais
EN 614-2:2000+A1:2008 Segurança de máquinas – Princípios de concepção ergonómica – Parte 2 – Interações entre a concepção de máquinas e as tarefas de trabalho
EN 842:1996+A1:2008 Segurança de máquinas – Sinais visuais de perigo – Requisitos gerais, concepção e ensaios
EN 953:1997+A1:2009 Segurança de máquinas – Protetores – Requisitos gerais para a concepção e fabrico de protetores fixos e móveis
EN 981:1996+A1:2008 Segurança de máquinas – Sistemas de sinais sonoros e visuais de perigo e de informação
EN 1005-1:2001+A1:2008 Segurança de máquinas – Desempenho físico humano – Parte 1: Termos e definições
EN 1005-2:2003+A1:2008 Segurança de máquinas – Desempenho físico humano – Parte 2: Operação manual de máquinas e peças componentes de máquinas
EN 1005-3:2002+A1:2008 Segurança de máquinas – Desempenho físico humano – Parte 3: Limites de força recomendados para a operação de máquinas
EN 1005-4:2005+A1:2008 Segurança de máquinas – Desempenho físico humano – Parte 4: Avaliação das posturas e movimentos no trabalho em relação com as máquinas
EN 1037:1995+A1:2008 Segurança de máquinas – Prevenção a um arranque inesperado
EN 1299:1997+A1:20008 Vibrações mecânicas e choque – Isolamento de vibrações em máquinas – Informações sobre a aplicação do isolamento de fontes

	EN 1837:1999+A1:2009 Segurança de máquinas – Iluminação integral de máquinas
	EN ISO 4413:2010 Transmissões hidráulicas – Regras gerais e requisitos de segurança para os sistemas e seus componentes
	EN ISO 4871:2009 Acústica – Declaração e verificação dos valores de emissão sonora de máquinas e equipamentos
	EN 13478:2001+A1:2008 Segurança de máquinas – Prevenção e proteção contra incêndios
	EN ISO 13849-1:2008 Segurança de máquinas – Partes dos sistemas de comando relativos à segurança – Parte 1: Princípios gerais de projeto
	EN ISO 13849-2:2012 Segurança de máquinas – Partes dos sistemas de comando relativos à segurança – Parte 2: Validação
	EN ISO 13850:2008 Segurança de máquinas – Paragem de emergência – Princípios de concepção
	EN ISO 13855:2010 Segurança de máquinas – Posicionamento de equipamento de proteção em relação às velocidades de aproximação das partes do corpo humano
	EN ISO 138578:2008 Segurança de máquinas – Distâncias de segurança para impedir que os membros superiores e inferiores alcancem zonas perigosas
	EN ISO 14119:2013 Segurança de máquinas – Dispositivos de encravamento associados aos protetores – Princípios de concepção e de seleção
Tipo C	EN 693:2001+A2:2011 Máquinas-ferramenta – Segurança – Prensas hidráulicas
	EN 60204-1:2006 Segurança de máquinas – Equipamento elétrico de máquinas – Parte 1: Requisitos gerais
	EN 60947-5-3:2013 Aparelhagem de baixa tensão – Parte 5-3: Aparelhagem e elementos de comutação para circuitos de comando – Requisitos para dispositivos de detecção de proximidade com comportamento definido em condições de falha (PDDB)
	EN 60947-5-5:1997 Aparelhagem de baixa tensão – Parte 5-5: Aparelhagem e elementos de

	comutação para circuitos de comando – Dispositivos de paragem de emergência com encravamento mecânico
	EN 62061:2005 Segurança de máquinas – Segurança funcional dos sistemas de comando elétricos, eletrónicos e eletrónicos programáveis relacionados com a segurança

#### 4.3.2. *Diretiva Equipamentos de trabalho*

A segurança na utilização de equipamentos de trabalho, pelos trabalhadores, nos locais de trabalho, é regulada pela Diretiva Equipamentos de Trabalho. Esta diretiva tem como destinatários os empregadores e estabelece o conjunto de regras reguladoras da segurança na utilização de equipamentos de trabalho. Tais regras instituem as prescrições mínimas de saúde e de segurança que devem ser respeitadas nos Estados membros, destinadas a promover a melhoria das condições de trabalho e garantir um melhor nível de proteção dos trabalhadores (Gomes, Moreira, Cavaca, & Pina, 2013).

Esta área da legislação europeia é transposta para a legislação nacional através do Decreto-Lei n.º 50/2005, de 25 de fevereiro.



## 5. Conclusões

Ao longo desta dissertação desenvolveu-se um trabalho que consistiu numa análise crítica sobre o sistema de comando hidráulico da prensa hidráulica de triplo efeito existente no INEGI, por forma a futuramente reformular todo o seu sistema de comando.

Este trabalho iniciou-se com um estudo acerca da prensa hidráulica com o objetivo de compreender o seu funcionamento e conhecer os seus componentes. Foi também necessário realizar a pesquisa e o estudo do processo de conformação plástica para o qual a prensa é utilizada, a embutidura.

A análise do comportamento atual da prensa e das suas limitações, juntamente com as necessidades requeridas para o processo de embutidura, levantou questões e levou à sugestão de algumas modificações no circuito hidráulico.

Com a inclusão da desatuação das válvulas proporcionais em rampa e usando as válvulas limitadoras de pressão para a saída do óleo dos cilindros para o reservatório, implementou-se um novo tipo de movimento, a descida em controlo de posição.

Foi também analisada a possibilidade de se efetuar o movimento simultâneo do cerra-chapas e do embutidor. Para tal, foram realizados alguns cálculos de modo a confirmar a capacidade dos cilindros de suportar as cargas exigidas. Visto que neste movimento há também uma ligação mecânica, a solução tem obrigatoriamente de garantir a sincronização dos movimentos do cerra-chapas e do embutidor sem que ocorra a quebra dessa ligação. A solução encontrada consistiu na inclusão de duas eletroválvulas direcionais que, quando atuadas, permitem ligar as 5 câmaras principais e as 5 câmaras secundárias dos cilindros possibilitando o sincronismo dos seus movimentos.

A descompressão atual do cerra-chapas é realizada através da válvula limitadora de pressão proporcional HP2, o que requer a atuação de HC9 e conseqüentemente a ligação da bomba 8.3 às câmaras dos cilindros. De forma a evitar esta situação é proposto o uso da válvula proporcional VPC2 para a descarga do óleo para o reservatório e a temporização desta mesma descarga. A descompressão do cerra-chapas deixa de ser definida em pressão para ser definida em tempo.

Além disso, e prevendo o uso de ferramentas com variadas características, são criadas duas etapas denominadas de descompressão e subida com controlo de caudal. Para o

funcionamento destas novas etapas são incluídas duas eletroválvulas direcionais, uma em cada linha de pilotagem das válvulas de retenção colocadas na parte superior dos cilindros.

Quanto à bomba que alimenta o cerra-chapas e o embutidor, esta deixa de ter fases sem a sua pilotagem definida, melhorando o funcionamento do circuito hidráulico.

Em conclusão, a prensa hidráulica em estudo passa a possuir novas funcionalidades e um controlo hidráulico melhorado com a implementação das alterações propostas neste trabalho.

### *5.1. Trabalhos futuros*

Como trabalhos futuros seria importante a implementação das alterações sugeridas, complementar a análise do sistema hidráulico com uma análise do sistema elétrico da prensa e a implementação de um novo controlador. Após a verificação da parte elétrica existente, refletir acerca de as ações de segurança da prensa passarem a ser realizadas por software aquando da implementação de um novo controlador ou, pelo contrário, manter a sua implementação eletromecânica.

Seria também interessante verificar se a prensa cumpre as normas necessárias e, caso se considere adequado, tomar as medidas necessárias de modo a garantir esse cumprimento.

## Referências

- ADIRA. (1994). Documentação da PHTE 160. *Diagrama de Fases*.
- ADIRA. (1994). Documentação da PHTE 160. *Circuito Hidráulico*.
- ADIRA. (1995). Programas Prensa triplo efeito com dnc 74 pv. ADIRA.
- ASM, I. H. (1988). *Metals Handbook: Volume 14 Forming and Forging* (Vol. 1). American Society for Metals.
- C.E. (2015). Publicação dos títulos e das referências das normas harmonizadas ao abrigo da legislação de harmonização da União. *Jornal Oficial da União Europeia*.
- DEES HYDRAULIC INDUSTRIAL CO., L. (2014). THE ESSENCE OF METAL FORMING. Obtido de <http://files.deesgroup.com.tw/catalog-EN.pdf>
- Fibro. (12 de Dezembro de 2015). Obtido de Fibro: <http://www.fibro.de/de/startseite.html>
- Gomes, E., Moreira, F., Cavaca, J., & Pina, J. S. (2013). *Segurança de máquinas e equipamentos de trabalho*. Lisboa: ACT.
- HIDRAL-MAC. (28 de Novembro de 2015). *Prensa Hidráulica de 4 Colunas para repuxo profundo - Triplo Efeito*. Obtido de HIDRAL-MAC Group: <http://hidralmac.com.br/pt/produtos/prensas-hidraulicas/familia-4c/prensa-hidr%C3%A1ulica-4-colunas-para-repuxo-profundo>
- Mori, K. (13 de Dezembro de 2015). *Application of servo presses to sheet metal forming*. Obtido de <http://plast.pse.tut.ac.jp/present/servopress4.pdf>
- Parker. (13 de Dezembro de 2015). Obtido de Parker: <http://www.parker.com/literature/Literature%20Files/hydraulicpump/training/Acrobat/Industrialtrainingtemplatebasics.pdf>
- Rexroth. (25 de Setembro de 2015). *Válvulas de descarga de pressão proporcionais*. Obtido de Bosch Rexroth: <http://www.boschrexroth.com/ics/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=PT&Region=none&VHist=p537396,p537707,p548451&PageID=p568246>
- Santos, A. (2013). Tecnologia de Conformação Plástica - Prensas. *Apontamentos da unidade curricular Processos de Fabrico I*.
- Santos, A. D., Duarte, J. F., & Rocha, A. B. (2005). *TECNOLOGIA MECÂNICA VOL. 3 - TECNOLOGIA DE EMBUTIDURA (PRÍNCIPIOS E APLICAÇÕES)*.

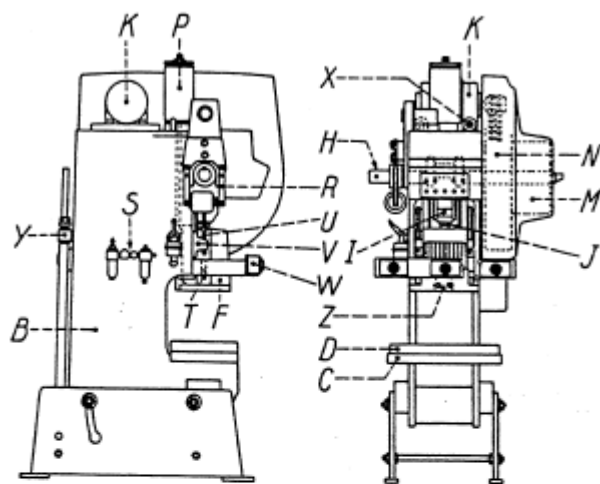
Secção de Automação Instrumentação e Controlo. (2014). *Apontamentos da disciplina de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos - Parte I - Tecnologia de sistemas óleo-hidráulicos*. Porto: FEUP.

Skinner, S. C. (1998). *Elementos de Hidráulica Proporcional*. Havant, Reino Unido: Vickers.

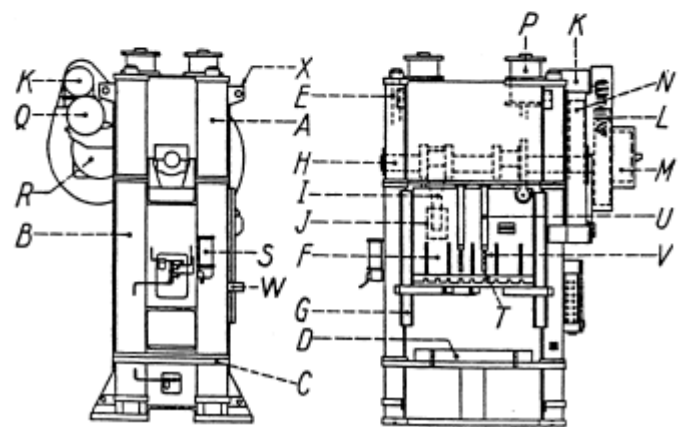
## Anexos

### Anexo A - Componentes de uma prensa em C (a) e em arcada (b)

a



b



Nomenclatura	
A	Capitel ou Castelo
B	Montante
C	Mesa fixa
D	Prato, Mesa móvel
E	Tirante de montagem
F	Corrediça
G	Guias
H	Cambota ou árvore de excêntricos
I	Biela
J	Mecanismo de regulação da altura da corrediça
K	Motor
L	Engrenagem
M	Embraiagem pneumática
N	Volante de Inércia
P	Equilibradores ou amortecedores pneumáticos
Q	Reservatórios tampão
R	Freio pneumático
S	Central de lubrificação
T	Barra de ejeção
U	Batente para barra de ejetor
V	Suporte para regulação do curso do ejetor ou extrator
W	Comando por botão de acionamento
X	Manilhas de elevação
Y	Mecanismo de inclinação
Z	Alojamento do nariz da ferramenta

## Anexo B - Referências das válvulas do circuito hidráulico

Válvula	Referência
VDA1	Bosch 081WV16P1N3001PTWS024/400B0
VDA2	Rexroth Mannesmann 4WE6D53/AG24NZ4
VDB1	Rexroth Mannesmann 4WE6D53/AG24NZ4
VDC1	Bosch 081WV16P1N3001PTWS024/400B0
VDC2	Rexroth Mannesmann 4WE6D53/AG24NZ4
VDC3	Rexroth M-3SED6UK1X/350CG24N9K4
VDC4	Rexroth Mannesmann 4WE6E53/AG24NZ4
VDC5	Rexroth Mannesmann 4WE6D53/AG24NZ4
VDE1	Bosch 081WV16P1N3001PTWS024/400B0
VDE2	Rexroth Mannesmann 4WE6D53/AG24NZ4
VDE3	Rexroth M-3SED6UK1X/350CG24N9K4
VDE4	Rexroth Mannesmann 4WE6E53/AG24NZ4
VPC1	Bosch 0811403001
VPC2	Bosch 0811403001
VPE1	Bosch 0811403001
VPE2	Bosch 0811403001
EL 1.1	Bosch 0810060045
EL 1.2	Bosch 0810060045
EL 2.1	Bosch 0810060045
EL 2.2	Bosch 0810060045
EL 3.1	Bosch 0810060045
EL 3.2	Bosch 1818509303
VP1	Rexroth Hydraulics DBE6-10/315G24K4M
VP2	Rexroth Hydraulics DBE6-10/315G24K4M
VP3	Bosch 0811402016